

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**

№ 3 (13), 2020

No. 3 (13), 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;
Безкоровайний 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, професор;
Костін Юрій Дмитрович, д-р. екон. наук, професор;
Лемашенко Віталій, д-р. техн. наук, професор (Словаччина)
Левашенко Олександр Віталійович, д-р. техн. наук, професор;
Малєєва Ольга Володимирівна, д-р. техн. наук, професор;
Момот Тетяна Валеріївна, д-р. екон. наук, професор;
Музика Катерина Миколаївна, д-р. техн. наук, професор;
Назарова Галина Валентинівна, д-р. екон. наук, професор;
Невлюдов Ігор Шакирович, д-р. техн. наук, професор;
Опанасюк Анатолій Сергійович, д-р. фіз.-мат. 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;
Сєтлак Галина, д-р. техн. наук, професор (Польща);
Тєрзіян 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), Professor (Azerbaijan);
Gopayenko 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), Professor, (Ukraine);
Kostin Yuri, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);
Levashenko Vitaly, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovakia);
Lemeshko Olexsandr, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);
Malayeva Olga, Dr. Sc. (Engineering), 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);
Opanasyuk Anatoliy, Dr. Sc. (Physical and Mathematical), 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 № 9 від 18 вересня 2020 р.).

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

ЗМІСТ

Інформаційні технології

- 5 **Привітання з Ювілеєм**
- 6 **Бондар А. В.**
Моніторинг динаміки енергоентопії проектно-орієнтованої організації (eng.)
- 14 **Гасвський С. В., Кулаков І. П., Шаповалов О. В., Тімочко О. О., Павленко В. М.**
Математичні моделі для розрахунку показників відновлюваних виробів радіоелектронної системи літака (eng.)
- 25 **Давидов В. В., Гребенюк Д. С.**
Розроблення методів розподілу ресурсів у системах хмарних обчислень (eng.)
- 34 **Малєєва Ю. А., Малєєва О. В., Демченко А. В., Піддубна Л. В.**
Інформаційна підтримка краудфандинг-інвестування проєктів (eng.)
- 43 **Мартовицький В. О., Іванюк О. І.**
Підхід до побудови глобального шляху мобільного агента на основі Q-learning (eng.)
- 52 **Мелешко Є. В.**
Метод виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі на основі аналізу трендів рейтингів (eng.)
- 58 **Невлюдов І. Ш., Цимбал О. М., Бронніков А. І., Мордик О. О.**
Інтернет речей для робототехнічних проєктів (eng.)
- 65 **Філатов В. О., Семенець В. В., Золотухін О. В.**
Інтелектуальний аналіз даних в реляційних системах (eng.)
- 77 **Шаповалова С. І.**
Генерація тестових баз правил для аналізу продуктивності механізмів логічного виведення (eng.)

Сучасні технології управління підприємством

- 86 **Краївська І. А.**
Моніторинг економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури
- 95 **Момот Д. Т.**
Оптимізація ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному арт-ринку (eng.)
- 106 **Овчелупова О. М.**
Оцінка кредитоспроможності позичальників комерційного банку: напрямки підвищення якості інформаційно-аналітичного забезпечення

Інженерія та промислові технології

- 115 **Абрамова Г. А., Аврунін О. Г.**
Розробка методу аналізу томографічних зображень кісткових структур (eng.)
- 122 **Коломійцев О. В., Пустоваров В. В.**
Формальне представлення процесу попиксельної класифікації з використанням модифікованої нейронної мережі Ванга-Менделя (eng.)
- 129 **Кочан В. В.**
Зменшення впливу неоднорідності термопар на результат вимірювання температури

Електроніка, телекомунікаційні системи та комп'ютерні мережі

- 138 **Бондаренко І. М., Бендебєра Г. М., Грицунов О. В., Маковська О. Г.**
Підвищення рівня фотобіологічної безпеки спектра випромінювання світлодіодного джерела освітлення (eng.)
- 145 **Зайченко О. Б., Зайченко Н. Я.**
Багатозондовий мікрохвильовий мультиметр з обробкою сигналів датчиків фільтром Калмана
- 153 **Алфавітний показчик**

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

CONTENTS

Information Technology

- 5 ***Congratulations on the Anniversary***
- 6 ***Bondar A.***
Monitoring the dynamics of a project-oriented organization energy entropy
- 14 ***Haievskiy S., Kulakov I., Shapovalov O., Timochko O., Pavlenko V.***
Mathematical models for calculating the residual life of the recoverable components of the aircraft electronic system
- 25 ***Davydov V., Hrebeniuk D.***
Development of the methods for resource reallocation in cloud computing systems
- 34 ***Malieieva Ju., Malyeyeva O., Demchenko A., Pidubna L.***
Information support for crowdfunding and investing projects
- 43 ***Martovytskyi V., Ivaniuk O.***
Approach to building a global mobile agent way based on Q-learning
- 52 ***Meleshko Ye.***
The method of detecting information attack objects in recommendation system based on the analysis of rating trends
- 58 ***Nevliudov I., Tsybal, O., Bronnikov A., Mordyk O.***
Internet of things for robotic projects
- 65 ***Filatov V., Semenets V., Zolotukhin O.***
Data mining in relational systems
- 77 ***Shapovalova S.***
Generation of test bases of rules for the analysis of productivity of logical inference engine

Modern Enterprise Management Technologies

- 86 ***Kraivska I.***
Monitoring of economic security of enterprises and institutions of social infrastructure
- 95 ***Momot D.***
Optimization of risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market
- 106 ***Ovchelupova O.***
Assessment of the borrower's credit capacity of the commercial bank: directions for improving the quality of information and analytical support

Engineering & Industrial Technology

- 115 ***Abramova H., Avrunin O.***
Development of a method for analyzing tomographic images of bone structures
- 122 ***Kolomiitsev O., Pustovarov V.***
Formal representation of the pixel-by-pixel classification process using a modified Wang-Mendel neural network
- 129 ***Kochan V.***
Decreasing of thermocouple inhomogeneity impact on temperature measurement error

Electronics, Telecommunication Systems & Computer Network

- 138 ***Bondarenko I., Bendeberya H., Gritsunov O., Makovskaya O.***
Increasing the level of photo biological safety of the emission spectrum of an LED light source
- 145 ***Zaichenko O., Zaichenko N.***
Multiprobe microwave multimeter with processing of sensors signals with Kalman filter
- 153 **Alphabetical index**

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



РОКІВ

ХАРКІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

1930-2020

Історія національного радіоелектроніки Харківського університету беззаперечно унікальна.

У 1930 році був створений будівельний інститут на базі Харківського політехнічного інституту та архітектурного факультету Харківського художнього інституту, а вже у 1966 році інститут був перетворений на Харківський університет радіоелектроніки, в якому сформувалися і набули міжнародного визнання понад 30 наукових шкіл.

Цього року Харківському національному університету радіоелектроніки виповнюється 90 років, і ми можемо з гордістю стверджувати, що ХНУРЕ – перший серед кращих!

The history of Kharkiv National University of Radio Electronics is undeniably unique.

In 1930, the Civil Engineering Institute was established on the basis of the Kharkiv Polytechnic Institute and the Faculty of Architecture of the Kharkiv Art Institute, and in 1966 the Institute was transformed into the Kharkiv University of Radio Electronics, where more than 30 scientific schools were formed and gained the international recognition.

This year Kharkiv National University of Radio Electronics celebrates its 90th anniversary, and we can proudly say that NURE is the First Among The Best!

A. BONDAR

MONITORING THE DYNAMICS OF A PROJECT-ORIENTED ORGANIZATION ENERGY ENTROPY

The **subject** of the research is the approaches to studying the dynamics of information and energy entropy of a project-oriented organization. The **purpose** of this study is to develop an approach for monitoring the dynamics of energy entropy when adding a new project to the portfolio of a project-oriented organization. To achieve this goal, it is necessary to perform the following **tasks**: determine the expression of the criterion for the success of the project in the framework of the energy-entropic concept of the organization, formulate entropic barriers and ways to overcome them. The following methods are used: systems analysis, probability theory, energy-entropy theory. **Results.** The main parameters that determine the dynamics of the organization's energy entropy are information entropy and relative energy efficiency. When a new project is added to an organization's structure, it takes time to improve its energy efficiency. Therefore, to form conclusions on the analysis of changes in entropy, it is important to review the period and take into account its relationship with new projects of the organization. The dynamics of the information entropy of development projects and their influence on the information entropy of the organization are described. It was found that negative leaps of information entropy are possible as a result of the implementation of projects aimed at changing business processes, quality of resources, etc. The work proposes a criterion for the success of the project, taking into account the time period that is "provided" to the project for the manifestation of its result in terms of energy entropy. Also, the work formulated barriers for information and energy entropies as levels, upon reaching which the organization is destroyed. **Conclusions.** This article presents a tool for analyzing the dynamics of information entropy and energy entropy of a project-oriented organization when a new project is added to the portfolio. Also, a criterion for the success of the project is proposed, taking into account the time period that is "provided" to the project for the manifestation of its result in terms of energy entropy. Entropic barriers of a project-oriented organization are formulated and ways to overcome them are proposed to reduce entropy, increase energy efficiency and ensure its development.

Keywords: entropy; energy efficiency; organization; barrier.

Introduction

The energy-entropy concept considers an organization as an open system with energy turnover due to information-material-energy exchange with the external environment. Energy entropy is a characteristic function of the state of an organization, reflecting the efficiency of its business processes and interaction with the external environment.

Analysis of literature and research

Modern project-oriented management as a progressive methodology for organizing the operational activities of enterprises integrates classical and innovative approaches to management [1]. Information entropy is one of the characteristics that make it possible to assess the quality of management and business processes. This category is used by many researchers [2-6], including in the application to projects and project-oriented organizations in general [7-11]. As a rule, information entropy is understood as a measure of project risk, and its dynamism is considered from a mathematical point of view [12, 13]. The work [14] establishes the relationship between the energy entropy of an organization and the measure of its orderliness - information entropy.

At the conceptual level, the basic provisions of the energy-entropic theory of organization, which includes the identification and model of energy flows, energy balance and the necessary conditions for reducing energy-entropy are presented in [15]. Studies of the influence of information entropy on the energy entropy of the organization were carried out in works [16, 17], this made it possible to establish the conditions under which this influence is maximized.

The purpose of this study is to develop an approach for monitoring the dynamics of energy entropy when adding a new project to the portfolio of a project-oriented organization.

Research results

The influence of projects on the dynamics of the energy entropy of the organization. The existence of energy entropy is an integral part of the activities of organizations, and in principle, it is impossible to ensure its absence. And, as previously noted, not the absolute value of energy entropy, but its change ΔS is an indicator of the state of the organization:

$$\Delta S(t_1, t_2) = S(t_2) - S(t_1), \quad (1)$$

where $t_2 > t_1$ are the considered time moments on the time axis T. Satisfactory for the organization is such a state in which:

$$\begin{aligned} \Delta S(t_1, t_2) > \Delta S(t_2, t_3), t_3 > t_2, \\ \Delta S(t_1, t_2), \Delta S(t_2, t_3) \geq 0. \end{aligned} \quad (2)$$

that is, the increase in energy entropy decreases over time. It would be desirable to have a "zero" change in the increase in energy entropy, that is:

$$\Delta S(t_1, t_2) = \Delta S(t_2, t_3), t_3 > t_2. \quad (3)$$

The state towards which the organization should strive:

$$\Delta S(t_1, t_2) < 0, \quad (4)$$

that is, there is *negentropy* (a decrease in energy entropy) due to its "release" into the external environment, which

means control over the external environment at a level at which uncertainty decreases with increasing energy efficiency.

At the same time, an increase in energy entropy does not at all mean deterioration in the state of the organization. Let's explain this thesis in more detail.

So, an increase in energy entropy S can occur under the influence of the following factors: an increase in information entropy H , a decrease in relative efficiency μ . This, in turn, indicates a decrease in the "temperature" characterizing the "heating" of the controlled part of the organization's external environment.

Control over the external structure is significantly weakened in those situations when the organization begins the implementation of sufficiently risky projects, where level of information entropy at the beginning of the project is quite high. Thus, an increase in information entropy H can occur as a result of adding a new project to the structure of a project-oriented organization. In addition, the new project requires the use of resources, which, on the one hand, can increase the level of outgoing energy E^{ex} , while not increasing the level of incoming

energy E^{in} at the first stage. The project (or project product) needs time to achieve the required level of energy efficiency.

Thus, for the formation of conclusions based on the results of the analysis ΔS , the period of consideration and consideration of the relationship ΔS with new projects of the organization is important. A short-term increase in energy entropy as a result of changes in the structure of the organization's current projects portfolio can and should lead to its subsequent positive dynamics for the organization.

In a project-oriented organization, each project is a relatively independent organizational unit, which is a system of a certain structure with flows of information, energy and matter, and, therefore, all previously characterized and established properties of systems, including the presence of information entropy and energy entropy, are inherent in projects.

The main parameters that determine the dynamics of the organization's energy entropy are information entropy and relative energy efficiency. In general, their behavior for the project can be represented as follows:

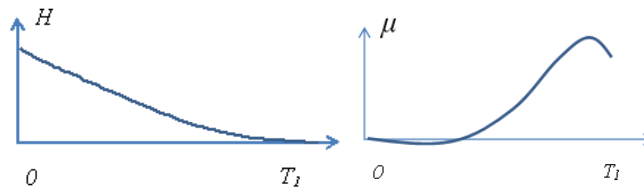


Fig. 1. Dynamics of information entropy and relative project efficiency

That is, the information entropy by the end of the project life cycle becomes "zero" – the variants of the project results are transformed into one specific (already obtained) result with probability 1, therefore:

$$H_i(T_i) = 0, i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

where T_i is a life cycle of the i -th project, n is a total number of projects of the organization.

Each project is characterized by a certain energy efficiency, which forms a certain value of relative energy efficiency μ_i . By the end of the project, its energy efficiency can have both maximum value and decline, or even tend to 0, which is determined, first of all, by the specifics of the project and its product. The behavior of these characteristics largely determines the dynamics of the project's energy entropy $S_i(t_i)$, which, taking into account (5):

$$S_i(T_i) = 0, i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

that is, the end of the project leads logically to zero energy entropy.

A completely different situation is observed with the dynamics of the energy entropy of a project-oriented organization. Previously, the structure of the energy entropy of a project-oriented organization was established and the participation of each project in its formation was determined. "High-risk" projects in terms of uncertainty of

results and ineffective projects increase the energy entropy of the entire organization, violating the established nature of relations with the external environment and the efficiency of energy turnover. The converse is also true.

But the impact of projects on the state of the organization and the "reflection" of this state in the form of energy entropy is much more complicated and not so unambiguous.

Previous studies of the entropy of a project-oriented organization were based on the principles of additivity, which takes place in cases where projects correspond to operational activities and are not associated with qualitative (structural) changes in the organization, that is, we are not talking about development projects.

So, individual projects in a project-oriented organization can be aimed at changing business processes, quality of resources, etc., which by the end of the life cycle of the project and the receipt of its product leads to a change in the basic energy parameters of the organization. Similar projects are implemented to improve the state of the organization. Examples of such projects can be reorganization projects that reduce the information entropy of an organization by, for example, improving the information exchange system.

Fig. 2 shows the dynamics of the information entropy of two development projects and the result of their influence on the information entropy of the organization. The beginning of each project is associated with an increase in the level of informational entropy of the

organization by the amount of the project entropy. As a result of the implementation of project 1, the level of information entropy of the organization decreases from the value of H^1 (pre-project) to the value of H^2 . That is, at the moment of receiving the product of project 1, the new "quality" of the organization reduces the uncertainty of the results of its activities.

The start of project 2 naturally increases the entropy of the organization, gradually leading to the pre-project level. But at the moment of receiving the product of project 2, the entropy of the organization leaps upwards, that is, the new quality of the organization has become worse in terms of the predictability of the results of its activities. Moreover, certain discrepancies in the manageability of the structure of the organization (both external and internal) can lead to an uncontrolled increase

in information entropy, which is shown in fig. 2 in the period after the end of project 2.

Examples of such a *negative leap in information entropy* can be the following:

1) the project was aimed at a qualitative transformation not directly related to the impact on information entropy, but the result was such an effect. For example, a change in *any product characteristics of an organization's* project has led to mixed perceptions of these changes by consumers and established clientele. Thus, there is a *marketing miscalculation*;

2) the project was supposed to improve the manageability of the external structure of the organization (that is, the project is *aimed at reducing information entropy*), but the opposite effect was obtained. And in this situation there is a *marketing/logistics miscalculation*).

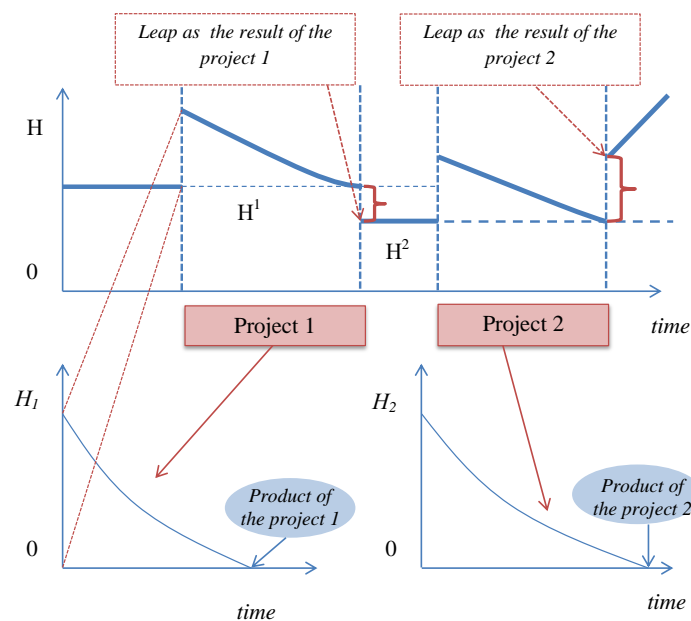


Fig. 2. Impact of development projects on the information entropy of the organization

Thus, any development project leads to a *change in information entropy*, and it is precisely its positive change to ensure that it is the art of the organization management system and the project team.

It is important that even a *"leap up" in information entropy* does not indicate a negative state of the organization. Indeed, an increase in information entropy at the first stage after the implementation of the project can be replaced by its positive dynamics in the future. This is comparable to surgery in medicine, after which a temporary deterioration may occur, after which the healing process takes place. The main thing is that *the period and degree of deterioration should be within controllable limits*.

The main criterion for the success of the project in this case should be the condition for a specific time range:

$$S_{i1}^* \leq \Delta S_i(t_1, t_2) = S(t_2) - S(t_1) \leq S_{i2}^*, i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

$$t_1 = t_i^b + T_i, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t_i, i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

where t_i^b is the start of the i -th project, T_i – the duration of its life cycle, Δt_i – the time period that is "provided" to the project for the manifestation of its result in terms of energy entropy, S_{i1}^*, S_{i2}^* – energy entropy growth limits.

Thus, $\Delta S_i(t_1, t_2)$ shows the change in the energy entropy of the organization as a result of the implementation of the i -th project.

If, however, several projects were implemented in a certain period of time, then, of course, it is quite difficult to single out the influence of each of them on the state of the organization. This requires a more in-depth analysis of the results of each project, manifested in specific energy parameters and information entropy.

So, almost any *development project* is a risk for the organization, since the consequences of even a successful project at first glance can have negative consequences for the organization. That is why energy entropy (its dynamics, its change), as the main integral indicator of the state of the organization, allows us to conclude about the *success and usefulness* of the project for the organization based on (7).

So, if new projects not related to development are added to the structure of an organization's project portfolio, then ideally the dynamics of the information entropy of the organization should be as in fig. 3, which demonstrates the dynamics of information entropy H with and without new projects (dotted line), based on dynamics

of information entropy of new projects. Note that in this case, new projects are not aimed at reducing the information entropy of the organization, so the total information entropy of the organization is a composition of the information entropies of all projects.

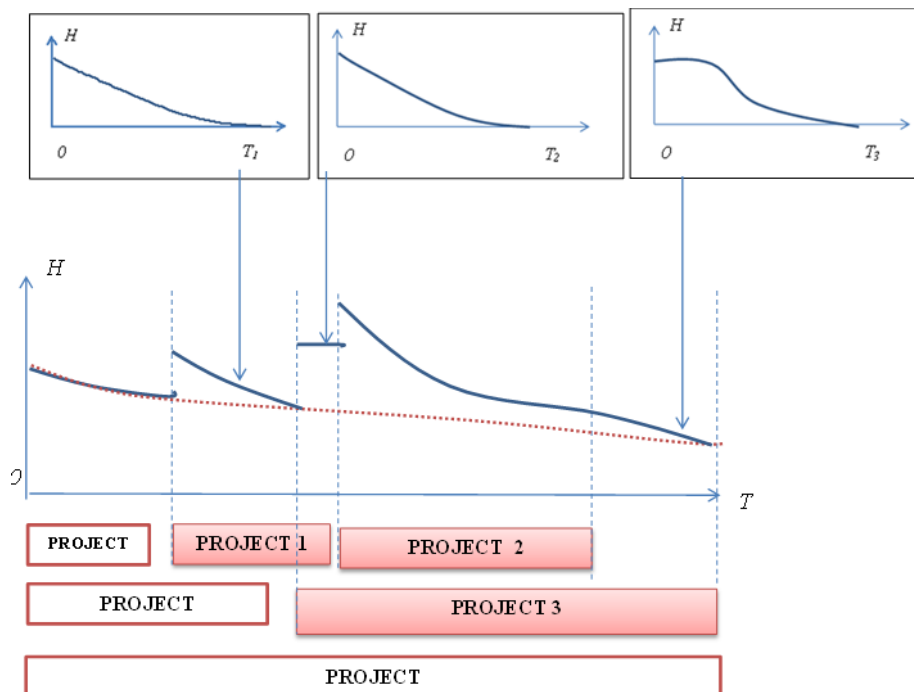


Fig. 3. Dynamics of information entropy of a project-oriented organization

"Leaps" of information entropy at the start points of projects are ultimately leveled, and information entropy is aligned with the level of "up to new projects".

If any projects are aimed at *reducing information entropy* (for example, projects corresponding to advertising or PR campaigns) the total information entropy will be ultimately lower than the level "before

new projects" (fig. 4). In this case, the total information entropy of the organization is not ultimately equal to the sum of the information entropies of projects. For example, if a new project 3 should reduce the information entropy of the organization, then after its implementation there will be a corresponding "leap" down.

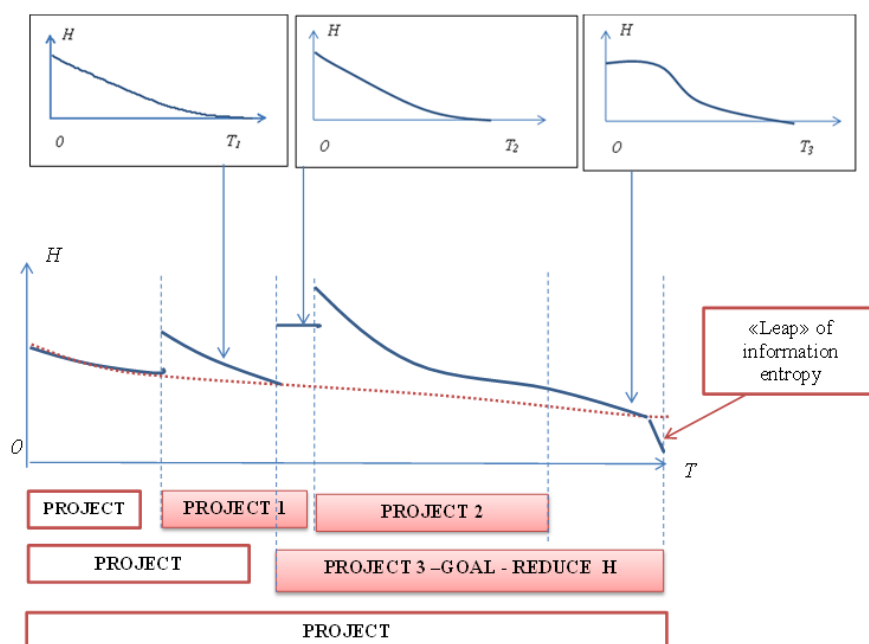


Fig. 4. Dynamics of information entropy of a project-oriented organization during the implementation of a project aimed at reducing it

Energy entropy is determined not only by information entropy, but also by relative energy efficiency, and each project, having its own efficiency, provides an impact on the energy efficiency of the organization as a whole. Moreover, individual development projects can be aimed at changing efficiency

based on, for example, the use of new production technologies that take time to demonstrate their effect. So, for example, in fig. 5, project 1 reduces overall energy efficiency, but in the process of implementing project 2 and project 3, the energy efficiency of the organization reaches a higher level compared to the pre-project.

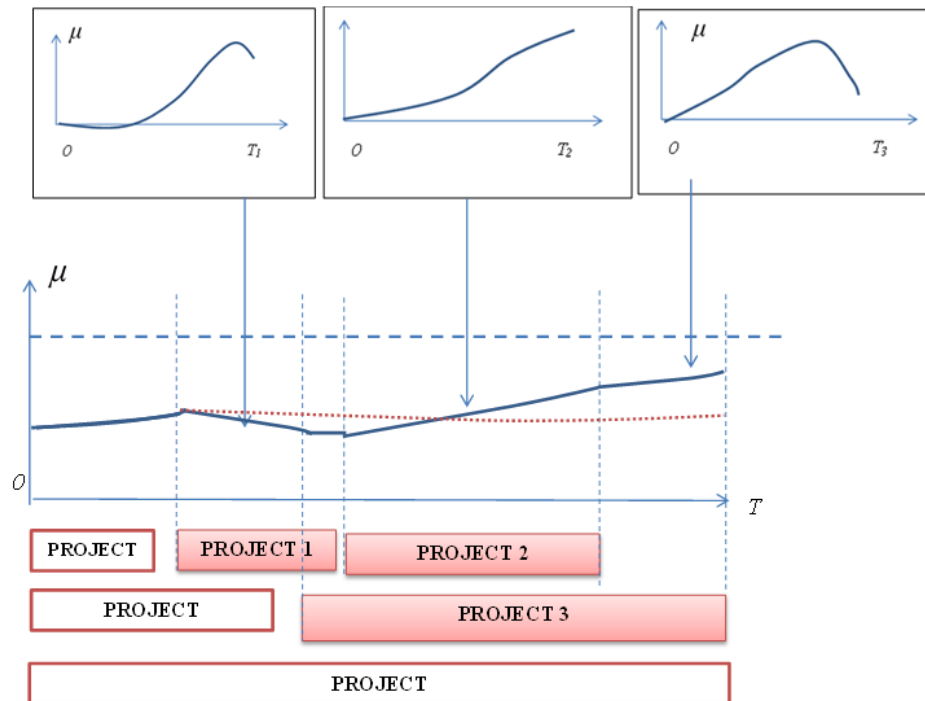


Fig. 5. Dynamics of energy efficiency of a project-oriented organization in the implementation of a project aimed at its improving

And, as mentioned above, assessing the impact of each project on the overall state of the system requires a separate and more detailed consideration of the results of each project.

Entropic barriers of a project-oriented organization. Let's introduce into consideration the concept of "entropy barrier". For a clear understanding of the essence of this term, let's consider other types of "barriers" inherent in the organization.

So, any organization with the existing technology and method of production has a certain barrier in the form of *production capacity*, to overcome which it is necessary to fundamentally change the technology and organization of production, business processes, etc. Whatever the demand for the organization's products, it must "overcome" the production barrier to further increase production and sales. Similar barriers exist in the form of restrictions on sales markets, etc. The organization can reach another level, only after radical transformations while breaking another barrier.

As it was previously demonstrated, the entropy of an organization can grow under the influence of negative processes (for example, the inability of management to provide a managed organization or inadequate organization of business processes); and also under the influence of natural causes associated, for example, with the implementation of projects, which at the first stage increases energy entropy. In addition, the coincidence of these processes with negative changes in the external environment can significantly worsen the state of the

organization. The question arises – if there is a level of entropy, the achievement of which becomes disastrous for the organization?

The "invisible" entropy also forms a *certain barrier* in the form of a level at which the organization "collapses" (fig. 6).

For *informational entropy*, the barrier is such a level of uncertainty, after which the managers of the organization, in principle, are unable to make adequate decisions and act in complete chaos and conditions of uncontrollability of the external environment. With an increase in H , the temperature of the organization decreases, that is, the level of "heating" of the controlled part of the external environment decreases leads to activities under conditions of complete uncertainty. At the same time, high energy efficiency of the organization can be observed – that is, the organization does not control anything in the external environment, but due to favorable conditions for it in a specific period of time, it becomes, for example, possible to sell a product at an inflated price, which leads to an increase in energy efficiency.

So, the excitement demand for masks and sanitizers at the beginning of a pandemic can serve as an example of super energy efficiency for manufacturers (sellers) in conditions of complete chaos, that is, maximum information entropy.

For *energy entropy*, the barrier is such a level of energy entropy at which the level of chaos and dissipation of the organization's energy does not "overlap" with the necessary energy efficiency.

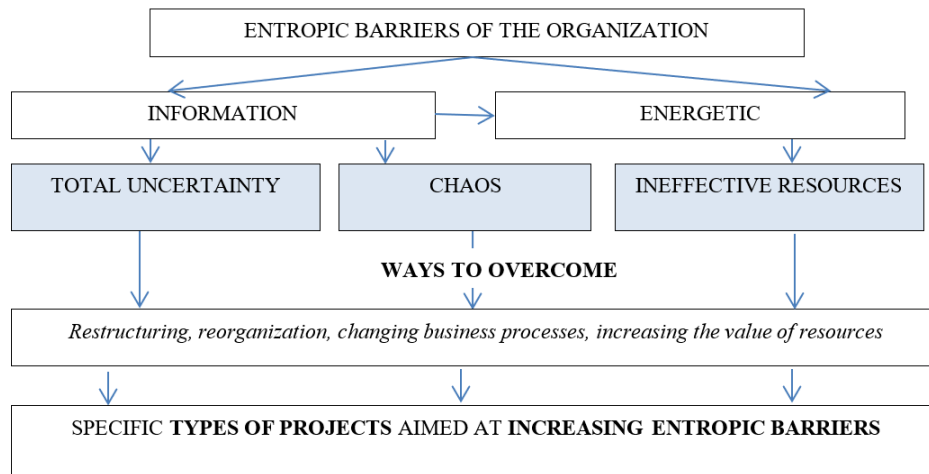


Fig. 6. Entropic barriers of the organization and ways to overcome them

The level of *these barriers* is unique to each organization. In addition, it can be "raised" through certain measures, for example, restructuring, reorganization, staff training (increasing the value of labor resources), etc. Thus, the development of an organization involves *a change in the level of existing entropy barriers*.

Since any activities of a project-oriented organization are projects, the change in the level of entropy barriers is also carried out through projects.

As it was shown above, the entropy of an organization increases in the course of its activity, which can later lead to disastrous consequences. Therefore, the organization, along with projects related to the main activity and with projects for the development of the traditional entity, should implement projects aimed at

"retaining" entropy and increasing entropy barriers (fig. 7).

This figure shows two main options for the dynamics of entropy in an organization:

- the first option assumes a slow increase in entropy within the existing barriers;
- according to the second option, when the level of the entropy barrier changes, the entropy of the organization decreases sharply.

Operational projects entail a change in the total energy of the organization U (forming an increase in the total energy), and also affect the energy efficiency μ and information entropy H . These parameters determine the energy entropy of the organization S . Note that almost every project, by improving one of these parameters both positively and negatively influences others.

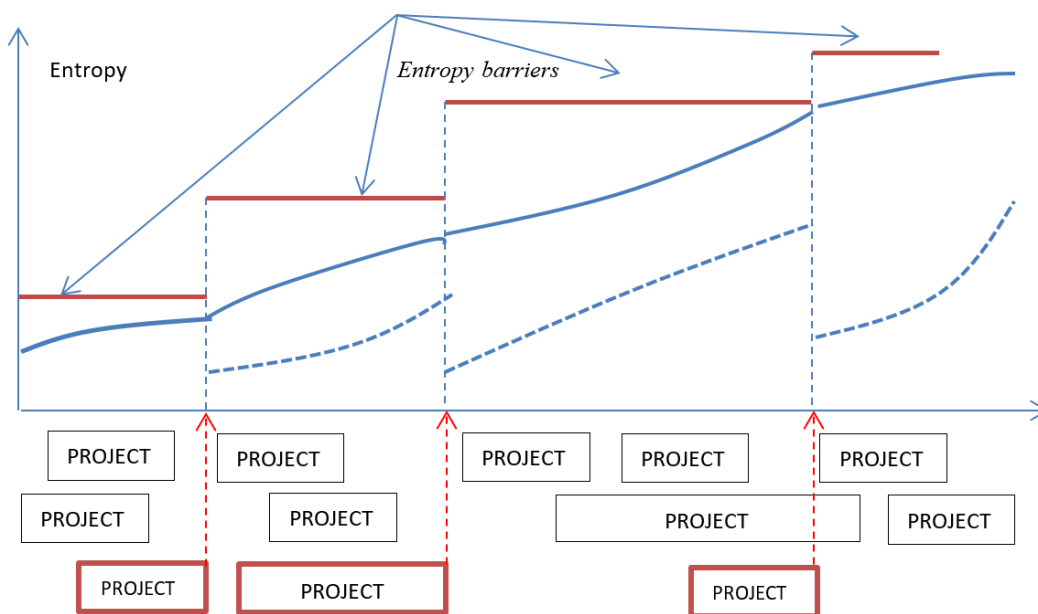


Fig. 7. Overcoming entropic barriers by a project-oriented organization

Thus, the development of a project-oriented organization should ensure, along with traditional development goals, an increase in entropy barriers. For

example, specific communication programs aimed at increasing control over the external environment can serve as examples of such projects.

Conclusions

This article presents a tool for analyzing the dynamics of information entropy and energy entropy of a project-oriented organization when a new project is added to the portfolio. Also, a criterion for the success of the project is proposed, taking into account the time period

that is "provided" to the project to manifest its result in terms of energy entropy.

Entropic barriers of a project-oriented organization are formulated and ways to overcome them are proposed to ensure its development, reduce entropy and increase energy efficiency.

References

1. Pavlova, S. I. (2016), "Project-oriented organizations as the development of enterprise management methods" ["Proektno-oriyentovani orhanizatsiyi yak rozvytok metodiv upravlinnya pidpryemstvom"], *Bulletin of ZhSTU, Economics, Management and Administration*, No. 4 (78), P. 170–177.
2. Bushuyev, S., Lisitsyn, A., Timinsky, A. (2008), "Information model of organizational management system", *Project Management and Development of Production*, No. 2 (26), P. 20–29.
3. Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin and Jorge Cardoso (2011), "An entropy-based uncertainty measure of process models", *Information Processing Letters*, No. 111 (3), P. 135–141.
4. Abbas, A. E. (2006), "Entropy methods for joint distributions in decision analysis", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 53, No. 1, P. 146–159. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2005.861803>
5. Jiang Rong, Liao Hongzhi, Yu Jiankun, Feng Tao, Zhao Chenggui and Li Junlin (2009), "A model based on information entropy to measure developer turnover risk on software project", *2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, Beijing, P. 419–422. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5234813>
6. Han, W., Zhu, B. (2017), "Research on New Methods of Multi-project Based on Entropy and Particle Swarm Optimization for Resource Leveling Problem", *Advances in Engineering Research (AER)*, No. 124, P. 215–221.
7. Stepanić, J., Sabol, G., Stjepan Žebec, M. (2005), "Describing social systems using social free energy and social entropy", *Kybernetes*, Vol. 34, No. 6, P. 857–868. DOI: <https://doi.org/10.1108/03684920510595535>
8. Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin and Jorge Cardoso (2011), "An entropy-based uncertainty measure of process models", *Information Processing Letters*, No. 111 (3), P. 135–141.
9. Han, W., & Zhu, B. (2017), *Research on New Methods of Multi-project Based on Entropy and Particle Swarm Optimization for Resource Leveling Problem*.
10. Bushuyev, S., Sochnev, S. (1999), "Entropy measurement as a project control tool", *International Journal of Project Management*, No. 17 (6), P. 343–350.
11. Shakhov, A. V. (2014), "Entropy model of portfolio management of a project-oriented organization" ["Entropiyana model' portfel'nogo upravleniya proyektno-oriyentirovannoy organizatsiyey"], *Project management and development of virobustics*, No. 2, P. 87–95.
12. Downarowicz, T. (2011), "Entropy in Dynamical Systems", *New Mathematical Monographs*, Cambridge: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976155>
13. Markechová, D., Ebrahimzadeh, A. & Eslami Giski, Z. (2018), "Logical entropy of dynamical systems", *Adv Differ Equ* 2018, No. 70. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13662-018-1524-z>
14. 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), Lviv, Ukraine, February 18-20, 2020, CEUR Workshop Proceedings (2020)*, Vol. 1, P. 233–243. DOI: <http://ceur-ws.org/Vol-2565/paper20.pdf>
15. Bondar, A. V. (2020), "Basic provisions of energy entropy theory of organization" ["Bazovi polozhennya enerhoentropiynoyi teorii orhanizatsiyi"], *Management of complex systems development*, No. 41, P. 6–14.
16. Bondar, A. V. (2020), "Investigation of the influence of information entropy on the energy entropy of an organization" ["Yssledovanye vlyanyaya ynformatsyonnoy éntropyyu na énerhoéntropyyu orhanyzatsyy"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technology*, No. 1 (1355), P. 3–8.
17. Bondar, A.V. (2020), "Dynamics of information entropy of projects and practical aspects of its evaluation" ["Dynamika informatsiyonoy entropiyi proyektiv ta praktychni aspekty yiyi otsinky"], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, No. 2 (4), P. 45–53.

Received 22.08.2020

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

МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ ЕНЕРГОЕНТОПІЇ ПРОЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

Предметом дослідження є підходи вивчення динаміки інформаційної та енергоентропії проектно-орієнтованої організації. **Метою** даного дослідження є розробка підходу для моніторингу динаміки енергоентропії при додаванні нового проекту в портфель проектно-орієнтованої організації. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

визначити вираз критерію успішності проекту в рамках енергоентропійної концепції організації, сформулювати ентропійні бар'єри і способи їх подолання. Використовуються такі **методи**: системний аналіз, теорія ймовірності, енергоентропійна теорія. **Результати**. Основними параметрами, що визначають динаміку енергоентропії організації, є інформаційна ентропія і відносна енергоефективність. При додаванні в структуру організації нового проекту необхідно час для підвищення її енергоефективності. Тому для формування висновків з аналізу зміни ентропії важливий період розгляду та врахування її взаємозв'язку з новими проектами організації. Описано динаміку інформаційної ентропії проектів розвитку і їх вплив на інформаційну ентропію організації. Встановлено, що в результаті реалізації проектів, спрямованих на зміну бізнес-процесів, якості ресурсів і т. п. можливі негативні скачки інформаційної ентропії. В роботі запропоновано критерій успішності проекту, що враховує часовий проміжок, який "надається" проекту для прояву свого результату з точки зору енергоентропії. Також в роботі були сформульовані бар'єри для інформаційної та енергетичної ентропій, при досягненні яких організація руйнується. **Висновки**. У даній статті представлений інструмент аналізу динаміки інформаційної ентропії і енергоентропії проектно-орієнтованої організації при додаванні в портфель нового проекту. Також запропоновано критерій успішності проекту, що враховує часовий проміжок, який "надається" проекту для прояву свого результату з точки зору енергоентропії. Сформульовано ентропійні бар'єри проектно-орієнтованої організації та запропоновано способи їх подолання для зниження ентропії, підвищення енергоефективності та забезпечення її розвитку.

Ключові слова: ентропія; енергоефективність; організація; бар'єр.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ЭНЕРГОЭНТРОПИИ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Предметом исследования является подходы изучения динамики информационной и энергоэнтропии проектно-ориентированной организации. **Целью** данного исследования является разработка подхода для мониторинга динамики энергоэнтропии при добавлении нового проекта в портфель проектно-ориентированной организации. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие **задачи**: определить выражение критерия успешности проекта в рамках энергоэнтропийной концепции организации, сформулировать энтропийные барьеры и способы их преодоления. Используются следующие **методы**: системный анализ, теория вероятности, энергоэнтропийная теория. **Результаты**. Основными параметрами, определяющими динамику энергоэнтропии организации, является информационная энтропия и относительная энергоэффективность. При добавлении в структуру организации нового проекта необходимо время для повышения ее энергоэффективности. Поэтому для формирования выводов по анализу изменения энтропии важен период рассмотрения и учет ее взаимосвязи с новыми проектами организации. Описана динамика информационной энтропии проектов развития и их влияние на информационную энтропию организации. Установлено, что в результате реализации проектов, направленных на изменение бизнес-процессов, качества ресурсов и т.п. возможны негативные скачки информационной энтропии. В работе предложен критерий успешности проекта, учитывающий временной промежуток, который "предоставляется" проекту для проявления своего результата с точки зрения энергоэнтропии. Также в работе были сформулированы барьеры для информационной и энергетической энтропий как уровни, при достижении которых организация разрушается. **Выводы**. В данной статье представлен инструмент анализа динамики информационной энтропии и энергоэнтропии проектно-ориентированной организации при добавлении в портфель нового проекта. Также предложен критерий успешности проекта, учитывающий временной промежуток, который "предоставляется" проекту для проявления своего результата с точки зрения энергоэнтропии. Сформулированы энтропийные барьеры проектно-ориентированной организации и предложены способы их преодоления для снижения энтропии, повышения энергоэффективности и обеспечения ее развития.

Ключевые слова: энтропия; энергоэффективность; организация; барьер.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Бондар А. В. Моніторинг динаміки енергоентропії проектно-орієнтованої організації. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.006>.

Bondar, A. (2020), "Monitoring the dynamics of a project-oriented organization energy entropy", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.006>.

S. HAIIEVSKIY, O. SHAPOVALOV, I. KULAKOV, O. TIMOCHKO, V. PAVLENKO

MATHEMATICAL MODELS FOR CALCULATING THE RESIDUAL LIFE OF THE RECOVERABLE COMPONENTS OF THE AIRCRAFT ELECTRONIC SYSTEM

The **subject** matter of the article are the processes of functioning of the radio electronic system of a modern aircraft, its components, functional units and functional systems as an object for determining and calculating indicators of residual life. The **goal** is the analysis and improvement of the existing mathematical apparatus used to calculate the indicators of the residual resource of the aircraft radio-electronic system restored components. The **tasks**: To develop and generalize mathematical models for calculating the indicators of the residual life of the restored components of the aircraft radio-electronic system. Analyzed **models** are: models for the indicators of the residual life of the restored object of the aircraft radio-electronic system, the failure flow model with a finite number of minimal updates, reliability models of the "load-strength" type. The following **results** were obtained: Mathematical models have been developed for calculating the indicators of residual life and residual operating time of a recoverable product with one resource element with a complete restoration of component elements of the aircraft radio-electronic system. **Conclusions**. Mathematical models have been developed for calculating the indicators of the residual life and the residual operating time of a restored product with one resource element with a complete restoration of component elements. A generalization of these models for a product restored by several resource elements during their complete restoration is obtained. Calculated ratios are obtained for the indicators of the residual resource and the residual operating time of functional devices and functional systems with a finite number of minimal updates of resource elements. Relationships are obtained for determining the limiting number of minimal restorations of functional devices and functional systems of the aircraft radio-electronic system.

Keywords: residual life; residual operating time; aircraft; mathematical model; indicator; electronic system; technical condition.

Introduction

The scheme of calculation of indicators of residual resource of radio electronic system (RES) of the plane offered in [11, 12] provides division of all accessories (AS), functional devices (FD) and functional systems (FS) of RES of the plane into non-renewable or renewable with various depth of recovery, with continuous or periodic monitoring of the technical condition, with a finite or unlimited number of failures during the specified service life, and the calculation of residual life (RL) for selected types of AS, then for FD and FS.

Literature analysis

In the scientific and technical literature, the relevant scientific and methodological support for solving the above problems is not fully developed, there are works [4, 5, 7], which consider mathematical models of complete restorations, minimal and incomplete restorations. However, their application to solve the problems of extending the resources of the aircraft fleet is almost absent.

The following are mathematical models for calculating the indicators of the residual life of non-renewable AS, renewable FD of aircraft RES for complete, incomplete and minimal restorations with a finite number of restorations and continuous monitoring of the technical condition.

In the considered mathematical models the resource is understood as "technical resource", as total operating time of a product from the beginning of its operation or its restoration after repair before transition to a limit state. The residual resource in accordance with [1] means the total operating time of the product from the moment of control of its technical condition to the transition to the limit state.

The aim of the article is to develop mathematical models for calculating the residual life of renewable components of the electronic system of the aircraft.

Main part**Residual resource and residual operating time of renewable products and mathematical models for calculation of their indicators at full restoration of accessories.**

Under the residual life of the renewable product (FD, unit, FS or RES of the aircraft) we will understand the total operating time of the product from the moment of control of its technical condition to the resource failure. This assumes possible non-resource failures of the product, i.e. failures not related to the transition of the recoverable product to the limit state. Non-resource failures or simply product failures can be caused by the transition to non-operational state of renewable or non-renewable removable elements. Resource failure of the product is associated with the transition to the limit state of one or more resource elements. Under the resource elements of the product are those products, the expiration of which leads to the end of the product life (FD, FS or RES of the aircraft). Non-resource elements are those elements whose resource ends not earlier than the product resource, i.e. simultaneously with reaching the product limit, or after reaching the product limit, provided that this element can be used in another product of the same or similar purpose. The number of resource elements in the product may be different, and the restoration of the resource element at a particular seat may be complete, incomplete or minimal. In addition, the number of product element replacements at a particular seat cannot be unlimited. Depending on the type of elements, their load-bearing structures, other factors, it is possible to determine the maximum number of their repairs and (or) restorations. Thus, for electronic assemblies made on

printed circuit boards, the maximum number of resolders at a certain circuit position is the final value. In this case, the impossibility of restoring or repairing the FD occurs when the number of performed restorations (repairs) associated with the replacement of elements in a particular circuit position is equal to the limit l_i and the next failure of the element. The maximum allowable number of repairs (repairs) of the FD RES aircraft may be determined by economic constraints (l_{ec}), safety requirements and (or) environmental performance (l_{sr}), the actual reliability of the product (l_{ra}), and other reasons. In the case of simultaneous action of several factors, the maximum allowable number of restorations of a certain circuit position can be found as the minimum of these values, i.e.

$$l = \min\{l_t, l_{ec}, l_{sr}, l_{ra}\}. \quad (1)$$

The maximum allowable number of restores l of a certain circuit position corresponds to the maximum allowable number p of its failures

$$p = l + 1.$$

We now formalize the RL concept for a renewable product, which includes one resource element or one circuit position, for which the maximum number of failures is set. Let ξ_j is the operating time of the selected circuit position of the product between failures (fig. 1);

$X_i = \sum_{j=1}^i \xi_j$ is the total operating time of the circuit position to the i -th failure. Then $X_{l+1} = X_p$ is the total operating time of the selected circuit position to the resource failure of the product.

The residual life of the product after the moment τ of control of its technical condition (fig. 1) is determined by the ratio:

$$\xi_{\tau\Sigma} = \begin{cases} X_{l+1} - \tau, & \tau < X_{l+1}, \\ 0, & \text{if } X_{l+1} \leq \tau. \end{cases} \quad (2)$$

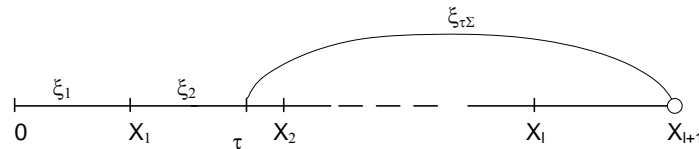


Fig. 1. Determination of the residual life of the renewable product

Note that the restoration of the selected circuit position, which determines the resource of the product, can be complete, incomplete or minimal. In the case of complete recovery, ξ_i are independent equally distributed random variables, and the recovery process of this schematic position is a general recovery process with a finite number of failures, in the case of incomplete recovery, ξ_j random variables with different parameters or distribution laws, and the corresponding recovery process is complex with a finite failure rate. In the case of minimal recovery of the selected circuit position, the failure and recovery flow is described by the failure flow model with a finite number of minimum restorations. These models are considered in [11, 12].

Let us now consider the basic relations for RL indicators at full restoration of the circuit position, which determines the LS of the recoverable product.

Since the operating time of the selected circuit position ξ_i can be considered as independent equally distributed random variables and the average recovery time of the circuit position FD or FS of the aircraft RES is very small compared to the average operating time of the circuit position on failure, such a flow of failures and recovery of circuit position can be considered as full instant restorations. Denote $F_i(t) = P(X_i < t)$ where the distribution function is determined recursively

$$F_i(t) = \int_0^t F_{i-1}(t-x) dF(x), F(t) = F_1(t); f(t) = F'(t), i = l, l+1. \quad (3)$$

Let's find the RL distribution function of the product. Since the $(l+1)$ -th failure of the selected circuit position is a resource failure of the product, the distribution function $F_{(l+1)}(t)$ is a function of the distribution of the product resource. Then we get

$$F_{\tau\Sigma}(t) = P(\xi_{\tau\Sigma} < t) = \frac{F_p(t+\tau) - F_p(\tau)}{l - F_p(\tau)}. \quad (4)$$

Now let's find the probability of the event $\xi_{\tau\Sigma} > t$, i.e. the probability that the value of RL will be not less than the specified operating time t or otherwise the probability of operation of the product without resource failures during operation t , starting from the moment τ , provided the product operates on the segment $[0, \tau]$ without resource failures. From (4) we have

$$P_{\tau\Sigma}(t) = P(\xi_{\tau\Sigma} > t) = 1 - F_{\tau\Sigma}(t) \text{ or } P_{\tau\Sigma}(t) = \frac{\bar{F}_p(t+\tau)}{\bar{F}_p(\tau)}.$$

RL indicators such as average RL $R(\tau)$ and gamma-percentage residual life $R_\gamma(\tau)$ of the recoverable product can be found by substituting in them instead of the probability of failure-free operation $P(t)$ the probability of operation of the recoverable product without resource failures during operation t , i.e. $P_{l+1}(t) = \bar{F}_{l+1}(t)$ where the distribution function $F_{l+1}(t)$ is found by expression (3) or is a distribution function operating time before

failure of the resource element of the product. Thus, if the distribution function $F(t)$ of the operating time between the failures of the circuit position, which determines the resource failure of the product, is a normally distributed random variable with mathematical expectation T_0 and standard deviation σ , the distribution function $F_{l+1}(t)$ is also a normally distributed random variable with mathematical expectation T_0 and standard deviation $\sigma\sqrt{p}$.

Let's find the probability of failure-free operation of the renewable AS during operation time y at the end of the assigned resource τ (fig. 2), i.e. let's find the

probability of the event $\xi_{\tau i} > y$, where the value $\xi_{\tau i}$ is determined by the ratio:

$$\xi_{\tau i} = \begin{cases} X_i - \tau, & \text{if } (X_{i-1} < \tau) \wedge (X_{i-1} > \tau), \quad i = \overline{1, p}; \\ 0, & \text{if } X_p \leq \tau. \end{cases} \quad (5)$$

From (5) and fig. 2 it can be seen that the value $\xi_{\tau i}$ is the operating time of the circuit position of the restored product from the moment τ to the next i -th failure of the circuit position, which we will call the residual operating time (RO) of the circuit position of the restored product. Note that for a non-renewable product and a product that cannot be repaired, the concepts of "residual operating time" and "residual life" is equivalent.

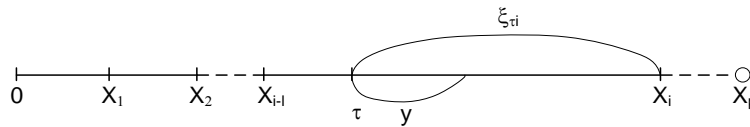


Fig. 2. Determination of the residual operating time of the circuit position of the restored product

The event $\xi_{\tau i}$ can happen in $l+1$ ways:

1) by the time $\tau+y$ there was no failure of the circuit position, the probability of this event is equal to $\overline{F}(\tau+y)$;

2) on the interval $(u, u+du)$, there was an i -th failure of the circuit position, $i = \overline{1, l}$ (the probability of this event is equal to $f_i(u)du$) and after this moment $\tau+y$, there were no failures until the moment $\tau+y$ (the probability of this event is equal to $\overline{F}(\tau+y-u)$). Integrating the product $\overline{F}(\tau+y-u) \times f_i(u)du$ over all $u(0 \leq u \leq \tau)$, we obtain the probability of an event $\xi_{\tau i+1} > y$, provided that there were i failures on the interval $(0, \tau)$.

Summarizing the found probabilities at i for all $i = \overline{1, l}$ we obtain the desired probability

$$P(\xi_{\tau H} > y) = \overline{F}(\tau+y) + \sum_{i=1}^l \int_0^{\tau} \overline{F}(\tau+y-u) f_i(u) du. \quad (6)$$

Formula (6) shows that the probability $P(\xi_{\tau H} > y)$ is a non-stationary coefficient of readiness of the recoverable product with a limited number of complete recoveries. Therefore, in the future we will denote this probability $K_2(\tau, y)$, assuming that the value y is the total failure-free operation of the circuit position in the interval $(\tau, \tau+y)$, where τ is the value of the assigned resource.

We now find the function of the distribution of the residual operating time of the selected circuit position of the product to failure. Since $P(\xi_{\tau H} < y) = 1 - P(\xi_{\tau H} > y)$, from formula (6) follows

$$P(\xi_{\tau H} < y) = F(\tau+y) - \sum_{i=1}^l \int_0^{\tau} \overline{F}(\tau+y-u) f_i(u) du. \quad (7)$$

Other indicators of the reliability of the selected circuit position in the RO interval, used to solve problems of continuation of resources, is the average RO and gamma-percent RO $T_\gamma(\tau)$. For the selected circuit position, we will find these indicators by the ratio

$$T(\tau) = \int_0^{\infty} P(\xi_{\tau H} > y) dy, \quad (8)$$

$$P(\xi_{\tau H} > T_\gamma(\tau)) = 0,01\gamma \quad (9)$$

Let's consider the asymptotic behavior of the RO of the selected circuit position, which determines the resource of the recoverable product, i.e. we investigate the behavior of a random variable $\xi_{\tau H}$ at $\tau \rightarrow \infty$ and $l \rightarrow \infty$. Since $l \rightarrow \infty$ then

$$P(\xi_{\tau H} > y) = \overline{F}(\tau+y) + \int_0^{\tau} \overline{F}(\tau+y-u) \omega(u) du \quad \text{and}$$

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} P(\xi_{\tau H} > y) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_0^{\tau} \overline{F}(\tau+y-u) \omega(u) du.$$

By the Smith's theorem [3] we find that this limit is equal to

$$P(\xi_{\tau H} > y) = \frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \overline{F}(\tau+y) d\tau = \frac{1}{T_0} \int_y^{\infty} \overline{F}(z) dz. \quad (10)$$

As a result, we obtain the distribution of stationary residual operating time of the selected circuit position of the restored product. In particular, for $\tau \rightarrow \infty$ and $l \rightarrow \infty$ the value of the average RO $T(\infty)$ is found by the formula

$$T(\infty) = \int_0^{\infty} P(\xi_{\tau H} > y) dy = \frac{T_0}{2} + \frac{\sigma^2}{2T_0}. \quad (11)$$

Note that expressions (10) and (11), and not expressions (6), (8), (9) are used in engineering practice. However, in the tasks of continuing the RES resources of the aircraft, we are more interested in the non-stationary interval of operation of AS, FD, FS RES of aircraft and its components, i.e. $t \leq (0,1-0,3)T_0$, where T_0 is the average failure time of the device, unit, AS or AE. Therefore, the calculations of RL and RO products must be performed for the non-stationary interval of their operation according to the formulas for non-stationary RL indicators and other reliability indicators in the RO interval.

Consider how to calculate the indicators of the recovery of a renewable product with one circuit position, which determines the resource of the product.

Let's denote Y_j as the operating time of the renewable product to the j -th failure, $f_{yj}(t)$ is the density of the distribution of the random variable Y_j , X_p is the operating time of the selected circuit position to the resource failure. Then the RO of the product to the next failure (fig. 3) can be determined by the ratio:

$$\xi_{\tau j}^{prod} = \begin{cases} Y_j - \tau, & \text{if } (Y_{j-1} - \tau) \wedge (Y_j > \tau) \wedge (Y_j \leq X_p), j = \overline{1, l_{prod}}; \\ 0, & \text{in other cases.} \end{cases}$$

Residual operating time of the recoverable product before failure differs from the definition (2) by the presence of an additional condition: the event $\{Y_j < X_p\}$ that the accidental operating time of the product before the next j -th failure should not exceed the total operating time of the product (circuit position determining the product resource) to resource failure. Therefore, the above

indicators of the residual resource (6), (7), (9) of the type "probability", in terms of the situation under consideration, are conditional. To calculate the unconditional indicators of the recovery of the recoverable product to the next j -th failure, we find the probability of the event (conditions) $P\{Y_j < X_p\}$. We have

$$P\{Y_j < X_p\} = \int_0^{\infty} \overline{F_p}(t) f_{yj}(t) dt,$$

where $f_{yj}(t)$ is the density of the distribution of the operating time of the product to the j -th failure; $F_p(t)$ is the function of the distribution of the operating time of the circuit position, which determines the resource of the product, to the resource failure.

To calculate this probability, we can use mathematical models of reliability of the type "load - strength" for different functions of load distribution and strength [9]. Then the probability that the RO of the recoverable product will be not less than the set y , we find by the ratio

$$P(\xi_{\tau}^{sup} > y) = \overline{F}(\tau + y) + \sum_{i=1}^l P\{Y_i < X_p\} \int_0^{\tau} \overline{F}(\tau + y - u) f_i(u) du. \quad (12)$$

Other indicators of RO, for example average RO, gamma-percent RO of the restored product is calculated by a ratio (8), (9) by substitution in them of the unconditional probability $P\{Y_j < X_p\}$ $\xi_{\tau} > y$ found by the formula (12).

We obtain calculation formulas for determining the indicators of RO for the case when the operating time between failures of the selected circuit position, which determines the resource failure of the product, has a truncated normal distribution with mathematical expectation T_0 and standard deviation σ , i.e.

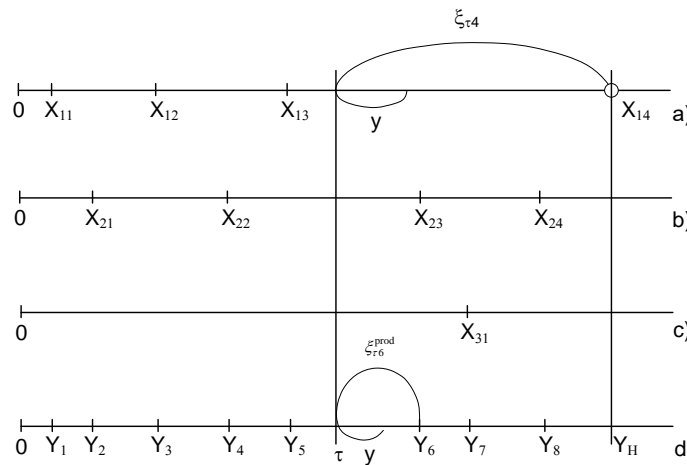


Fig. 3. Determination of residual operating time of the recoverable product: a) the failure flow of the 1st circuit position, which determines the resource of the product; b), c) failure flows of the 2nd and 3rd circuit positions, which do not determine the resource of the product; d) product failure flow; X_{ij} - development of i -th schematic position to j -th failure; $\xi_{\tau 6}^{prod}$ - residual operating time to the next (sixth) failure; $\xi_{\tau 4}$ - residual operating time of the circuit position, which determines the resource of the product, to the resource failure

$$F(x) = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}} dt; f(x) = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}\right], a = \left[\Phi\left(\frac{T_0}{\sigma}\right)\right]^{-1} \quad \text{To calculate the probability}$$

$$P(\xi_\tau > y) \quad \text{we use relations (6). We have: } \bar{F}(\tau+y) = a\Phi\left(\frac{T_0-\tau-y}{y}\right); f_i(x) = a_i(\sigma_i\sqrt{2\pi}) \exp\left[-\frac{(x-T_0)}{2\sigma_i^2}\right].$$

$$T_i = iT_0, \sigma_i = \sigma\sqrt{i}, a_i = a^i.$$

Then

$$P(\xi_\tau > y) = a\Phi\left(\frac{T_0-\tau-y}{\sigma}\right) + \sum_{i=1}^l a^{i+1} \int_0^\tau \Phi\left(\frac{T_0-\tau-y+u}{\sigma}\right) f\left(\frac{u-T_i}{\sigma_i}\right) dx. \quad (13)$$

To calculate the integral in formula (12) we use the results:

$$\int \Phi(ax+b)\varphi(x)dx = T\left(x, \frac{a}{x\sqrt{1+b^2}}\right) + T\left(\frac{a}{\sqrt{1+b^2}}, \frac{x\sqrt{1+b^2}}{a}\right) - T\left(x, \frac{a+bx}{x}\right) - T\left(\frac{a}{\sqrt{1+b^2}}, \frac{ab+x(1+b^2)}{a}\right) + F(x)F\left(\frac{a}{\sqrt{1+b^2}}\right), \quad (14)$$

$$\text{where } T(h,a) = \int_0^a \frac{\varphi(x)\varphi(hx)}{1+x^2} dx, \quad 0 < a < \infty, \quad -\infty < h < \infty, \quad \varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}.$$

We reduce the calculation of the integral in expression (13) to the basic Owen integrals. From expressions (13) and

$$(14) \quad \text{we have} \quad x = \frac{u-T_i}{\sigma_i}, \quad a+bx = \frac{T_0-\tau-y-u}{\sigma} \quad \text{or} \quad a = \frac{T_0-T_u-\tau-y}{\sigma}, \quad b = \frac{\sigma}{\sigma_i},$$

$$\int_0^\tau \Phi\left(\frac{T_0-\tau-y+u}{\sigma}\right) \cdot \varphi\left(\frac{u-T_i}{\sigma_i}\right) du = \int_{-T_i/\sigma_i}^{(\tau-T_i)/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx.$$

Let us now use the properties of a definite integral and the property of an Owen integral: $T(h, -a) = -T(h, a)$.

Let's consider two cases: $\tau < T_{0i}$ and $\tau > T_{0i}$. Get for $\tau < T_{0i}$;

$$\int_{-T_i/\sigma_i}^{(\tau-T_i)/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx = \int_0^{T_i/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx - \int_0^{(T_i-\tau)/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx, \quad (16)$$

and for $\tau > T_{0i}$;

$$\int_{-T_i/\sigma_i}^{(\tau-T_i)/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx = \int_0^{T_i/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx + \int_0^{(T_i-\tau)/\sigma_i} \Phi(ax+b)\varphi(x) dx. \quad (17)$$

The results of probability calculations $P(\xi_\tau > y)$ for the ratio (13) (17) show that the nature of the obtained dependences of the probability $P(\xi_\tau > y)$ on the value of the residual operating time at different values of the assigned resource τ corresponds to the expected, which indicates the correctness of the obtained ratios.

Now consider how to calculate other indicators of reliability of the restored FD (FS) of aircraft RES in the range of RO.

In accordance with the recommendations of the method [11] we distinguish a set of AE, the technical condition of which is not controlled, and a set of controlled on the considered interval of operation of AE.

In this case, the controlled elements, in turn, are divided into continuously controlled and periodically controlled, renewable with varying degrees of resource recovery: FR, IR and MR. Next is a block diagram of the

reliability of the FD (FS) of the aircraft RES. According to the known structural scheme of reliability $S(x)$ of the FC of the aircraft RES, the reliability indicators are calculated on the interval of residual operating time, by substituting into the function of the previously calculated reliability indicators of the FD (FS) elements of the aircraft RES:

$$R_z(\tau, y) = S(K_{z1}(\tau, y), K_{z2}(\tau, y), \dots, P_j(\tau + y), \dots), \quad (18)$$

where $K_{zi}(\tau, y)$ is a non-stationary coefficient of readiness of the i -th renewable FC element FU; $P_j(\tau + y)$ is the probability of failure-free operation $(\tau + y)$ for the operation of uncontrolled and non-renewable j -th element in the considered time interval.

If necessary, calculate other indicators, for example, the average residual operating time FD (FS) in relation (8), gamma-percentage residual operating time FD (FS) according to formula (9).

Note that the developed approach is focused on the fact that during the next current repair of FD (FS) of the aircraft RES restores the resource (in full at FR, partially - at IR and at zero at MR) AE FD (FS) only in the variable (or renewable) AE. The resource of other AE FD (FS) is not restored. The difference between other approaches to calculating the reliability of RES is that the recovery of PC FD (FS) by replacing failed AE involves complete recovery of the resource of all FD (FS), which is unacceptable in the case of calculating the indicators of OR and ON when solving resource renewal tasks.

To perform calculations on the ratio (18) it is necessary to pre-calculate the coefficients of operational readiness of the elements of FD (FS), the resource of which is restored in full, incomplete or minimal. We use for this purpose the calculated relations for the failure flow parameter obtained in [11] for flows with FR, IR and MR with a limited number of recoveries. Thus, for the case of FR, the probability that the residual operating time before the failure of the element of a certain circuit position, FD, FS will be not less than a given value, we find the formula

$$K_2^{(1)}(\tau, y) = P(\tau + y) + \int_0^{\tau} P(\tau + y - u) \omega_1(u) du, \quad (19)$$

or substituting in (19) we obtain

$$K_2^{(1)}(\tau, y) = P(\tau + y) + \sum_{k=1}^{l_1} \int_0^{\tau} P(\tau + y - u) f_k(u) du, \quad (20)$$

where l_1 is a the maximum possible number of complete AE recoveries for the considered total operating time $(\tau + y)$.

We now write the corresponding formula for the case of the MR element. In [11] the basic relations for processes with instantaneous MR were considered. Then, conducting reasoning similar to the above in deriving formula (6), we obtain

$$K_2^{(2)}(\tau, y) = P(\tau + y) + \sum_{k=1}^{l_2} \int_0^{\tau} P(u, \tau + y - u) f_k^{(2)}(u) du, \quad (21)$$

where $P(u, \tau + y - u)$ is the probability of failure of the minimally recoverable element FD (FS) in the interval $(u, \tau + y - u)$; $f_k^{(2)}$ is the distribution density of the operating time of the element to the k -th MR; l_2 is the maximum possible number of MR element FD (FS) for the considered operating time.

Substituting in (21) the appropriate formulas for the process with instant recovery, we obtain the following relationship

$$K_2^{(2)}(\tau, y) = e^{-\Lambda(\tau+y)} + \sum_{k=1}^{l_2} \int_0^{\tau} \frac{[\Lambda(u)]^k}{k!} e^{-\Lambda(u)} e^{-\Lambda(u, \tau+y-u)} d\Lambda(u),$$

$$\text{where } \Lambda(u) = \int_0^u \lambda(x) dx.$$

After performing the transformation, we obtain the final expression for the probability that the residual operating time of the minimum renewable element of a certain circuit position FD (FS) RES of the aircraft will be not less than the specified value y .

$$K_2^{(2)}(\tau, y) = e^{-\Lambda(\tau+y)} \sum_{k=0}^{l_2} \frac{\Lambda(u)^k}{k!} = P(\tau + y) \sum_{k=0}^{l_2} \frac{\Lambda(\tau)^k}{k!}. \quad (22)$$

We now obtain the ratio for the probability of failure of the element, the resource of which is restored in case of failure in an incomplete volume, for an extended period of operation $(\tau, \tau + y)$. In [11] it is shown that the model of this process is a complex recovery process. Carrying out arguments similar to the above ((6), (14)), we obtain

$$K_2^{(3)}(\tau, y) = P_1(\tau + y) + \sum_{k=1}^{l_3} \int_0^{\tau} P_{k+1}(\tau + y - u) f_k^{(3)}(u) du, \quad (23)$$

where $P_{k+1}(x)$ is the probability of failure of the element during operation x after the k -th incomplete recovery; $f_k^{(3)}(u)$ – operating time distribution density to the k -th IR.

These calculated ratios allow to calculate the residual life and other indicators of the reliability of the renewable FD (FS) for an extended period of operation for the case when there is one circuit position that determines the resource FD (FS).

Consider now the case where the number of circuit positions that determine the life of the renewable FD or FS RES aircraft, more than one. Further we will not make distinctions between a resource element of a product and the schematic position defining a product resource.

Let M is the set of resource elements FD (FS). Let's divide this set into disparate subsets M_s , $s = 1, n$, based on the same number of maximum allowable number of replacements l_s and the same characteristics of failure (the second condition is not required). For the operation of "splitting" the set of resource elements M , the relations are performed

$$M = M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_n, \\ M = M_1 \cap M_2 \cap \dots \cap M_n = \emptyset.$$

Let R_{ys} is the lower estimate of the value of the gamma-percent resource of the elements of the subset M_s . Then the lower estimate of the gamma percentage resource FD can be found by the formula

$$R_\gamma = \min_s \{R_{ys}\}. \quad (24)$$

A similar relationship can be written for the lower estimate of the gamma percentage residual FD resource

$$R_\gamma(\tau) = \min_s \{R_{\gamma_s}(\tau)\}. \quad (25)$$

It is assumed that the resource failure of the element limits the reliability of any subset M_s leads to the resource failure of the FD (FS). Then the value R_γ (or $R_\gamma(\tau)$) is determined by the time during which there will be no resource failure of the elements of the subset M_s , the moment of which, in turn, is determined by the earliest moment of occurrence the $(l_s + 1)$ -th element failure for all elements that make up the subset M_s .

Let the subset M_s consist of $\|M_s\| = m_s$ elements that limit the reliability of the FD (FS) RES of the aircraft. We will consider the distribution functions as a set m_s of independent random variables $\{T_1, T_2, \dots, T_{m_s}\}$ that represent the development of circuit positions of a subset M_s of elements to resource failures. Let's find the distribution function $G_s(t)$ and the distribution density $g_s(t)$ of a random variable $T_{(s)}$:

$$T_{(s)} = \min(T_1, T_2, \dots, T_{m_s}), \quad (26)$$

which is a random run of a subset of FD (FS) elements to a resource failure. We have:

$$\begin{aligned} G_s(t) &= P(T_{(s)} < t) = 1 - P(T_{(s)} > t) = \\ &= 1 - \prod_{i=1}^{m_s} P(T_i > t) = 1 - \prod_{i=1}^{m_s} (1 - F_i(t)), \end{aligned} \quad (27)$$

$$g_s(t) = \frac{dG_s(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{m_s} f_j(t) \prod_{i=1}^{m_s} [1 - F_i(t)] / [1 - F_j(t)].$$

Random value T_i in relation (26) is a random operation of the i -th circuit position

$$T_i = \sum_{k=1}^{l_s+1} t_{ki},$$

where t_{ki} is the operating time of the element at a certain i -th circuit position to k -th replacement.

In the case of complete restorations, random variables t_{ki} can be considered as independent equally distributed random variables, and the random variable distribution function T_i can be found as a convolution of the $(l_s + 1)$ -th order of random variables. If all elements of the subset M_s have the same functions of distribution $F_s(t)$ of a random variable T_i , then it follows from expression (27)

$$\begin{aligned} G_s(t) &= 1 - (1 - F_s(t))^{m_s} = 1 - \overline{F_s}(t)^{m_s}, \\ g_s(t) &= m_s f_s(t) \overline{F_s}(t)^{m_s-1}. \end{aligned} \quad (28)$$

The relation for the residual resource distribution function of the subset M_s of FD elements is obtained by conducting similar considerations for the residual resource distribution function $F_{\Sigma}^{(i)}(t)$ of the element at the i -th circuit position

$$F_{\Sigma}^{(1)}(t) = \frac{F_p(t+\tau) - F_p(\tau)}{1 - F_p(\tau)}$$

and the probability that during the residual operating time t there will be no failures of the i -th circuit position element

$$P_{\Sigma}^{(i)}(t) = 1 - F_{\Sigma}^{(i)}(t).$$

Then the distribution function of the residual resource of the subset of elements M_s is found by the relation (28):

$$G_{sr}(t) = 1 - (P_{\Sigma}(t))^{m_s}. \quad (29)$$

We now obtain the calculated ratios for the quantities R_{γ_s} and $R_{\gamma_s}(\tau)$.

From relation (28) and the definition of the gamma-percent resource follows $P(T_{(s)} > R_{\gamma_s}) = 1 - G_s(R_{\gamma_s}) = \gamma$ or

$$\overline{F_s}(R_{\gamma_s}) = \gamma^{1/m_s}. \quad (30)$$

Solving equation (30) according R_{γ_s} to the given value γ and various parameters m_s of all subsets M_s of FD (FS) elements, we obtain the corresponding values of gamma-percent resources. Next at the expression (24) we find the lower estimate of the gamma-percent resource FD (FS) of the aircraft RES.

The calculated ratios for the FD gamma-percent residual resource are obtained by conducting similar considerations for the distribution function of the OP $F_{\Sigma}^{(i)}(t)$ of the i -th circuit position. From expression (29) it follows that

$$P_{\Sigma}(R_{\gamma_s}(\tau)) = \gamma^{1/m_s}, \quad (31)$$

or

$$P_{\Sigma}(R_{\gamma_s}(\tau) + \tau) = P_{\Sigma}(\tau) \gamma^{1/m_s}, \quad (32)$$

where $P_{\Sigma}(t) = 1 - F_{ps}(t)$.

Solving equation (32) according to R_{γ_s} for different subsets M_s of FD (FS) of the aircraft RES, we obtain the corresponding values $R_{\gamma_s}(\tau)$. The lower estimate of the gamma-percentage residual resource FD can be found from the expression (25).

We now obtain the calculated ratios for the gamma-percentage residual resource of subsets M_s of FD elements on the example of different functions of the distribution of operating time to failures of its elements.

A. The operating time before the failure of the elements of the subset M_s has a normal distribution with a mathematical expectation μ_s and standard deviation σ_s , and $\mu_s > 3\sigma_s$. Then the function of the distribution of the operating time of these elements to the resource failure has the form

$$F_s(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu_s(l_s + 1)}{\sigma_s \sqrt{l_s + 1}}\right),$$

$$\text{where } \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{y^2}{2}} dy.$$

Equation (30) for this distribution function is as follows:

$$\Phi\left(\frac{\mu_s(l_s + 1) - R_{\gamma_s}}{\sigma_s \sqrt{l_s + 1}}\right) = \gamma^{m_s}. \quad (33)$$

Let's mark $\alpha_s = \gamma^{m_s}$. Solving equation (33) as for the value R_{γ_s} we obtain

$$R_{\gamma_s} = \mu_s(l_s + 1) - U_{\alpha_s} \sigma_s \sqrt{l_s + 1}, \quad (34)$$

where U_{α_s} is an α_s -quantile of normal distribution.

Equation (32) for finding the gamma-percentage residual resource has the form:

$$\Phi\left(\frac{\mu_s(l_s + 1) - R_{\gamma_s} - \tau}{\sigma_s \sqrt{l_s + 1}}\right) = \gamma^{m_s} \Phi\left(\frac{\mu_s(l_s + 1) - \tau}{\sigma_s \sqrt{l_s + 1}}\right). \quad (35)$$

$$\text{Let's mark } \alpha_s(\tau) = \gamma^{m_s} \Phi\left(\frac{\mu_s(l_s + 1) - \tau}{\sigma_s \sqrt{l_s + 1}}\right).$$

The solution of equation (35) has the form

$$R_{\gamma_s}(\tau) = \mu_s(l_s + 1) - \tau - U_{\alpha_s(\tau)} \sigma_s \sqrt{l_s + 1}. \quad (36)$$

B. The operating time before failure of the elements of the subset M_s is distributed exponentially with the parameter λ_s . Consideration of such distribution for an estimation of indicators of a residual resource represents more theoretical interest, the results of calculations

received thus can be used for comparison with results of calculations on VFI-distributions.

The function $\overline{F}_s(t)$ for subset M_s elements has the form

$$\overline{F}_s(t) = \sum_{k=0}^{l_s} \frac{(\lambda_s t)^k}{k!} \exp(-\lambda_s t). \quad (37)$$

Substituting (37) into (30) we obtain

$$\sum_{k=0}^{l_s} \frac{(\lambda_s R_{\gamma_s})^k}{k!} e^{-\lambda_s R_{\gamma_s}} = \gamma^{m_s}. \quad (38)$$

To solve equation (38) we use the Poisson distribution $\Theta_d = \sum_{k=d}^{\infty} \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha}$, the tables we have. To do this, multiply both parts of equation (38) by (-1) and add 1. As a result, we obtain

$$\sum_{k=d}^{\infty} \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha} = 1 - \gamma^{m_s}, \quad (39)$$

where

$$\alpha = \lambda_s R_{\gamma_s}. \quad (40)$$

Then, for known quantities $\Theta_{l_s+1} = 1 - \gamma^{m_s}$ and $l_s + 1$ according to Poisson tables, we find the corresponding parameter α . The desired value R_{γ_s} is found from the expression (40) $R_{\gamma_s} = \frac{\alpha}{\lambda_s}$.

Equation (32) for finding the gamma-percentage of OR has the form

$$\sum_{k=0}^{l_s} \frac{\lambda_s^k [R_{\gamma_s}(\tau) + \tau]^k}{k!} \exp(-\lambda_s [R_{\gamma_s}(\tau) + \tau]) = \quad (41)$$

$$= \gamma^{m_s} \sum_{k=0}^{l_s} \frac{(\lambda_s \tau)^k}{k!} \exp(-\lambda_s \tau)$$

$$\text{Let's mark } \beta_s(\tau) = \gamma^{m_s} \sum_{k=0}^{l_s} \frac{(\lambda_s \tau)^k}{k!} \exp(-\lambda_s \tau).$$

Next, performing transformations similar to the above, we obtain the equation

$$\sum_{k=l_s+1}^{\infty} \frac{\alpha}{k!} e^{-\alpha} = 1 - \beta_s(\tau), \quad (42)$$

where

$$\alpha = \lambda_s [R_{\gamma_s}(\tau) + \tau]. \quad (43)$$

Then for the values $1 - \beta_s(\tau)$ and $l_s + 1$ according to Poisson tables we find the parameter α . The desired value of gamma-percentage RL is found as $R_{\gamma_s} = \frac{\alpha}{\lambda_s} - \tau$.

Other reliability indicators of FD (FS) of the aircraft RES in the interval of residual operating time are found according to the block diagram given in [12].

Conclusions

1. Mathematical models for calculation of indicators of residual resource and residual operating time of the

restored product with one resource element at full restoration of accessories are developed. The generalization of these models for the product which is restored by several resource elements at their full restoration is received.

2. The calculated ratios for the indicators of the residual resource and the residual operating time of functional devices and functional systems with a finite number of minimal renewals of resource elements are obtained. A relation is obtained to determine the limit number of minimum restorations of functional devices and functional systems of the aircraft electronic system.

References

1. Bobalo, Yu. Ya., Unavailable, L. A., Sorrel, M.D. (2013), *Quality, reliability of electronic equipment [Yakist', nadiynist' radioelektronnoyi aparatury]*: monograph, for order. L.A. Inaccessible person, Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House, 196 p.
2. Bobalo, Yu. Ya., Nedostup, L. A., Lazko, O. B. (2007), "Analysis of methods for assessing the reliability of systems of compatible components of electronic devices" ["Analiz metodiv otsinyuvannya bezvidmovnosti system sumisno pratsuyuchykh komponentiv elektronnykh prystroyiv"], *Radio electronic and computer systems*, No. 7 (26), P. 212–214.
3. Barlow, R., Proshan, F. (1985), *Statistical theory of reliability and testing for failure-free operation [Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniye na bezotkaznost]* : trans. from English I. A. Ushakova, Moscow : Nauka.
4. Yurkov, N. K., Kochegarov, I. I., Petryanin, D. L. (2015), "On the problem of modeling the risk of failure of electronic equipment for long-term functioning" ["K probleme modelirovaniya riska otkaza elektronnoy apparatury dlitel'nogo funkcionirovaniya"], *Caspian Journal: Management and High Technologies*, No. 4 (32), P. 220–231.
5. Gudkov, M. V. (2010), "Methods of forecasting the reliability of electronic equipment in the operation of aircraft by condition with control parameters" ["Metodyka prohozuvannya nadiynosti radioelektronnoho obladnannya pry ekspluatatsiyi aviatsiynoi tekhniki za stanom z kontrolem parametrov"], *Weapons systems and military equipment*, No. 4 (24), P. 32–35.
6. Dobrydenko, O. M., Bolohin, A. S., Khil'chenko, M. F., Byelins'ka, R. B. (2011), "Modern methods of forecasting the technical condition of aviation equipment" ["Suchasni metody prohozuvannya tekhnichnoho stanu aviatsiynoi tekhniki"], *Collection of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, Vol. 7 (14), P. 163–167.
7. Chernyavsky, V. M. (2012), "Application of nonparametric methods for assessing the level of reliability of aircraft with low intensity of operation" ["Zastosuvannya neparametrychnykh metodiv dlya otsinky rivnya nadiynosti aviatsiynoi tekhniki z nyz'koyu intensyvnystu ekspluatatsiyi"], *Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force*, No. 3 (32), P. 59–63.
8. *Reliability of equipment. Methods for assessing reliability indicators according to experimental data : DSTU 3004-95 [Nadiynist' tekhniki. Metody otsinky pokaznykiv nadiynosti za eksperymental'nyimi danymi : DSTU 3004-95]*, Kyiv, Derzhspozhivstandart Ukrainy, 1995, 51 p.
9. Kashtanov, V. A., Medvedev, A. I. (2010), *Reliability theory of complex systems [Teoriya nadezhnosti slozhnykh sistem]*, 2nd ed., Rev., Moscow, FIZMATLIT, 608 p.
10. Kozlov, V. A., Ushakov, I. A. (1985), *Handbook for calculating the reliability of radio electronics and automation equipment [Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki]*, Moscow, Soviet radio, 462 p.
11. Haevskiy, S. V., Hmelevskiy, S. I., Boyko, A. V., Myschenko, T. Yu., Timochko, O. O. (2020), "Mathematical models of the failure flow of the aircraft electronic system components", *Advanced Information Systems*, Vol. 4, No. 2, P. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.07>
12. Haievskiy, S., Balakireva, S., Kulakov, I. (2020), "Development of general provisions for calculating residual resource indicators radio electronic aircraft system", *Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal*, Vol. 2 (60), P. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.003>
13. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I. E., Svyrydov, A., Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.), Springer Nature Switzerland AG, Vol. 171, P. 161–183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
14. Kuchuk, G., Nechausov, S., Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, Zilina, P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
15. Dobrydenko, O. M., Bologin, A. S., Khilchenko, M. F., Belinska, R. B. (2011), "Modern methods of forecasting the technical condition of aviation equipment", *Collection of scientific works of the State Research Institute of Aviation*, No. 7 (14), P. 163-167.

Received 27.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гаєвський Сергій Вячеславович – Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, аспірант кафедри льотної експлуатації, аеродинаміки та динаміки польоту, Кропивницький, Україна; email: snegovik2207@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3434-7494>.

Гаєвский Сергей Вячеславович – Кіровоградская летная академия Национального авиационного университета, аспирант кафедры летной эксплуатации, аеродинамики и динамики полета, Кропивницкий, Украина.

Haievskiy Serhii – Kirovograd Flight Academy of The National Aviation University, Postgraduate Student of the Department of Flight Operation, Aerodynamics and Flight Dynamics, Kropyvnytskyi, Ukraine.

Кулаков Ігор Павлович – Командування Сил Логістики Збройних Сил України, головний спеціаліст, Київ, Україна; email: igor.kulakov@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7392-8876>.

Кулаков Игорь Павлович – Командование Сил Логистики Вооруженных Сил Украины, главный специалист, Киев, Украина.

Kulakov Igor – Logistic Command of Armed Forces of Ukraine, Senior Specialist, Kyiv, Ukraine.

Шаповалов Олександр Васильович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, Харків, Україна; email: kprakokot@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9744-9431>.

Шаповалов Александр Васильевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, старший преподаватель кафедры математического и программного обеспечения АСУ, Харьков, Украина.

Shapovalov Oleksandr – PhD (Engineering Sciences), Ivan Kozhedub National Air Force University, Senior Lecturer of the Department of Mathematical and Software ACS, Kharkiv, Ukraine.

Тимочко Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, компанія "Kreditech", старший розробник, Гамбург, Німеччина; email: alexander.timochko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0424-0426>.

Тимочко Александр Александрович – кандидат технических наук, компания "Kreditech", старший разработчик, Гамбург, Германия.

Timochko Oleksander – PhD (Engineering Sciences), Company "Kreditech, Senior Developer, Hamburg, Germany.

Павленко Владислава Максимівна – Харківський національний університет ім. В. М. Каразіна, студентка кафедри прикладної математики, Харків, Україна; email: marnidor@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-0252>.

Павленко Владислава Максимовна – Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, студентка кафедры прикладной математики, Харьков, Украина.

Pavlenko Vladislava – V. N. Karazin Kharkiv National University, Student of the Department of Applied Mathematics, Kharkiv, Ukraine.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА

Предметом вивчення в статті є процеси функціонування радіоелектронної системи сучасного літака, її комплектуючих елементів, функціональних вузлів та функціональних систем як об'єкта визначення та розрахунку показників залишкового ресурсу. **Метою** є аналіз та вдосконалення існуючого математичного апарату, що застосовується для розрахунку показників залишкового ресурсу відновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака. **Завдання:** Розробити та узагальнити математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу відновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака. Аналізованими **моделями** є: моделі для показників залишкового ресурсу відновлюваного об'єкта радіоелектронної системи літака, модель потоку відмов з кінцевим числом мінімальних відновлень, моделі надійності типу "навантаження – міцність". Отримані такі **результати**. Розроблено математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу і залишкового напрацювання відновлюваного виробу з одним ресурсним елементом при повному відновленні комплектуючих елементів радіоелектронної системи літака. **Висновки.** Розроблено математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу і залишкового напрацювання відновлюваного виробу з одним ресурсним елементом при повному відновленні комплектуючих елементів. Отримано узагальнення цих моделей для виробу, який відновлюється декількома ресурсними елементами при їх повному відновленні. Отримано розрахункові співвідношення для показників залишкового ресурсу і залишкового напрацювання функціональних пристроїв і функціональних систем при кінцевому числі мінімальних відновлень ресурсних елементів. Отримано співвідношення для визначення граничного числа мінімальних відновлень функціональних пристроїв і функціональних систем радіоелектронної системи літака.

Ключові слова: залишковий ресурс; залишкове напрацювання; літак; математична модель; показник; радіоелектронна система; технічний стан.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА

Предметом изучения в статье являются процессы функционирования радиоэлектронной системы современного самолета, ее комплектующих элементов, функциональных узлов и функциональных систем как объекта определения и расчета показателей остаточного ресурса. **Целью** является анализ и совершенствование существующего математического аппарата, применяемого для расчета показателей остаточного ресурса восстанавливаемых комплектующих изделий радиоэлектронной системы самолета. **Задачи:** Разработать и обобщить математические модели для расчета показателей остаточного ресурса восстанавливаемых комплектующих изделий радиоэлектронной системы самолета. Анализируемыми **моделями** являются: модели для показателей остаточного ресурса восстанавливаемого объекта радиоэлектронной системы самолета, модель потока отказов с конечным числом минимальных обновлений, модели надежности типа "нагрузка – прочность". Получены следующие **результаты**. Разработаны математические модели для расчета показателей остаточного ресурса и остаточной наработки восстанавливаемого изделия с одним ресурсным элементом при полном восстановлении комплектующих элементов радиоэлектронной системы самолета. **Выводы.** Разработаны математические модели для расчета показателей остаточного ресурса и остаточной наработки восстанавливаемого изделия с одним ресурсным элементом при полном

восстановлении комплектующих элементов. Получено обобщение этих моделей для изделия, восстанавливаемого несколькими ресурсными элементами при их полном восстановлении. Получены расчетные соотношения для показателей остаточного ресурса и остаточной наработки функциональных устройств и функциональных систем при конечном числе минимальных обновлений ресурсных элементов. Получены соотношения для определения предельного числа минимальных восстановлений функциональных устройств и функциональных систем радиоэлектронной системы самолета.

Ключевые слова: остаточный ресурс; остаточная наработка; самолет; математическая модель; показатель; радиоэлектронная система; техническое состояние.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Гаєвський С. В., Кулаков І. П., Шаповалов О. В., Тімочко О. О., Павленко В. М. Математичні моделі для розрахунку показників відновлюваних виробів радіоелектронної системи літака. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 14–24. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.014>.

Haievskiy, S., Kulakov, I., Shapovalov, O., Timochko, O., Pavlenko, V. (2020), "Mathematical models for calculating the residual life of the recoverable components of the aircraft electronic system", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 14–24. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.014>.

UDC 004.75

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.025>

V. DAVYDOV, D. HREBENIUK

DEVELOPMENT OF THE METHODS FOR RESOURCE REALLOCATION IN CLOUD COMPUTING SYSTEMS

The **subject** matter of the article is development of the models and methods of load and resource balancing and reallocation in cloud computing systems based on the infrastructure as a service model. The **goal** of the work is to increase the efficiency of available resources usage in cloud computing systems (such as RAM, disk space, CPU, network) by developing the model for adaptive management of resource reallocation. This will allow new virtual machines to be launched with minimal performance degradation for already running applications. The following **tasks** were solved in the article: development of an complex approach to manage resource reallocation in cloud systems, including decomposition of the cloud computing system into zones (based on the defining features of the resources provided in each zone), initial resource allocation (based on the hierarchy analysis method) and resources reallocation within cloud computing system (based on the developed method); development of a method for computing resources reallocation in cloud computing systems; evaluation of the effectiveness of the developed method. To solve the set tasks, approaches and **methods** of dynamic load balancing were used, as well as methods of theoretical research, which are based on the scientific provisions of the theory of artificial intelligence, static, functional and system analysis. The following **results** were obtained – on the basis of existing load balancing methods in cloud computing systems analysis, the main features of existing resource allocation methods were identified, their advantages and disadvantages were given. On the basis of the conducted analytical study, the necessity of improving the existing methods of resource reallocation has been proved. A method and an algorithm for computing resources reallocation within cloud computing systems have been developed. This make it possible to reduce the values of the coefficient of computing resources uneven usage while minimizing the cost of moving them. The results obtained have been confirmed by experiments carried out using software for creating private infrastructure cloud services and cloud storages. **Conclusions:** the improvement of the reallocation and load balancing method in cloud computing systems has increased the ability of these systems to launch new virtual machines with a minimum decrease in the performance of already running applications.

Keywords: infrastructure as a service; cloud computing; resource reallocation.

Introduction

The development of the information society adds qualitative adjustments to the perception of users about exactly how information services should be provided. Of paramount importance are qualitative indicators – timely satisfaction of business needs, ease of use, speed of standard operations, etc.

In connection with the above, the defining approach in the provision of computing power is the model "Infrastructure as a Service" (IaaS, Infrastructure-as-a-Service) [1-3], which makes it possible to minimize the interaction of the provider with the consumer of computing resources on technical issues, to reduce the number of incidents and the time of their processing, to provide businesses with greater opportunities to adapt their work to their needs, as well as reduce financial and operating costs.

IaaS is provided as an opportunity to use the cloud infrastructure to independently manage processing and storage resources, networks and other fundamental computing resources. For example, a consumer may install and run any software, which may include operating systems, platform and application software [2].

The cloud computing system [3-5] includes a wide range of computing resources: servers, storage systems, network devices. Resources can be of the same type or heterogeneous in performance, instruction set, ratio of the number of processor cores to the amount of RAM, etc. This exacerbates the problem of sub-optimal use of available resources and leads to a significant increase in the cost and complexity of management or the complete lack of ability to use cloud computing systems IaaS to solve various problems on one set of equipment [6, 7].

Thus, the urgency of the problem of optimal resource management in cloud computing systems to increase the efficiency of their use and minimize costs. At the same time both real needs of applications, and indicators of use of available resources taking into account their specificity have to be considered.

Analysis of recent research and publications

Existing approaches to primary allocation and subsequent resource reallocation in cloud computing systems can be divided into the following three types: manual resource assignment, resource scheduling by the cloud computing manager, and resource scheduling in a virtualization environment [5, 8].

The main ideas of IaaS are described in the literature [1, 2], namely:

1. Lack of information on the administrator about the real needs of applications that are inside the instances (most often - virtual machines).

2. The administrator does not have the ability to assign resources to instances manually.

These features of cloud computing systems determine the specifics of resource reallocation in such an environment. Some elements of this issue are common to the problems of virtualization systems, and some have features that are characteristic of cloud computing systems. The process of resource reallocation in such an environment is influenced by the following:

- different classes of equipment and combination of resources;
- uneven load of each of the resources;
- lack of information on the real needs of applications in resources;

- different resource needs of applications;
- discrepancies between the resources requested and the resources consumed;
- lack of ability to assign resources manually.

The influence of the above factors leads to irrational use of resources and inefficient operation of applications in the cloud, which, in turn, leads to reduced productivity.

Thus, the analysis showed that cloud computing systems have a number of characteristics and problems that are not inherent in other models of resource reallocation. This necessitates the improvement of resource reallocation methods for these environments.

Analysis of the literature [9, 10] revealed the features of the method of distributed resource reallocation (DRS). The DRS method solves the problem of distributing virtual machine workloads on nodes within a virtualization cluster, and tracks available resources. In addition, depending on the level of automation, DRS provides maximum performance by automatically transferring virtual machines to other nodes within the cluster. As a result of the DRS method, it is possible to optimally distribute the load between the virtual environment hypervisors - the least loaded virtual machines are consolidated on some hypervisors, and the most loaded - on others. First, it increases the peak performance of virtual machines, and second, it improves resource efficiency in the virtualization environment. However, this method only estimates the CPU load and does not predict the change in load on other parameters (for example, the number of I/O operations and network congestion). That is why the DRS method is quite primitive and is not suitable for use in cloud computing systems, where the administrator of the cloud computing system is not able to predict all the undesirable consequences of the redistribution of resources in this way.

Analysis of the literature [9, 10] revealed the features of the method of dynamic resource reallocation (DPM). The DPM method optimizes power consumption at the cluster or node level. When the DPM method is initialized, the resources of the node or cluster are compared to the needs of the virtual machine, including preliminary needs statistics, according to which the virtualization nodes are put into standby mode. As resource requirements increase, the DPM method starts free nodes and connects additional workloads to them. The study of this method showed that it solves the problem of reducing energy consumption in the virtualization environment, but does not solve the problem of maximizing the efficient use of available resources.

The analysis [8, 11-13] showed that in cloud computing systems based on the IaaS model, the problems of optimal resource planning arise both at the stage of their reallocation and in the process of use. These problems cannot be solved manually, as in the case of virtualization, for two reasons. First, the cloud infrastructure administrator does not know what needs applications have to use them effectively. Second, the presence of "static" platform - the lack of response to changes in these needs over time. That is, the IaaS model

does not solve the problem of optimal redistribution of computing resources in cloud systems.

For example, one of the most popular cloud infrastructure management solutions currently OpenStack supports only 3 methods of resource reallocation: random, random within the availability zone and simple (resource reallocation occurs in turn) [8, 14, 15]. As for the redistribution of load with its unevenness – such approaches in cloud computing systems do not yet exist.

Selection of previously unsolved parts of the overall problem. The purpose of the work

The analysis of existing methods of resource reallocation in cloud computing systems showed that the currently used methods do not meet the real needs of owners and consumers of IaaS cloud service on a number of parameters and do not allow optimal use of available resources for heterogeneous applications existing within instances.

The aim of the work is to increase the efficiency of the use of computing resources in cloud computing systems based on the IaaS model by developing a method of intelligent control of their distribution.

To achieve this goal, the following tasks are defined:

- development of an integrated approach to intelligent management of resource reallocation in the cloud;
- development of a method for the reallocation of computing resources in cloud systems;
- evaluation of the effectiveness of the developed methods.

Materials and methods

To form an intelligent management of the reallocation of resources in the cloud, it is proposed to use an integrated approach, which includes the following three stages:

1. Decomposition of the cloud computing system into zones.
2. Initial allocation of resources.
3. Redistribution of resources of the cloud computing system.

Stage 1. At this stage, the system of cloud computing is decomposed into zones, based on the outstanding features provided in each zone of resources (fig. 1). Each of the zones includes hosts and storage resources with similar characteristics. For example, a cloud computing system can be divided into:

- high load area (eight-processor servers, 40-gigabit network, Hi-End storage system);
- medium load area (four-processor servers, 10-gigabit network, Midrange storage);
- low load area (dual-processor servers, gigabit network, local drives).

This simplifies the task as follows: during initialization, the instance will be placed in the area whose resources it is most likely to need, based on the initial characteristics (number of CPU cores, RAM, storage capacity). The choice is made using simple logical

expressions. The administrator of the cloud computing system performs decomposition based on his expert

knowledge of the features of the equipment and its compatibility.

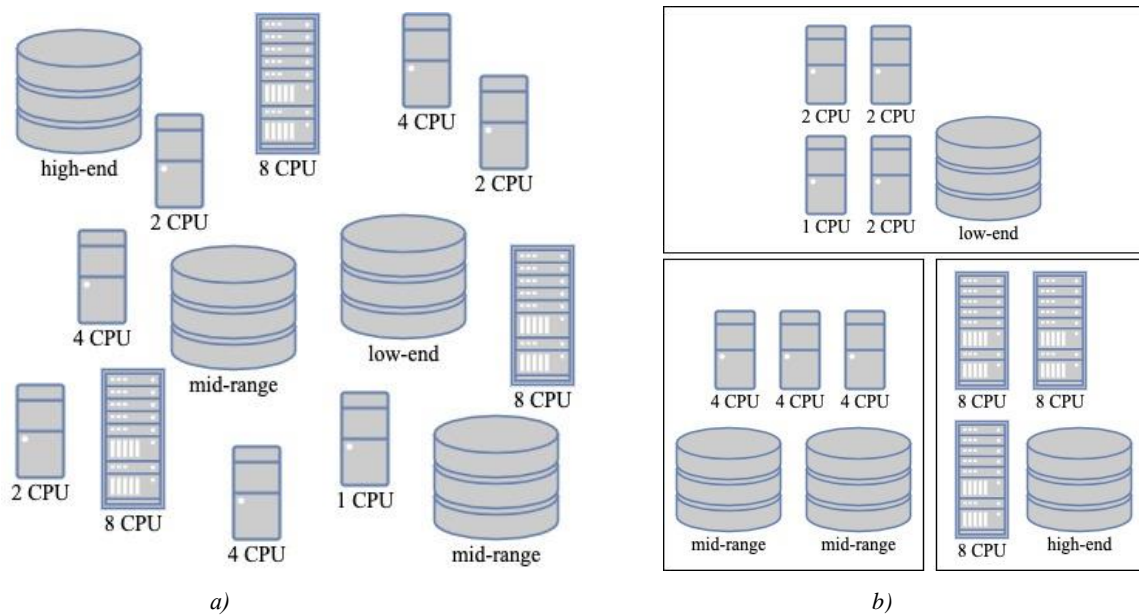


Fig. 1. Decomposition of the cloud computing system into zones. Cloud system before decomposition into zones (a) and after decomposition into zones (b)

Stage 2. At this stage, the problem of primary allocation of resources is solved (fig. 2), i.e. there is a primary analysis of the possible needs of the application and launch the instance using those resources that are most likely to meet the needs of the application. The initial allocation of resources for each initialized instance occurs using the primary allocation model based on the method of hierarchy analysis. Prediction of values of dynamic parameters of functioning of system of cloud

calculations is carried out on the basis of model of reception of forecast values with use of the mathematical device of Elman's neural networks, artificial immune systems and clustering by a method of fuzzy c-means. Redistribution of resources in the system of cloud computing is carried out on the basis of the model of dynamic redistribution of resources using the algorithm to reduce the uneven use of resources.

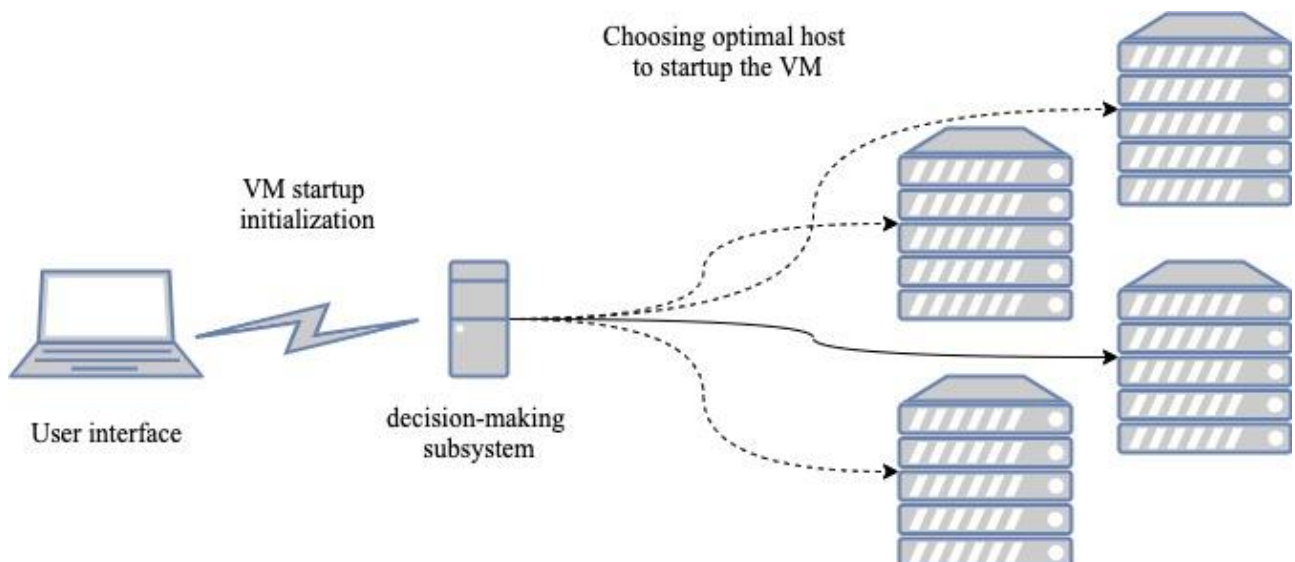


Fig. 2. The process of initial resource reallocation for each initialized virtual machine

Stage 3. At this stage, the problem of redistribution of computing resources in the system of cloud computing is solved, which is divided into the following two subtasks:

- determining the feasibility of redistribution of resources, i.e. the identification of overloaded resources,

or resources for which excessive load is projected; analysis of expediency of initialization of dynamic redistribution at the moment; collection and analysis of metrics of sources of the provided computing resource. The decision on the reallocation of resources is made based on the results of the analysis;

- dynamic redistribution of resources (fig. 3). As a method of load balancing in the system of cloud computing, it is proposed to use the approach based on "live migration", which means the technology of migration of virtual machines between hosts or storage resources with zero downtime.

The basic sequence of the process of live migration in the event of a change of host is as follows:

- 1) suspension of the virtual machine;
- 2) transfer of parameters of the virtual machine from the current server to the target;
- 3) transfer the image of RAM from the current server location of the virtual machine to the target server location;
- 4) creating a virtual domain and placing the image of the RAM of the virtual machine in the RAM of the target location server;
- 5) initialization of the virtual machine on the target location server.

If you change the repository, the virtual machine image is transferred from one storage resource to another.

For efficient allocation of resources, it is proposed to use the concept of uneven use of resources of the R_p -th server (N_R^p). Let n is the number of considered resources, and r_i – the projected load of the i -th resource. Let's define the predicted uneven loading of server resources p as:

$$N_R^p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i - \bar{r}}{\bar{r}} \right)^2}, \quad (1)$$

where \bar{r} is the average projected load of all server p resources. In practice, not for all types of resources, performance degradation affects the efficiency of the system as a whole, so only significant resources need to be considered in the calculation (e.g. CPU load, memory, network disk subsystem, etc.). By minimizing unevenness, it is possible to combine different types of workloads and improve the overall use of server resources in cloud computing systems.

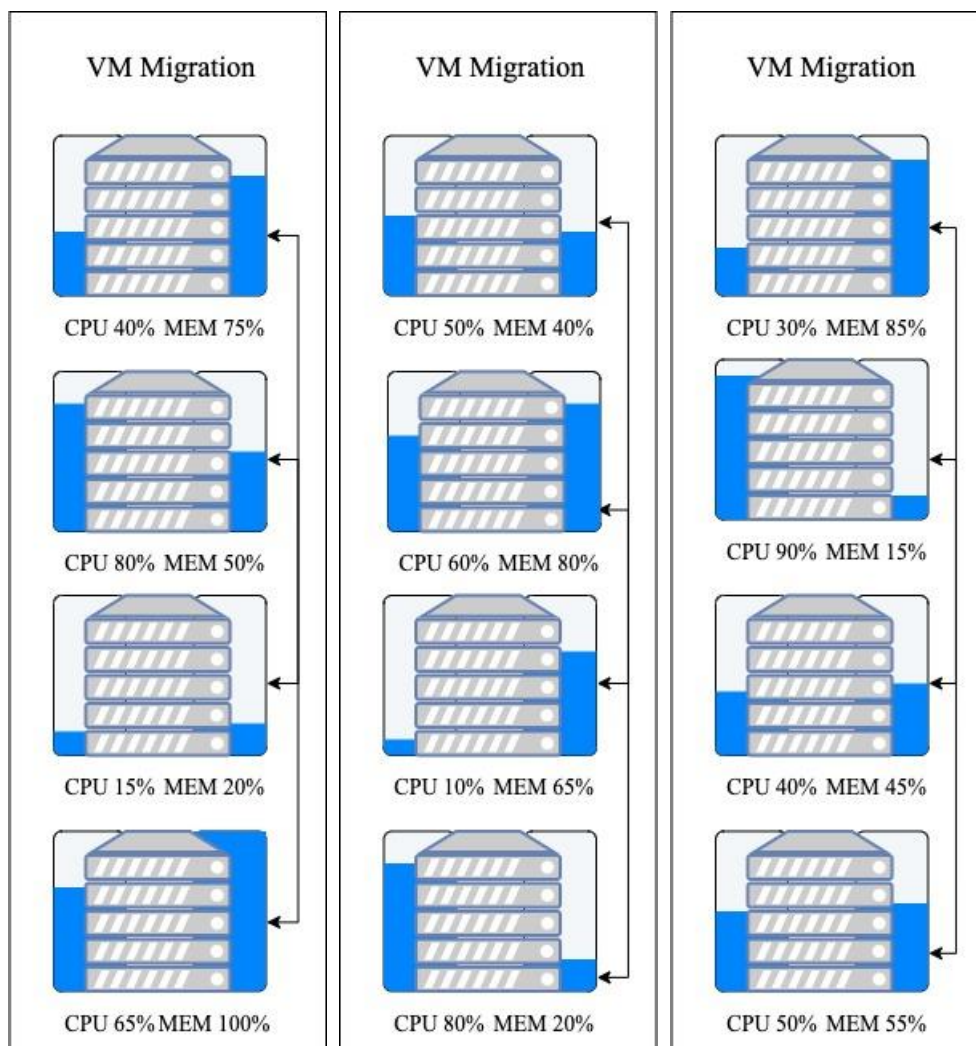


Fig. 3. Dynamic redistribution of resources for different types of host machines

The algorithm is performed periodically to assess the state of the allocated resources on the basis of the performed forecast of the needs of the instances. A server is called a "hot spot" if the use of any of its resources is

above the so-called "valid mark" predefined for each type of resource. This indicates that the host is overloaded, so some instances must be moved from it to other hosts. The "temperature" t^* of a hot spot is defined as the square

sum of the use of all its resources above the "allowable mark":

$$t^* = \sum_{r \in R} (r - r_t)^2, \quad (2)$$

where R is a set of overloaded server resources p , and r_t is a "permissible mark" of the resource r (only overloaded resources are taken into account in the calculations). The hotspot temperature reflects the server overload level. If the server is not a hotspot, its temperature is zero.

Different types of resources have different valid labels. For example, for CPU usage and RAM usage, they can be defined as 90% and 80%, respectively. Thus, the server becomes a hot spot when this load is reached.

Given the above, the task of identifying servers with irrational use of computing resources is to identify "hot spots" according to the described algorithm.

The load balancing algorithm in the cloud computing system includes the following set of steps:

1. Sorting the list of servers - "hot spots" p in descending order of temperature t^* (i.e. the hottest point becomes the first in the list). The goal is to eliminate all hot spots if possible, or keep their temperature as low as possible.

2. Defining for each server p a list of instances e for which migration should be performed.

3. Sorting the list of instances e based on the resulting host temperature t^*_{res} , which is determined after the migration of the instance (virtual machine). The goal is to migrate the instance that will reduce the server p_n temperature to a minimum $t^*_{res}(p_n) \rightarrow \min$.

4. The choice of a virtual machine e' , the migration of which will minimize the unevenness of the server.

5. Defining for the selected virtual machine e' the ability to find the target server p_{target} to host it. The server

is considered possible for migration if after transferring the virtual machine e' the unevenness of the target server will be less than the unevenness on the current server.

6. Selecting a server p'_{target} from this list, the non-uniformity of which will be minimized after the transfer of this virtual machine. It should be noted that the unevenness of the target server can be increased. In this case, you must select a server for which such an increase will be minimal.

7. If the target server p'_{target} is found, the migration of the virtual machine to this server is initiated, and the load forecast for all available servers is updated. Otherwise, the next virtual machine is selected from the list, and the target server for it is searched.

Till the moment the target server can be found for any virtual machine of the "hot spot" server, the execution of the algorithm for this server continues. As soon as this becomes impossible, the transition to the next "hot spot" [16].

Load prediction using an artificial neural network before starting the algorithm allows you to ignore insignificant, short-term load peaks, which leads to a significant reduction in the number of false positives of the algorithm to eliminate hotspots and, thus, reduce computing costs for moving virtual machines.

Research results and their discussion

To study the developed algorithm of load redistribution in the system of cloud computing, a cluster consisting of 5 servers of similar configuration with 30 running instances was created. At the time of execution of the algorithm, the predicted parameters of the operation of this system of cloud computing are described by the dynamic values given in table 1.

Table 1. Dynamic parameters of the cloud computing system

Parameter	Server 1	Server 2	Server 3	Server 4	Server 5
Load					
CPU load L_{CPU} (%)	10	40	60	2	81
MEM load L_{MEM} (%)	10	99	50	50	30
Disk subsystem load L_{disk} (%)	1	30	60	70	90
Network load L_{net} (%)	10	20	51	5	30

In the graph shown in fig. 4, it is seen that the resources of servers 2, 4 and 5 in this example are used unevenly, which can lead to inefficient use of resources.

Let the "allowable mark" be set to 70% of the load of any of the host resources. Thus, we receive the list of "hot spots" servers, we calculate their "temperature" t^* and we sort these servers on descending temperature:

$$t^*(p_5) = \sum_{r \in R} (r - r_t)^2 = (L_{MEM_5} - 0.7)^2 + (L_{disk_5} - 0.7)^2 = \\ = (0.81 - 0.7)^2 + (0.9 - 0.7)^2 = 0.0121 + 0.04 = 0.0521$$

$$t^*(p_2) = \sum_{r \in R} (r - r_t)^2 = (L_{MEM_2} - 0.7)^2 = t^*(p_2) = \\ = (0.9 - 0.7)^2 = 0.04$$

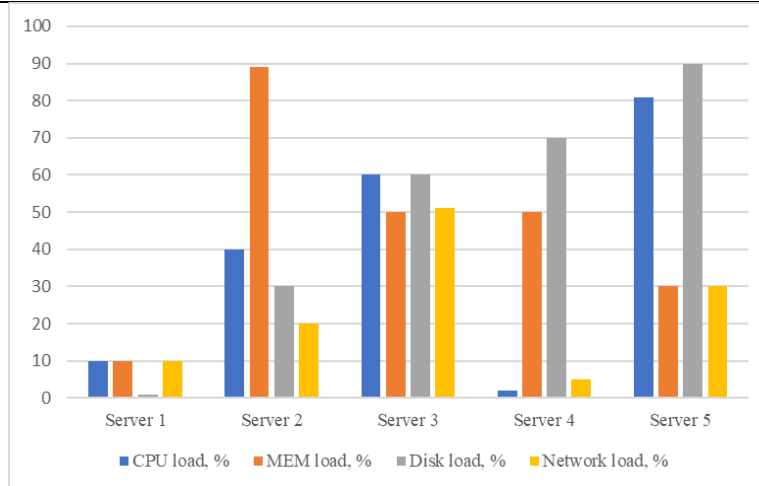


Fig. 4. Dynamic parameters of the cloud computing system

Therefore, the server 5 has the highest temperature (0.0521). Therefore, the next step will initiate the migration of one instance from this server to another cloud

computing server. The list of instances of server 5 is presented in table 2, the share of server resource usage by each instance is clearly shown in fig. 5.

Table 2. List of server instances 5

Parameter	Instance 1	Instance 2	Instance 3
Using a host CPU L_{CPU} (%)	14	36	31
Using host MEM L_{MEM} (%)	10	15	5
Using the host disk subsystem L_{disk} (%)	43	30	17
Using a host network L_{net} (%)	8	12	10

In this case, the resulting server 5 temperature $t_{res}^*(p_5)$ is equal to 0 when migrating any instance from the server, because there will be no resource that exceeds the "hot mark". Therefore, the next step is to determine

the unevenness of the server after the migration of each instance and select for the migration the instance that will minimize the unevenness of the server.

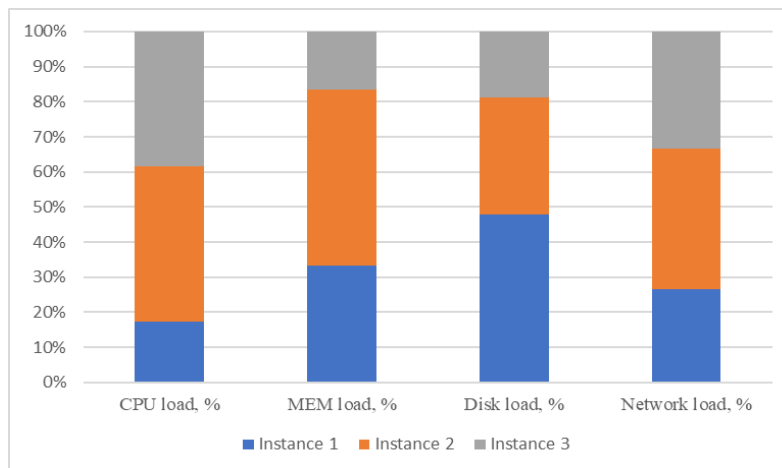


Fig. 5. Partitions of server 5 instance resource usage

Uneven server 5 after the migration of the first instance:

$$\bar{r}_1 = \frac{36+15+30+12+31+5+17+10}{8} = 19.5$$

$$N_R(p_5)_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{r_i - \bar{r}}{\bar{r}} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{r_i - 19.5}{19.5} \right)^2} = 1.54$$

Uneven server 5 after migrating the second instance:

$$\bar{r}_2 = \frac{14+10+43+8+31+5+17+10}{8} = 17.25$$

$$N_R(p_5)_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{r_i - \bar{r}}{\bar{r}} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{r_i - 17.25}{17.25} \right)^2} = 2.01$$

Uneven server 5 after the migration of the third instance:

$$\bar{r}_3 = \frac{36+15+30+12+14+10+43+8}{8} = 21$$

Based on the calculations, we conclude that the migration of the first instance will minimize the unevenness of the server 5, therefore, its migration must be initiated.

Next, a search is made for the server p'_{arg} to which instance 1 will be migrated in the future. The server is selected on the basis of the maximum decrease in the unevenness after the acceptance of the instance (or the minimum increase in the unevenness of the server, if this increase is less than the change in the unevenness of the source server 5 after migration). In this case, only server 1 is suitable for migration, because the resources of other servers are not enough to accept the instance. The following indicators were calculated for him:

- output value N_R : 2.513;
- value of N_R after acceptance of the instance 1: 2.146;
- reduction of unevenness: 0.367.

As a result of the calculations for instance 1, migration to server 1 was initiated, which reduced the average uneven use of resources by hosts of the cloud computing system, and thus increase the efficiency of use of these resources.

The evaluation of the efficiency of the initial allocation of resources was performed by measuring the rate of uneven use of resources of the server p , which eventually launched the instance, using different methods. The parameter of uneven N_R loading of server p resources r is subject to comparison:

$$N_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i - \bar{r}_i}{\bar{r}_i} \right)^2}, \quad (3)$$

where r_i is a load on the current server resource p , \bar{r}_i is an average current load of all server p resources. Each of the methods performed 100 test runs of an instance with arbitrary characteristics in a working cloud computing system without changing any load parameters. The evaluation results are presented in fig. 6.

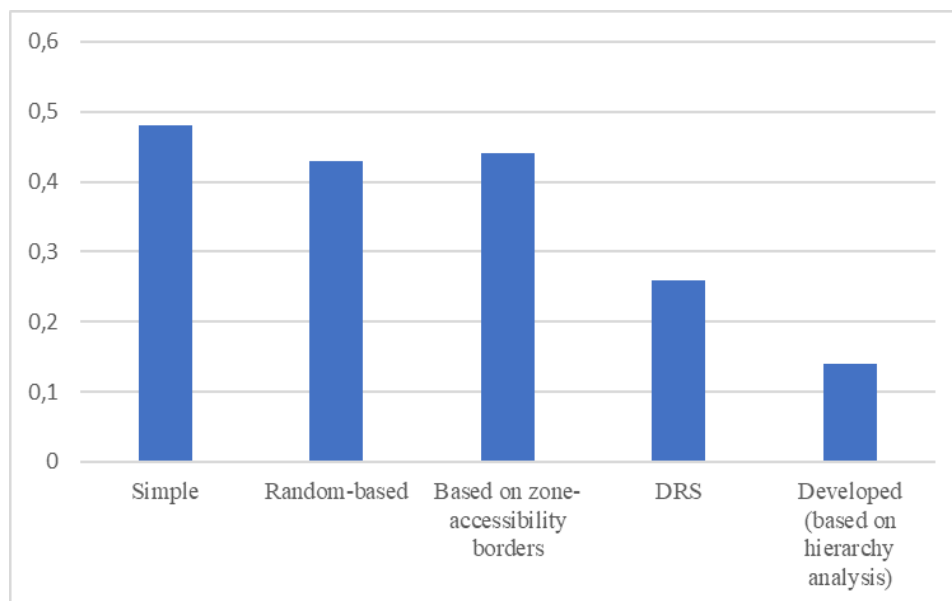


Fig. 6. Estimation of efficiency of various algorithms of primary allocation of resources in system of cloud calculations. On the OY axis is the value of the coefficient of uneven distribution (the smaller is the better)

As can be seen from the table above, the scatter of values between simple and random algorithms and the algorithm "within the reach" is small and is purely statistical. This is due to the fact that the reallocation of resources does not take into account any parameters of the cloud computing system [8, 15].

The DRS algorithm showed a much better result due to such a parameter as CPU load.

The developed algorithm based on the method of hierarchy analysis showed the best result of reducing the unevenness of host resources, as it takes into account the whole set of performance indicators of the host in relation to the characteristics of the running instance.

Thus, the developed resource reallocation algorithm has demonstrated its effectiveness in the initial launch of the instance in a functioning cloud computing system.

Conclusions and prospects for further development

1. A systematic analysis of existing methods of load distribution and balancing in corporate virtualization environments and cloud computing systems. The main differences in the features of resource reallocation are revealed, the necessity of using other approaches to resource reallocation of cloud computing systems instead of those used in virtualization is proved. Problems have been identified that hinder the optimal use of cloud

resources in existing approaches to their planning and distribution.

2. The method and algorithm of distribution of computing resources in cloud systems which allow to allocate resources effectively with use of the forecast of loading with the minimum expenses of a computing resource on their movement are created.

3. Developed a method of planning and redistribution of resources, which provides a comprehensive consideration of indicators that affect the quality of service delivery and effective management of cloud computing systems.

As a result of the application of the created methods and algorithms of timely redistribution of resources in the dynamics of applications within instances it was possible to achieve a significant increase in cloud resource efficiency, as well as increase the ability of cloud computing systems to launch new instances with minimal performance. The obtained results can be applied as a resource reallocation subsystem for existing cloud computing systems.

The direction of further research is to further improve the methods of load distribution and balancing in virtualization environments, based on obtaining predictive values of dynamic parameters of cloud systems.

References

1. Dimitri, N. (2020), "Pricing cloud IaaS computing services", *Journal of Cloud Computing*, No. 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00161-2>
2. Soh, J., Copeland, M., Puca, A., Harris, M. (2020), "Overview of Azure Infrastructure as a Service (IaaS) Services", *Microsoft Azure*, P. 21–41. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5958-0_2
3. Kudriavtsev, A., Koshelev, V., Izbyshch, A., Dudina, I., Kurmangaleev, Sh., Avetisian, A., Ivannikov, V., Velihov, V., Riabinkin, Ye. (2013), "Design and Implement Cloud for High Performance", *Works ISP RAS*, No. 1, P. 13–33, available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-realizatsiya-oblachnoy-sistemy-dlya-resheniya-vysokoproizvoditelnyh-zadach> (last accessed: 25.09.2020).
4. Vyshnivskiy, V., Vasylenko, V., Hrynkevych, H., Kuklov V. (2016), "Implement advanced cloud computing within data centers", *Information security*, No. 3 (23), P. 118–125.
5. Agavanakis, K., Karpetas, G., Taylor, M., Pappa, E., Michail, C., Filos, J., Trachana, V., Kontopoulou, L. (2019), "Practical machine learning based on cloud computing resources", *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability (TMREES19)*.
6. Alshamrani, S. (2018), "An Efficient Allocation of Cloud Computing Resources", *AICCC '18: Proceedings of the 2018 Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference*, P. 68–75. DOI: <https://doi.org/10.1145/3299819.3299828>
7. Zhu, Y., Wang, Y. (2013), "A Model of Cloud Computing Resources", *Proceedings of the 2013 International Conference on Computer Sciences and Applications*, P. 684–686. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSA.2013.165>
8. Srinivasan, J., Suresh Gnana Dhas, C. (2020), "Cloud management architecture to improve the resource allocation in cloud IAAS platform", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02026-7>
9. Hrebenuk, D. (2018), "Analysis of methods of distribution of resources in the virtualization media", *Control, navigation and communication systems*, No. 6 (52), P. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.098>
10. Gulati, A., Holler, A., Ji, M., Shanmuganathan, G., Waldspurger, C., Zhu, X. (2012), "VMware distributed resource management: Design, implementation and lessons learned", *VMware Technical Journal*, No. 1, P. 45–64.
11. Calcavecchia, N. M., Biran, O., Hadad, E., Moatti, Y. (2012), "VM Placement Strategies for Cloud Scenarios", *2012 IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing*, P. 852–859. DOI: <https://doi.org/10.1109/CLOUD.2012.113>
12. Wu, G., Tang, M., Tian, Y., Li, W. (2012), "Energy-Efficient Virtual Machine Placement in Data Centers by Genetic Algorithm", *International Conference on Neural Information Processing*, P. 315–323. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34487-9_39
13. Pasko, D., Molchanov, H., Davydov, V. (2018), "Unlimited cloud storage management", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, P. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.08>
14. Sagala, A., Hutabarat, R. (2016), "Private Cloud Storage Using OpenStack with Simple Network Architecture", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, No. 4, P. 155–164. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v4.i1.pp155-164>
15. Shevchenko, V., Chengar, O., Kokodey, T. (2020), "Information technology for the deployment of the OpenStack cloud environment", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, No. 734:012131. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/734/1/012131>
16. Luo, S., Ren, B. (2016), "The monitoring and managing application of cloud computing based on Internet of Things", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, No. 130, P. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.03.024>.

Received 25.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Давидов В'ячеслав Вадимович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Харків, Україна; email: vyacheslav.v.davydov@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2976-8422>.

Давыдов Вячеслав Вадимович – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Харьков, Украина.

Davydov Viacheslav – PhD (Engineering Sciences), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Programming, Kharkiv, Ukraine.

Гребенюк Дарина Сергіївна – магістр, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", аспірант кафедри обчислювальної техніки та програмування, Харків, Україна; email: darina.gg1@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5331-2444>.

Гребенюк Дарина Сергеевна – магістр, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", аспирант кафедри вычислительной техники и программирования, Харьков, Украина.

Hrebeniuk Daryna – Master's Degree, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Postgraduate Student of the Department of Computer Engineering and Programming, Kharkiv, Ukraine.

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У СИСТЕМАХ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Предметом дослідження в статті є моделі та методи балансування та розмежування навантаження і ресурсів в системах хмарних обчислень, що базуються на моделі надання послуг інфраструктури як сервісу. **Метою** роботи є підвищення ефективності використання наявних ресурсів в системах хмарних обчислень (таких, як оперативна пам'ять, дисковий простір, ЦПУ, мережа) шляхом розробки моделі адаптивного управління розмежуванням ресурсів. Це дозволить запускати нові віртуальні машини з мінімальним зниженням продуктивності вже функціонуючих програм. У статті вирішуються наступні **завдання**: розробка комплексного підходу управління розмежуванням ресурсів у хмарних системах, яка включає в себе декомпозицію системи хмарних обчислень на зони (виходячи з визначальних особливостей надаваних в кожній зоні ресурсів), первинне виділення ресурсів (що базується на основі методу аналізу ієрархій) та розмежування ресурсів системи хмарних обчислень (на основі розробленого методу); розробка методу розмежування обчислювальних ресурсів у системах хмарних обчислень; оцінка ефективності розробленого методу. Для вирішення поставлених завдань були використані підходи і **методи** динамічного балансування навантаження, а також методи теоретичних досліджень, які засновані на наукових положеннях теорії штучного інтелекту, статичного, функціонального і системного аналізів. Отримані наступні **результати**: на основі проведеного аналізу існуючих методів розмежування і балансування навантаження в системах хмарних обчислень були виявлені основні особливості існуючих методів розподілу ресурсів, наведені їх переваги та недоліки. На основі проведеного аналітичного дослідження доведено необхідність вдосконалення існуючих методів розмежування ресурсів. Створено метод і алгоритм розмежування обчислювальних ресурсів в системах хмарних обчислень, що дозволяють зменшити значення коефіцієнта нерівномірності використання обчислювальних ресурсів при мінімізації витрат на їх переміщення. Отримані результати підтверджені проведеними експериментами при використанні програмного забезпечення для створення приватних інфраструктурних хмарних сервісів і хмарних сховищ. **Висновки**: вдосконалення методу розмежування і балансування навантаження в системах хмарних обчислень дозволило підвищити здатність цих систем запускати нові віртуальні машини з мінімальним зниженням продуктивності вже функціонуючих програм.

Ключові слова: інфраструктура як сервіс; хмарні обчислення; перерозподіл ресурсів.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАЗГРАНИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ В СИСТЕМАХ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Предметом исследования в статье являются модели и методы балансировки и разграничения нагрузки и ресурсов в системах облачных вычислений, базирующихся на модели предоставления услуг инфраструктуры как сервиса. **Целью** работы является повышение эффективности использования имеющихся ресурсов в системах облачных вычислений (таких, как оперативная память, дисковое пространство, ЦПУ, сеть) путем разработки модели адаптивного управления разграничением ресурсов. Это позволит запускать новые виртуальные машины с минимальным снижением производительности уже функционирующих приложений. В статье решаются следующие **задачи**: разработка комплексного подхода к управлению разграничением ресурсов в облачных системах, которая включает в себя декомпозицию системы облачных вычислений на зоны (исходя из определяющих особенностей предоставляемых в каждой зоне ресурсов), первоначальное выделение ресурсов (базирующееся на основе метода анализа иерархий) и разграничение ресурсов системы облачных вычислений (на основе разработанного метода); разработка метода разграничения вычислительных ресурсов в системах облачных вычислений; оценка эффективности разработанного метода. Для решения поставленных задач были использованы подходы и **методы** динамической балансировки нагрузки, а также методы теоретических исследований, которые основаны на научных положениях теории искусственного интеллекта, статического, функционального и системного анализов. Получены следующие **результаты**: на основе проведенного анализа существующих методов разграничения и балансировки нагрузки в системах облачных вычислений были выявлены основные особенности существующих методов распределения ресурсов, приведены их достоинства и недостатки. На основе проведенного аналитического исследования доказана необходимость совершенствования существующих методов разграничения ресурсов. Созданы метод и алгоритм разграничения вычислительных ресурсов в системах облачных вычислений, позволяющие уменьшить значения коэффициента неравномерности использования вычислительных ресурсов при минимизации расходов на их перемещение. Полученные результаты подтверждены проведенными экспериментами при использовании программного обеспечения для создания частных инфраструктурных облачных сервисов и облачных хранилищ. **Выводы**: усовершенствование метода разграничения и балансировки нагрузки в системах облачных вычислений позволило повысить способность этих систем запускать новые виртуальные машины с минимальным снижением производительности уже функционирующих приложений.

Ключевые слова: инфраструктура как сервис; облачные вычисления; перераспределение ресурсов.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Давидов В. В., Гребенюк Д. С. Розроблення методів розподілу ресурсів у системах хмарних обчислень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.025>.

Davydov, V., Hrebeniuk, D. (2020), "Development of the methods for resource reallocation in cloud computing systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.025>.

JU. MALIEIEVA, O. MALYEYEVA, A. DEMCHENKO, L. PIDUBNA

INFORMATION SUPPORT FOR CROWDFUNDING AND INVESTING PROJECTS

The **subject** of the article is information technology to support the process of investing in real estate projects. Real estate projects need to find sources and forms of investment that would ensure a balance between project costs and financial resources. Crowdfunding is seen as an innovative way of financing. The purpose of this work is to create a crowdfunding platform focused on attracting new investors to support real estate projects. The following **tasks** are solved: research of functional possibilities of existing crowdfunding platforms; development and configuration of expansion modules for the selected framework; development of the interface of the financial manager of the project with real estate. Research **methods**: system analysis, financial management methods, information technologies of site development. The following **results** were obtained: The characteristic features of crowdfunding, which make it an effective way of financing projects, were analyzed. The popular crowdfunding platforms are analyzed today, their advantages and disadvantages are revealed. As a result, the basic requirements for a crowdfunding real estate investment platform have been identified. Based on the conceptual model of the web platform interface, the main functionalities are highlighted, the scenario of user interaction is described and the database is designed. Necessary modules of the internal wallet system and project system have been developed. It should be noted that the internal wallet system allows you to contribute to projects and control profits. Also, in addition to the main modules, a module for blogging and user registration with e-mail confirmation was integrated and configured. **Conclusions**: It is necessary to take into account the interests of stakeholders who provide funds for the project, which forms their motivation to invest. Information support for crowdfunding investment projects increases the efficiency of project portfolio management, allows the financial manager to publish projects and raise funds for financing from registered investors with the subsequent payment of interest on profits.

Keywords: crowdfunding; investment management; system functionality; web platform; real estate projects.

Introduction

The spread of information and communication technologies and changes in the media through social networks has led to the transformation of financial relations and the emergence of new tools that can expand funding opportunities. The spread of the global Internet, in turn, has led to significant changes in public life, which are reflected in new forms of interaction between individuals. Based on the network principle, these forms lead to increased adaptability and efficiency of project communication organizations. Among such forms, special attention is paid to benchmarking, crowdsourcing and crowdfunding [1]. These network communication technologies serve as a basis for the transition to better methods of project management. One example is the rapid development of financial innovation - crowdfunding, which leads to a new segment of the alternative financing market [2, 3].

Analysis of existing publications

Crowdfunding is seen as an innovative way to raise funding. Trends and conceptual bases of transfer on commercialization of scientific and innovative activity in crowdfunding are investigated [4].

The study [5] identified innovative characteristics of crowdfunding, which make it an effective way to finance socio-economic development projects. It is hypothesized that the most effective methods of financing modern innovations are related to the environment in which they operate - the modern information and communication space represented by the Internet and social networks.

In [6] the advantages and types of crowdfunding are highlighted, the classification of forms of investment attraction is offered. A comparative analysis of crowdfunding forms was conducted in order to present the

main differences in the motivation of potential investors [7]. A unified model is proposed, which takes into account the advantages of pre-ordering and profit distribution. Management decisions are made at an early stage of project development, when a stakeholder community is created. The influence of uncertainty and asymmetry of information is also taken into account.

With the advent of crowdfunding projects, there is a need to create specialized portals - platforms that allow you to create projects that require funding [8, 9]. Such platforms aim to attract the attention of potential investors, providing the most complete information about the project, possible profits and more. Today, there are many online fundraising platforms for different needs. These platforms help automate the process of investing in projects [10 - 12].

Article [13] describes the crowdfunding sector, taking into account investment platforms, as well as platforms on which sponsors do not receive cash payments. It outlines the key features of this fast-growing sector and explores the economic forces that can explain the design of these platforms. In particular, it developed external effects between groups and within the group and asymmetric information on crowdfunding platforms.

The purpose and objectives of the study

Most of the existing platforms are universal and do not take into account the specifics of projects in a particular industry. Therefore, the purpose of this work is to create a crowdfunding platform focused on attracting new investors to support real estate projects. To achieve this goal it is necessary to solve a number of tasks, namely:

- study of the functionality of existing platforms;
- development and configuration of expansion modules for the selected framework;

- development of the interface of the financial manager of the real estate project.

Materials and methods

1. Analysis of forms and risks of crowdfunding in Ukraine

Real estate projects need to find sources and forms of investment that would ensure a balance between project costs and financial resources. The ability of a financial manager to raise enough funds to achieve the project goal affects the speed of market entry. With the development of Internet technology, crowdfunding has become popular as a form of collective collaboration of people who voluntarily pool their money or other resources together, usually through the Internet, to support the efforts of other people or organizations. To begin fundraising, the purpose of the project must be declared, the cost of achieving it determined, and the calculation of future costs and the fundraising process must be available. Social networks play an important role in promoting crowdfunding. They allow to create content, distribute it and discuss.

We can identify the characteristics of crowdfunding, which make it an effective way to finance projects [14]:

- the results of funding on the crowdfunding platform are an indicator of project development;
- the use of crowdfunding technologies allows to achieve not only commercial but also public goals;
- transaction costs for the organization of project financing are reduced, as a result the number of intermediaries is reduced;
- collective methods of project financing expand existing methods of traditional investment;
- there are almost no restrictions on traditional methods of financing.

In Ukraine, there are three main types of crowdfunding:

- 1) charitable crowdfunding, which raises funds for targeted assistance or for various needs;
- 2) crowdfunding, which is aimed at community development; these can be projects aimed at city and infrastructure development, educational projects or information exchange, public broadcasting, etc.;
- 3) crowdfunding platforms with a non-financial reward, which offers participants the option of pre-ordering, and project authors - financing startups.

In the world through crowdfunding real estate attracts 2.5-3 billion dollars, and these figures are growing [15]. But in Ukraine, crowdfunding in real estate projects is still a new area of investment. Therefore, there is a need to develop a specialized platform for crowdfunding real estate.

The main advantage of crowdfunding for investors is the opportunity to participate in promising projects without special transaction costs. The disadvantage of crowdfunding is weak control over the implementation of projects and, as a consequence, – cases of fraud.

It should also be borne in mind that the effectiveness of the process of fundraising through crowdfunding is significantly influenced by the territorial characteristics of

the population where the fundraising takes place. Thus, as part of any project, crowdfunding is associated with risk [16]. The risk of crowdfunding is the inability to raise sufficient funds to implement a particular project at a given time or in the growth of the required financial resources. Cash flow in terms of crowdfunding is difficult to predict. To ensure investor confidence and motivation in project financing, managers need to be careful about the adequacy, quality, persuasiveness and clarity of the submission, the ability to verify the accuracy and clarification of project information, the convenience and transparency of fundraising. These issues should be addressed when using or developing crowdfunding platforms.

It is necessary to take into account the interests of stakeholders (stakeholders) who provide funds for the project, which also increases their motivation to invest. It is necessary to approach carefully to planning of the project, its realization, to motivate process of its performance. Project implementation involves the use of financial resources, the need for which may be assessed inaccurately or require adjustment during project implementation. If there is a need to collect additional sources of project funding – there will be delays in its implementation. The reason for the increase in funding needs may be external factors: economic or political instability of the country, changing priorities of state regulation.

2. Study the functionality of existing crowdfunding platforms

The most popular crowdfunding platforms specializing in real estate were selected for analysis: Estateguru, Crowdestate, Reinvest24 [17 - 19]. EstateGuru is an international platform that provides peer-to-peer loans. EstateGuru's mission is to offer developers and entrepreneurs easy and flexible financing. Crowdestate allows you to set up automatic investment in projects according to specified criteria. Reinvest24 specializes in reducing risk and costs for maximum profit.

The results of the analysis are presented in table 1.

Thus, among the disadvantages of existing platforms are some design problems and inconveniences in finding the right project. Therefore, when developing this platform, special attention was paid to its functionality.

The functionality of the project can be divided into three main components:

- user system;
- system of projects;
- internal account system.

User functionality includes registration of new investors, account verification, filling in personal information and the ability to invest in projects for verified users.

The project system allows the manager to create new projects by filling in the necessary information, set the required amount of investment and possible calculation of the interest rate to be paid.

An internal account system is required to track and regulate all transactions related to the input, output and investment of funds on the platform.

Table 1. Comparative table of existing crowdfunding platforms

Evaluation criteria	Estateguru	Crowdstate	Reinvest24
Appearance			
Does the UI match the design?	+/-	+	+
Does UX fit the design?	+/-	+	+/-
Does it follow the rules of typography?	+	+	+/-
Is the color scheme of the site balanced?	+	+	+
Is the purpose of the platform clear?	+	+	+
Structure and navigation			
Is the location of the links in the site header on all pages correct?	+	+	+
Does the navigation have the right links?	+	+	+
Easy to use navigation?	+/-	+	+
Does navigation allow you to return to previous sublevels?	+	+	+
Content			
Availability of projects	+	+	+
The required amount of investment	+	+	+
Detailed project information	+	+	+
Current investment scale	+	+	+
Usability			
Are the components of the site functioning correctly?	+	+	+
Adaptive design	+	+	+/-
Cross-browser of the site	+	+	+
Is the right project quickly found?	+/-	+/-	+/-

3. System modeling

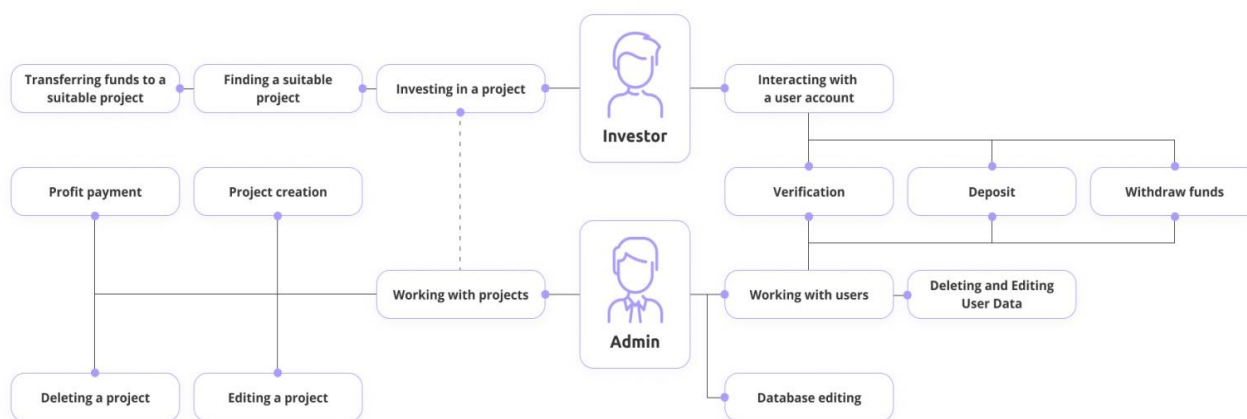
Creating a platform must have client-server architecture and perform a number of project data processing tasks: entering, adding, editing, and deleting objects in the database.

To model the system you need:

- clearly separate the system from its environment;

- to determine the actors (actors), their interaction with the system and the expected functionality of the system.

The option diagram shows the relationship between the user and the system. In this system, we can distinguish two groups of actors (actors): the financial manager of the project and the investor, as well as the opportunities they have (fig. 1).

**Fig. 1.** User interaction scenario

The database for real estate crowdfunding platform contains all the necessary information about the project, photos, descriptions, documents, user data and their operations. There are five main data entities:

- User - contains detailed information about the user;
- User_wallet - user's wallet;
- User_verification - documents provided by users to verify their own profile;
- Project_investors - a list of projects in which the user has invested;

- User_wallet_log - list of user's money transactions: account replenishment, withdrawal of funds, investments in projects, etc.

There is also the essence of "Projects"; it stores all the necessary information about the created projects on the crowdfunding platform. But it interacts with other database tables only through individual modules.

The web platform is built on the basis of client-server architecture.

Fig. 2 shows the interaction between the investor and the main modules of the platform.

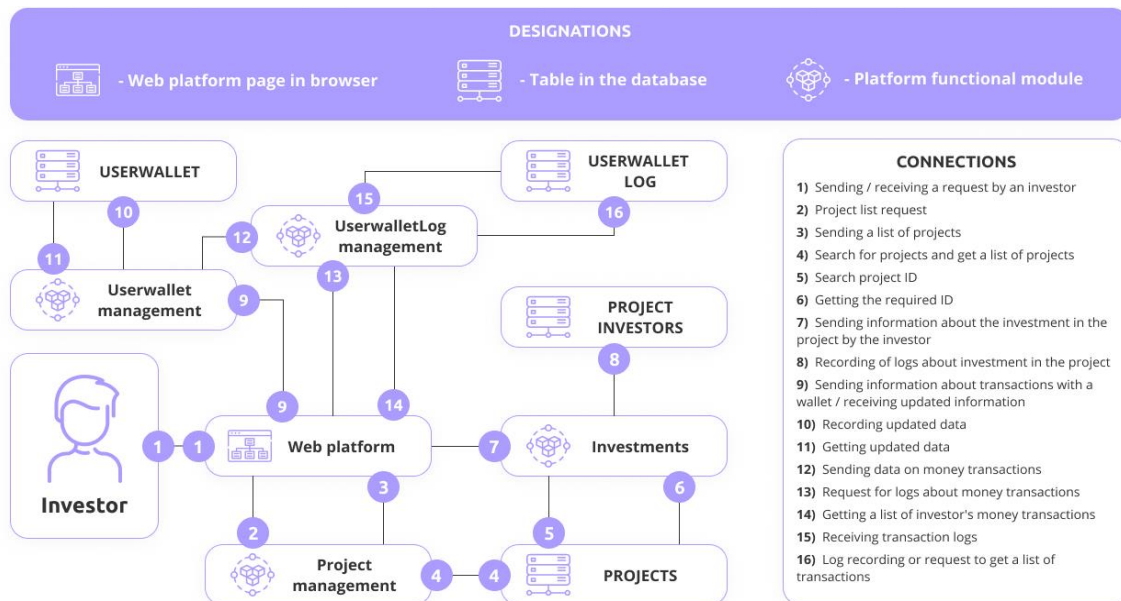


Fig. 2. Diagram of interaction of application modules

All modules perform separate functions and sometimes interact with each other. They also allow you to interact with the database and transfer the necessary data for rendering at the request of the user. For example, linking the "Projects" module to the "Projects" database table allows you to create a list of all projects and display them on the "Properties" page, or a separate page of a specific project. The module "Investments" receives on request the ID of the project on which the investment is made, and enters the transaction data in the table "Projects_Investors".

Modules "Userwallet" and "Userwalletlog" interact with each other. When making money transactions (deposit, withdrawal of funds, etc.), the module "Userwallet" edits the current balance of the user in the table "User_wallet", and then sends the transaction data to the module "Userwalletlog", which enters this information in the table "User_wallet_log". The Userwalletlog module also acts as an intermediary to display a list of user transactions on the user's own page.

Description of results

Based on the analyzed platforms of competitors, the main elements and pages that need to be used on your own platform are identified [20].

Figma is used as a prototyping program. The service has the ability to integrate with the corporate Slack messenger and tools for creating high-level prototypes.

The crowdfunding platform contains the following pages in its interface:

- Home page;
- project catalog pages;
- project card;
- contact information;
- information about the company;
- blog;
- page of a separate post;
- user registration page;
- FAQs page.

It is important for a crowdfunding platform to be able to fill the site with new projects. To start working with the project directory, you need to log in to the admin panel and go to the "Project Manager" section (fig. 3).

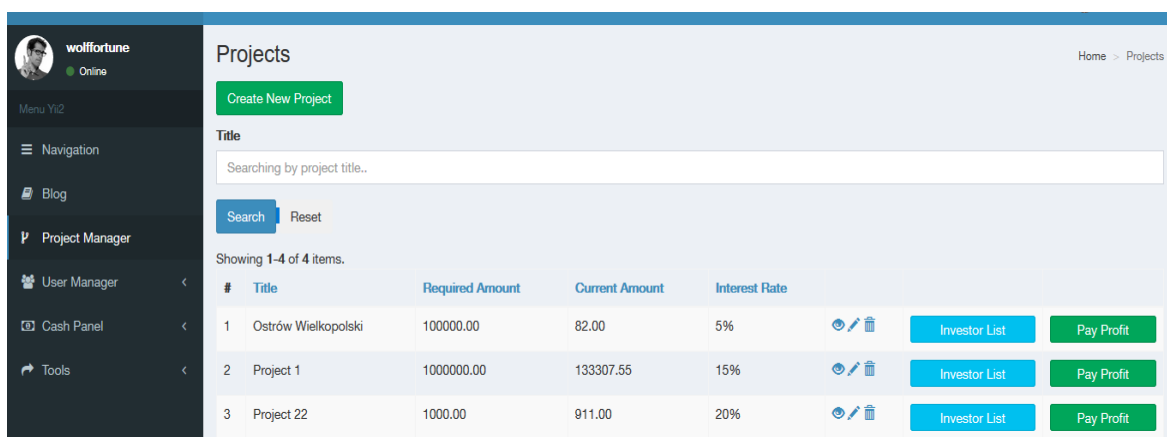


Fig. 3. Project Manager section of the admin panel

The page also has the ability to download images and documents that need to be displayed on the page of this project (fig. 4).

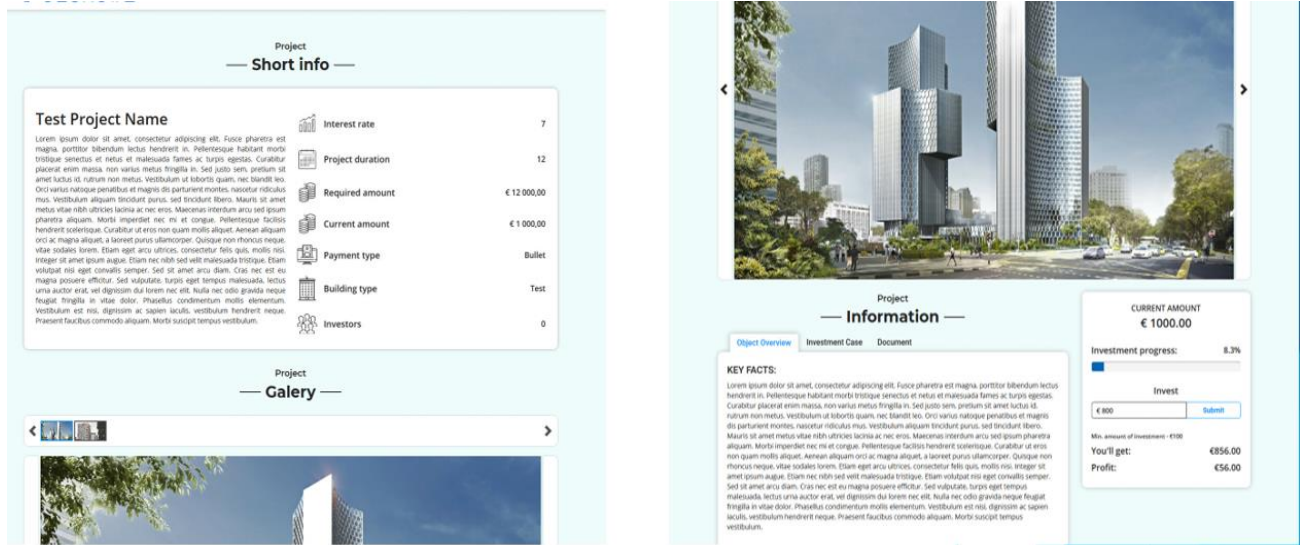


Fig. 4. Project description page

For some functionalities of the system uses its own table in the database to store and use information. With the help of the phpMyAdmin panel it is possible to view

and edit the information on the hosting in the created database of the crowdfunding platform (fig. 5).

id	slug	title	description	content	address	object_overview	investment_case	project_duration	required_amount	current_amount	interest_r
1	ostrow-wielkopolski2	Ostrów Wielkopolski	123	<p>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.</p>	Aleja Prymasa Tysiąclecia	 Existing cash flow with a 6,03% net renta...	<p> The property for investment with the address V...	12 Mesjacev	100000.00	82.00	5%
5	project-1	Project 1	213213	<p>content text</p>	Ukraina Alexandria	<p>object overview text</p>	<p>text </p>	12 MONTHS	1000000.00	133307.55	15%
6	project-2	Project 22	NULL	<p>12</p>	NULL	<p>2112</p>	<p>21</p>	dsadsa	1000.00	911.00	20%

Fig. 5. Entering data on created projects in the table "Projects"

Let's consider the operation of the module for tracking monetary transactions. The main task of this module is to enter information about operations into the database, after which they can also be retrieved and displayed on the desired pages of the platform. The module is required for writing to the database of

operations to ensure the display of the required information in the user profile and the admin panel. It has a number of similar functions that are responsible for entering the necessary information about transactions (investment, deposit, withdrawal, etc.) in the database (fig. 6).

54	4	22.00	Investition	success	NULL	2019-07-01 17:44:32
55	4	111.00	Investition	success	NULL	2019-07-01 22:03:24
56	4	222.00	Withdrawal	in processing	NULL	2019-07-01 22:04:42
57	25	300.00	Deposit	success	NULL	2019-07-15 18:42:51
58	25	200.00	Investition	success	NULL	2020-05-15 12:40:39
59	25	10.00	Investition	success	NULL	2020-05-15 12:44:04

Fig. 6. Records of the user_wallet_log table

There are four types of operations and three statuses. Types of operations include:

- 1) deposit;
- 2) withdrawal of funds;
- 3) investment in the project;
- 4) return on investment.

The main module responsible for the ability to create projects that require investment is

PropertiesController.php. It is used to render both pages for individual projects and pages with a list of projects.

On the "Project Manager" page, the administrator has the opportunity to create the required project after filling in the required fields. After creation, the project should be displayed to the user and give him the opportunity to invest in it (fig. 7).

Account money My Investments **Deposit** Settings

BANK TRANSFER

It can take up to one business day to process your transfer.

Name: Polcrowd	Register code: 10060701
IBAN: EE222200221068466038	VAT number: EE100354546
Reference number: 25	Address: Liivalaia 8, 15040 Tallinn, Estonia
Bank: SWEDBANK AS	Phone: +3XX XXXX XXX
S.W.I.F.T.: HABAEEX	Email: test@gmail.com

Fig. 7. Deposit page

After initialization of variables it is necessary to adjust the form of investment in the project. Then the amount invested is deducted from the user's balance sheet and enters investment information into the database. Finally, the `torrent_amount` information for the project in which the investment is made is updated and the user's investment page is automatically converted. After setting up the form, the page is rendered:

When a user makes an investment, the current amount of investment changes and he appears in the list of investors in this project. Investors are not limited to one investment in the project, so also by clicking on the "Full List" it is possible to view detailed information about all investments made from this acanthus (fig. 8).

Project
— **Information** —

Object Overview Investment Case Document

KEY FACTS:
Необходимы инвестиции на общежитие

CURRENT AMOUNT
€ 1.00

Investment progress: 0%

Invest

€ 100 Submit

Min. amount of investment - €100

You'll get: €103.00

Profit: €3.00

Fig. 8. Investing in a project

After receiving the profit, the administration has the opportunity to pay part to investors. The page for payments to project investors contains a form for

calculating the amount that must be credited to each of the users (fig. 9). After payment, the funds are automatically credited to the investors' account.

wolffortune Online

Menu Yri2

Navigation Blog Project Manager User Manager

Generate Payment List

5%

Calculate

User ID	Project ID	Investment Amount	Preliminary Calculation
25		€ 100,00	+ € 5

Send money to users

Fig. 9. Profit payout page

The user has the opportunity to create a withdrawal request. To do this, send the form on the page "Account money" (fig. 10). This application is sent for moderation,

where the administrator processes it and provides the appropriate status.



Fig. 10. "Account money" page

Conclusions

An analysis of today's popular crowdfunding platforms has revealed their advantages and disadvantages. As a result, the basic requirements for a crowdfunding real estate investment platform have been identified.

Based on the conceptual model of the web platform interface, the main functionalities are highlighted, the scenario of user interaction is described and databases are designed.

Necessary modules of the internal wallet system and project system have been developed. It should be noted that the internal wallet system allows you to contribute to projects and control profits. Also, in addition to the main modules, a module for blogging and user registration with e-mail confirmation was integrated and configured.

The crowdfunding platform for investing in real estate projects is hosted and ready for use. The practical significance of the results is the ability of the financial manager to publish projects and raise funds for financing from registered investors with the subsequent payment of interest on profits.

References

- Dushina, M. O. (2014), "Methods of network communication in a digital society: benchmarking, crowdsourcing, crowdfunding" ["Metody setevoy kommunikatsii v digital'nom obshchestve: benchmarking, kraudsorsing, kraudfanding"], *Sociology of Science and Technology*, Vol. 5, No. 1, P. 105–114.
- Iastremska, O., Strokovych, H. (2019), "Main trends of investment and innovative activity of business entities in the conditions of European integration", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 1 (7), P. 130–142. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.130>
- Kuznetsov, V. A. (2017), "Crowdfunding: topical issues of regulation" ["Kraudfanding: aktual'nyye voprosy regulirovaniya"], *Money and credit*, No. 1, P. 65–73.
- Balykhin, M. G., Generalova, A. V. (2015), "Crowdfunding platform for support of scientific developments" ["Kraudfanding-platforma podderzhki nauchnykh razrabotok"], *Sociological research*, No. 9, P. 57–61.
- Petrushenko, Yu. M., Dudkin, O. V. (2014), "Crowdfunding as an innovative tool for financing socio-economic development projects" ["Kraudfandynh yak innovatsiynnyy instrument finansuvannya proektiv sotsial'no-ekonomichnoho rozvytku"], *Marketing and Management Innovation*, No. 1, P. 172–182.
- Rukavishnikov, S. V. (2017), "Crowdfunding in the system of entrepreneurship, its types and technologies used" ["Kraudfanding v sisteme predprinimatel'stva, yego vidy i ispol'zuyemye tekhnologii"], *Bulletin of the University*, No. 2, P. 189–193.
- Ahlers G. K. C. et al. (2015), "Signaling in equity crowdfunding", *Entrepreneurship theory and practice*, Vol. 39, No. 4, P. 955–980. DOI: <https://doi.org/10.1111/etap.12157>
- Fedorenko, V. Gh. (2013), "Investment financing in the corporate sector" ["Finansuvannya investytsij v korporatyvnomu sektori ekonomiky Ukrainy"], *Investments: practice and experience*, No. 8, P. 35–39.
- Mertens, A. (2011), "5 tools to develop your business model" ["5 ynsumentov dlja rozvytyja vashej byznes-modely"], available at: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/1482/Mertens_5%20instrumentov%20dlja%20rozvitija%20vashej%20biznes-modeli.pdf (last accessed 22.09.2020).
- Muzychenko, T. O. (2014), "Investment and investment activities: conceptual framework" ["Investytsiji ta investytsijna dijalnistj: ponjatijnyj apparat"], *Sustainable development of economy*, No. 3 (25), P. 161–167.
- Malyarets, L., Iastremska O. (2019), "Scientific and practical proposals on the choice and application of strategic controlling instruments and the modern conditions", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 2 (8), P. 72–79, DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.072>
- Rossi, A., Vismara, S. (2018), "What do crowdfunding platforms do? A comparison between investment-based platforms in Europe", *Eurasian Business Review*, Vol. 8, No. 1, P. 93–118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40821-017-0092-6>
- Belleflamme, P., Omrani, N., Peitz, M. (2018), "The economics of crowdfunding platforms", *Information Economics and Policy*, Vol. 33, P. 11–28, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2015.08.003>
- Vasiliev, O. V., Matyushchenko, S. S. (2016), "Crowdfunding - a modern tool for financing the development of intellectual capital" ["Kraudfandynh – suchasnyy instrument finansuvannya rozvytku intelektual'noho kapitalu"], *Investments: practice and experience*, No. 18, P. 36–40.
- Rau, P. R. (2020), *Law, trust, and the development of crowdfunding*, University of Cambridge, 60 p.
- Logvinova, O. P. (2018), "Crowdfunding risk factors" ["Chynnyky ryzyku Kraudfandynhu"], *In: Actual problems of functioning of the economic system of Ukraine. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (Khmelnysky, March 16-17, 2018)*, Kherson: Young Scientist Publishing House, P. 92–96.

17. "Overcoming Real Estate Barriers" ["Preodoleniye bar'yerov nedvizhimosti"], available at: <https://estateguru.co/ru/>
18. "Crowdestate review: the most financially stable real estate platform", available at: <https://www.thewealthyfinn.com/p/crowdestate-review.html>
19. "Reinvest24 Review", available at: <https://p2pempire.com/en/review/reinvest24>
20. Ellman, M., Hurkens, S. (2019), "Optimal crowdfunding design, Journal of Economic Theory", *Journal of Economic Theory*, Vol. 184, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jet.2019.104939>.

Received 28.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Малєєва Юлія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського "ХАІ", доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; email: juliabelokon84@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3553-9156>.

Малєєва Юлія Анатоліївна – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского "ХАИ", доцент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Malieieva Julia – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Малєєва Ольга Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського "ХАІ", професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; email: o.malejeva@khai.edu; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9336-4182>.

Малєєва Ольга Владимировна – доктор технических наук, профессор, Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского "ХАИ", профессор кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Maluyeva Olga – Doctor of Sciences (Engineering Sciences), Professor, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Professor of the Department of Computer Science and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Демченко Анатолій Валентинович – Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського "ХАІ", студент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харків, Україна; email: wolffortune@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9643-4441>.

Демченко Анатолий Валентинович – Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского "ХАИ", студент кафедры компьютерных наук и информационных технологий, Харьков, Украина.

Demchenko Anatoli – National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Student of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

Піддубна Лідія Валеріївна – кандидат філософських наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри економіко-математичних методів та інформаційних технологій, Харків, Україна; email: lidapoddubna@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4225-1612>.

Поддубная Лидия Валерьевна – кандидат философских наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. М. Бекетова, доцент кафедры экономико-математических методов и информационных технологий, Харьков, Украина.

Piddubna Lidia – PhD (Philosophical Sciences), Associate Professor, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Methods and Information Technologies, Kharkiv, Ukraine.

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА КРАУДФАНДИНГ-ІНВЕСТИВАННЯ ПРОЄКТІВ

Предметом дослідження статті є інформаційні технології підтримки процесів інвестування проєктів нерухомості. Проєкти з нерухомості потребують пошука джерел і форм інвестування, які б забезпечили баланс між витратами проєкту та фінансовими ресурсами. Краудфандинг розглядається як інноваційний спосіб фінансування. **Метою** даної роботи є створення платформи краудфандингу, що орієнтована на залучення нових інвесторів для підтримки проєктів в сфері нерухомості. Вирішуються наступні **завдання**: дослідження функціональних можливостей існуючих платформ краудфандингу; розробка та налаштування модулів розширення для обраного фреймворку; розробка інтерфейсу фінансового менеджера проєкту з нерухомістю. **Методи** дослідження: системний аналіз, методи фінансового менеджменту, інформаційні технології розробки сайтів. Отримано такі **результати**: Виділено характерні риси краудфандингу, які роблять його ефективним способом фінансування проєктів Проведено аналіз популярних на сьогоднішній день платформ краудфандингу, виявлено їх переваги та недоліки. В результаті визначено основні вимоги до краудфандингової платформи інвестування в нерухомість. На основі концептуальної моделі інтерфейсу веб-платформи виділено основні функціональні можливості, описано сценарій взаємодії користувачів та спроектовано базу даних. Розроблені необхідні модулі системи внутрішнього гаманця та системи проєктів. Слід відзначити, що система внутрішнього гаманця дозволяє робити внески в проєкти та контролювати отримання прибутку. Також, окрім основних модулів було інтегровано та налаштовано модуль для блогу і ресстрації користувачів з підтвердженням електронної скриньки. **Висновки**: Необхідне врахування інтересів зацікавлених сторін, які надають кошти для здійснення проєкту, що формує їх мотивацію до інвестування. Інформаційна підтримка краудфандингових проєктів інвестування підвищує ефективність управління портфелем проєктів, надає змогу фінансовому менеджеру публікувати проєкти та збирати кошти на фінансування від зареєстрованих інвесторів з подальшою виплатою відсотку від прибутку.

Ключові слова: краудфандинг; управління інвестуванням; функціонал системи; веб-платформа; проєкти з нерухомості.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА КРАУДФАНДИНГ-ИНВЕСТИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ

Предметом исследования статьи являются информационные технологии поддержки процессов инвестирования проектов недвижимости. Проекты по недвижимости требуют поиска источников и форм инвестирования, которые бы обеспечили баланс между затратами проекта и финансовыми ресурсами. Краудфандинг рассматривается как инновационный способ финансирования. **Целью** данной работы является создание платформы краудфандинга, ориентированная на привлечение новых инвесторов для поддержки проектов в сфере недвижимости. Решаются следующие задачи: исследование функциональных возможностей существующих платформ краудфандинга; разработка и настройка модулей расширения для выбранного фреймворка; разработка интерфейса финансового менеджера проекта с недвижимостью. **Методы** исследования: системный анализ, методы финансового менеджмента, информационные технологии разработки сайтов. Получены следующие **результаты**: Выделены характерные черты краудфандинга, которые делают его эффективным способом финансирования проектов. Проведен анализ популярных на сегодняшний день платформ краудфандинга, выявлены их преимущества и недостатки. В результате определены основные требования к краудфандинговой платформе инвестирования в недвижимость. На основе концептуальной модели интерфейса веб-платформы выделены основные функциональные возможности, описано сценарий взаимодействия пользователей и спроектировано базу данных. Разработаны необходимые модули системы внутреннего кошелька и системы проектов. Следует отметить, что система внутреннего кошелька позволяет делать взносы в проекты и контролировать получение прибыли. Также, помимо основных модулей был интегрирован и настроен модуль для блога и регистрации пользователей с подтверждением электронной почты. **Выводы**: Необходим учет интересов и формирование мотивации к инвестированию стейкхолдеров, которые предоставляют средства для осуществления проекта. Информационная поддержка краудфандинг-инвестирования повышает эффективность управления портфелем проектов, дает возможность финансовому менеджеру публиковать проекты и собирать средства на финансирование от зарегистрированных инвесторов с последующей выплатой процента прибыли.

Ключевые слова: краудфандинг; управление инвестированием; функционал системы; веб-платформа; проекты недвижимости.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Малєєва Ю. А., Малєєва О. В., Демченко А. В., Піддубна Л. В. Інформаційна підтримка краудфандинг-інвестування проектів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.034>.

Malieieva, Ju., Malyyeyeva, O., Demchenko, A., Pidubna, L. (2020), "Information support for crowdfunding and investing projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 34–42. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.034>.

UDC 004.896

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.043>

V. MARTOVYTSKYI, O. IVANIUK

APPROACH TO BUILDING A GLOBAL MOBILE AGENT WAY BASED ON Q-LEARNING

Today, the problem of navigation of autonomous mobile systems in a space where disturbances are possible is urgent. The task of finding a route for a mobile robot is a complex and non-trivial task. At the moment, there are many algorithms that allow you to solve such problems in accordance with the specified criteria for building a route. Most of these algorithms are modifications of "basic" path planning methods that are optimized for specific conditions. The **subject** of research in the article is the process of building a global path for a mobile agent. The **purpose** of the work is to create an algorithm for planning the route of autonomous mobile systems in space using the Q-learning algorithm. The following **tasks** are solved in the article: development of an approach to training and support of a reinforcement learning algorithm for building a global path of a mobile agent; testing the agent's ability to find a path in environments that are not in the training set. The following **methods** are used: graph theory, queuing theory, Markov decision-making process theory and mathematical programming methods. The research is based on scientific articles and other materials from foreign conferences and archives in the field of machine learning, deep learning and deep reinforcement learning. The following **results** were obtained: an approach was formulated to construct the global path of a mobile agent based on the accumulated data in the process of interaction with the external environment. The environment rewards these actions and the agent continues to carry them out. This approach will allow this method to be applied to a wide range of situations and devices. **Conclusions:** This approach allows accumulating the knowledge of the outside world for further decision-making when planning a route where the robot can acquire the skill of self-learning, studying and training like a human, and finding the path from the initial state to the target state in an unknown environment. In the modern world, the use of robots and autonomous systems is spreading, designed to replace or facilitate human labor, make it safer and speed it up. Adaptive autonomous path finding algorithms are very important in many robotics applications. Thus, navigation tasks with limited information are relevant today, since this is the main task that the agent solves, and one of the tasks that are part of the robot during operation.

Keywords: path planning; Q-learning; mobile works; adaptive standalone search algorithms.

Introduction

Today, the problem of navigation of autonomous mobile systems in a space where disturbances are possible is urgent. The problem lies in the fact that various disturbances arising during the movement of work do not allow the implementation of movement along a pre-planned route and require current redevelopment in accordance with the situation received from the sensors. For autonomous systems, the problem is aggravated by the need to automatically generate a model of the current situation based on data from sensors and to integrate this model of the situation with planning and control models in real time [1].

In this work, by planning and control problems we mean the problem of finding the optimal sequence of actions, which leads to the agent getting from the initial position to the final one. At the same time, at every step the agent receives information about the environment. This information may be complete or incomplete.

Complete information is that information that fully describes the state of the agent together with the environment [2]. In planning and control tasks, this can be a map with a marked position of the agent on it. To solve the navigation problem with complete information, one of the classical search algorithms, such as Dijkstra's A* algorithm, and their modifications, and the like, can almost always be applied. However, in real conditions such a map is very difficult or impossible to build, and therefore most often we have only incomplete information. Incomplete information in search tasks is usually data from sensors at work or from some static structures in the environment.

Effective mobile operations in 3-dimensional space

are the important research topic in artificial intelligence. In the modern world, the use of robots on autonomous systems is spreading, designed to replace or facilitate human labor, make it safer and faster. Adaptive autonomous pathfinding algorithms are very important in many applications of robotics.

For example, it is very important for security workers in the fire, rescue and police services to ensure their own safety while performing tasks. They independently penetrate into dangerous environments: apartments, houses, premises of various types. Special works of varying degrees of autonomy are disposable for a long time in developed countries [3].

Many people use home helpers today. Robot vacuum cleaners, voice assistants, smart home systems are getting smarter every day, demonstrating advances in understanding human speech, navigating the home, monitoring room performance, and the like. From the navigation side, most of them are arranged quite simply and rely on classical algorithms for building maps and planning using them.

Analysis of the problem and existing methods

The task of finding a route for a mobile robot is a complex and non-trivial task. At the moment, there are many algorithms that allow you to solve such problems in accordance with the specified criteria for building a route. Most of these algorithms are modifications of "basic" path planning methods that are optimized for specific conditions.

Pathfinding algorithms can be divided into 3 unique groups:

1. graph-based algorithms;

2. algorithms for avoiding obstacles;
3. algorithms using intelligent methods.

Analysis of the literature has shown that recently, many different methods and algorithms have been proposed for route planning [4–14]. The article [6] presents a solution for planning the shortest route for moving a robot in a maze based on the Voronoi graph and

has the following form in fig. 1. Algorithm represented in fig. 1 is based on the use of the method and successfully solves the problem of finding the optimal route using a set of optimality criteria. The representation method is based on the Voronoi graph and helps to avoid the problem of path getting stuck during iteration at local minima and provides more flexibility for route optimization.

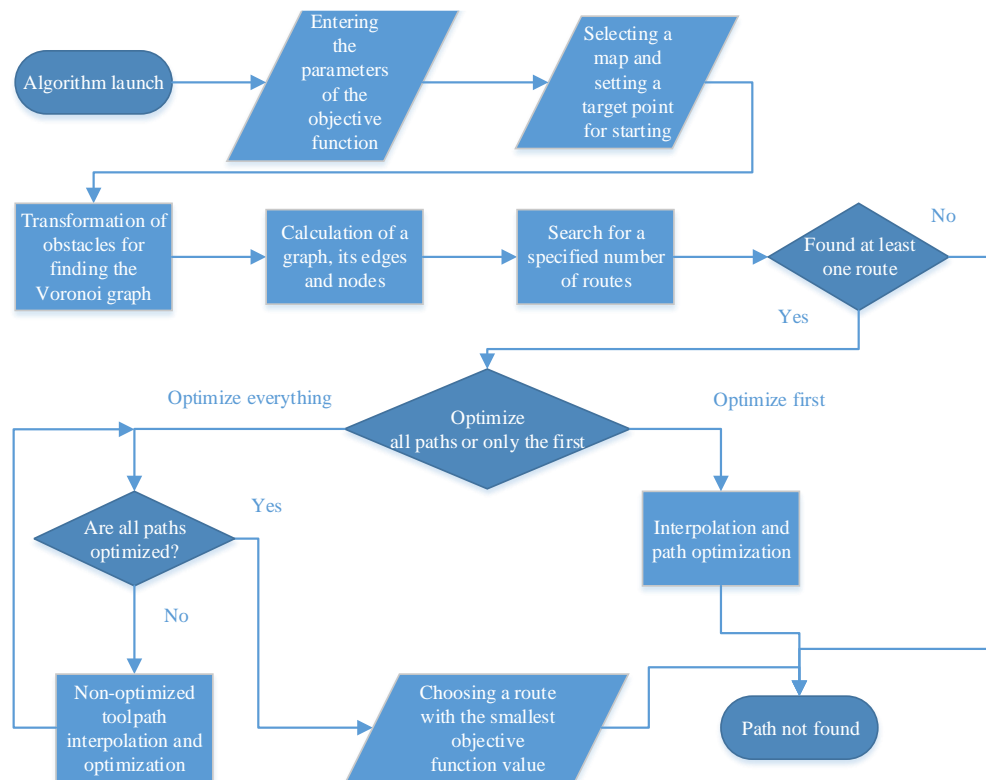


Fig. 1. Scheme of the method for finding the optimal route based on the Voronoi graph

In [7], a global approach to route planning is implemented using artificial potential fields for multi-robot systems (MRS). A 3D lead map is created using simplified lead functions. To create a three-dimensional map, both the gravitational forces between the robots and the target and the repulsive forces that push the robots away from obstacles and each other are calculated. The problem of local minima is solved by using a virtual obstacle approach. The path of the robot is formed, starting from the initial position of the robot to the target, based on the generated 3D potential map that the mobile robots should follow.

The article [9] proposes a method based on a genetic algorithm for planning articulated-type mobile robots. The proposed algorithm considers path planning as a multipurpose optimization problem and evaluates the effectiveness of the result based on four adjustable fitness objective functions. The algorithm generates optimal ones according to the Pareto principle. Fig. 2 shows a block diagram of the proposed method based on a genetic algorithm. The method takes as input an obstacle map (W), a roadmap (Q) and several parameters associated with the genetic algorithm, which gives the ideal sequence of commands for the movement of the robot. The roadmap (Q) is a series of predefined configurations of the hTetro

(q) robot, which defines a series of positions and morphologies that the robot should arrive at during the navigation process.

In [10], an algorithm for optimizing ant colonies based on optimizing a swarm of particles is used to find the optimal route. Due to various limitations such as limited battery power and limited visibility, the ant colony algorithm uses an improved pheromone update rule and a heuristic function based on the particle swarm optimization algorithm. The solution to the route planning process is described as follows:

Step 1. The starting point and the target point in the abstract model of the environment are determined first after building a three-dimensional model of the environment and determining the main direction of movement of the ant.

Step 2. Based on the heuristic information and the weight of the pheromone value, the next search point for ants is determined by formula (10) in article [10].

Step 3. Then the local pheromone footprint is updated in accordance with the formula (11) [10]

Step 4. Determine if all the ants have completed the construction of the trail. If not, then go back to Step 2.

Step 5. The global pheromone footprint is updated according to equation (14) in [10] to determine if the

Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2020. № 3 (13)

algorithm satisfies the stop condition. Otherwise, go back to Step 2.

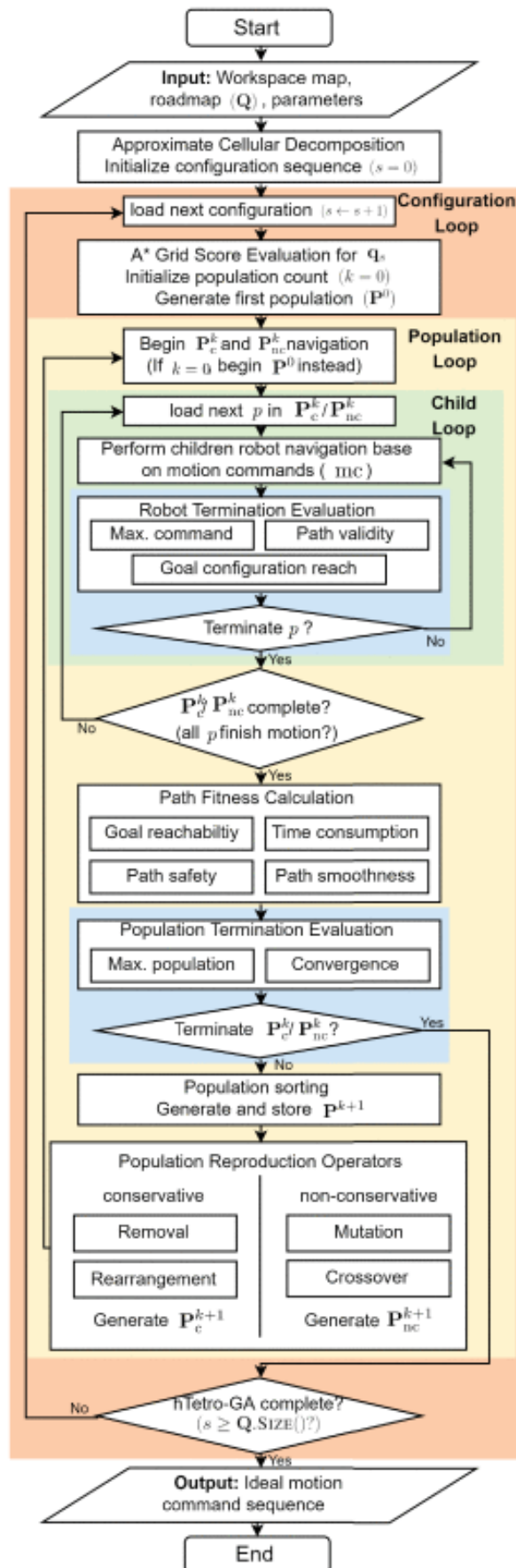


Fig. 2. Scheme of the hTetro-GA algorithm [9]

Analysis of existing solutions reflects the individuality of using the developed methods for a specific situation and device.

Formulation of the problem

This paper proposes an approach to building a global path for a mobile agent based on the accumulated data in the process of interacting with the external environment. The environment rewards these actions and the agent continues to carry them out. This approach will allow this method to be applied to a wide range of situations and devices.

The approach is as follows: there is a mobile agent that interacts with the external environment described in the form of a Markov decision making process (MDMP) takes one of a predetermined set of actions. Using partial learning algorithms, we are trying to find a strategy that assigns actions to the states of the environment, one of which the agent can choose in these states and achieve the maximum reward. Interaction with the environment is shown in fig. 3.

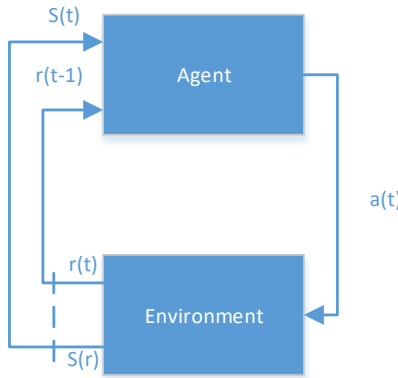


Fig. 3. Interaction of the agent with the environment

Formally, the approach to building a global mobile agent path based on Q-learning is described as follows:

- the set of states of the external environment S ;
- a set of actions A ;
- lots of scalar "rewards".

At an arbitrary time instant t , the agent is characterized by a state $s_t \in S$ and a set of all possible actions in the current state of the environment $A(s_t)$. Making a choice of action $a \in A(s_t)$, the agent goes into a state s_{t+1} and receives a payoff r_t . Based on such interaction with the environment, the agent, thanks to Q-learning, must develop a strategy $\Omega: S \rightarrow A$ that maximizes the amount of reward $R = r_0 + r_1 + \dots + r_n$ in the case of an MDMP having a terminal state, or the value:

$$R = \sum_t \gamma^t r_t, \quad (1)$$

for MDMP without terminal states (where $0 \leq \gamma \leq 1$ is the discount factor for "expected reward").

The general learning algorithm is shown in fig. 4, where

$$\begin{aligned} P(s_{t+1} = s', r_{t+1} = r \mid s_t, a_t, r_t, s_{t-1}, a_{t-1}, r_{t-1}, \dots, s_1, a_1) = \\ = P(s_{t+1} = s', r_{t+1} = r \mid s_t, a_t) \end{aligned} \quad (2)$$

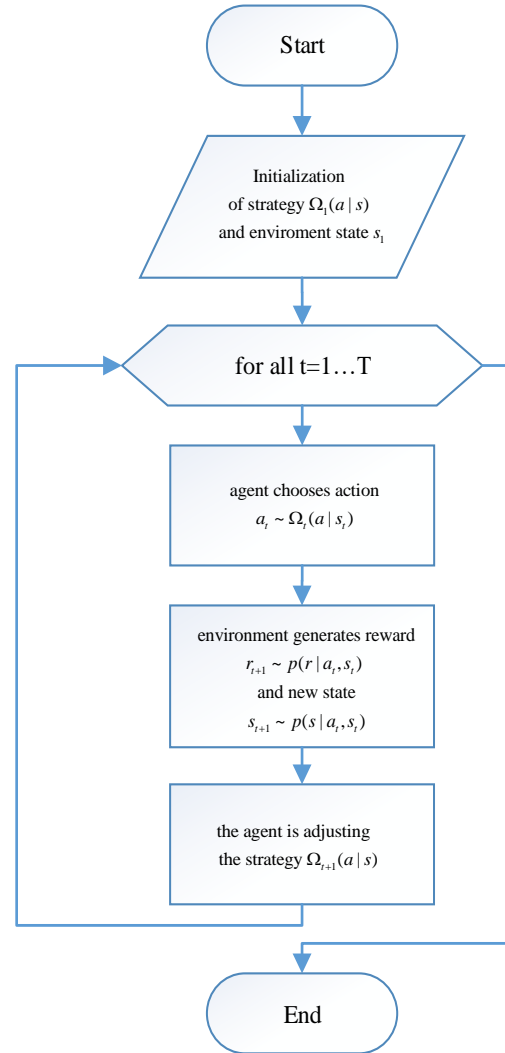


Fig. 4. Learning algorithm

Building a global mobile agent path based on Q-learning.

Based on the reward that the agent receives from the external environment, the utility function Q is formed, which subsequently makes it possible not to randomly choose a strategy of behavior, but to take into account the accumulated experience of previous interaction with the external environment.

Thus, the algorithm is a function of quality from state and action:

$$Q: S \times A \rightarrow \mathbb{R}. \quad (3)$$

Before training, Q is initialized with random values. After that, at each moment of time t , the agent chooses an action a_t , receives a reward r_t , switches to a new state s_{t+1} , which may depend on the previous state s_t and the selected action, and updates the function Q . Updating the function uses a weighted average between the old and new values:

$$Q^{new}(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \lambda * (r_t + \gamma * \max_a (Q^{new}(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t))), \quad (4)$$

where $T = S \times A \rightarrow S$ is a transition function, $Q^{new}(s_{t+1}, a_{t+1})$ is the value of the objective function in the next step, $Q(s_t, a_t)$ – the value of the objective function at the current position, $\max_a (Q^{new}(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t))$ – selection of the maximum value from the possible next steps, $s \in S$ – agent's current position, $a \in A$ – current action, $\lambda \in [0, 1]$ – the speed of learning, the higher it is, the more the agent trusts new information, $R = S \times A \rightarrow \mathbb{R}$ – reward function, $r_t \in \mathbb{R}$ – the reward received in the current position, $\gamma \in [0, 1]$ – gamma (decrease in remuneration, discount factor), the smaller it is, the less the

agent thinks about the benefits of his future actions, s_{t+1} – the next selected position according to the next selected action, a_{t+1} – next selected action.

The main element in the Q-learning approach is the reward matrix - the Q-table of the state of the system. Matrix Q is a set of system states and weights of the system's response to various actions. While trying to get through the given environment, the mobile robot learns to avoid obstacles and find its way to its destination. As a result of the interaction between the agent and the external environment, a Q-table of accumulated experience is built, with the help of which the mobile robot decides on the next step.

The algorithm for accumulating knowledge from the external environment is shown in fig. 5.

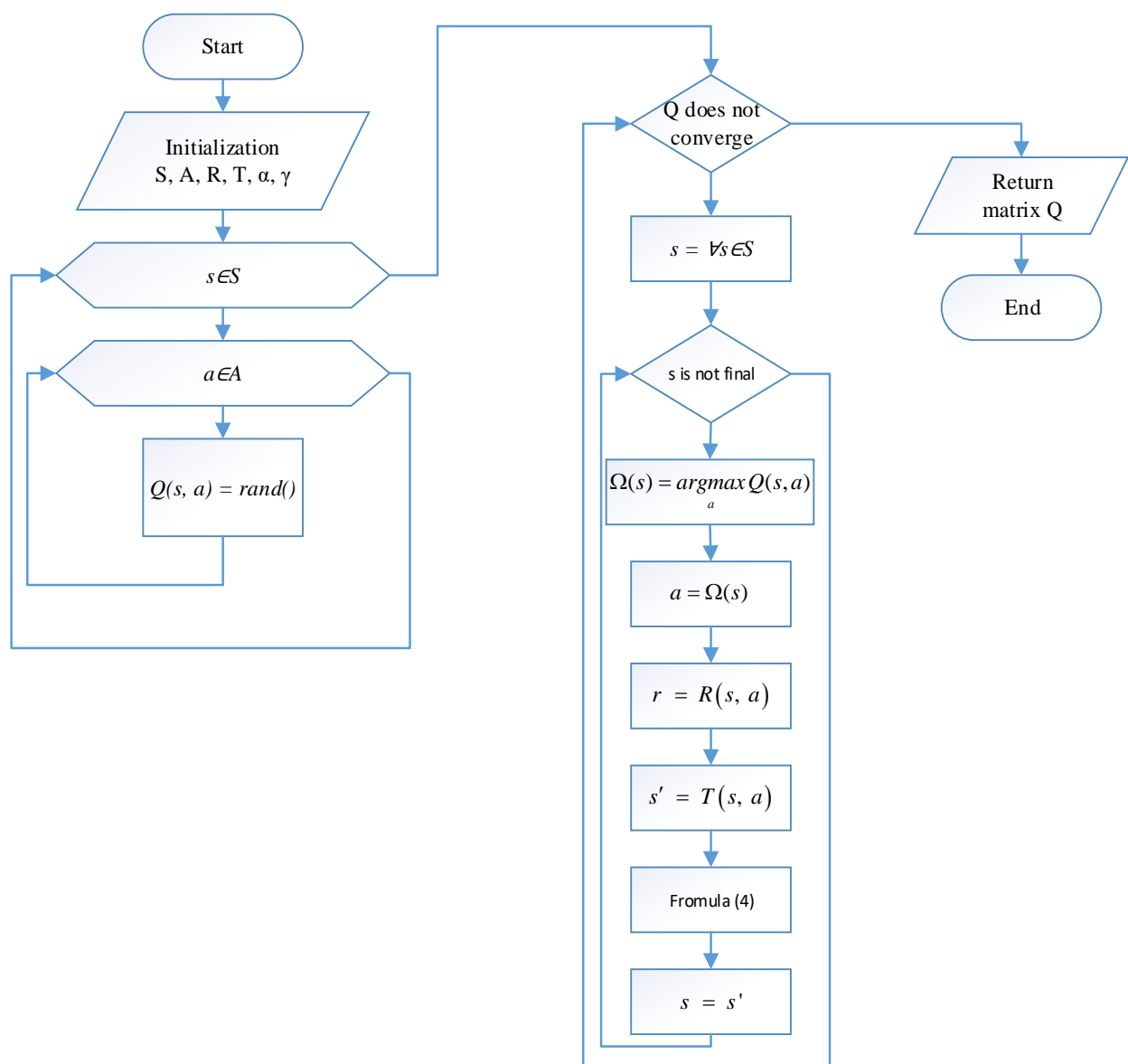


Fig. 5. Q-learning

One of the benefits of Q-learning is that it is able to compare the expected utility of available activities without

shaping environmental models it is used for situations that can be represented as MDMP.

Experiment results

In order to test the approach based on Q-learning, a software implementation of the algorithm in the Python programming language was made. During the simulation, a computer with the following characteristics was used: Intel Core i5-4300U 2.5 GHz processor, 8Gb RAM.

The software implementation of the algorithm consists of two modules: the agent module and the environment module. The agent affects the external environment, and the external environment in response to the agent's actions affects him.

At each step, the agent: performs an action (up, down, right, left); receives observation (new state), receives a reward. Wednesday: receives observation (new state), issues reward.

The algorithms showed the fastest convergence with the following parameters: $\lambda = 0.5$; $\gamma = 0.99$. The result of the route planning simulation is shown in fig. 6.

For the proposed model, graphs of the main indicators during training are shown: average, minimum and maximum rewards and entropy of the resulting strategy in figs. 7, 8.

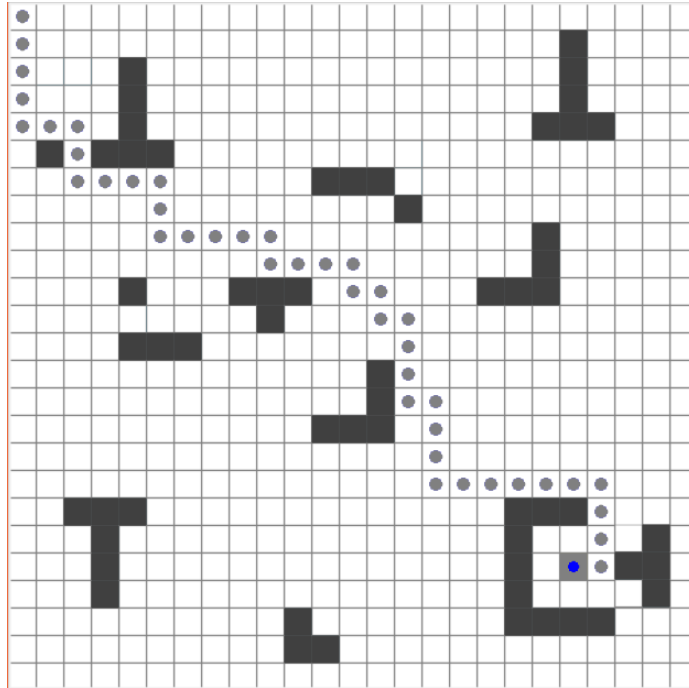


Fig. 6. Example of a constructed route

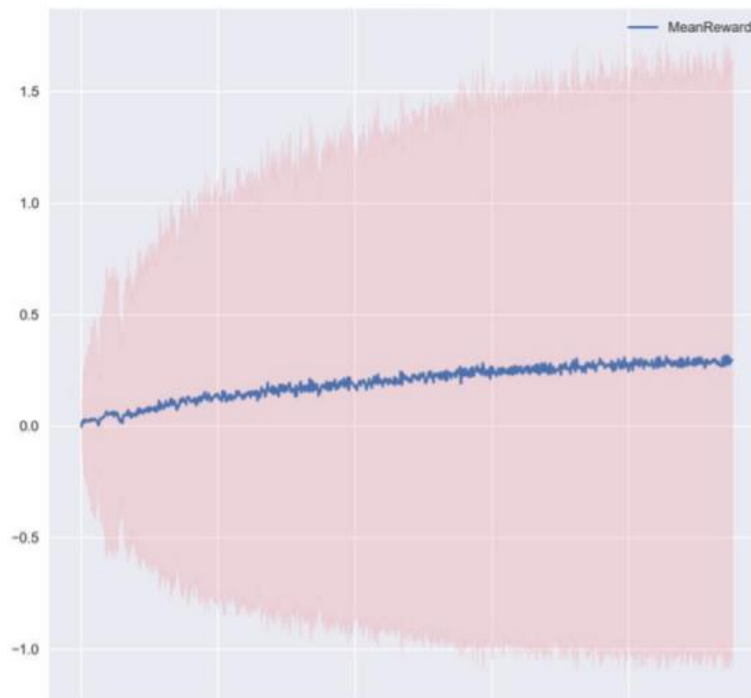


Fig. 7. Average, minimum and maximum training rewards

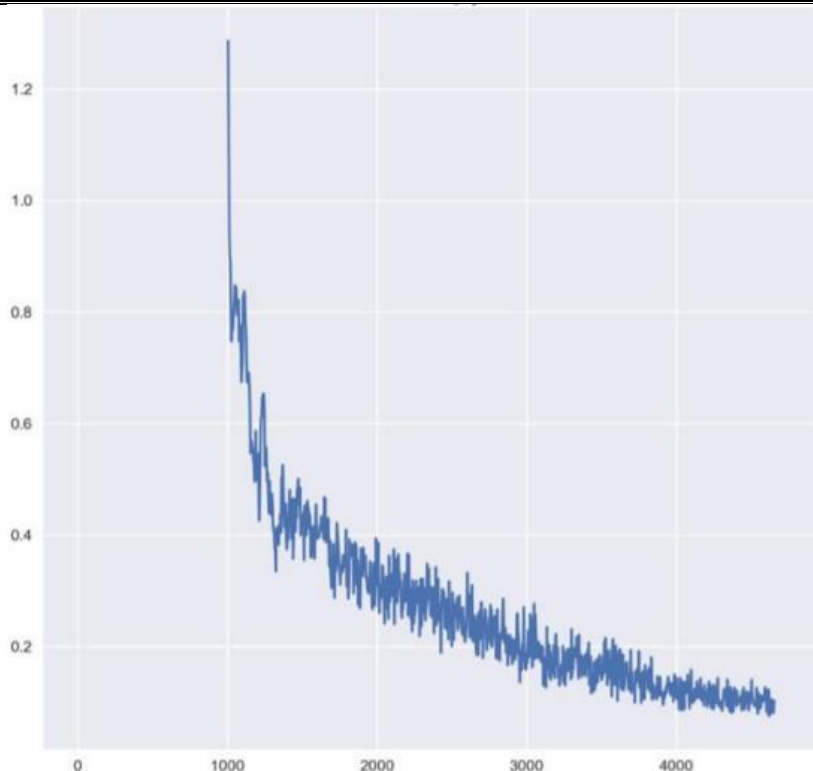


Fig. 8. Entropy of the resulting strategy

The optimal "Q-table" has values that allow the mobile robot to take the best action in each state, resulting in the best route. Values from "Q-table" are used to create a strategy when planning a route between two points. In this case, it would be a greedy strategy, because the mobile robot always takes the action it thinks is best in each state.

Conclusions

This article presents an approach to building a global mobile agent path based on Q-learning. When changing

the local environment, Q-learning uses local path planning. Thus, the robot can acquire the skill of self-learning by learning and training like a human and looking for a clear path from the initial state to the target state in an unknown environment.

The work developed and trained a decision-making system associated with high rates of success, finds short paths to the specified target points in scenes with both training and variation sampling, demonstrating the ability to generalize.

References

1. Kargin, A., Ivaniuk, O. (2020), "Autonomous robot motion control situational planning model", *Advanced Information Systems*, No 4, P. 41–51. DOI: 10.20998/2522-9052.2020.3.05
2. Sukharev, O. (2019), "Functions of information and modes of informational development of control systems", *Problems of theory and practice of management*, No 1, P. 37–51.
3. Miyazawa, K. (2002), "Fire robots developed by the Tokyo Fire Department", *Advanced Robotics*, P. 553–556. DOI: 10.1163/156855302320535953
4. Magid, E., Lavrenov, R., Afanasyev, I. (2017), "Voronoi-based trajectory optimization for UGV path planning", *International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC), IEEE*, P. 383–387. DOI: 10.1109/ICMSC.2017.7959506
5. Kovács, G., Yusupova, N., Smetanina, O., Rassadnikova, E. (2018), "Methods and algorithms to solve the vehicle routing problem with time windows and further conditions", *Pollack Periodica*, No. 13 (1), P. 65–76. DOI: 10.1556/606.2018.13.1.6
6. Lavrenov, R. O., Magid, E. A. (2020), "Multihomotopic search for the optimal route for autonomous mobile devices", *Industrial automation*, No. 7, P. 61–64. DOI: 10.25728/avtprom.2020.07.14
7. Hassan, A. M., Elias, C. M., Shehata, O. M., Morgan, E. I. (2017), "A global integrated artificial potential field/virtual obstacles path planning algorithm for multi-robot system applications", *Int. Research J. of Eng. and Technology*, No. 4 (9), P. 1198–1204.
8. Wahid, N., Zamzuri, H., Amer, N. H., Dwijotomo, A., Saruchi, S. A., Mazlan, S. A. (2020), "Vehicle collision avoidance motion planning strategy using artificial potential field with adaptive multi-speed scheduler", *IET Intelligent Transport Systems*, No. 14 (10), P. 1200–1209. DOI: 10.1049/iet-its.2020.0048
9. Ku Ping Cheng, Rajesh Elara Mohan, Nguyen Huu Khanh Nhan, Anh Vu Le (2020), "Multi-Objective Genetic Algorithm-Based Autonomous PP for Hinged-Tetro Reconfigurable Tiling Robot", *IEEE Access*, available at : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9131750> (last accessed: 23.09.2020)

10. Che Gaofeng, Lijun Liu, Zhen Yu (2020), "An improved ant colony optimization algorithm based on particle swarm optimization algorithm for path planning of autonomous underwater vehicle", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, No. 11 (8), P. 3349–3354. DOI: 10.1007/s12652-019-01531-8
11. Raja, P., Pugazhenthii, S. (2012), "Optimal path planning of mobile robots: A review", *International journal of physical sciences*, No. 7 (9), P. 1314–1320. DOI: 10.5897/IJPS11.1745
12. Yahja, A. (1998), "Framed-quadtrees path planning for mobile robots operating in sparse environments", In: *Proceedings. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 98CH36146)*, P. 650–655. DOI: 10.1109/ROBOT.1998.677046
13. Montiel, O., Orozco-Rosas, U., Sepúlveda, R. (2015), "Path planning for mobile robots using Bacterial Potential Field for avoiding static and dynamic obstacles", *Expert Systems with Applications*, No. 42 (12), P. 5177–5191. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.02.033
14. Raja, P., Pugazhenthii, S. (2009), "Path planning for mobile robots in dynamic environments using particle swarm optimization", *2009 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. IEEE*, P. 401–405. DOI: 10.1109/ARTCom.2009.24
15. Kovács, B., Szayer, G., Tajti, F., Burdelis, M., Korondi, P. (2016), "A novel potential field method for path planning of mobile robots by adapting animal motion attributes", *Robotics and Autonomous Systems*, No. 82, P. 24–34. DOI: 10.1016/j.robot.2016.04.007.

Received 14.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мартовичський Віталій Олександрович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Харків, Україна; email: martovytskyi@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2349-0578>.

Мартовичський Віталій Олександрович – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Харьков, Украина.

Martovytskyi Vitalii – PhD (Engineering Sciences), Kharkov National University of Radio Electronics, Assistant professor of the Department of Electronic Computers, Kharkov, Ukraine.

Іванюк Олександр Ігорович – Український державний університет залізничного транспорту, аспірант кафедри інформаційних технологій, Харків, Україна; email: ivaniuk@kart.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4007-2215>.

Іванюк Олександр Ігорович – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, аспирант кафедры информационных технологий, Харьков, Украина.

Ivaniuk Oleksandr – Ukrainian State University of Railway Transport, PhD Student of the Department of Information Technology, Kharkiv, Ukraine.

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ГЛОБАЛЬНОГО ШЛЯХУ МОБІЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВІ Q-LEARNING

На сьогодні актуальною є проблема навігації автономних мобільних систем в просторі, де можливі обурення. Завдання пошуку маршруту для мобільного робота - складне і нетривіальне завдання. На даний момент існує безліч алгоритмів, що дозволяють вирішувати подібні завдання відповідно до заданих критеріїв для побудови маршруту. Велика частина цих алгоритмів є модифікаціями "базових" методів планування шляху, які оптимізовані під конкретні умови. **Предметом** дослідження в статті є процес побудови глобального шляху мобільного агента. **Мета** роботи – створення алгоритму планування маршруту автономних мобільних систем в просторі з використанням алгоритму Q-learning. У статті вирішуються наступні **завдання**: розробка підходу до навчання та підтримки алгоритму навчання з підкріпленням для побудови глобального шляху мобільного агента; тестування здатності агента до пошуку шляху в середовищах, відсутніх в наборі для тренування. Використовуються такі **методи**: теорія графів, теорія масового обслуговування, теорія марковського процесу прийняття рішень і методи математичного програмування. Дослідження ґрунтується на наукових статтях і інших матеріалах зарубіжних конференцій і архівів в області машинного навчання, глибокого навчання і глибокого навчання з підкріпленням. Отримані наступні **результати**: сформульовано підхід до побудови глобального шляху мобільного агента на основі накопичених даних в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем. Навколишнє середовище дає нагороду за ці дії, а агент продовжує їх виконувати. Такий підхід дозволить застосовувати цей метод для широкого кола ситуацій і пристроїв. **Висновки**: Даний підхід дозволяє накопичувати свої знання про навколишній світ для подальшого прийняття рішення при плануванні маршруту, де робот може отримати навик самонавчання, вивчаючись і тренуючись, як людина, та знаходити шлях від початкового стану до цільового стану в невідомому середовищі. У сучасному світі поширюється використання роботів і автономних систем, призначених замінити або полегшити людську працю, зробити її безпечнішою і прискорити її. Адаптивні автономні алгоритми пошуку шляху дуже важливі в багатьох додатках робототехніки. Таким чином, завдання навігації з обмеженою інформацією актуальні сьогодні, так як це головне завдання, яке агент вирішує, і одне із завдань, що входять до складу, виконуваних роботом при роботі.

Ключові слова: планування шляху; Q- learning; мобільні роботи; адаптивні автономні алгоритми пошуку.

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ГЛОБАЛЬНОГО ПУТИ МОБІЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВЕ Q-LEARNING

На сегодня актуальной является проблема навигации автономных мобильных систем в пространстве, где возможны возмущения. Задача поиска маршрута для мобильного робота – сложная и нетривиальная задача. На данный момент

существует множество алгоритмов, позволяющих решать подобные задачи в соответствии с заданными критериями для построения маршрута. Большая часть этих алгоритмов являются модификациями "базовых" методов планирования пути, которые оптимизированы под конкретные условия. **Предметом** исследования в статье является процесс построения глобального пути мобильного агента. **Цель** работы – создание алгоритма планирования маршрута автономных мобильных систем в пространстве с использованием алгоритма Q-learning. В статье решаются следующие **задачи**: разработка подхода к обучению и поддержке алгоритма обучения с подкреплением для построения глобального пути мобильного агента; тестирование способности агента к поиску пути в средах, отсутствующих в наборе для тренировки. Используются следующие **методы**: теория графов, теория массового обслуживания, теория марковского процесса принятия решений и методы математического программирования. Исследование основывается на научных статьях и других материалах зарубежных конференций и архивов в области машинного обучения, глубокого обучения и глубокого обучения с подкреплением. Получены следующие **результаты**: сформулирован подход к построению глобального пути мобильного агента на основе накопленных данных в процессе взаимодействия с внешней средой. Окружающая среда дает награду за эти действия, а агент продолжает их выполнять. Такой подход позволит применять этот метод для широкого круга ситуаций и устройств. **Выводы**: Данный подход позволяет накапливать свои знания о внешнем мире для дальнейшего принятия решения при планировании маршрута, где робот может получить навык самообучения, изучая и тренируясь, как человек, и находить путь от начального состояния к целевому состоянию в неизвестной среде. В современном мире распространяется использование роботов и автономных систем, предназначенных заменить или облегчить человеческий труд, сделать ее более безопасной и ускорить ее. Адаптивные автономные алгоритмы поиска пути очень важны во многих приложениях робототехники. Таким образом, задачи навигации с ограниченной информацией актуальны сегодня, так как это главная задача, которую агент решает, и одна из задач, входящих в состав, выполняемых роботом при работе.

Ключевые слова: планирование пути; Q-learning; мобильные роботы; адаптивные автономные алгоритмы поиска.

Бібліографічні опису / Bibliographic descriptions

Мартовицький В. О., Іванюк О. І. Підхід до побудови глобального шляху мобільного агента на основі Q-learning. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.043>.

Martovytskyi, V., Ivaniuk, O. (2020), "Approach to building a global mobile agent way based on Q-learning", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.043>.

YE. MELESHKO

THE METHOD OF DETECTING INFORMATION ATTACK OBJECTS IN RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON THE ANALYSIS OF RATING TRENDS

The **subject** matter of the research is the process of identifying information attacks on the recommendation system. The **goal** of this work is to develop a method for detecting information attack objects in a recommendation system based on the analysis of trends in the ratings of system objects. The **task** to be solved is: develop a method of detecting information attack objects in a recommendation system. **Results.** The paper investigates methods for determining the existing trends in time series, in particular, methods based on a moving average, several moving averages and zigzag tops. Also, a method for predicting the dynamics of trends in a time series in the future based on R/S analysis was considered. The set of indicators has been proposed, by the values of which it is possible to determine the presence or absence of an information attack on an object of the recommendation system. This set of indicators includes: the existing trend in the numerical series of ratings of the system object, the predicted trend in the ratings of the system object, the number of getting of the object in the lists of recommendations and statistical characteristics of the series, for example, the number of target ratings, the variance of ratings, the variance of the time of assigning ratings, etc. On the basis of the proposed set of indicators, the method for detecting objects of information attack in a recommendation system using trend analysis in the ratings of system objects was developed. This method makes it possible to detect the presence of an information attack on the objects of the recommender system and generates the list of possible targets for bots. Many possible targets can be used to further search for bot profiles and clarify information about their true targets. This will make it possible, when searching for botnets, to check not all system profiles, but only those that interacted with probable targets of attack. **Conclusions.** The method of detecting information attack objects in recommendation system based on the analysis of rating trends was developed. The software implementation was created and experiments to test the effectiveness of the developed method were carried out. The experiments have shown that the developed method makes it possible to identify with high accuracy the objects of information attacks on recommender systems for random, average and popular attack models.

Keywords: recommendation systems; information attacks; information security; information attack detection; technical analysis; moving average; R/S analysis.

Introduction

Recommendation systems are increasingly used on various websites and are becoming an important part of them, allowing users to better find the content they need [1, 2].

Like other components of multi-user websites, referral systems need to be protected from information attacks that may be used to disseminate informational influences for marketing, political or other purposes [3, 4].

The main type of information attacks on referral systems are profile injection attacks [3-7]. They are implemented by bot networks [4, 5]. Such attacks are aimed at changing the frequency of impressions in the recommendations of certain objects of the system. Increasing the frequency of impressions in the recommendations draws more attention to certain content. And reducing the frequency of impressions - reduces the likelihood of users' attention to the content. Therefore, attacks on referral systems are used by attackers to draw attention to their content, or to reduce the popularity of competitors' content. There are different models of profile injection attacks, in particular, random, medium and popular attack models [6, 7], which differ in strategies for filling bot profiles with estimates for targets and for filling the profile and masking it as a user profile from the target system segment.

Existing methods of detection and neutralization of attacks in recommendation systems [1, 8-11], require constant repeated checks of all profiles of system users.

Mostly in existing studies, it is proposed to consider the detection of an attack on the recommendation system identical to the detection of bot profiles [1, 4, 8-11]. To

identify bot profiles, clustering and classification methods are used to separate all system profiles into normal and suspicious, and the distribution of ratings in individual user profiles is analyzed by statistical methods to find anomalies specific to bot profiles.

Detecting bot profiles is a very resource-intensive task that requires the use of machine learning methods and processing large amounts of data.

In this paper, it is proposed to identify the objects of information attack in the recommendation system, and then, if such are found, you can further search for bot profiles among users who interacted with them. It is suggested to look for objects of attack on the basis of statistical characteristics and dynamics of trends of their ratings. In this case, detecting the presence of an attack will be a less resource-intensive task, and bots can be searched among fewer user profiles.

Main part

We will assume that the attack on the recommendation system occurs when the dynamics of ratings of one or more objects of the system changes as a result of the actions of the bot network. However, the amount of damage from an attack does not always depend on the number of objects affected. Successful change of ratings of even one object by a botnet can have big consequences if it is a question, for example, of social, political or medical sphere, etc.

Thus, the presence of an information attack on the recommendation system causes a change in the ratings of objects (increases or decreases them), but a change in the ratings of the object is not sufficient reason to believe that

an attack occurs, as ratings may change as a result of normal actions of authentic users. Therefore, we highlight a number of additional features that may indicate an information attack:

- in the case of an object, the number of ratings has increased sharply over the period of study – this may indicate an attack, because to shift the ratings you need to create a significant number of bots that will deliver targeted ratings of the object;

- object, on the studied period of time put a lot of target ratings, i.e., the highest when increasing the rating, or the lowest when lowering the rating - such ratings may be higher than all others in the current period, which may indicate the haste of the attacking system when he needs to promote his content as soon as possible;

- low variance of object ratings - it is natural that the attack object will have many identical marks in the studied period of time, because during the attack they try to change ratings, i.e., for example, before the attack there were many low marks, and the botnet exposes many high estimates;

- the object became more often than others to get on the recommendation lists – if it is an attack, it is successful, in fact only successful attacks and should be of interest to the security subsystem of the recommendation system, because they must be neutralized, and unsuccessful attacks can be ignored in case of savings system resources.

So, let's form a set of indicators, the values of which can determine the presence or absence of an information attack on the object of the recommendation system:

$$Q_{a,i} = \{tr, pr, d_r, d_t, n_r, n_{tr}, n_{rec}\}, \quad (1)$$

where tr is a trend of dynamics of object i ratings, which can take the following values $\{-1, 0, 1\}$ – respectively "rating downward trend", "no change" and "upward trend"; pr – forecasting the trend of the dynamics of object i ratings; d_r – variance of object i ratings; d_t – variance of object i rating time; n_r – the number of estimates in the object i and in the studied period of time; n_{tr} – the number of target estimates in the object i in the studied period of time; n_{rec} – the number of hits of the object i and the lists of recommendations to users in the study period.

If the objects of the system can be ranked according to their importance in terms of the need for protection against attacks, they can be assigned the appropriate coefficients and primarily monitor the status and dynamics of ratings of the most important objects, ignoring, or lastly monitoring the status of ratings less important objects.

Of all the indicators (1), it is difficult to determine only trends and forecasts of trend dynamics. Since the definition of trends is the economic science, for example, to determine changes in exchange rates, stocks, etc., we turn to their tools, namely to technical analysis [12, 13].

Technical analysis is a set of tools used in the economy to predict future price changes based on the analysis of patterns of price changes in the past.

In technical analysis, there are many methods for determining the direction of the trend [12-15], consider the simplest of them, which can be easily applied not only to prices in trading systems, but also to any time series:

- moving average;
- for several moving averages;
- behind the vertices of the zigzag.

Determining the direction of the trend on the moving average.

One of the easiest ways to determine the presence of a trend and its direction - the moving average. You can use both a single moving average and a whole set, which is sometimes called a "fan".

The rule for determining the trend for one moving average:

- the trend is directed upwards, if at a given period of time the last value of the numerical series is above the moving average;

- the trend is directed downwards, if at a given period of time the last value of the numerical series is below the moving average.

When at a given time the last value of the numerical series is above / below the moving average, the next value often then unfolds in the opposite direction. That is, this method gives a large number of incorrect answers. Due to this, its use as a trend indicator is quite limited. It can only be used as the coarsest trend filter.

Determining the direction of the trend by several moving averages.

To improve the quality of the moving trend, you can, for example, use two or more moving averages with different periods. Then the rule for determining the trend for any number (more than one) of moving averages with different periods will look like this:

- the trend is directed upwards, if at a given period of time all moving averages are built in the correct order of increase to the end of the numerical series;

- the trend is directed downwards, if at a given period of time all moving averages are built in the correct order of decrease to the end of the numerical series.

In this method, the number of false signals about the change in the direction of the trend will be less than in the previous one. But the time spent on determining the trend will increase.

Determining the direction of the trend by the highs and lows of the ZigZag indicator.

This method uses the rule of Charles Doe [12]:

- the trend is directed upwards, if each subsequent local maximum of the graph of the numerical series is higher than the previous local maximum and, at the same time, each subsequent local minimum of the graph of the numerical series is also higher than the previous local minimum;

- the trend is directed downwards, if each subsequent local minimum of the graph of the numerical series is below the previous local minimum and, at the same time, each subsequent local maximum of the graph of the

numerical series is also below the previous local maximum.

Local highs / lows can be found behind the vertices of the ZigZag indicator.

The ZigZag indicator is a trend indicator in technical analysis that connects local lows and highs on a numerical series graph and allows you to filter noise. There are many different modifications of the ZigZag indicator for stock market analysis.

The minimum time series value change parameter determines the number of points to which the value must move to form a new Zig or Zag line. Thus, the ZigZag reflects only the most significant changes and reversals.

The main disadvantage of this method of determining the trend - in real time it is impossible to understand the already formed extremum or not.

This disadvantage makes this method of little value for practical use in real time. But it is very useful in the technical analysis of previously collected data in order to find patterns and to assess the quality of the system.

In addition to identifying the current trend, you can also try to predict possible further changes in the time series. In the context of determining the presence of an attack on a recommendation system, predicting the preservation of an abnormal trend can be an additional indicator of a successful attack.

R/S analysis can be used to predict future trends in numerical series [15].

Consider the algorithm of R/S analysis. It consists of the following steps:

1. Given the initial time series S_t . Let's calculate the logarithmic ratio:

$$N_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}. \quad (2)$$

2. Let's divide the series N by A adjacent periods of length n . Let's denote each period as I_a , where $a = 1, 2, \dots, A$. Determine for each I_a the average value:

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a}. \quad (3)$$

3. Let's calculate the deviation from the mean for each period I_a :

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a)). \quad (4)$$

4. Let's calculate the scope within each period:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}). \quad (5)$$

5. Let's calculate the standard deviation for each period I_a :

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2}. \quad (6)$$

6. Each R_{I_a} we divide by S_{I_a} . Next, we calculate the average value R/S :

$$R/S(n) = \frac{\sum_{A=1}^A R/S(A)}{A}. \quad (7)$$

7. Increase n and repeat steps 2-6 until $n \leq N/2$.

8. Build a graph of dependence $\log(R/S(n))$ from $\log(n)$ and using the least squares method we find the regression of the form:

$$\log(R/S(n)) = H \cdot \log(n) + c, \quad (8)$$

where H is a Hirst index.

9. Next, let's check the result for significance. To do this, we test the hypothesis that the analyzed structure is normally distributed. If R/S are random variables normally distributed, then we can assume that H is also normally distributed. The asymptotic limit for the independent process is the Hirst index equal to 0.5. Peters [15], as well as Ennis and Lloyd [16] suggested to use the following expected R/S :

$$E(R/S(n)) = \frac{n-0.5}{n} \cdot \left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right)^{-0.5} \cdot \sum_{r=1}^{n-r} \sqrt{\frac{n-r}{n}}. \quad (9)$$

For n observations we find the expected Hirst index $E(H)$.

10. Let's calculate the expected variance of the Hirst index by the formula:

$$\text{Variance}(H) = \frac{1}{N}. \quad (10)$$

where H - is the Hirst index; N - the number of observations in the sample.

11. Let's check the significance of the obtained Hirst coefficient by estimating the number of standard deviations by which H exceeds $E(H)$. The result is considered significant when the significance indicator on the module is more than 2.

Interpretation of Hirst index indicators:

- $H = 0.5$ - process with no memory, no trend.

- $H > 0.5$ - the process tends to maintain the trend.

- $H < 0.5$ - the process is characterized by antipersensitivity, i.e. any tendency tends to change to the opposite.

The values of the Hirst index of natural processes are grouped near the values of 0.72-0.73, which is indicated in the following works [17].

When studying the state of the recommendation system, it makes sense to pay attention to objects in which $H > 0.5$ in the studied period of time, such objects will change their ratings according to a certain trend over a long period of time, therefore, among them may be goals of successful information attacks, especially if $H > 0.73$.

A method of detecting objects of information attack has been developed, which consists of the following stages:

Stage 1. We form a set of objects I for checking, it can contain all objects of system, or only critically important objects which need protection against attacks.

Stage 2. Determine with the help of several moving averages (or other methods of trend determination) for each object from the set I the indicator tr over time τ .

Stage 3. Determine by R/S analysis for each object from the set I Hearst index H over time τ .

Stage 4. Determine for each object from the set I on the time interval τ the variance of the estimates d_r and the variance of the time intervals between the setting of the target estimates d_t , as well as their average values in the systems $d_{\tau,av}$ та $d_{t,av}$.

Stage 5. Determine for each object from the set I time interval τ the number of target n_{tg} and all estimates n_r , as well as the average number of target $n_{tg,av}$ and all estimates $n_{r,av}$ for system objects.

Stage 6. Determine for each object from the set I time interval τ the number of hits in the lists of recommendations n_{rec} , as well as the average number of hits in the lists of recommendations $n_{rec,av}$ for all objects of the system.

Stage 7. Determine the presence and type of attack according to the following rules:

Rule 1. If the object has any 5 signs from the data: the trend of rising ratings $tr_{\tau} = 1$, $H > 0.73$, $d_{\tau} \leq d_{\tau,av}$, $d_t \leq d_{t,av}$, $n_r > n_{r,av}$, $n_{tg} > n_{tg,av}$, $n_{rec} > n_{rec,av}$, then we believe that there is a high probability of an attack to increase the rating for this object.

Rule 2. If the object has any 5 characteristics from the data: the trend of decreasing rating: $tr_{\tau} = -1$, $H > 0.73$, $d_{\tau} \leq d_{\tau,av}$, $d_t \leq d_{t,av}$, $n_r > n_{r,av}$, $n_{tg} > n_{tg,av}$, $n_{rec} < n_{rec,av}$, we believe that there is a high probability of a downgrade attack for this object.

To test the developed method, software in the Python programming language using the Neo4j database will be implemented. The open data set MovieLens Datasets was used as input data, the data of the simulated information attacks on the recommendation system was added to it. Attacks were modeled using the models of information attacks given in [1, 6, 7].

A series of experiments was performed to test the effectiveness of the proposed method. The results of the experiments are shown in table 1.

Table 1. The results of testing the developed method of detecting information attack by injecting profiles on the recommendation system and objects of attack

No. of experiment	Model of information attack by injection of profiles	Number of objects in the system	Number of bot attack objects	Correctly recognized objects of attack, %	Falsely recognized as objects of attack %	RMSE
1	Random attack	200	20	100.00	5.55	0.223
2		200	10	80.00	23.68	0.484
3		200	5	40.00	22.05	0.479
4		200	1	100.00	16.58	0.406
5	Medium attack	200	20	90.00	0.00	0.100
6		200	10	50.00	13.68	0.393
7		200	5	60.00	13.84	0.380
8		200	1	100.00	12.06	0.346
9	Popular attack	200	20	75.00	0.00	0.158
10		200	10	80.00	12.63	0.360
11		200	5	40.00	17.94	0.435
12		200	1	100.00	15.57	0.393
Average values:				76.25	12.79	0.346

According to the results of experiments, the developed method allows to detect on average 76% of objects of information attacks in the recommendation system. Objects that were not attacked by information and were mistakenly identified as being attacked accounted for an average of 13%.

From objects that have signs of information attack on them, you can form a set I_g . This will allow the search for botnets to check not all system profiles, but only those that interacted with the objects of the I_g set. After finding the bot network, you can refine the data based on the analysis of the activity of bots obtained by the developed method.

Conclusions

The study of methods for determining existing trends in time series, in particular, methods based on moving averages, several moving averages and ZigZag vertices has been done. Also, the method of forecasting the dynamics of time series trends in the future based on R/S analysis is considered.

There are many indicators that can be used to determine the presence or absence of an information attack on the object of the recommendation system. This set of indicators includes the current trend of system object ratings, the forecast trend of system object ratings, the number of object hits in the recommendation lists and

statistical characteristics of the series, such as the number of target estimates, variance of estimates, etc.

Based on the proposed set of indicators, a method for identifying objects of information attack in the recommendation system using trend analysis in the ratings of system objects has been developed.

The developed method allows to detect the presence of an information attack on the objects of the recommendation system, as well as forms a set of probable targets of bots. Many probable targets can be used to further search for bot profiles and refine

information about their actual targets. This will allow the search for botnets to check not all system profiles, but only those that interacted with the probable targets of the attack.

The developed method was implemented and experiments were conducted to test its effectiveness. The conducted experiments showed that the developed method allows to detect with high accuracy the objects of information attacks on recommendation systems in random, medium and popular attack models.

References

1. Editors Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., Kantor, P. B. (2010), *Recommender Systems Handbook*, 1st edition, New York, NY, USA : Springer-Verlag New York, Inc., 842 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3>
2. Valois, B. Jr. C., Oliveira, M. A. (2011), "Recommender systems in social networks", *JISTEM J.Inf.Syst. Technol. Manag.*, Vol. 8 No. 3, P. 681–716, available at : https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-17752011000300009
3. Lam, S. K., Riedl, J. (2004), "Shilling recommender systems for fun and profit", *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference*, P. 393–402.
4. O'Mahony, M. P., Hurley, N. J., Silvestre G. C. M. (2002), "Promoting recommendations: An attack on collaborative filtering", *From book Database and Expert Systems Applications: 13th International Conference*, DEXA Aix-en-Provence, France, P. 494–503, available at : https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-46146-9_49
5. Kumari, T., Punam, B. (2017), "A Comprehensive Study of Shilling Attacks in Recommender Systems", *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 14, Issue 4, available at : <https://www.ijcsi.org/papers/IJCSI-14-4-44-50.pdf>
6. Kaur, P., Goel, S., (2016), "Shilling attack models in recommender system", *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Coimbatore, P. 1–5. DOI: 10.1109/INVENTIVE.2016.7824865
7. Gunes, I., Kaleli, C., Bilge, A., et al. (2014), "Shilling attacks against recommender systems: a comprehensive survey", *Artif Intell Rev*, No. 42, P. 767–799. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9364-9>
8. Zhou, W., Wen, J., Qu, Q., Zeng, J., Cheng, T. (2018), "Shilling attack detection for recommender systems based on credibility of group users and rating time series", *PLoS ONE*, No. 13 (5): e0196533, available at : <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0196533>
9. Chirita, P. A., Nejdil, W., Zamfir, C. (2005), "Preventing shilling attacks in online recommender systems", *In Proceedings of the ACM Workshop on Web Information and Data Management*, P. 67–74, available at : <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1097047.1097061>
10. Zhou, W., Wen, J., Koh, Y. S., Alam, S., Dobbie, G. (2014), "Attack detection in recommender systems based on target item analysis", *2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Beijing, P. 332–339, available at : <https://ieeexplore.ieee.org/document/6889419>
11. Williams, C. A., Mobasher, B., Burke, R. (2007), "Defending recommender systems: detection of profile injection attacks", *Service Oriented Computing and Applications*, P. 157–170.
12. Murphy, J. J. (2011), *Technical Analysis of the Futures Markets: A Comprehensive Guide to Trading Methods and Applications*, Moscow : Alpina Publisher, 610 p.
13. Schwager, J. (2017), *Technical Analysis. Complete course*, Moscow : Alpina Publisher, 804 p.
14. Prechter, R., Frost A. (2012), *Elliot Wave Principle: Key to Stock Market Profits*, Moscow : Alpina Publisher, 269 p.
15. Peters, E. (2004), *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*, Moscow : Internet-Trading, 304 p.
16. Anis, A. A., Lloyd, E. H. (1976), "The expected value of the adjusted rescaled Hurst range of independent normal summands", *Biometrika*, No. 63, P. 283–298.
17. Kalush, Ju. A., Loginov, V. M. (2002), "Hurst exponent and its hidden properties", *Siberian Journal of Industrial Mathematics*, Vol. 5, No. 4, P. 29–37.

Received 25.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мелешко Єлизавета Владиславівна – кандидат технічних наук, доцент, Центральноросійський національний технічний університет, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, Кропивницький, Україна; email: elismelshko@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8791-0063>.

Мелешко Елизавета Владиславовна – кандидат технических наук, доцент, Центральноукраинский национальный технический университет, доцент кафедры кибербезопасности и программного обеспечения, Кропивницкий, Украина.

Meleshko Yelyzaveta – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Central Ukrainian National Technical University, Associate Professor of the Department of Cybersecurity and Software, Kropyvnytskyi, Ukraine.

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ АТАКИ У РЕКОМЕНДАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ТРЕНДІВ РЕЙТИНГІВ

Предметом дослідження є процес виявлення інформаційних атак на рекомендаційну систему. **Метою** даної роботи є розробка методу виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі на основі аналізу трендів у рейтингах об'єктів системи. **Задача:** розробити метод виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі. **Результати.**

У роботі проведено дослідження методів визначення наявних трендів у часових рядах, зокрема, методів на основі ковзного середнього, декількох ковзних середніх та вершин зигзагу. А також розглянуто метод прогнозування динаміки трендів часового ряду у майбутньому на основі R/S-аналізу. Запропоновано множину показників, по значенням яких можна визначити наявність чи відсутність інформаційної атаки на об'єкт рекомендаційної системи. У дану множину показників увійшли: наявний тренд числового ряду рейтингів об'єкту системи, прогнозований тренд рейтингів об'єкту системи, велика кількість потраплянь об'єкту у списки рекомендацій та статистичні характеристики ряду, наприклад, кількість цільових оцінок, дисперсія оцінок, дисперсія часу виставлення оцінок, тощо. На основі запропонованої множини показників розроблено метод виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі з використанням аналізу трендів у рейтингах об'єктів системи. Даний метод дозволяє виявити наявність інформаційної атаки на об'єкти рекомендаційної системи та формує список ймовірних цілей ботів. Множину ймовірних цілей можна використати для подальшого пошуку профілів ботів та уточнення інформації про їх дійсні цілі. Це дозволить при пошуку бот-мереж перевіряти не всі профілі системи, а тільки ті, які взаємодіяли з ймовірними об'єктами атаки. **Висновки.** Розроблено метод виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі на основі аналізу трендів рейтингів. Створено програмну реалізацію та проведено експерименти для перевірки ефективності розробленого методу. Проведені експерименти показали, що запропонований метод дозволяє з високою точністю виявляти об'єкти інформаційних атак на рекомендаційні системи при випадкових, середніх та популярних моделях атак.

Ключові слова: рекомендаційні системи; інформаційні атаки; інформаційна безпека; виявлення інформаційної атаки; технічний аналіз; ковзне середнє; R/S-аналіз.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ АТАКИ И РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТРЕНДОВ РЕЙТИНГОВ

Предметом исследования является процесс выявления информационных атак на рекомендательную систему. **Целью** данной работы является разработка метода обнаружения объектов информационной атаки в рекомендательной системе на основе анализа трендов в рейтингах объектов системы. **Задача:** разработать метод выявления объектов информационной атаки в рекомендательной системе. **Результаты.** В работе проведено исследование методов определения имеющихся трендов во временных рядах, в частности, методов на основе скользящего среднего, нескольких скользящих средних и вершин зигзага. А также рассмотрен метод прогнозирования динамики трендов временного ряда в будущем на основе R/S-анализа. Предложено множество показателей, по значениям которых можно определить наличие или отсутствие информационной атаки на объект рекомендательной системы. В данное множество показателей вошли: имеющийся тренд числового ряда рейтингів объекта системы, прогнозируемый тренд рейтингів объекта системы, количество попаданий объекта в списки рекомендаций и статистические характеристики ряда, например, количество целевых оценок, дисперсия оценок, дисперсия времени выставления оценок и т.д. На основе предложенного множества показателей разработан метод обнаружения объектов информационной атаки в рекомендательной системе с использованием анализа трендов в рейтингах объектов системы. Данный метод позволяет выявить наличие информационной атаки на объекты рекомендательной системы и формирует список возможных целей ботов. Множество возможных целей можно использовать для дальнейшего поиска профилей ботов и уточнения информации об их истинных целях. Это позволит при поиске бот-сетей проверять не все профили системы, а только те, которые взаимодействовали с вероятными объектами атаки. **Выводы.** Разработан метод выявления объектов информационной атаки в рекомендательной системе на основе анализа трендов рейтингів. Создана программная реализация и проведены эксперименты для проверки эффективности разработанного метода. Проведенные эксперименты показали, что разработанный метод позволяет с высокой точностью выявлять объекты информационных атак на рекомендательные системы при случайных, средних и популярных моделях атак.

Ключевые слова: рекомендательные системы; информационные атаки; информационная безопасность; выявление информационной атаки; технический анализ; скользящее среднее; R/S-анализ.

Бібліографічні опису / Bibliographic descriptions

Мелешко Є. В. Метод виявлення об'єктів інформаційної атаки у рекомендаційній системі на основі аналізу трендів рейтингів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.052>.

Meleshko, Ye. (2020), "The method of detecting information attack objects in recommendation system based on the analysis of rating trends", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.052>.

I. NEVLIUDOV, O. TSYMBAL, A. BRONNIKOV, O. MORDYK

INTERNET OF THINGS FOR ROBOTIC PROJECTS

The **subject** of research in the article is the application of IOT technology in flexible integrated robotic systems. The **goal** of the work is to integrate IOT technology with models and decision-making methods in order to create an adaptive control system for flexible robotic production. The article solves the following **tasks**: to analyze the application of IOT technologies in various fields, including in robotics, to consider the construction of an intelligent decision-making system as one of the key elements of automated control systems, to consider the development of an adaptive control system for a flexible robotic section and its individual modules. The following results were obtained: the main features of the IOT technology were analyzed, including those for implementation in flexible integrated systems of modern production; it is proposed to introduce intelligent production agents into the composition of technological systems, as means of transport and auxiliary assembly purposes, monitoring means and establish the basic requirements for them; from a formal point of view, the decision-making process is considered until the achievement of individual technological tasks. **Conclusions**: currently, there is a growing interest in the Industry 4.0 concept, in its implementation for the digital transformation of production systems, and one of these areas is the use of IOT technology, which will allow in production conditions to combine elements of flexible integrated production distributed in space, to ensure monitoring of production processes in real time, the functioning of an adaptive control system based on an intelligent decision-making system, which will improve the characteristics of control processes of a robotic system as part of a flexible integrated production.

Keywords: technology of the Internet of things; making decisions; mobile robot; flexible integrated system.

Introduction

While constant progress in communication and computer systems attracts the permanent interest to them from side of professionals, researchers and users, manufacturing systems cannot show such quick changes, because of technological problems and greater cost of equipment. Among the concepts, which describe the organization and control of manufacturing systems we still can see Flexible Integrated Systems (FIS) (fig. 1), currently improved by introduction of intelligent components and tools [1, 2, 4]. Such system usually consists of number of machine tools, manipulation a assembling cells and special equipment. The supplement of FIS is provided by robots [3].

Currently used FIS have several disadvantages. Their control systems of FIS are too centralized. The technological equipment simulation tools are obsolete. The tools of autonomous monitoring and control for workplaces are mostly at research stage. The intelligence of modules of technological tasks analyses for decision-making in particular workplaces on real-time monitoring results is not sufficient. There are no modules of decision-making adaptation to global of local changes of workspace of FIS states. The learning and self-learning tools are limited. The modern communication and integration modules between elements need for improvement. Such improvement can be achieved by application of intelligent systems, including manipulation and transport robots, integrated to distributed control system of FIS [5, 6].

Functioning of technological equipment in FIS for real conditions is affected by external factors of different nature: of static and moving workspace objects, of people, of robots, of other equipment. In such case, decision-making systems have the increasing role, making plans of FIS functioning for global and local tasks. This defines the task to develop the tools for intelligent decision-making of FIS control system, using AI-methods to improve the quality of manufacturing problems solution.

Currently we can see growing interest to Industry 4.0 concept, to its introduction for digital transformation of manufacturing systems. Production systems become the market, for which the most of projects of Industrial Internet of Things (IIoT) have their implementation. IIoT, with its base on Industry 4.0 and industrial Internet, is a key component of industrial development worldwide [7]. The Internet of Robotic Things is a new vision of problem, which unites the wide application of sensors and robotic objects. This concept can be effectively applied to solve problems of FIS, providing information support of decision-making components of FIS control system and more autonomous functioning of robots. Combination of industrial technologies and Internet of Things can potentially create perspective services [8].

Basic tasks of robotic iot concept

The initial idea of IIoT-robotics is traced from distributed, heterogenous paradigms of robotic control, for example from networking and clouding robotic systems. The term of "Internet of Robotics Things" (IoRT) was created to set the concept, according to which sensor data from different sources are received and processed with application of local and distributed data, then applied to control and manipulate the objects of physical world [7]. IoRT systems can be created by wide application of sensor systems and technologies of data analyses with final goal of best execution of tasks of industrial and other application.

Cloud computations and IIoT are technologies, which not directly connected to robotics, but supply the creation of distributed robotic systems. Fig. 2 shows the scheme of this concept. Technologies of IIoT must be based on the next principal elements: wide application of sensors for robotic objects and workspaces; connection between intelligent mechatronic objects; analytic data tools with semantic technologies, transforming heterogeneous sensor data.

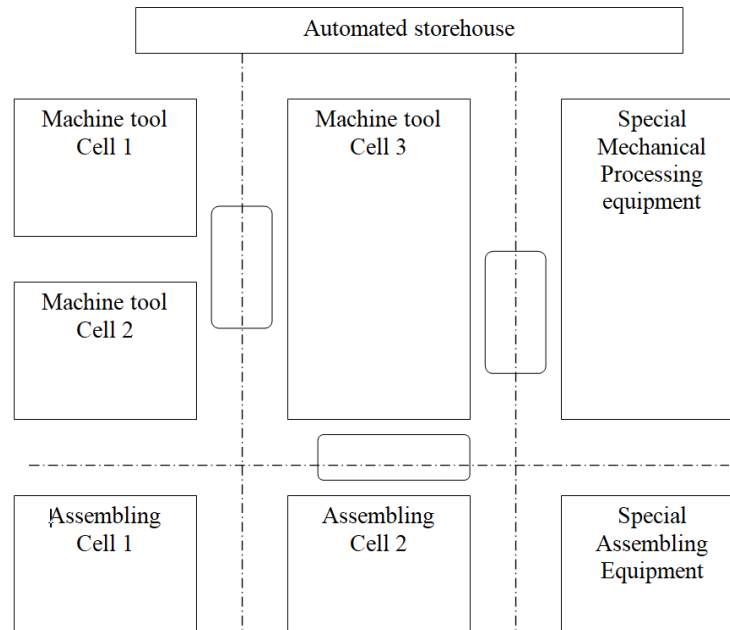


Fig. 1. Example of FIS composition

In structure of IoRT the real-time cloud computations supply the networking access (on requests) to virtualized hardware resources (of processing and storage) or to services of upper level. The cloud infrastructure is used by IoT tools for extraction of scaled services of IoT platform, providing an access for sensor data (not-processed, processed and mixed). The processing of data streams, generated by IoT-devices inside several centralized data processing centers, can be problem for real time systems in case of information processing delays [8].

The cloud paradigm was meet by robotic community as a tool to simplify tasks with abnormal consumption of resources, to exchange data and knowledges between robots, to supply function of robot's reconfiguration.

The technologies, based on application of sensors and analytic IoT tools, can give robots more wide possibilities in comparison to on-board system, especially from point of view of workspace, time and information type. Moreover, the application of in-built sensors allows their application in more flexible and dynamic way, possibility to use more complex strategies of active research in workspace.

The key challenge of IoRT is a distribution in time and in space. First, the methods to obtain data must be selected. In a part of works [3], there is proposed to use the local databases for every object. In this case data are organized in hierarchi of space, for example: robot has position in relation to robot, robot is positioned in a room etc. Other authors propose [6] robots to send requests to distributed centers on monitoring, for example of particular areas and objects of workspace.

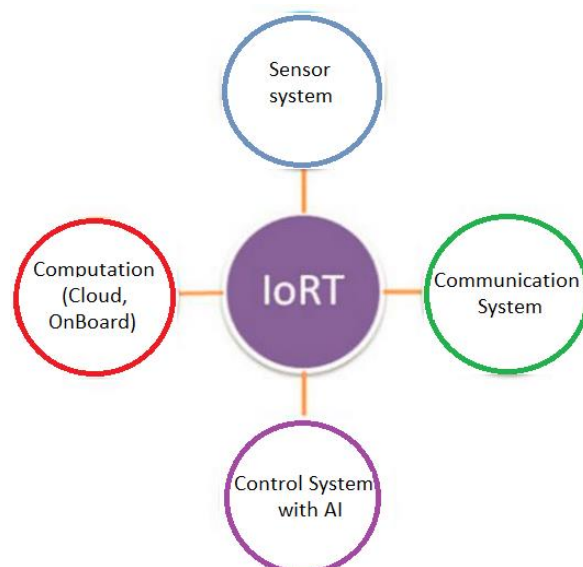


Fig. 2. Structure of IoRT [7, 8]

The systems of sensors can also be organized in distributed way. For example, the distributed cameras can help robot to find the charging station in a huge manufacturing workspace [5].

Artificial intelligence in Robotic IOT

The key element of robot's ability to perceive information is acquisition of knowledges on its location with ability to construct or renew workspace models. Despite the great progress in this area, the independent localization is still complex problem, especially for global or overcrowded workspace. In this view, the application of GPS-sensors is limited by specifications of GPS-standard (for civil systems) and by lacks for internal workspaces. In this way, application of IoT can essentially improve the quality of information about "robot's world".

The ability to move is one of fundamental characteristics of mobile robotic system. The existence of IoT supplies mobile robots with additional information on workspace, for example on possible control of automatic doors and lifts, on location of other mobile objects and equipment.

Services of IoT can simplify application of robots for such areas as logistics of object's supplement; agriculture; monitoring of environment; search and rescue in case of disasters when infrastructure is damaged or absent. In such case, mobile robots will possibly need extended communication at level of special networks, when every robot can be used as node in infocommunication system.

Manipulation of robots is also a key element of IoT. Industrial robots, supplied by manipulators, or mobile robots, equipped by on-board manipulators, can take, elevate, keep and move objects, using the system of on-board sensors.

The additional quality of IoT application for robotics is in possibility to get specifications of objects, including that of them, which are not observed by sensors, but, for example, have an effect for procedures of manipulation with objects like manipulations of assembling industrial robot.

The autonomy of robot's decisions belongs to ability of system to select the best solutions for goals and tasks. Here, more and more actual positions are for methods of motion planning on base of AI, for probabilistic models of workspaces and possible actions of robots in them.

The quality of plans is critically dependent of quality of these models and of estimation of initial state.

Other interesting feature of IoT for robotics is in ability of robot to interact physically, cognitively and socially to users, operators or other systems. Technologies of IoT can improve interaction between human and robot on functional (command and software) and social levels, and be tool of interaction [3, 7].

The functional possibilities of IoT sensors can make more reliable the interaction of humans and robots. Here, the desired level can be in application of natural communication language, especially for non-professional users, while it is a base for various uncertainties and undeterminations. The other kind of communication is sign language, applied for example for pointing of objects.

In this case, the perspective way is in combination of computer vision system with sensors in-build on clothes of operative personal of factory [9, 10].

The responses of operative personal in a signs, voice of face mimics can be applied for estimation of emotion state of users and for initialization of robot's response for them. The integration to IoT sensors on operator's body or clothes can improve estimation of solution by measurement of physiological signals of heart rate, of skin conductivity. These estimations are bases for adaptation of robot's interaction strategy, f.e., implemented for development of robot-assistant for health-care or medical sphere.

The cognitive abilities of robots on base of IoT can be essentially increased if robots will "feel" the connection between them and surrounding workspace, will estimate possible their effect and results of actions. All these are bases for such aspects of cognition and multi-modal perception and social intelligence

Logical model for intelligent robot functioning

From point of view of robotic intelligent control system development, the decision-making process is in the functional strategies planning, which contains the definition of objective, executed by system, the description of all the alternative ways of objective achievement, solving methods for particular practical tasks [11, 12].

To solve the tasks of intelligent system decision-making support for flexible integrated robotized system (FIRS) there is proposed the following concept on adaptation of functionality [13]:

- a) there are the subject (subjects) of strategies planning – the mobile or manipulation robot (robots), equipped by automated control system;
- b) there are the objects of FIRS, for which the decision is made and decision can be implemented;
- c) there is the workspace, which includes the subjects and object of strategies planning, also other objects, having effect to strategies planning process, the nature of FIRS workspace is given and can be determined or stochastic;
 - d) properties of strategies planning subject are:
 - technical (ability for decision execution);
 - functioning strategies development according to current state of workspace;
 - strategies execution by way of movements in space or manipulation with objects as to developed strategy;
 - strategy adaptation for cases of manufacturing task changes or changes in workspace;
 - plan execution adaptation according to strategy;
 - e) Intelligent system of decision-making support of executing subject's control system, correspondently consists of the following parts:
 - workspace information storage unit (for simplest case – database, for more complex cases is connected to sensor system of executive subject);
 - the unit of operative schemes with standardized description of particular problem solutions (in other word, the knowledge base of robot's ACS);

- strategies search unit, which on base of particular strategies planning stage or global goal proposes the hypothesis (in general case) for functional strategy;

- strategies planning unit, which on base of sensor system interaction must monitor the workspace changes and, therefore, change (in other terms modify or adapt) the solution implementation plan;

- target formulation unit;

- ACS results verification unit;

- movements and manipulation formation unit.

The actual problem of modern flexible integrated system (FIS) is still in supplement of execution of production functions, directed to production efficiency [15].

The selection of logical model as a base for strategies planning isn't accidental. The planned actions of robot may look ordered, checked and logical for common sense. Other feature of accepted solution is it's verification for current conditions of WS, so the decision, accepted for space S is true at time moment t and can be false at $t+1$, but decision always has the value of variety.

Logical model gives possibility to use designations similar to standard theory set model.

Suppose, there are sets X, D, S of robotic system (RTS) states, its decisions, states of workspace (WS), correspondently.

Then $x_i \in X, d_i \in D, s_i \in S$ are the atomic expressions in model describing RTS and WS activity.

For element of sets, X, D, S operations $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$ are introduced.

In this way the Right-Constructed Formulas are $\neg x, x \wedge y, x \vee y, x \rightarrow y, x \leftrightarrow y$.

To describe the theory sets X, D, S the functions and predicated are introduced.

Function of RTS state's transition: $x_i = f(x_0, \dots, x_{i-1})$,

Function of WS state's transition: $s_i = f(s_0, \dots, s_{i-1})$.

Also there is introduced the predicates connecting elements of sets X, D, S : $pt(x_i), pt(s_i), pt(d_i), pt(x_i, s_i), pt(x_i, d_i), pt(d_i, s_i), pt(x_i, d_i, s_i)$, supplying the description of RTS and WS properties, their interaction and connection.

Among the predicates:

$pr(x_i, s_i) \subset pt$ – set of RTS descriptions in WS,

$ps(x_i, s_i) \subset pt$ – set of WS states,

$pa(x_i, s_i) \subset pt$ – set of RTS actions in WS,

$pg(pr, ps) \subset pt$ – set of RTS goals in WS.

The goal of RS is defined as a new (or existing) state of RS or of WS: $pg(pr, ps) \leftarrow (pr(x_i, s_i) \vee ps(x_i, s_i))$.

RS database is defined as a set of declarations of type $pr(), pt(): pr(x_i), pr(x_i, s_i), ps(s_i), ps(x_i, s_i)$.

RS knowledge base is depicted as definition of possible actions $pa(x_i, s_i)$ of RTS in WS.

Description $pa(x_i, s_i)$ is a strategy to reach goal $pg(pr(x_i, s_i), ps(x_i, s_i))$, if conjunction of RTS actions, which supplies $pg(pr(x_i, s_i), ps(x_i, s_i))$ is:

$$pg(pr(x_i, s_i), ps(x_i, s_i)) \leftarrow pa^0(x_i, s_i) \wedge pa^1(x_i, s_i) \wedge \dots \wedge pa^{n-1}(x_i, s_i),$$

or $pg(pr(x_i, s_i), ps(x_i, s_i)) \leftarrow \bigwedge_{i=0}^{n-1} pa^i(x_i, s_i)$,

and besides:

$$\exists f, f \in F : x_i = f_i(x_{i-1}, s_{i-1}),$$

$$\exists \psi, \psi \in \Psi : x_i = \psi_i(x_{i-1}, s_{i-1}).$$

$$\text{Therefore, } pa(x_i, s_i) = T \left\| f_i + \psi_i \right\|.$$

The decision-making process is sequential set of alternatives to reach the goals of the system:

$$\begin{aligned} pg^0(pr, ps) &\leftarrow pg_0^0(pr_0, ps_0, pa_0) \\ &\wedge pg_1^0(pr_1, ps_1, pa_1) \wedge \dots \wedge pg_{n-1}^0(pr_{n-1}, ps_{n-1}, pa_{n-1}) \\ &= \bigwedge_{i=0}^{n-1} pg_i^0(pr_i, ps_i, pa_i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} pg^m(pr, ps) &\leftarrow pg_0^m(pr_0, ps_0, pa_0) \\ &\wedge pg_1^m(pr_1, ps_1, pa_1) \wedge \dots \wedge pg_{n-1}^m(pr_{n-1}, ps_{n-1}, pa_{n-1}) \\ &= \bigwedge_{i=0}^{n-1} pg_i^m(pr_i, ps_i, pa_i). \end{aligned}$$

In this way the global goal is describes as follows:

$$pg^{total}(pr, ps) \leftarrow \bigvee_{j=0}^{m-1} \bigwedge_{i=0}^{n-1} pg_i^j(pr_i, ps_i, pa_i).$$

For conditions of RTS goal formulation there is developed the initial plan with next state's transformations:

$$pr(x_1, s_1) \leftarrow pa_0^0(pr(x_0, s_0) \vee ps(x_0, s_0)),$$

$$pr(x_n = Y, s_n) \leftarrow pa_{n-1}^0(pr(x_{n-1}, s_{n-1}) \vee ps(x_{n-1}, s_{n-1})).$$

But for case of dynamic state of WS the achievement of particular $pg(pr(x_i, s_i), ps(x_i, s_i))$ becomes impossible:

$$pr(x_i, s_i) \neq pa_i^0(pr(x_{i-1}, s_{i-1}) \vee ps(x_{i-1}, s_{i-1})).$$

For such case, the scheme needs for modification:

$$pr(x_i, s_i) \leftarrow pa_i^*(pr(x_{i-1}, s_{i-1}) \vee ps(x_{i-1}, s_{i-1})),$$

$$pr(x_{i+1}, s_{i+1}) \leftarrow pa_{i+1}^*(pr(x_i, s_i) \vee ps(x_i, s_i)),$$

what, as result, gives the strategy decision modification:

$$\begin{aligned} pg^{m*}(pr, ps) &\leftarrow pg_0^{m*}(pr_0, ps_0, pa_0) \\ &\wedge pg_1^{m*}(pr_1, ps_1, pa_1) \wedge \dots \wedge pg_{n-1}^{m*}(pr_{n-1}, ps_{n-1}, pa_{n-1}) \text{ Defi} \\ &= \bigwedge_{i=0}^{n-1} pg_i^{m*}(pr_i, ps_i, pa_i). \end{aligned}$$

$$\text{ne } X = \{X^0, X^1, \dots, X^{n-1}\} \text{ as a set of RTS states.}$$

Therefore, there is developed the logical model of adaptive strategies planning for intellectual control systems of FIS, which uses the predicates logics and describes the relationships between robot and objects in WS, formulates the goals of control system as needed states of workspace and supplies the constructions of logical inference. This model is tested in Robotic Lab of CITAM dept in KhNURE.

Proposed model is applied for realtime decision-making as a part of complex industrial system, including mobile, manipulation robots and other equipment, united by wireless integrated control system, combining all the parts under concept of IoRT. From other hand IoRT part supplies the information support for predicate-based decision-making.

Conclusion

Growing interest to Industry 4.0 concept, to its introduction for digital transformation of manufacturing systems. Production systems become the market, for which the most of projects of Industrial Internet of Things (IIoT) have their implementation. IIoT, with its base on Industry 4.0 and industrial Internet, is a key component of industrial development worldwide.

References

1. Mikhailov, E., Remenyuk, B. (2015), "Optimize the placement warehouse transport system", *Journal of Electrotechnic and Computer systems*, No. 18 (94), P. 60–64.
2. Thrun, S. (2005), *Probabilistic Robotics*, The MIT Press, 667 p.
3. Khor, A., Yong, A. (2018), *Robotics in Supply chain*, in: L. Huan, S. Raman (Eds.), *Emerging Trends of Technologies in Supply Chain Management*, WOU Press, P. 25–38.
4. Veselovska, N.; Strutinkii, V. (2009), "The perspectives of computer-integrated manufacturing systems", *Naukovi Notatki*, Vol. 25, P. 11–15.
5. Kerak, P. (2012), "Novel trends in the intelligent manufacturing systems", *Proc. Of 8th International Baltic Conference "Industrial Engineering"*, 19-21 Apr., 2012, Tallinn.
6. Levinson, J., Askeland, J., Becker, J., Dolson, J., Held, J., Kammel J., Thrun S. (2011), "Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, P. 163–168.
7. Ray, P. P. (2016), "Internet of Robotic Things: Concept, Technologies, and Challenges", *IEEE Access*, Vol. 4, P. 9489–9500. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2647747
8. Simoens, P., Dragone, M., Saffiotti, A. (2018), "The Internet of Robotic things: A review of concept, added value and applications", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Jan.-Febr. 2018, P. 1–11.
9. Alshibli, M., ElSayed, A., Kongar, E., Sobh, T., Gupta, S. M. (2019), "A Robust Robotic Disassembly Sequence Design Using Orthogonal Arrays and Task Allocation", *Robotics*, No. 8, P. 20.
10. Vacic, V., Sobh, T. (2004), "Vehicle routing problem with time windows", *Computing*, Vol. 3, Issue 2, P. 72–80.
11. Red'ko, V. (2013), "Interaction between learning and evolution in population of autonomous agents", *Computing*, Vol. 12, Issue 1, P. 42–47.
12. Fetanat, M., Haghzad, S., Shouraki, S. (2015), "Optimization of Dynamic Mobile Robot Path Planning based on Evolutionary Methods", *Proceedings of AI & Robotics (IRANOPEN 2015)*, P. 1–7.
13. Bronnikov, A., Nevliudov, I., Tsymbal, O. (2019), "Flexible manufacturing tendencies and improvements with visual sensing", *Eskisehir Tech. University Journal of Science and Technology. Applied Sciences and Engineering*, Vol. 20, ICONAT issue, P. 77–83.
14. Nevliudov, I., Tsymbal, O., Bronnikov, A. (2018), "Intelligent means in the system of managing a manufacturing agent", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (3), P. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.033>
15. Tsymbal, O., Bronnikov, A. (2019), "Decision-making information technology for flexible integrated manufacturing", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (8), P. 105–112. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.8.105>

Received 15.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Невлюдов Ігор Шакирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завдувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: igor.nevliudov@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9837-2309>.

Невлюдов Игорь Шакирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Nevliudov Igor – Doctor of Science (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Цимбал Олександр Михайлович – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: oleksandr.tsymbal@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4947-7446>.

Цымбал Александр Михайлович – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Tsymbal Oleksandr – Doctor of Science (Engineering), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Бронников Артем Игоревич – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: artem.bronnikov@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3096-7653>.

Бронников Артем Игоревич – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Bronnikov Artem – Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Мордик Александр Александрович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: kurtwalkir@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9374-6420>.

Мордик Александр Александрович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Mordyk Olexandr – Kharkiv National University of Radio Electronics, PhD Student of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ДЛЯ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПРОЄКТІВ

Предметом дослідження в статті є застосування технології ІОТ у гнучких інтегрованих роботизованих системах. **Мета** роботи – інтеграція технології ІОТ з моделями та методами прийняття рішень з метою створення адаптивної системи керування гнучким роботизованим виробництвом. В статті вирішуються наступні **завдання**: провести аналіз застосування технологій ІОТ в різних галузях, в тому числі, в робототехніці, розглянути побудову інтелектуальної системи прийняття рішень як одного з ключових елементів автоматизованих систем керування, розглянути розробку адаптивної системи керування гнучкої роботизованої ділянки та її окремих модулів. Отримано наступні **результати**: проаналізовано основні особливості технології ІОТ, в тому числі, для реалізації у гнучких інтегрованих системах сучасного виробництва; до складу технологічних систем пропонується впровадження інтелектуальних виробничих агентів, як засобів транспортного і допоміжного складального призначення, засобу моніторингу та встановлюються основні вимоги до них; з формальної точки зору розглядається процес прийняття рішень до досягнення окремих технологічних завдань. **Висновки**: в даний час спостерігається зростання інтересу до концепції Industry 4.0, до її впровадження для цифрової трансформації виробничих систем і одним з таких напрямків є застосування технології ІОТ, що дозволить в виробничих умовах об'єднати розподілені в просторі елементи гнучкого інтегрованого виробництва, забезпечити моніторинг виробничих процесів в режимі реального часу, функціонування адаптивної системи управління на основі інтелектуальної системи прийняття рішень, що дозволить поліпшити характеристики процесів управління роботизованої системи в складі гнучкого інтегрованого виробництва.

Ключові слова: технологія інтернету речей; прийняття рішень; мобільний робот; гнучка інтегрована система.

ІНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Предметом исследования в статье является применение технологии ИОТ в гибких интегрированных роботизированных системах. **Цель** работы – интеграция технологии ИОТ с моделями и методами принятия решений с целью создания адаптивной системы управления гибким роботизированным производством. В статье решаются следующие **задачи**: провести анализ применения технологий ИОТ в различных областях, в том числе, в робототехнике, рассмотреть построение интеллектуальной системы принятия решений как одного из ключевых элементов автоматизированных систем управления, рассмотреть разработку адаптивной системы управления гибкой роботизированной участка и его отдельных модулей. Получены следующие **результаты**: проанализированы основные особенности технологии ИОТ, в том числе, для реализации в гибких интегрированных системах современного производства; в состав технологических систем предлагается внедрение интеллектуальных производственных агентов, как средств транспортного и вспомогательного сборочного назначения, средства мониторинга и устанавливаются основные требования к ним; с формальной точки зрения рассматривается процесс принятия решений до достижения отдельных технологических задач. **Выводы**: в настоящее время наблюдается рост интереса к концепции Industry 4.0, к ее внедрению для цифровой трансформации производственных систем и одним из таких направлений является применение технологии ИОТ, что позволит в производственных условиях объединить распределенные в пространстве элементы гибкого интегрированного производства, обеспечить мониторинг производственных процессов в режиме реального времени, функционирования адаптивной системы управления на основе интеллектуальной системы

принятия решений, что позволит улучшить характеристики процессов управления роботизированной системы в составе гибкого интегрированного производства.

Ключевые слова: технология интернета вещей; принятие решений; мобильный робот; гибкая интегрированная система.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Невлюдов І. Ш., Цимбал О. М., Бронніков А. І., Мордик О. О. Інтернет речей для робототехнічних проєктів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.058>.

Nevliudov, I., Tsybal, O., Bronnikov, A., Mordyk, O. (2020), "Internet of things for robotic projects", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.058>.

UDC 004.75

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.065>

V. FILATOV, V. SEMENETS, O. ZOLOTUKHIN

DATA MINING IN RELATIONAL SYSTEMS

The **subject** of the research is methods of relational database mining. The **purpose** of the research is to develop scientifically grounded models for supporting intelligent technologies for integrating and managing information resources of distributed computing systems. Explore the features of the operational specification of the relational data model. To develop a method for evaluating a relational data model and a procedure for constructing functional associative rules when solving problems of mining relational databases. In accordance with the set research goal, the presented article considers the following **tasks**: analysis of existing methods and technologies for data mining. Research of methods for representing intelligent models by means of relational systems. Development of technology for evaluating the relational data model for building functional association rules in the tasks of mining relational databases. Development of design tools and maintenance of applied data mining tasks; development of applied problems of data mining. **Results**: The analysis of existing methods and technologies for data mining is carried out. The features of the structural specification of a relational database, the formation of association rules for building a decision support system are investigated. Information technology has been developed, a methodology for the design of information and analytical systems, based on the relational data model, for solving practical problems of mining, practical recommendations have been developed for the use of a relational data model for building functional association rules in problems of mining relational databases. **conclusion**: the main source of knowledge for database operation can be a relational database. In this regard, the study of data properties is an urgent task in the construction of systems of association rules. On the one hand, associative rules are close to logical models, which makes it possible to organize efficient inference procedures on them, and on the other hand, they more clearly reflect knowledge than classical models. They do not have the strict limitations typical of logical calculus, which makes it possible to change the interpretation of product elements. The search for association rules is far from a trivial task, as it might seem at first glance. One of the problems is the algorithmic complexity of finding frequently occurring itemsets, since as the number of items grows, the number of potential itemsets grows exponentially.

Keywords: information system; database; relational data model; data integration; intelligent systems; extracting knowledge from data; data mining; associative patterns of data.

Introduction

Knowledge Discovery in Databases (KDD) methods have been actively researched and developed over the past 20 years. Data mining technologies that are currently used are the result of the evolution of the following directions: in-depth development, intellectualization, increasing the level of mathematical methods for data processing, further development of integrated systems – databases and decision support systems, modeling of nervous tissue of animals and humans with artificial neural networks [1].

Currently, there are many large research centers and teams engaged in the development of methods and the creation of KDD systems. Among the large companies that are intensively dealing with this issue, one can single out IBM and Microsoft. IBM has completely repurposed its largest software technology research center in Almaden to develop KDD algorithms and build working KDD systems. The result of this work is a whole family of KDD systems, both general purpose and specialized. For example, one of the specialized systems, called Advanced Scout, is used by the US Basketball Association to analyze the effectiveness of various combinations of players in teams, to analyze game situations and to develop a game strategy. This specialized system costs over a million dollars and is used by several IBA teams. Microsoft has set up KDD, located directly at the firm's headquarters in Redmond, and has brought in renowned experts who have previously worked on the subject at universities and academic research centers. This center is headed by Professor Osama Fayadd, who received one of the most honorable American awards for the advancement of science in 1996, and formerly worked in the NASA Jet

Propulsion Laboratory.

These problems are also dealt with at universities. One of the oldest research groups is at Wichita State University in the USA, and in Germany is the GMD group. Much attention is paid to the application of KDD methods in biology and medicine. The greatest development was received by the applications of KDD associated with molecular biology, namely, with the decoding of macromolecules, and with the creation of new drugs. We should mention such companies as Base4 Bioinformatics, Bio Discovery, DNA Star, Molecular Simulations, Anvil Informatics, Bioreason, Cellomics, Incyte Pharmaceuticals. These data indicate that research in the field of KDD is currently experiencing rapid growth.

1. Basic methods of extracting knowledge from data

The development of computer technology has led to a significant increase in the volume of stored data, which, in turn, has complicated their analysis. At the same time, the need for such an analysis is quite obvious, because these data contain knowledge that can be used when making decisions.

Data Mining is a process of discovering in "raw data" previously unknown non-trivial practically useful and accessible interpretation of knowledge necessary for decision-making in various spheres of human activity. Data Mining is the revealing hidden patterns or relationships between variables in large amounts of raw data. It is subdivided into the tasks of classification, modeling and forecasting and others. The term "Data Mining" was introduced by Grigory Pyatetsky-Shapiro in 1989. The English term "Data Mining" does not have an

unambiguous translation into Russian (data mining, data mining, information penetration, data / information extraction), therefore, in most cases it is used in the original. The most successful indirect translation is the term "intellectual analysis of data" (IAD).

IAD includes methods and models of statistical analysis and machine learning, distancing itself from them towards automatic data analysis. The IAD tools allow data analysis by subject specialists (analysts) who do not have the appropriate mathematical knowledge.

The information found in the process of applying Data Mining methods must be non-trivial and previously unknown, for example, average sales are not. Knowledge should describe new relationships between properties, predict the values of some features based on others, etc. The knowledge found should be applicable to new data with some degree of reliability. The usefulness lies in the fact that this knowledge can bring some benefit in its application.

Knowledge should be presented in a form that is understandable for a non-mathematical user. For example, the logical constructions "if ... then ..." are most easily perceived by humans. Moreover, such rules can be used in various DBMS as SQL queries. In the case where

the extracted knowledge is not transparent to the user, there should be post-processing methods to bring it to an interpretable form. The algorithms used in Data Mining are computationally intensive. Previously, this was a limiting factor in the widespread practical application of Data Mining, but the increase in the performance of modern processors has removed the urgency of this problem. Now, within a reasonable time, it is possible to conduct a qualitative analysis of hundreds of thousands and millions of records [2].

To solve these problems, various Data Mining methods and algorithms are used. The following methods have gained great popularity: neural networks, decision trees, clustering algorithms, including scalable ones, algorithms for detecting associative links between events, etc.

Data analysis is based on modeling. Model building is a versatile way to explore the world around you. Modeling allows you to discover dependencies, extract new knowledge, predict, manage, and solve many other problems. Most economic systems are classified as complex, i.e. with a lot of elements and complex connections. The knowledge extraction technique is shown in fig. 1.

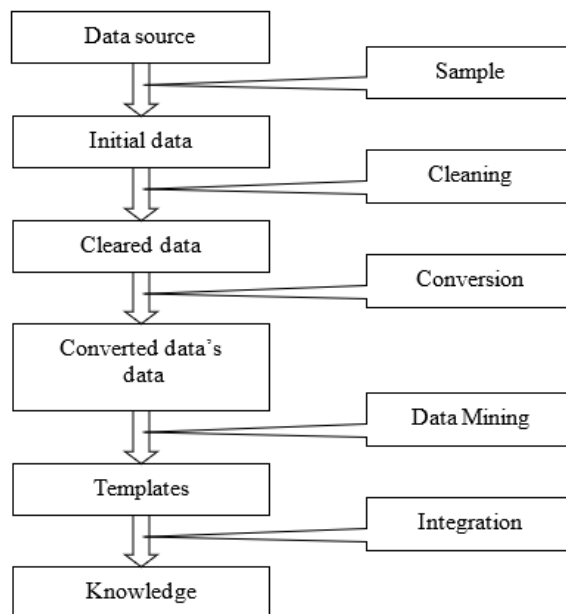


Fig. 1. Knowledge extraction technique

Despite the large number of various data analysis tasks, almost all of them are solved using a single methodology. It does not describe a specific algorithm or mathematical apparatus, but a sequence of actions that must be performed to build a model (extract knowledge). This technique does not depend on the subject area, it is a set of atomic operations, combining which you can get the desired solution [3, 4].

2. Tasks solved by Data Mining methods:

1. Classification is the assignment of objects (observations, events) to one of the previously known classes. The simplest and most common Data Mining task. As a result of solving the classification problem, features

are found that characterize groups of objects of the studied data set – classes; on these grounds, a new object can be attributed to one or another class. The following methods can be used to solve the classification problem: Nearest Neighbor; k-Nearest Neighbor; Bayesian Networks; induction of decision trees; neural networks.

2. Regression, including forecasting problems. Establishing the dependence of continuous output on input variables. In regression and classification problems, it is required to determine the value of the dependent variable of an object based on the values of other variables that characterize this object.

Let there be given a finite set of objects $I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, i_n\}$. Each of the objects is characterized

by some characteristic description $(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m, x_{m+1})$. Let the feature values $(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m)$ are known. Then the task is to determine the unknown feature x_{m+1} . If its set of values is finite, then the problem is called classification, and if countable or has the cardinality of the continuum, then we speak of the regression problem.

3. Clustering is a grouping of objects (observations, events) based on data (properties) that describe the essence of these objects. Objects within a cluster must be "similar" to each other and differ from objects included in other clusters. The more similar objects within a cluster and the more differences between clusters, the more accurate the clustering. Clustering is a logical continuation of the idea of classification. This task is more complicated; the peculiarity of clustering is that the classes of objects are not initially predefined. The result of clustering is the division of objects into groups.

4. Association – identifying patterns between related events. An example of such a pattern is the rule that indicates that event Y follows from event X. Such rules are called associative. This problem was first proposed to find typical shopping patterns in supermarkets, therefore it is sometimes also called market basket analysis. In the course of solving the problem of finding association rules, patterns are found between related events in the dataset. The difference between the association and the previous Data Mining tasks is that the search for patterns is carried out not based on the properties of the analyzed object, but between several events that occur simultaneously. The most famous algorithm for solving the problem of finding associative rules is the Apriori algorithm [1, 5].

5. Sequential Patterns – Establishing patterns between time-related events. Consistency allows you to find temporal patterns between transactions. The task of a sequence is like an association, but its purpose is to establish patterns not between simultaneously occurring events, but between events related in time (i.e., occurring at a certain interval in time). In other words, the sequence is determined by the high probability of a chain of events related in time. In fact, an association is a special case of a sequence with a time lag of zero. This Data Mining problem is also called the sequential pattern problem. The rule of sequence: after event X, event Y will occur after a certain time. The solution to this problem is widely used in marketing and management, for example, in managing the customer cycle (Customer Lifecycle Management).

6. Deviation analysis – identifying the most unusual patterns. Business analysis problems are formulated in a different way, but the solution of most of them comes down to one or another Data Mining problem or a combination of them. For example, risk assessment is a solution to a regression or classification problem, market segmentation is clustering, demand stimulation is associative rules. In fact, Data Mining tasks are elements from which you can assemble a solution to the vast majority of real business problems.

The potential of Data Mining provides opportunities for expanding the boundaries of technology application:

- allocation of types of subject areas with their corresponding heuristics, the formalization of which will facilitate the solution of the corresponding Data Mining problems related to these areas

- creation of formal languages and logical means, with the help of which reasoning will be formalized, and the automation of which will become a tool for solving Data Mining problems in specific subject areas;

- creation of Data Mining methods that can not only extract patterns from data, but also form some theories based on empirical data;

- overcoming the significant lag of the capabilities of Data Mining tools from theoretical achievements in this area.

If we consider the future of Data Mining in the short term, then it is obvious that the development of this technology is most related to business. In the short term, products of this class can become as common and necessary as e-mail and, for example, be used by users to find the lowest prices for a particular product or the cheapest tickets. In the long term, the future of Data Mining is truly exciting and it can be a search by intelligent agents, both for new treatments for various diseases, and a new understanding of the nature of the universe. However, Data Mining is fraught with potential danger and after all, an increasing amount of information becomes available through the worldwide network, including private information, and more and more knowledge can be extracted from it.

Studies note that there are both successful solutions using Data Mining and bad experiences with this technology. The areas where the application of this technology will be successful have the following features:

- require knowledge-based solutions;
- have a changing environment;
- have accessible, sufficient and meaningful data;
- provide high dividends from the right decisions.

To solve the above tasks, various Data Mining methods and algorithms are used. In view of the fact that Data Mining has developed and develops at the intersection of disciplines such as statistics, information theory, machine learning, database theory, it is quite natural that most Data Mining algorithms and methods were developed on the basis of various methods from these disciplines. For example, the k-means clustering procedure was simply borrowed from statistics. The following Data Mining methods have gained great popularity: neural networks, decision trees, clustering algorithms, including scalable ones, algorithms for detecting associative links between events, etc.

The use of Data Mining methods is actually the only way to benefit from the accumulated information, otherwise the collected data will be "dead weight". Data Mining allows you to extract knowledge from data and turn it into competitive advantages: predict qualitatively, more accurately identify target audiences, predict the development of events, manage risks, and more. Let's consider in detail the main components of the technology and methods of Data Mining.

2.1 Data warehouses

The concept of a data warehouse is based on the idea of separating data used for operational processing and for solving analysis problems. This separation allows you to optimize both the online storage data structures for performing input, modification, deletion, and search operations, and the data structures used for analysis (for performing analytical queries). Different operational data sources (management systems) may contain data describing the same subject area from different points of view (accounting, warehouse accounting, planning department, etc.). A decision made on the basis of only one point of view may be ineffective or incorrect. Data warehouses allow you to integrate information that reflects different points of view into one subject area. Operational data sources tend to be developed at different times using different toolkits. This leads to the fact that the same objects are described in different ways. Integration of data into the warehouse solves this problem by bringing data to a single format [6–8].

Requirements for online data sources impose a limitation on the storage time in them, that is, those data that are not needed for online processing can be deleted from the database to reduce the amount of occupied resources. Analysis requires data for as long as possible. Unlike databases, in storages, data is only read after loading, which can significantly increase the speed of data access. Complex analytical queries against online data sources consume a large amount of resources on the computers on which they run. This leads to a decrease in system performance, which is unacceptable, since the execution time of operations in such systems is often very critical [9].

Thus, data prepared in a certain way and collected in storages can be used for analysis and decision-making based on them. Analysis subsystems (OLAP, Data Mining) are responsible for the formation of analytical queries to data and presentation of the results of their execution in decision support systems (DSS) [10].

2.2 Online data analysis systems

To analyze information, the most convenient way to represent it is a multidimensional model or a hypercube whose edges are dimensions. This allows you to analyze data from several dimensions at once, i.e. perform multivariate analysis. The concept of multivariate data analysis is closely related to operational analysis, which is performed using OLAP systems.

OLAP is a technology of online analytical data processing that uses methods and tools for collecting, storing and analyzing multidimensional data in order to support decision-making processes. The main purpose of OLAP systems is to support analytical activities, arbitrary requests from analyst users. The purpose of OLAP analysis is to test emerging hypotheses.

OLAP systems provide analysts with a means of testing hypotheses when analyzing data, that is, the main task of an analyst is to generate hypotheses based on their knowledge and experience.

By the type of database used, OLAP systems can be divided into several classes depending on the data storage structure:

- systems for operational analytical processing of multidimensional databases (or MOLAP systems), in which data are organized in the form of ordered multidimensional arrays of hypercubes or polycubes;
- systems of on-line analytical processing of relational databases (or ROLAP-systems), which allow presenting data in a multidimensional form, ensuring the transformation of information into a multidimensional model through an intermediate layer of metadata;
- hybrid systems of on-line analytical data processing (HOLAP-systems) are designed to combine the advantages and minimize the disadvantages of previous systems. They combine the analytical flexibility and speed of response of MOLAP systems with constant access to real data inherent in ROLAP systems.

The main disadvantages of the methods of operational data analysis discussed above are that in practice, the multidimensionality of data, as a rule, ends with the use of functions for extracting extensions from attributes of the "date / time" type: year, half year, quarter, month, week. All further actions are reduced to the sequence of execution of specialized queries: "selection" and "grouping" using the functions "CONT", "SUM", "AVG" or other similar.

2.3 Statistical methods for knowledge extracting

Domain-specific analytical systems are very diverse. The broadest subclass of such systems, which has become widespread in the field of financial market research, is called "technical analysis". It is a combination of several dozen methods for forecasting price dynamics and choosing the optimal structure of an investment portfolio, based on various empirical models of market dynamics. These methods often use a simple statistical apparatus, but maximally take into account the specifics that have developed in their field (professional language, systems of various indices, etc.)

The latest versions of almost all known statistical packages include Data Mining elements along with traditional statistical methods. But the main attention in them is paid to classical methods: correlation, regression, factor analysis, etc. The disadvantage of systems of this class is the requirement for special training of the user.

There is an even more serious fundamental drawback of statistical packages that limits their use in Data Mining. Most of the methods included in the packages are based on a statistical paradigm in which the main figures are the average characteristics of the sample. And these characteristics, when studying real complex life phenomena, are often fictitious values.

2.4 Neural network mining algorithms

Neural networks are a large class of systems, the architecture of which is analogous to the construction of neural tissue from neurons. In one of the most common architectures, a multilayer perceptron with back propagation of an error, the operation of neurons as part of a hierarchical network is imitated, where each neuron of a

higher level is connected by its inputs to the outputs of neurons of the underlying layer. The values of the input parameters are fed to the neurons of the lowest layer, on the basis of which it is necessary to make some decisions, predict the development of the situation, etc. These values are considered as signals transmitted to the next layer, weakening or amplifying depending on the numerical values (weights) attributed to interneural connections. As a result, at the output of the neuron of the uppermost layer, a certain value is generated, which is considered as a response and the reaction of the entire network to the entered values of the input parameters. In order for the network to be used in the future, it must be "trained" on the data obtained earlier, for which both the values of the input parameters and the correct answers to them are known. The training consists in the selection of the weights of interneuronal connections, ensuring the closest proximity of the network's responses to the known correct answers.

The main disadvantage of the neural network paradigm is the need to have a very large training sample. Another significant drawback is that even a trained neural network is a "black box". Knowledge, recorded as the weights of several hundred inter-neural connections, is completely beyond human analysis and interpretation.

2.5 Decision trees

Decision trees are a way of representing rules in a hierarchical, sequential structure, where each object has a single node that provides a solution. A rule is understood as a logical structure represented in the form "if ... then ...".

The field of application of decision trees is currently wide, but all the problems solved by this apparatus can be combined into the following two classes:

- Description of data. Decision trees allow us to store information about data in a compact form, instead of them we can store a decision tree that contains an accurate description of objects.

- Classification. Decision trees do an excellent job of classification tasks, i.e. assignment of objects to one of the previously known classes. The target variable must have discrete values. If the target variable has continuous values, decision trees allow you to establish the dependence of the target variable on independent (input) variables. For example, this class includes problems of numerical forecasting (prediction of the values of the target variable).

Let some training set T be given, containing objects (examples), each of which is characterized by m attributes, and one of them indicates that the object belongs to a certain class. The idea of constructing decision trees from a set T , first proposed by Hunt, is given by R. Quinlan.

Let $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ denote classes (class label values), then there are 3 situations:

- the set T contains one or more examples belonging to the same class C_k . Then the decision tree for T is a leaf that defines the class C_k ;

- the set T contains no examples, i.e. empty set. Then it is again a leaf, and the class associated with the leaf is selected from another set other than T , for example, from the set associated with the parent;

- the set T contains examples belonging to different classes. In this case, the set T should be split into some subsets. For this, one of the features is selected that has two or more different values O_1, O_2, \dots, O_n . T is split into subsets T_1, T_2, \dots, T_n , where each subset T_i contains all examples that have the O_i value for the selected feature. This procedure will recursively continue until the finite set consists of examples belonging to the same class.

The above procedure is the basis of many modern algorithms for constructing decision trees, this method is also known as divide and conquer. Obviously, when using this technique, the decision tree will be built from top to bottom. Since all objects have been previously assigned to the classes we know, this process of building a decision tree is called supervised learning. The learning process is also called inductive learning or tree induction.

Today there are a significant number of algorithms that implement decision trees CART, C4.5, NewId, IT rule, CHAID, CN2, etc. But the most widespread and popular are the following two:

- CART (Classification and Regression Tree) is an algorithm for constructing a binary decision tree – a dichotomous classification model. Each node of the tree, when split, has only two children. As the name of the algorithm suggests, it solves classification and regression problems.

- C4.5 - an algorithm for constructing a decision tree, the number of children of a node is not limited. Can't work with a continuous target field, so only solves classification problems.

Most of the known algorithms are "greedy algorithms". If an attribute has been selected once and has been subdivided into subsets, the algorithm cannot go back and choose another attribute that would give a better subset. And therefore, at the stage of construction, it cannot be said whether the selected attribute will ultimately give the optimal partition.

Having considered the main problems that arise when constructing trees, consider their advantages: fast learning process; generation of rules in areas where it is difficult for an expert to formalize his knowledge; extraction of rules in natural language; intuitive classification model; high forecast accuracy, comparable to other methods (statistics, neural networks); construction of nonparametric models. Decision trees are an effective tool in decision support systems, data mining. Many data mining packages already include methods for constructing decision trees. In areas where the cost of error is high, they serve as an excellent support for the analyst or manager. Decision trees are successfully used to solve practical problems in the following areas:

- banking: assessing the creditworthiness of the bank's clients when issuing loans;

- industry: product quality control (detection of defects), non-destructive testing (for example, welding quality control), etc.;

- medicine: diagnostics of various diseases;

- molecular biology: analysis of the structure of amino acids.

This is not a complete list of areas of use for decision trees. Many potential applications are not yet explored.

2.6 Limited search algorithms

Restricted search algorithms were proposed in the mid-60s by M.M. Bongard to search for logical patterns in data. Since then, they have demonstrated their effectiveness in solving a variety of problems from a wide variety of fields. These algorithms calculate the frequencies of combinations of simple logical events in subgroups of data. Examples of simple logic events: $X = a$; $X < a$; $X > a$; $a < X < b$ and others, where X is any parameter, a and b are constants.

One of the dangers in constructing a description is the possibility of the emergence of so-called prejudices, i.e. selection of conditions that satisfy the requirements set only on the training set and are useless outside of it. Apparently, the first to draw attention to this problem was M.M. Bongard. It is clear that by increasing the thresholds for the probability of a type I error and decreasing the probabilities of a type II error, we reduce the likelihood of prejudice. However, the problem of choosing thresholds that guarantee that the probability of the appearance of even one prejudice does not exceed a given value remains relevant.

2.7 Reasoning methods based on similar cases

The idea of Case Based Reasoning (CBR) is simple at first glance. In order to make a forecast for the future or choose the right decision, these systems find in the past close analogs of the current situation and choose the same answer that was correct for them. Therefore, this method is also called the "nearestneighbor" method.

Recently, the term memory based reasoning has also become widespread, which focuses on the fact that a decision is made on the basis of all the information accumulated in memory. CBR systems perform well in a wide variety of tasks. Their main disadvantage is that they do not create any models or rules generalizing previous experience at all. In choosing a solution, they are based on the entire array of available historical data, so it is impossible to say on the basis of which specific factors CBR systems base their answers. Another disadvantage is the arbitrariness that CBR systems allow when choosing a measure of "proximity". This measure most decisively determines the size of the set of use cases that must be stored in memory in order to achieve a satisfactory classification or forecast.

2.8 Genetic algorithms

Genetic algorithms are designed to solve optimization problems. An example of such a task is training a neural network, that is, the selection of such values of the weights at which the minimum error is achieved. Moreover, the genetic algorithm is based on a random search method. The main disadvantage of random search is that we don't know how long it will take to solve the problem. To avoid such a waste of time in solving the problem, methods are used that have manifested

themselves in biology, methods discovered in the study of the evolution and origin of species. As you know, in the process of evolution, the fittest individuals survive. This leads to the fact that the fitness of the population increases, allowing it to better survive in changing conditions. This algorithm was first proposed in 1975 by John Holland at the University of Michigan. It was named "Holland's reproductive plan" and formed the basis for almost all variants of genetic algorithms.

It is known from biology that any organism can be represented by its phenotype, which actually determines what an object is in the real world, and a genotype, which contains all information about an object at the level of the chromosome set.

Moreover, each gene, that is, an element of genotype information, is reflected in the phenotype. Thus, to solve problems, we need to present each feature of an object in a form suitable for use in a genetic algorithm. All further functioning of the mechanisms of the genetic algorithm is carried out at the level of the genotype, making it possible to do without information about the internal structure of an object, which determines its widespread use in a variety of tasks. The most common form of genetic algorithm uses bit strings to represent the genotype of an object. Moreover, each attribute of an object in the phenotype corresponds to one gene in the object's genotype. A gene is a bit string, most often of a fixed length, that represents the value of this trait.

As you know, in the theory of evolution, an important role is played by how the traits of parents are transmitted to descendants. In genetic algorithms, the crossing operator (also called crossover or crossing over) is responsible for the transmission of parental traits to offspring. This operator defines the transfer of traits from parents to descendants. He acts as follows: two individuals are selected from the population who will be the parents; the break point is determined (usually randomly); a child is defined as the concatenation of part of the first and second parent. For the functioning of the genetic algorithm, these two genetic operators are sufficient, but in practice, some additional operators or modifications of these two operators are also used. For example, a crossover may not be single-point (as described above), but multi-point, when several break points are formed (most often two). In addition, in some implementations of the algorithm, the mutation operator is the inverse of only one randomly selected bit of the chromosome.

2.9 Systems for visualizing multidimensional data

Tools for visualization of multidimensional data are supported by all Data Mining systems. At the same time, a very impressive market share is occupied by systems that specialize exclusively in this function. In such systems, the main attention is focused on the friendliness of the user interface, which makes it possible to associate various parameters of the scatter diagram of database objects (records) with the analyzed indicators. These parameters include color, shape, orientation relative to its own axis, dimensions and other properties of graphic elements of the image. In addition, data visualization

systems are equipped with convenient tools for scaling and rotating images.

2.10 Fuzzy logic methods

The mathematical theory of fuzzy sets and fuzzy logic are generalizations of classical set theory and classical formal logic. These concepts were first proposed by the American scientist Lotfi Zadeh in 1965. The main reason for the emergence of a new theory was the presence of fuzzy and approximate reasoning when a person describes processes, systems, objects. Before the fuzzy approach to modeling complex systems was recognized all over the world, more than one decade passed since the inception of the theory of fuzzy sets. And on this path of development of fuzzy systems, it is customary to distinguish three periods.

The first period (late 60s – early 70s) is characterized by the development of the theoretical apparatus of fuzzy sets (L. Zade, E. Mamdani, Bellman).

In the second period (70s - 80s), the first practical results appear in the field of fuzzy control of complex technical systems (a steam generator with fuzzy control). At the same time, attention began to be paid to the issues of constructing expert systems based on fuzzy logic, the development of fuzzy controllers. Fuzzy expert systems for decision support are widely used in medicine and economics.

In the third period, which lasts from the end of the 80s and continues at the present time, software packages for building fuzzy expert systems appear, and the fields of application of fuzzy logic are significantly expanding. It is used in the automotive, aerospace, transportation, home appliance, finance, analysis and management industries, and many others.

The triumphal march of fuzzy logic around the world began after Bartholomew Kosco proved the famous FAT (Fuzzy Approximation Theorem) in the late 80s. In business and finance, fuzzy logic gained acceptance after in 1988 a fuzzy rule-based expert system for predicting financial indicators was the only one predicting a stock market crash. And the number of successful fuzzy applications is currently in the thousands [11–14].

2.11 The task of finding association rules in datasets

Association rules allow you to find patterns between related events. The first association rule search algorithm, called AIS, was developed in 1993 by researchers at the IBM Almaden Research Center. The mid-90s of the last century saw the peak of research work in this area, and since then, several algorithms have appeared every year. [15, 16].

Subject areas in which the method of assessing the associative properties of data is most often used:

- retail: identifying products that are worth promoting together; selection of the location of the product in the store; analysis of the consumer basket; demand forecasting;

- marketing: search for market segments, trends in consumer behavior;

- customer segmentation: identifying the general characteristics of the company's customers, identifying groups of buyers;

- catalog design, analysis of sales campaigns, determination of customer purchase sequences (which purchase will follow the purchase of product A);

- analysis of web logs.

Finding association rules is one of the main approaches to data mining. The search reveals hidden connections of seemingly unrelated data. These connections are the rules. Those that exceed a certain threshold are considered interesting. One of the most frequently cited examples of the search for association rules is the problem of finding stable links in the shopping cart (Market-Basket Problem) [1, 17].

The challenge in finding lasting links in a shopping cart is to determine which items are being purchased by customers together, so that marketers can properly place those items in the store to increase sales, as well as make other decisions to drive sales. It is the ability to detect hidden rules that makes the search for association rules valuable and conducive to the search for knowledge [18–20].

3. Let's formulate the problem of data mining in relational systems.

By the task of data mining we mean the procedure for finding all pairs of attributes of a relational database that satisfy the condition for which group operations are executable.

The problem can be solved in at least two ways:

1. Based on the rules of normalization theory, analyzing the second and third normal forms, select all pairs of functionally dependent attributes $X \rightarrow Y$ from the relation $R(K_1, K_2, A_1, \dots, A_n, B_1, \dots, B_m)$. The list of pairs will also include attributes that are transitively dependent among themselves through relations in which a composite key is used as key attributes.

2. Based on an analysis of the database schema normalized to third normal form.

3.1 Relational database structural specification

To construct a structural diagram of databases, traditional means of specifying a relational data model are used [21–25]. The main structural unit of data in the relational model is an n-ary relation, which is a finite subset of the Cartesian product of domains, that is, sets of atomic values of data elements – the attributes of the relation.

Let R be a finite set of database relationship names;

$D = \{D_1, \dots, D_i\}$ – a set of domains, where every

D_i domain is a named set of atomic values of data elements;

A – a finite set of names of attributes of relations;

dom – mapping from A to D , defining from which domain the attribute values are selected.

A pair $\langle A_i, domA_i \rangle$ where $A_i \in A$ is called an attribute. The structural scheme S_i of a relationship

$R_i (R_i \in R)$ can be represented in a form $R_i(A_1, \dots, A_n)$ where all A_i are different. A relationship r_i can be defined as an extension of a schema $S_i: r_i \subseteq \text{dom}A_1 \times \dots \times \text{dom}A_n$. Permutation of attributes in a schema does not generate a new extension, and a set $\{A_1, \dots, A_n\}$ of relationship attributes R_i sets the type of relationship. An expression $R_i = A_1 \dots A_n$ is used to specify the media composition. The U block diagram of a relational database is a specification of the form (R_1, \dots, R_p) , where $R_i \in R$ and all R_i are different.

Conceptually, a relational base is an information-logical model of a certain subject area, such that each extension corresponds to a certain state of this area at a certain moment in the discrete current time. Each state is modeled by an ordered set of data item values corresponding to the values of properties of objects in the domain.

An object of a specific type corresponds to a tuple of a relation of a specific type. Note that the relational data model assumes a strong typing of objects, the use of well-defined categories, such as the type of an object, an attribute (property) of an object, a domain, and the assignment of each value and an ordered set of values to one of these categories. Objects of a certain type have a certain set of properties, which is specified in the relational model by a relationship schema [26-29].

At the design stage, the developer performs a mandatory procedure - normalizing the relational database schema to one of the normal forms, as a rule, this is the third normal form (3NF).

Aggregate functions are functions that determine the number of records in a table, count the number of values in a column or find the minimum and maximum values for it, and also sum data. Aggregate functions include functions COUNT, SUM, MAX, MIN, AVG and possibly others suggested by the developer.

To apply aggregate functions in calculations with respect to some group of identical values, the Group By parameter is used. This parameter "compresses" the same values for the specified attribute into a single row of totals. To find the average price for a part, you can formulate a query in SQL.

```
SELECT Num_detail, AVG(Price) FROM Table GROUP
BY Num_detail
```

Example.

The problem of finding associative dependencies in a relational database and its solution.

Let's consider the technology for finding associative data dependencies using the following example. For the analysis, the "DETAILS" relational relation with the following scheme $\langle \text{Num_detail}, \text{Colors}, \text{Price} \rangle$ is presented. The example shows that there is a correspondence between two information units: part number and price. Thus, it is possible to formulate a production expression of the form $\{\text{Price} \neq \emptyset; \text{Num_detail} \Rightarrow \text{AVG}(\text{Price})\}$, where $\text{Num_detail} \Rightarrow \text{AVG}(\text{Price})$ – is a product core, $\text{Price} \Rightarrow \emptyset$ is a product core applicability condition; if the logical expression of the condition evaluates to "true", then the production core is activated. The diagram of using the AVG aggregate function relative to the grouped data is shown in fig. 2.

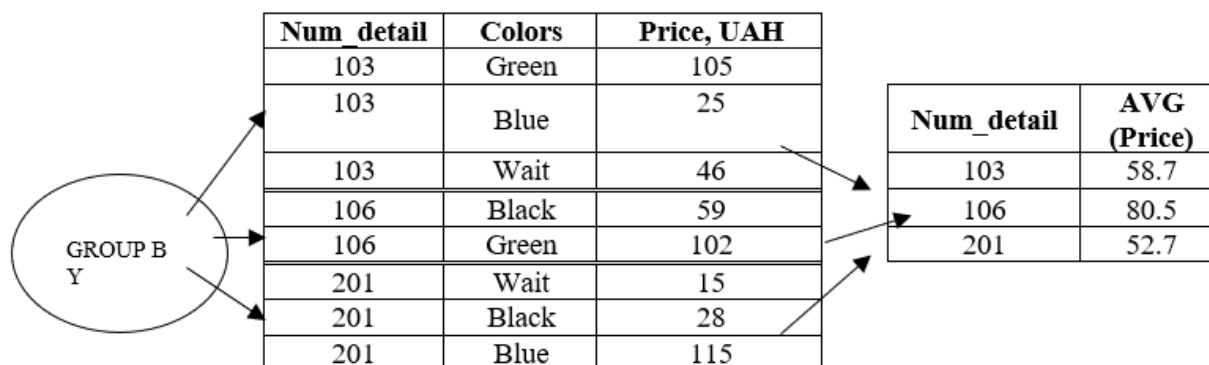


Fig. 2. Query with grouping

When constructing production rules, the query syntax is used, which defines the structure of the rule core. The syntactic structure, in turn, is fixed and has the form: the left side of the rule corresponds to the attribute (attributes) by which the grouping is carried out, and the right side corresponds to the attribute (s) to which the aggregate function is applied. If a set of queries is used, consolidated, for example, in a transaction, then they form a production system. In the product system, special product management procedures must be specified, with the help of which the kernel is updated [30, 31].

Statement:

Let there be a relational relation for which a set of transactions is implemented $T = \{T_1, \dots, T_n\}$, $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ – the set of elements of which the transaction consists of T , that is $T_i \subseteq D$ и $\Omega = \{\text{COUNT}, \text{SUM}, \text{MAX}, \text{MIN}, \text{AVG}, \dots\}$ – a set of aggregate functions. Each transaction is a binary vector, where $T_i = 1$, if the d_i element is present in the transaction and $T_i = 0$ otherwise. Transaction T_i has a set of elements $X \subseteq D$, if $X \subset T_i$. Then products of the form $\{P; X \Rightarrow \varpi(Y)\}$, where P – the condition for activating the

core of a rule will be called a functional associative rule if $X \subset D, Y \subset D, X \cap Y = \emptyset$ и $\varpi \in \Omega$.

The purpose of data analysis is to establish the following dependencies: if a certain set of X elements was encountered in a transaction, then, based on this, we can conclude that another set of Y elements should also appear in this transaction. Establishing such dependencies makes it possible to find simple and intuitive rules [32, 33].

In general, the formation of association rules can be represented in two stages:

- selection of all the necessary sets of elements;
- generation of rules from sets of elements using the required functions.

As a means of displaying functional association rules, we use the semantic network (SN): $S = (T, \Omega)$, where T – a set of transactions, the elements of which act as nodes of the SN, Ω – set of aggregate functions

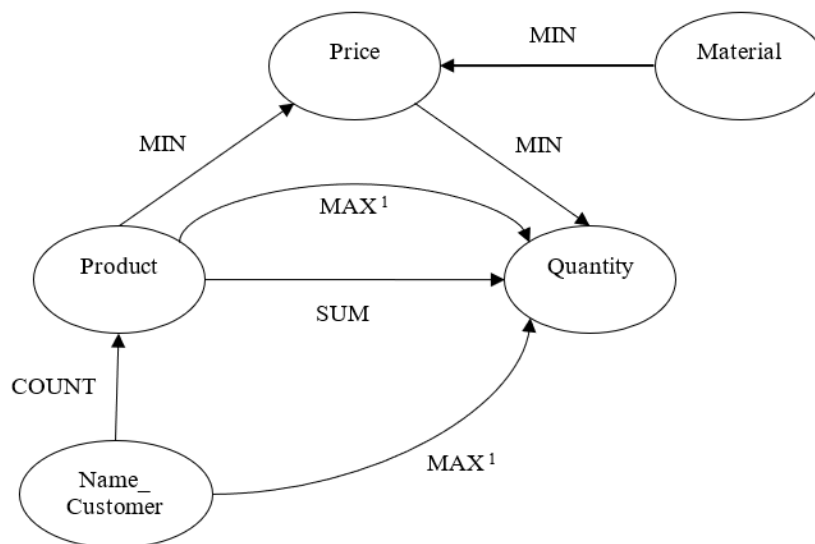


Fig. 3. Semantic network of the system of functional association rules

Using the structure of the SN, consider the inverse problem. Let's formulate a query based on the analysis of paths in the SN. For example, what information can be obtained from data on the names of suppliers (Name_Customer). Such a request can be formulated as follows:

```

SELECT Name_Customer, COUNT(Product)
FROM Table
GROUP BY Name_Customer
  
```

SN analysis can expand the knowledge base. Having determined the necessary path in the network, the request can be composed, for example, as follows:

```

SELECT Name_Customer, Product, MIN(Price)
FROM Table
GROUP BY Name_Customer, Product
  
```

Thus, from the expressions "if there is a supplier, then you can find the number of his deliveries" and "if there are supplies", then you can find their minimum cost,

representing the relationship between vertices (arcs of a graph).

Let a system of functional association rules be given:
 $\{ \text{Quantity} \neq \emptyset; \text{Product} \Rightarrow \text{SUM}(\text{Quantity}) \}$
 $\text{Price} \neq \emptyset; \text{Product} \Rightarrow \text{MIN}(\text{Price}) \}$
 $\text{Product} \neq \emptyset; \text{Name_Customer} \Rightarrow \text{COUNT}(\text{Product}) \}$
 $\text{Quantity} \neq \emptyset; \text{Name_Customer}, \text{Product} \Rightarrow \text{MAX}(\text{Quantity}) \}$
 $\text{Price} \neq \emptyset; \text{Material} \Rightarrow \text{MIN}(\text{Price}) \}$
 $\text{Quantity} \neq \emptyset; \text{Price} \Rightarrow \text{MIN}(\text{Quantity}) \}$

For the system presented above, we construct a semantic network S , shown in fig. 3. To identify the constituent left parts of the core of the rule in the network, the notation $\varpi^i (i = \overline{1, \infty})$ is used, where i – shows the ratio of the constituent vertices.

"if there is a supplier and his supplies", then you can find the minimum cost of these supplies [34].

Conclusions

In integrated information systems that combine a relational database and a decision support subsystem, various tasks are solved, including those related to the formalization and representation of knowledge. An important role in the search for knowledge is played by the structural characteristics of the source from which the intelligent system can obtain knowledge. Thus, it is necessary to have tools with which it is possible to acquire knowledge for an intelligent subsystem.

The main source of knowledge is the relational database. In this regard, the study of data properties is an urgent task in the construction of systems of association rules. On the one hand, associative rules are close to logical models, which makes it possible to organize efficient inference procedures on them, and on the other hand, they more clearly reflect knowledge than classical models. They do not have the strict limitations typical of

logical calculus, which makes it possible to change the interpretation of product elements.

The search for association rules is far from a trivial task, as it might seem at first glance. One of the problems is the algorithmic complexity of finding frequent itemsets, since as the number of items grows, the number of potential itemsets grows exponentially.

The article deals with the analysis of a relational database in order to identify production rules, based on some structural specifications of the relational data model. One class of products is considered, namely functional association rules, which allows, using the properties of

keys, primary and external, to generate a system of functional association rules and build on their basis a semantic network that allows you to expand (deduce) a given set of rules. Further research of the search and analysis procedures for products can be directed towards the development of methods for inference of association rules based on a certain system of axioms. In addition, when searching for rules, you can use other properties of the relational data model, such as functional and other types of dependencies, as well as some properties of the language specification, in particular the mathematical apparatus of relational calculus.

References

- Gavrilova, T. A., Khoroshevsky, V. F. (2000), *Knowledge Base of Intellectual Systems*, SPb: Peter, 384 p.
- Yesin, V. I. (2012), "Reinzhyrnyh isnuyuchykh baz danykh", *Systemy obrobky ynfomatsyy*, KHNU im. V.N. Karazina, Kharkiv, Vol. 2, No. 3 (101), P. 188–191.
- Borisov, A. N., Alekseev, A. V., Merkur'eva, G. V. (1989), "Processing of fuzzy information in decision-making systems", *Radio and communication*.
- Ed. S. Osugi, Y. Saeki (1990), *The acquisition of knowledge*, Moscow, Mir, 304 p.
- Date, K. (2001), *Introduction to database systems* : trans. from English, Moscow, Publishing House "Williams", 1072 p.
- Filatov, V., Rudenko, D. Grinyova, E. (2014), "Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems", *Proceedings of the 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo-2014)*, 7-13 sept. 2014, Sevastopol, Ukraine, P. 399–400.
- Fillmore, C. J. (1978), *The case for case*, Universals in linguistic theory, N. Y., Holt, Rinehart and Winston Inc., 234 p.
- Glava, M., Malakhov, V. (2018), "Information Systems Reengineering Approach Based on the Model of Information Systems Domains", *International Journal of Software Engineering and Computer Systems (IJSECS)*, University Malaysia Pahang, Vol. 4, P. 95–105. DOI: 10.15282/ijsecs.4.1.2018.8.0041
- Avrunin, O. G., Bodianskyi, Ye. V., Kalashnyk, M. V., Semenets, V. V., Filatov, V. O. (2018), *Suchasni intelektualni tekhnolohii funktsionalnoi medychnoi diahnozyky*, KhNURE, Kharkiv, 236 p. DOI: 10.30837/978-966-659-236-4
- 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>
- Zade, L. A. (1976), *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*, Moscow, Mir, 165 p.
- Asai, K., Vatada, D., Iwai, S. et al. (1993), *Applied fuzzy systems*, Ed. T. Terano, C. Asai, M. Sugeno, Moscow, Mir, 368 p.
- Zadeh, L. A. (1974), "Basics of a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes", *Math Today*, Moscow, Znanie, P. 5–49.
- Kent, W. (1981), "Consequences of assuming a universal relation", *ACM Trans. on Database Systems*, Vol. 3, P. 3–17.
- Korneev, V. V., Gareev, A. F., Vasyutin, S. V., Reich, V. V. (2001), *Database*, Intellectual information processing, 2nd ed., Moscow, Noldige, 496 p.
- Dubois, D., Prades, A. (1990), *Theory of opportunities. Applications to the representation of knowledge in computer science*, Moscow, Radio and communication, 288 p.
- Sichkarenko, V. A. (2002), *SQL 99 Database Developer Guide*, Moscow, DiaSoftUP, 816 p.
- Rumbaugh, J., Blaha, M. (1991), *Object-Oriented Modeling and Design*, N. J., Prentice Hall, 348 p.
- Schmid, H. A., Swenson, J. R. (1975), "On the semantics of the relation model", *Proc. of ACM SIGMOD Int. Conf. Management of Data*, P. 211–223.
- Langefors, B. (1974), "Information systems", *Information Processing 74*, Amsterdam, North-Holland, P. 937–945.
- McLeod, D. (1979), *The semantic data model*, MIT Press.
- Tsalenko, M. Sh. (1989), *Modeling semantics in databases*, Moscow, Nauka, Main ed. ph.-mat.lit., 288p.
- Schenk, R. (1980), *Processing Conceptual Information*, Moscow, Energy, 268 p.
- Rob, P., Coronel, K. (2004), *Database Systems: Design, Implementation, and Management* : Trans. from English, SPb., BHV-Petersburg, 1023 p.
- Langefors, B. (1980), "Infological models and information user views", *Inform. Systems*, Vol. 5, P. 17–32.
- Buslik, M. M. (1993), *Optimal image of a real database* : Monograph, Kyiv, ISDO, 84 p.
- Martin, J. (1980), *Database Organization in Computing Systems* : Tr.from English, Moscow, Mir, 662 p.
- Maltsev, A. I. (1970), *Algebraic systems*, Moscow, Nauka, 392 p.
- Cycritis, D., Lohovsky, F. (1985), *Data Models* : Trans. from English, Moscow, Finance and Statistics, 344 p.
- Filatov, V., Semenets, V. (2018), "Methods for Synthesis of Relational Data Model in Information Systems Reengineering Problems", *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PIC S&T-2018)*, 9-12 oct. 2018, Kharkiv, Ukraine, P. 247–251.
- Filatov, V., Kovalenko, A. (2020), "Fuzzy systems in data mining tasks", DOI: 10.1007/978-3-030-35480-0_6
- Filatov, V., Radchenko, V. (2015), "Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute", *Proceedings of the X Intern. Scient. and Techn. Conf. "Computer Science & Information Technologies" (CSIT'2015)*, 14-17 sept. 2015, Lviv, Ukraine, P. 85–88.
- Filatov, V. (2014), "Fuzzy models presentation and realization by means of relational systems", *Econtechmod: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*, Lublin, Rzeszow, Vol. 3, No. 3, P. 99–102.

34. Filatov, V., Doskalenko, S. (2018), "The Approach to Searching for Functional Dependences of Data in Relational Systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (1), P. 54-58. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.054>.

Received 30.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Філатов Валентин Олександрович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри штучного інтелекту, Харків, Україна; email: valentin.filatov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3718-2077>.

Філатов Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой искусственного интеллекта, Харьков, Украина.

Filatov Valentin – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine.

Семенец Валерій Васильович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, ректор, Харків, Україна; email: valery.semenets@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8969-2143>.

Семенец Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ректор, Харьков, Украина.

Semenets Valerii – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Rector, Kharkiv, Ukraine.

Золотухін Олег Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри штучного інтелекту, Харків, Україна; email: oleg.zolotukhin@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0152-7600>.

Золотухин Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры искусственного интеллекта, Харьков, Украина.

Zolotukhin Oleg – PhD (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine.

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ В РЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Предметом дослідження є методи інтелектуального аналізу реляційних баз даних. **Метою** проведених досліджень є розробка науково-обґрунтованих моделей підтримки інтелектуальних технологій інтеграції і управління інформаційними ресурсами розподілених обчислювальних систем. Дослідити особливості операційної специфікації реляційної моделі даних. Розробити метод оцінки реляційної моделі даних і процедуру побудови функціональних асоціативних правил при вирішенні задач інтелектуального аналізу реляційних баз даних. Відповідно до поставленої мети досліджень в представленій статті розглядаються наступні **завдання**: аналіз існуючих методів і технологій інтелектуального аналізу даних. Дослідження методів подання інтелектуальних моделей засобами реляційних систем. Розробка технології оцінки реляційної моделі даних для побудови функціональних асоціативних правил в задачах інтелектуального аналізу реляційних баз даних. Розробка інструментальних засобів проектування і супроводу прикладних задач інтелектуального аналізу даних; розробка прикладних задач інтелектуального аналізу даних. **Результати**: Проведено аналіз існуючих методів і технологій інтелектуального аналізу даних. Досліджено особливості структурної специфікації реляційної бази даних, формування асоціативних правил для побудови системи підтримки прийняття рішень. Розроблено інформаційну технологію, методика проектування інформаційно-аналітичних систем, на основі реляційної моделі даних, для вирішення практичних завдань інтелектуального аналізу, розроблені практичні рекомендації застосування реляційної моделі даних для побудови функціональних асоціативних правил в задачах інтелектуального аналізу реляційних баз даних, **висновок**: основним джерелом знань при експлуатації баз даних може бути реляційна база даних. У зв'язку з цим, дослідження властивостей даних є актуальним завданням в побудові систем асоціативних правил. Асоціативні правила з одного боку близькі до логічним моделям, що дозволяє організувати на них ефективні процедури виведення, а з іншого більш наочно відображають знання, ніж класичні моделі. У них відсутні жорсткі обмеження, характерні для логічних обчислень, що дає можливість змінювати інтерпретацію елементів продукції. Пошук асоціативних правил далеко не тривіальна задача, як може здатися на перший погляд. Одна з проблем – алгоритмічна складність при знаходженні часто зустрічаючих наборів елементів, так як з ростом числа елементів експоненціально зростає число потенційних наборів елементів.

Ключові слова: інформаційна система; база даних; реляційна модель даних; інтеграція даних; інтелектуальні системи; видобування знань з даних; інтелектуальний аналіз даних; асоціативні закономірності даних.

ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В РЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Предметом исследования являются методы интеллектуального анализа реляционных баз данных. **Целью** проводимых исследований является разработка научно-обоснованных моделей поддержки интеллектуальных технологий интеграции и управления информационными ресурсами распределенных вычислительных систем. Исследовать особенности операционной спецификации реляционной модели данных. Разработать метод оценки реляционной модели данных и процедуру построения функциональных ассоциативных правил при решении задач интеллектуального анализа реляционных баз данных. В соответствии с поставленной целью исследований в представленной статье рассматриваются следующие **задачи**: анализ существующих методов и технологий интеллектуального анализа данных. Исследование методов представления интеллектуальных моделей средствами реляционных систем. Разработка технологии оценки реляционной

модели данных для построения функциональных ассоциативных правил в задачах интеллектуального анализа реляционных баз данных. Разработка инструментальных средств проектирования и сопровождения прикладных задач интеллектуального анализа данных; разработка прикладных задач интеллектуального анализа данных. **Результаты:** Проведен анализ существующих методов и технологий интеллектуального анализа данных. Исследованы особенности структурной спецификации реляционной базы данных, формирование ассоциативных правил для построения системы поддержки принятия решений. Разработана информационная технология, методика проектирования информационно-аналитических систем, на основе реляционной модели данных, для решения практических задач интеллектуального анализа, разработаны практические рекомендации применения реляционной модели данных для построения функциональных ассоциативных правил в задачах интеллектуального анализа реляционных баз данных, **вывод:** основным источником знаний при эксплуатации баз данных может являться реляционная база данных. В связи с этим, исследование свойств данных является актуальной задачей в построении систем ассоциативных правил. Ассоциативные правила с одной стороны близки к логическим моделям, что позволяет организовать на них эффективные процедуры вывода, а с другой – более наглядно отражают знания, чем классические модели. В них отсутствуют жесткие ограничения, характерные для логических исчислений, что дает возможность изменять интерпретацию элементов продукции. Поиск ассоциативных правил далеко не тривиальная задача, как может показаться на первый взгляд. Одна из проблем – алгоритмическая сложность при нахождении часто встречающихся наборов элементов, так как с ростом числа элементов экспоненциально растет число потенциальных наборов элементов.

Ключевые слова: информационная система; база данных; реляционная модель данных; интеграция данных; интеллектуальные системы; извлечение знаний из данных; интеллектуальный анализ данных; ассоциативные закономерности данных.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Філатов В. О., Семенець В. В., Золотухін О. В. Інтелектуальний аналіз даних в реляційних системах. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 65–76. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.065>.

Filatov, V., Semenets, V., Zolotukhin, O. (2020), "Data mining in relational systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 65–76. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.065>.

UDC 004.832

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.077>

S. SHAPOVALOVA

GENERATION OF TEST BASES OF RULES FOR THE ANALYSIS OF PRODUCTIVITY OF LOGICAL INFERENCE ENGINE

The **subject** of research in the article are test tasks to determine the performance of logical inference engines based on rules. The **purpose** of the work is to create a method of forming a database of rules and a set of data for analyzing the performance of logical inference mechanisms according to the given characteristics of rule activation and the complexity of finding a way to the target conclusion. The article solves the following **tasks**: determining the requirements for the knowledge base to be formed; creation of a knowledge base model; creating a way to form rules; identifying ways to increase the number of rules; providing testing of logical inference mechanisms for the proposed test problem. The following **methods** are used: methods of comparison with the sample, graph theory, logical programming. The following **results** were obtained: the method provides opportunities: creation of conditions of rules that complicate the data flow network of the Rete-algorithm as much as possible; formation of test bases of rules for derivation both on logic of the first order, and on offer logic; simply increase the number of knowledge base rules while maintaining the output logic. The formation of the knowledge base is based on a graph that represents the meta-rules of mixing paints to obtain a new colour. The vertices of the graph are colour classes. Each metarule is either an edge leading to the OR vertex or a set of edges in the case of the AND vertex. Each meta-rule specifies a scheme for creating several rules, because its structural components are classes of paints. The given structure of the graph significantly complicates the logical inference, because to prove the truth of the conclusion on AND-vertices it is necessary to have the conclusions obtained in the previous steps of different search directions. Examples of rule formation are given. Target vertices are defined, which determine the simplest and most complex cases of logical inference. **Conclusions**: it was proposed a semantic model of the knowledge base in the form of AND/OR-graph, which allows you to test the effectiveness of the implementation of conflict resolution strategies, as well as heuristic algorithms; a method of creating tests for inference mechanisms, which allows you to generate a database of rules and a set of data of certain sizes, as well as to model the complexity of finding the target output and activating the rules. Ways to increase the number of rules of the knowledge base to complicate the problem of logical inference have been presented; formulation of tests to determine the performance of logic output mechanisms for the proposed test problem has been done.

Keywords: inference engine; performance analysis (benchmarking); expert systems (rule-based system); Manners; Waltz; Palette.

Introduction

Modern software needs an intellectual component, in particular, drawing conclusions based on pre-accumulated information and operational data. In practice, such a problem often has to be solved on the basis of the results of image analysis from cameras by neural networks, for example, in on-board software systems, in monitoring and diagnostic systems. Another application of rule-based systems is the analysis of large data sets, such as Web data.

The implementation of logical inference is carried out on the basis of software tools, which contains the mechanism of inference and resource representation of rules. If obtaining logical conclusions is one of the many tasks of the software system, its solution should not delay the execution of other tasks. On the other hand, in stand-alone expert systems with very large rule bases, speed is also an important factor and inference slows sharply with increasing task size.

Therefore, the development of new mechanisms of logical inference and improvement of existing ones, primarily aimed at optimizing the inference by speed. This criterion is also important when choosing a mechanism for inference to implement the current task. Thus, the development of tools for objective analysis of the performance of inference mechanisms is relevant and has practical significance.

The state of the issue

In [1], a framework for comparative analysis of inference engine based on rules (benchmarking) is proposed.

A world-renowned provider of high-performance rule-based systems, Production systems technologies currently provides the results of the effectiveness of the proposed software tools according to the Manners and Waltz tests [2]. These tests (benchmarks) are one of the historically first tasks of building rules for analyzing the performance of IE (inference engine) mechanisms. It is believed that Manners has proven itself to test the same IE on different platforms and processors [3]. This benchmark was first proposed in [4].

In [5], for comparative analysis of the efficiency of pattern matching algorithms TREAT and LEAPS, problems were identified that became classical IE tests. In addition to the mentioned Manners and Waltz, there are: WaltzDB, ARP, Weaver.

The article [6] proposes a methodology for computational experiments to compare the efficiency of expert system shells on the example of CLIPS, VP-Expert and Ibis. As a test task, simple knowledge bases were generated according to the instructions, which had no semantics and, according to the authors, could not be reference tests. In particular, the samples were submitted in terms of a given length.

In [7] the specified methodology and metrics of the analysis of productivity of means of development of expert systems are resulted.

Specific approaches to test problems are presented in [8, 9]. In [8] it is noted that the classical tests are focused on determining the speed of the output mechanisms by the logic of the first order, and proposed tests by the proposed logic: Chess and Christmas Tree.

In [9], optimized comparison algorithms are presented. Proof of their effectiveness was carried out directly on the graphs, using Petri net benchmark and The Object-to-Relational schema mapping benchmark. In the latter case, the mapping algorithms were tested on relational database schemas derived from UML classes.

Another way to determine the performance of IE is to create rules for processing existing large data sets. This is especially true of Semantic Web data. The project [10] created a resource OpenRuleBench, which presents a set of various tests to analyze the performance of systems. Test results for systems based on five different rule representation / processing technologies are presented. According to the technologies, the following software development tools are tested: 1) deductive databases: DLV, IRIS, Ontobroker; 2) Prolog-based systems: XSB, Yap; 3) production rule systems: Drools, Jess; 4) systems with triple engines: Jena, SwiftOWLIM, BigOWLIM; 5) general knowledge bases: CYC.

In [11], the Berlin SPARQL Benchmark (BSBM) test performed a comparative analysis of rule-based inference engines: Euler YAP Engine (EYE), Jena Inference Engine, BaseVISor. From the point of view of realization of considerations, the first of them (rule reasoner) is based on Prolog YAP engine, last two – on Rete. The BSBM test simulates an e-commerce usage scenario based on product data, suppliers, consumers, and product reviews. BSBM was chosen by the authors because it is closer to real enterprise scenarios than several independent datasets offered in OpenRuleBench.

Works [12-14] are also devoted to the problems of presentation and processing of Semantic Web knowledge. In these works, cases of logical inference based on rules that may be impossible (defeasible rules), in particular, in the presence of conflicting information. Such cases are presented in formal form and in the rules of logical languages used by software tools for processing information of Internet resources and ontologies (Semantic Web, Ontology Based Data). In [12], a method of generating knowledge bases for testing defeasible reasoning tools was proposed. The following tools were tested: ASPIC +, DEFT, DeLP, Flora-2, SPINdle. For computational experiments, logic derivation schemes in the form of chains, trees, directed acyclic graphs (chain, tree, directed acyclic graph) are proposed. The rules were represented by abstract classes of existential rules.

In these models of test problems, the search for the target conclusion is carried out either on graphs of state space (State Space Graphs), or on a fairly simple in structure schemes. The complexity increases due to the increase in the number of parameters of the problem, i.e. the number of rules that define the edges of the search graph. To bring the test tasks closer to the real

ones, in particular, it is necessary that the current conclusion is made on the basis of the conclusions obtained in the previous steps of different areas of search. To fulfill this condition, the logical inference should be performed on a clearly defined AND/OR-graph representation of meta-rules.

The mechanisms of both directions of logical inference draw conclusions based on representations on the logic of the first order (with limitations characteristic of the current approach). This allows you to create a model of a test problem (benchmark problem), in which you can display the specificity of different cases of inference and generate both a database of rules and a set of data with the ability to determine the characteristics of both components. Such a test task can become universal for output mechanisms.

The aim of the work is to create a method of forming a database of rules and a set of data for analyzing the performance of inference mechanisms according to the given characteristics of rule activation and the complexity of finding a way to the target conclusion.

To achieve this aim, it is necessary to solve the following tasks:

1. Define the requirements for the knowledge base to be formed.
2. Create a knowledge base model.
3. Develop a way to form rules.
4. Identify ways to increase the number of rules.
5. To provide statements of tests of mechanisms of logical inference on the offered test problem.

Requirements for a knowledge-based system

For further definitions we use the representation of systems on production rules.

The rules for reasoning are contained in the Knowledge Base. Logical expressions that represent the conditions of derivation in the rules correspond to the logic of the first order. Specified and proven facts are accumulated in a special structure – working memory WM (Working Memory). Each step of logical inference is carried out on the basis of one of the rules applied in the case of proving the truth of its conditions and leads to the determination of new facts or refutation of previously proven.

WM working memory contains a display of the current state of the solution of the output problem in the form of a set of true facts F_i (Fact):

$$WM = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}. \quad (1)$$

Each rule – or product – contains two parts, which, due to their location in the record of the j -th rule R_j (Rule), are denoted by LHS_j (Left-Hand Side) and RHS_j (Right-Hand Side), respectively:

$$LHS_j \rightarrow RHS_j, \quad (2)$$

where LHS_j is a conditional part of the j -th production rule, RHS_j is a part of the j -th production rule.

Part LHS_j is a logical expression from samples P_k (Pattern), the structure of which corresponds to the facts of WM. Unlike facts, sample arguments can have unrelated variables. The RHS_j part contains a list of actions to change the WM. Each action means adding a new $F+$ fact or removing an unnecessary for further reasoning F . All WM facts at each output step are compared with the P_k samples of the conditional parts of the rules.

According to the production model, the truth of a logical expression is proved by comparing the samples it contains with the facts of WM. So, the presence of all relevant facts proves the truth of the conjunctival connection. If the antecedent LHS_j is true, then the consistent RHS_j can be executed. In this case, the j -th rule is activated. This is its inclusion in the conflicting Agenda set. At each step of the conclusion of a particular strategy for resolving the conflict with the Agenda, one rule is chosen for firing. It is his part of the action that leads to the current changes in WM.

Thus, logical derivation in rule-based systems is based on two concepts: pattern matching and conflict resolution.

The most resource-intensive stage of logical inference is the activation of rules, which is carried out on the basis of comparison with the sample. Rule-based software development software tools mostly use the Rete algorithm for mapping. Therefore, when creating a model for forming a test knowledge base, the task was, on the one hand, to present the conditions in such a way as to use the conceptual advantages of the Rete algorithm to reduce comparison time, and, on the other hand, to complicate the data flow network.

According to the results of comparative analysis of Rete and TREAT comparison algorithms [15], the characteristics of KB rules are determined, which significantly affect the efficiency of logical inference. Based on them, the following requirements are set for the knowledge base to be formed according to the model:

- 1) the presence of temporary redundancy;
- 2) the presence of structural similarity;
- 3) the presence of the same variables in several samples of the conditional part of the LHS of all rules;
- 4) the presence of variables of the same name in the samples of the conditional part of LHS and the facts of RHS of all rules;
- 5) the number of conditional LHS elements of each rule is not less than 6;
- 6) the number of negative conditional elements of the LHS of each rule is not less than half of the total.

These requirements apply to KB rules. In addition, to track the logic of the output requires a semantic representation of KB, which provides:

- 7) the possibility of obtaining the same conclusion by different chains of reasoning;

- 8) modeling the process of logical inference based on conflict resolution strategies based on the principle of novelty.

The model of the knowledge base and the way of generating a set of data are abstract in the sense that they represent the concept of creating a test problem. Direct recordings of the representation of these components should be implemented in formats defined by inference mechanisms, the performance of which is analyzed.

Knowledge base model

The semantics of the Palette test knowledge base are based on the rules of mixing paints to obtain a new colour. This provides clarity for both KB views and tracing of the reasoning process.

Since the proposed model is intended for the formation of KB records, their representation has a single formalization. The representation uses the common notation of mathematics and logic of predicates, as well as the symbols $\langle \rangle$ to distinguish variable parts of names. Object names are used in Prolog syntax records, in particular, variable names start with a capital letter and atoms start with a lowercase letter.

We introduce the concept of colour classes. A colour class is a general designation of several colours that can be applied / obtained in the current logical output step. Original colours are represented by the classes *Primary*, *Secondary* and *Neutral*, which are defined as sets of such colours, respectively:

$$\text{Primary} = \{\text{yellow, red, blue}\}, \quad (3)$$

$$\text{Secondary} = \{\text{orange, violet, green}\}, \quad (4)$$

$$\text{Neutral} = \{\text{white, black}\}. \quad (5)$$

Classes *gray*, *brown* contain one corresponding colour. All other classes define colours after toning and have a name that is the first part of the name of the corresponding colour.

It is the colour classes that are the units of representation of meta-rules, for example:

$$\text{PrimaryColour1} \wedge \text{PrimeryColour2} \rightarrow$$

$$\text{SecondaryColour}, \quad (6)$$

where PrimaryColour_j is a paint from the set (3), SecondaryColour is a paint from the set (4).

Fig. 1 shows the semantic model of KB in the form of AND/OR-graph.

The vertices of the graph are colour classes. Each meta rule is either an edge leading to the OR vertex or a set of edges in the case of the AND vertex. Fig. 1 indicates this by the corresponding marks. Each meta rule specifies a schema for creating multiple KB rules, because its structural components are paint classes. For example, according to meta-rule (6), 3 rules are created in the knowledge base, which determine the possibility of obtaining each colour from the set (4).

In the table 1 in accordance with the symbols of fig. 1 are given the rules that determine the first step towards the goal.

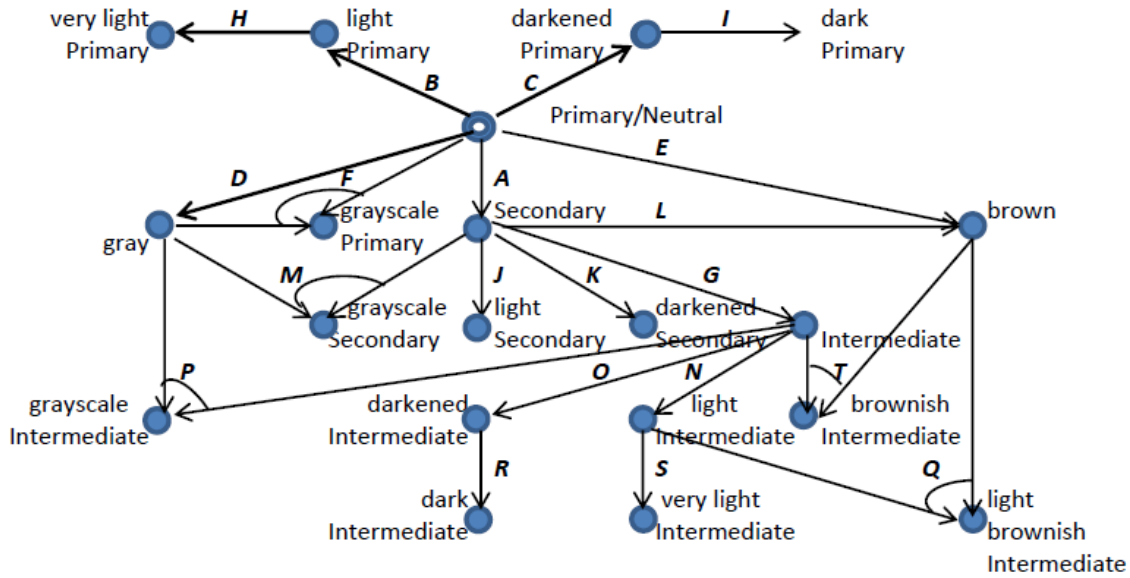


Fig. 1. AND/OR- graph representation of the Palette knowledge base

Table 1. Defining the rules of the first step to the goal

MetaRule		Rule	
Sign	Scheme	#	Scheme
A	$PrimaryColour1 \wedge PrimaryColour2 \rightarrow SecondaryColour$	1	$red \wedge yellow \rightarrow orange$
		2	$red \wedge blue \rightarrow violet$
		3	$yellow \wedge blue \rightarrow green$
B	$PrimaryColour \wedge white \rightarrow lightColour$	4	$red \wedge white \rightarrow light_red$
		5	$yellow \wedge white \rightarrow light_yellow$
		6	$blue \wedge white \rightarrow light_blue$
C	$PrimaryColour \wedge black \rightarrow darkenedColour$	7	$red \wedge black \rightarrow darkened_red$
		8	$yellow \wedge black \rightarrow darkened_yellow$
		9	$blue \wedge black \rightarrow darkened_blue$
D	$white \wedge black \rightarrow gray$	10	$white \wedge black \rightarrow gray$
E	$PrimaryColour1 \wedge PrimaryColour2 \wedge PrimaryColour3 \rightarrow brown$	11	$red \wedge yellow \wedge blue \rightarrow brown$

Obtaining the colour *brown* can be achieved in two ways: by meta-rule *E* or by meta-rule *L* (fig. 1). Due to this, the requirement to obtain the same conclusion by different chains of reasoning is fulfilled. Meta rule *L* defines 3 rules for mixing colour from set (4) and colour

from colour from set (4), which has not yet been used in the output process.

The colours of the *Intermediate* class on the palette are intermediate between the corresponding *PrimaryColour* and *SecondaryColour* and are created according to meta-rule *G* (table 2).

Table 2. Defining the rules of the Intermediate class

MetaRule		Rule	
Sign	Scheme	#	Scheme
G	$PrimaryColour \wedge SecondaryColour \rightarrow IntermediateColour$	12	$red \wedge violet \rightarrow red_violet$
		13	$red \wedge orange \rightarrow red_orange$
		14	$orange \wedge yellow \rightarrow orange_yellow$
		15	$green \wedge yellow \rightarrow green_yellow$
		16	$blue \wedge green \rightarrow blue_green$
		17	$blue \wedge violet \rightarrow blue_violet$

Further rules are built in the same way. They have the idea of toning all the colours that can be obtained on the basis of initial data. Toning is either one of the

specified neutral colours (5), or one of those obtained in the output process: *gray*, *brown*.

The name of the tinted colour *Toned* according to fig. 1 is an element of a subset of colour classes:

$$Toned \in \{light, very_light, darkened, dark, grayscale, brownish\}. \quad (7)$$

Toning is carried out according to the scheme:

$$Colour \wedge Tone \rightarrow \langle Toned \rangle_ \langle Colour \rangle, \quad (8)$$

where *Colour* is any colour specified or obtained by mixing, $\langle Toned \rangle$ is the definition of the tinted colour from the set (7), $\langle Colour \rangle$ is the part of the name of the tinted colour that matches the name of the colour *Colour*.

Examples of determining the tinted colour (8) are presented in table 3.

Table 3. Definition of tinted colour

Available colour		Tinted colour	The resulting colour	
Marking	Sample		Marking	Sample
$\langle Colour \rangle$	<i>red</i>	<i>white</i>	<i>light_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>light_</i> <i>red</i>
<i>light_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>light_</i> <i>red</i>	<i>white</i>	<i>very_light_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>very_light_</i> <i>red</i>
$\langle Colour \rangle$	<i>red</i>	<i>black</i>	<i>darkened_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>darkened_</i> <i>red</i>
<i>darkened_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>darkened_</i> <i>red</i>	<i>black</i>	<i>darkened_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>dark_</i> <i>red</i>
$\langle Colour \rangle$	<i>red</i>	<i>gray</i>	<i>grayscale_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>grayscale_</i> <i>red</i>
$\langle Colour \rangle$	<i>red</i>	<i>brown</i>	<i>brownish_</i> $\langle Colour \rangle$	<i>brownish_</i> <i>red</i>

The given structure of the graph significantly complicates the logical inference, because to prove the truth of the conclusion on AND-vertices it is necessary to have the conclusions obtained in the previous steps of different search directions. This provides additional opportunities to test the implementation of conflict resolution strategies.

The proposed model provides the concept of generating rule bases. The rule entry must match the syntax and format of the inference mechanism.

The way to present the rules

The knowledge base model reflects the sequence of application of rules in the process of logical inference. Each rule must be presented according to (2).

To represent knowledge usually use special declarative languages, which in many cases are adapted to a certain formalization of logical conditions. Let's define rules by the clause form. We will assume that the *j*-th phrase (clause) of such language represents a rule, the conditional part of which is a conjunctive connection of samples:

$$LHS_j = P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n, \quad (9)$$

where LHS_j is a conditional part of the *j*-th production rule, P_k is a *k*-th sample.

Let's determine the format of the samples. You can use two approaches:

- 1) create different formats for each level of the graph/branch of reasoning KB,
- 2) create samples of the same format, where the search depth is displayed in the name of the samples according to a given algorithm.

The following is the method of the latter approach. The minimum number of samples required to meet the above requirements 1-5 of the KB rules is presented.

The single LHS format for all rules contains 3 parts:

1) direct representation of colours that determine the conditions of transitions;

2) abstract conditions of "load", in which variables are introduced, most of which must be included in several samples;

3) "load" conditions associated with colours that contain variables are the same as in abstract "load" conditions.

Colour is represented by facts:

$$colour(Colour), \quad (10)$$

where *colour* – the name of the predicate that identifies the pattern, *Colour* is the name of the colour.

To complicate the comparison, the common for all rules of one level AND/OR-graph "load" conditions are implemented, which contain positive and negative atomic formulas and an additional condition that limits the unrelated variable. For the first level, the "load" condition is such a logical connection:

$$f1(1,X) \wedge f2(X,Y,2) \wedge Y > 0 \wedge \neg f3(Y,3,X), \quad (11)$$

where $f1, f2, f3$ are names of samples, *X, Y* – unrelated variables.

In the conditional part of the rules of each subsequent level in the functor is added one:

$$f\langle 1 \rangle 1(1,X) \wedge f\langle 1 \rangle 2(X,Y,2) \wedge Y > 0 \wedge \neg (f\langle 1 \rangle 3(Y,3,X)), \quad (12)$$

where $f\langle 1 \rangle 1, f\langle 1 \rangle 2, f\langle 1 \rangle 3$ are names of samples, *X, Y* – unrelated variables.

The *LHS* part of the rule contains only one connection (12). The link that corresponds to the colour obtained later than the other (that is, with more units in the sample names) is represented.

Additional "load" conditions associated with colours are represented by the following samples:

$$\neg f4_ \langle Colour \rangle (Z,z) \wedge \neg f5_ \langle ColourName \rangle (check,Z,Y,X), \quad (13)$$

where *X, Y, Z* - unrelated sample variables, *Colour* – name of colour, $\langle Colour \rangle$ – the part of the sample name that matches the colour name.

Thus, LHS is a conjunctive relationship of conditions and is determined by (10 – 13).

Running the rule (firing) means getting a new paint, i.e. adding to the WM 6 facts that correspond to the samples of the new colour obtained from the expressions (10 – 13). Part of the rule is a set of these facts:

$$RHS_j := \{F_1^+, F_2^+, \dots, F_6^+\}, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & colour(red) \wedge colour(blue) \wedge f1(1,X) \wedge f2(X,Y,2) \wedge Y>0 \wedge \neg f3(Y,3,X) \wedge \\ & \wedge \neg f4_red(Z,z) \wedge \neg f5_red(check,Z,Y,X) \wedge \neg f4_blue(Z,z) \wedge \neg f5_blue(check,Z,Y,X) \end{aligned} \quad (15)$$

->

$$\{ colour(violet), f11(1,X), f12(X,Y,2), \neg f13(Y,3,X), \neg f4_violet(Z,z), \neg f5_violet(check,Z,Y,X) \}$$

2) meta-rule P :

$$colour(red_violet) \wedge colour(gray) \wedge \quad (16)$$

$$f111(1,X) \wedge f112(X,Y,2) \wedge Y>0 \wedge \neg (f113(Y,3,X)) \wedge$$

$$\wedge \neg f4_red_violet(Z,z) \wedge \neg f5_red_violet(check,Z,Y,X) \wedge \neg f4_gray(Z,z) \wedge \neg f5_gray(check,Z,Y,X)$$

->

$$\{ colour(grayscale_red_violet), f1111(1,X), f1112(X,Y,2), \neg f1113(Y,3,X), \neg f4_grayscale_red_violet(Z,z), \neg f5_grayscale_red_violet(check,Z,Y,X) \}$$

All rules (except those created by meta-rule E) are a mixture of two paints, i.e. their LHS contains 9 samples (3 for each paint and 3 – "load"). For rule E , the LHS contains 12 samples.

The values of the set of variables $\{ColourName, X, Y, Z\}$ are determined by the initial facts of WM, which correspond to the colour samples of classes (3, 5) (Primary/Neutral vertex).

Generating a data set of the required size is done by creating additional facts of working memory, which may or may not meet the samples of LHS rules.

Increasing the knowledge base

You can create 70 rules from the graph shown in fig. 1.

You can increase the knowledge base by adding new rules not applied in the presented AND/OR-graph. The deepest level on the way to the target conclusion is 4. Obviously, the graph can be completed at all previous levels. For example, add a meta rule of mixing *Primary* colours with brown. In addition, you can add new classes of shades, increasing the number of transitions to the target output.

Another approach to increasing the knowledge base with an unchanged AND/OR-graph structure is to define new LHS formats and generate rules based on them, which actually duplicate the existing rules with insignificant, in terms of records, differences. For example, you can leave the colour representation unchanged. It is enough to replace the symbol "f" (according to the formulas (11-12)) in the samples and facts of the rules with another symbol or their sequence and turn the previously generated rules

where RHS_j – conditional part of the j -th production rule,

F_i^+ – i -th fact that corresponds to one of the expressions (10 – 13).

In this method, the logical output is considered monotonous – the facts are only added to the working memory, deletion is not provided. Therefore, in the future the facts are recorded without a mark "+".

Here are examples of typical rules of the knowledge base by formulas (2, 9-13) and:

1) meta-rule A (fig. 1):

into new ones. Thus, you can multiply the number of rules while maintaining the logic of inference by forming new parts of the knowledge base as a reflection of previously formed.

Benchmark Palette testing

To complicate the task of testing the performance of inference mechanisms based on Palette knowledge in the data set can be provided:

- the existence of several successful substitutions of the set of arguments of the conditional part of the rule $\{X, Y, Z\}$ to create the appropriate number of instances (instantiation) of the same rule;
- increasing the number of variables LHS (when generating a data set for samples other than those proposed above);
- the presence of facts, the arguments of which do not agree with the arguments of the samples of the conditional part of any rule.

The given structure of the graph of the knowledge base (fig. 1) significantly complicates the logical inference. To prove the truth of the conclusion on AND-vertices, it is necessary to have the conclusions obtained in the previous steps of different search directions.

Thus, the complexity of modeling is determined by:

- 1) the depth of the target conclusion on the graph;
- 2) the presence and number of AND-vertices;
- 3) the presence of more than one path to the goal on the KB column;
- 4) the number and set of given facts that are not used on the way to the conclusion, but increase the activation

time, search space and the corresponding structures of the Agenda and WM;

5) the presence of several solutions in the same way to the goal due to several successful substitutions of samples;

6) the presence of a set / sets of facts WM, which are successfully compared with the relevant samples, but their arguments of the same name do not agree with each other in the conditional part of the rules.

The first two criteria relate to the choice of the target conclusion. This provides additional opportunities to test the implementation of conflict resolution strategies.

All other criteria are taken into account when creating a data set.

The knowledge base generated on the basis of the proposed method provides an opportunity to test the mechanisms of logical inference:

1) directly when proving a given target conclusion.

In the simplest case, the target output is very *light_ <Primary>* or *dark_ <Primary>*, in the most *complex – light_brownish_ <Intermediate>* (fig. 1). Criteria for the complexity of the data set are taken into account when generating the initial state of working memory;

2) to determine the effectiveness at the stage of activation.

It is possible to determine the time of activation of rules separately for any stage of logical inference. In the most complex case, a mandatory part of the working memory is to present all the facts about the colours that can be obtained in the current output task, and all the facts that correspond to the levels of the graph. An additional part is generated to complicate the activation according to the above criteria 3-6;

3) to test the efficiency/correctness of heuristic algorithms.

The semantic model of the knowledge base allows you to create heuristics to determine the priority of Agenda rules in conflict resolution. Heuristics, the parameters of which are colours, will allow you to follow one branch of reasoning. Testing of heuristic algorithms can be performed as a search on the AND/OR-graph.

The proposed method of forming a knowledge base and data set for analyzing the performance of

implementations of logical inference mechanisms has the following properties that distinguish it:

- the possibility of artificially creating the conditions of the rules that will complicate the data flow network (data flow network) Rete-algorithm;

- the ability to test algorithms for resolving conflicts, including heuristics;

- the ability to create a benchmark for output both by first-order logic and by propositional logic. (In the latter case, in the terms of the rules there are statements - colours (table 1-3));

- a simple way to increase the number of rules of the knowledge base while maintaining the logic of derivation by forming new parts of the knowledge base as reflections of previously formed.

Conclusions

1. The analysis of benchmarks for mechanisms of derivation of systems based on rules is carried out. It is determined that for an objective performance analysis, it is advisable to generate both a rule base and a data set with the ability to determine the characteristics of both components.

2. The analysis of researches on comparison of efficiency of mechanisms of logical inference and algorithms of comparison is carried out. The requirements for the representation of the conditions of logical inference in the rules are defined.

3. A semantic model of the knowledge base in the form of AND / OR-graph is proposed, which allows to test the effectiveness of the implementation of conflict resolution strategies, as well as heuristic algorithms.

4. A method for creating tests for inference mechanisms is proposed, which allows to generate a database of rules and a set of data of certain sizes, as well as to model the complexity of finding the target output and activating rules.

5. Ways to increase the number of rules of the knowledge base to complicate the problem of logical inference are presented.

6. Presentations of tests to determine the performance of logical inference mechanisms for the proposed test problem are presented.

References

1. Bobek, S., Misiak, P. (2017), "Framework for Benchmarking Rule-Based Inference Engines", *Artificial Intelligence and Soft Computing, ICAISC 2017, Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham., Vol. 10246, P. 399–410. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59060-8_36. SCOPUS.
2. "Clips R2 Benchmark" (2020), *Production systems technologies*, available at: <http://www.grossweb.com/pst/clips-r2-benchmark/> (last accessed 25.09.20).
3. Riley, G. "Rearchitecting CLIPS" (2008), Business Rules Knowledge Base - October Rulefest 2008, available at: http://bizrules.info/conference/ORF2008DFW/GaryRiley_RearchitectingCLIPS_ORF2008.pdf (last accessed 25.09.20).
4. Kiemann, G., de-Maindrville, C., Simon, E. (1990), "Making Deductive Database a Practical Technology: A Step Forward", *Institute National de Recherche en Informatique et en Automatique*, Report No. 1153, P. 237–245. DOI: <https://doi.org/10.1145/93605.98733>
5. Brant, D, Grose, T., Lofaso, B., Miranker, D. P. (1991), "Effects of Database Size on Rule System Performance: Five Case Studies", *Proceedings of the 17th International Conference on Very Large Data Bases*, P. 287–296.
6. Plant, R., Salinas, P. (1994), "Expert systems shell benchmarks: The missing comparison factor", *Information & Management*, Vol. 27, Issue 2, August 1994, P. 89–101. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7206\(94\)90009-4](https://doi.org/10.1016/0378-7206(94)90009-4)
7. Farinha, J. M. T. (2018), *Asset Maintenance Engineering Methodologies*, CRC Press, 322 p.
8. Hicks, R. C., Wright, K. (2009), "Performance Testing of Propositional Logic Inference Engines", *Journal of Computer Information Systems*, Published online, Vol. 49, P. 122–126.

9. Bergmann, G., Horváth, Á., Ráth, I., Varró, D. (2008), "A Benchmark Evaluation of Incremental Pattern Matching in Graph Transformation", *Graph Transformations, ICGT 2008, Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol 5214. P. 396–410. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-87405-8_27
10. Liang, S., Fodor, P., Wan, H., Kifer, M. (2009), "OpenRuleBench: An analysis of the performance of rule engines", *Proc. 18th International Conference on World Wide Web*, P. 601–610. DOI: <https://doi.org/10.1145/1526709.1526790>
11. Rattanasawad, T., Buranarach, M., Saikaew, K.R., Supnithi, T. (2018), "A Comparative Study of Rule-Based Inference Engines for the Semantic Web", *IEICE Transactions on Information and Systems*, January 2018, P. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.1587/transinf.2017SWP0004>
12. Hecham, A., Croitoru M., Bisquert P. (2018), "A First Order Logic Benchmark for Defeasible Reasoning Tool Profiling", *RuleML+RR*, Sep 2018, Luxembourg, P. 81–97. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99906-7_6
13. Hecham, A., Croitoru, M., Bisquert P. (2018), "Demonstrating a benchmark for defeasible reasoning", *Computational Models of Argument, ser. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, Vol. 305, P. 461–462. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-906-5-461>
14. Hecham, A., Croitoru, M., Bisquert P. (2018), "On a flexible representation for defeasible reasoning variants", *AAMAS'18: Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, P. 1123–1131.
15. Shapovalova, S., Mazhara, O. (2015), "Formalization of basic pattern matching algorithms in production systems", *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, No. 4/3 (76), P. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46571>

Received 14.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шаповалова Світлана Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем, Київ, Україна; email: lanashape@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3431-5639>.

Шаповалова Светлана Игоревна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем, Киев, Украина.

Shapovalova Svitlana – PhD (Computer Sciences), Associate Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Associate Professor of the Department of Automation of Designing of Energy Processes and Systems, Kyiv, Ukraine.

ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТОВИХ БАЗ ПРАВИЛ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

Предметом дослідження в статті є тестові задачі визначення продуктивності механізмів логічного виведення, що базуються на правилах. **Мета** роботи – створення методу формування бази правил та набору даних для аналізу продуктивності механізмів логічного виведення за заданими характеристиками активації правил та складністю пошуку шляху до цільового висновку. В статті вирішуються наступні **завдання**: визначення вимог до бази знань, що має формуватись; створення моделі бази знань; створення способу формування правил; визначення способів збільшення кількості правил; надання постановки випробовувань механізмів логічного виведення за запропонованою тестовою задачею. Використовуються такі **методи**: методи співставлення зі зразком, теорії графів, логічного програмування. Отримано наступні **результати**: метод надає можливість: створення умов правил, які максимально ускладнюють мережу потоку даних Rete-алгоритма; формування тестових баз правил для виведення як за логікою першого порядку, так і за пропозиційною логікою; простого збільшення кількості правил бази знань зі збереженням логіки виведення. Формування бази знань здійснюється на основі графу, який представляє метаправила змішування фарб для отримання нового кольору. Вершинами графу є класи кольорів. Кожне метаправило є або ребром, що веде до OR-вершини, або сукупністю ребер – у випадку AND-вершини. Кожне метаправило задає схему для створення декількох правил, оскільки його структурними компонентами є класи фарб. Надана структура графу значно ускладнює логічне виведення, оскільки для доведення істинності висновку на AND-вершинах необхідно мати висновки, отримані на попередніх кроках різних напрямів пошуку. Наведено приклади формування правил. Визначено цільові вершини, які визначають найпростіший та найскладніший випадки логічного виведення. **Висновки**: запропоновано: семантичну модель бази знань у вигляді AND/OR-graph, яка дозволяє випробовувати ефективність реалізацій стратегій розв'язання конфліктів, а також евристичних алгоритмів; метод створення тестів для механізмів логічного виведення, що дозволяє генерувати базу правил та набір даних визначених розмірів, а також моделювати складність пошуку цільового висновку та активації правил. Представлено: способи збільшення кількості правил бази знань для ускладнення задачі логічного виведення; постановки випробовувань з визначення продуктивності механізмів логічного виведення за запропонованою тестовою задачею.

Ключові слова: механізм логічного виведення (inference engine); аналіз продуктивності (benchmarking); експертні системи (rule-based system); Manners; Waltz; Palette.

ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ БАЗ ПРАВИЛ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗМОВ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Предметом исследования в статье являются тестовые задачи определения производительности механизмов логического вывода, основанного на правилах. **Цель** работы - создание метода формирования базы правил и набора данных для анализа производительности механизмов логического вывода по заданным характеристикам активации правил и сложности поиска пути к целевому заключению. В статье решаются следующие **задания**: определение требований к формируемой базе знаний;

создание модели базы знаний; создание способа формирования правил; определение способов увеличения количества правил; представление постановки испытаний механизмов логического вывода по предложенной тестовой задаче. Используются следующие **методы**: методы сопоставления с образцом, теории графов, логического программирования. Получены следующие **результаты**: метод предоставляет возможности: создания условий правил, которые максимально затрудняют сеть потока данных Rete-алгоритма; формирования тестовых баз правил вывода как для логики первого порядка, так и пропозициональной логики; простого увеличения количества правил базы знаний с сохранением логики вывода. Формирование базы знаний осуществляется на основе графа, представляющего метаправила смешивания красок для получения нового цвета. Вершинами графа являются классы цветов. Каждое метаправило является или ребром, которое ведет к OR-вершине, или совокупностью ребер – в случае AND-вершины. Каждое метаправило задает схему для создания нескольких правил, поскольку его структурными компонентами являются классы красок. Представленная структура графа значительно усложняет логический вывод, поскольку для доказательства истинности вывода на AND-вершинах необходимо иметь выводы, полученные на предыдущих шагах различных направлений поиска. Приведены примеры формирования правил. Определены целевые вершины, которые определяют самый простой и самый сложный случаи логического вывода. **Выводы**: предложены: семантическая модель базы знаний в виде AND/OR-graph, которая позволяет испытывать эффективность реализаций стратегий разрешения конфликтов, а также эвристических алгоритмов; метод создания тестов для механизмов логического вывода, который позволяет генерировать базу правил и набор данных определенных размеров, а также моделировать сложность поиска целевого заключения и активации правил. Представлены: способ увеличения количества правил базы знаний для усложнения задачи логического вывода; постановка испытаний по определению производительности механизмов логического вывода по предложенной тестовой задаче.

Ключевые слова: механизм логического вывода; анализ производительности; экспертные системы; Manners; Waltz; Palette.

Бібліографічні опису / Bibliographic descriptions

Шаповалова С. І. Генерація тестових баз правил для аналізу продуктивності механізмів логічного виведення. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.077>.

Shapovalova, S. (2020), "Generation of test bases of rules for the analysis of productivity of logical inference engine", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 77–85. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.077>.

І. А. КРАЇВСЬКА

МОНІТОРИНГ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ТА УСТАНОВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Стаття присвячена дослідженню питань формування основних напрямів моніторингу рівня економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо формування інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо формування інформаційно-аналітичного забезпечення моніторингу економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. **Завдання** роботи: проаналізувати існуючі методичні підходи оцінки розвитку соціальної інфраструктури регіонів; запропонувати напрямки удосконалення системи моніторингу економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури; проаналізувати існуючі методичні підходи для застосування в процесі моніторингу соціальної інфраструктури регіонів. У ході дослідження використано **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення та систематизації. За результатами дослідження встановлено, що метою моніторингу економічної безпеки соціальної інфраструктури є одержання інформації про рівень ефективності і результативності діяльності соціальної інфраструктури на основі якісного і кількісного аналізу і оцінювання відповідних показників та оцінки виникнення або існування можливих загроз та ризиків. Предметною областю моніторингу рівня економічної безпеки є визначення інтегрального показника економічної безпеки соціальної інфраструктури за виділеними функціональними складовими. Однією із умов, якою повинен відповідати алгоритм проведення моніторингу є можливість кількісної оцінки всіх досліджуваних показників для визначення рівня економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. **Висновки**. Удосконалено процес моніторингу економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури за встановленими етапами. Обґрунтовано пропозиції щодо удосконалення методичного підходу до оцінки розвитку соціальної інфраструктури регіонів, що базується на аналізі існуючих методичних підходів шляхом використання часткових показників оцінки соціальної інфраструктури та дозволяє враховувати переваги та недоліки існуючих методичних підходів.

Ключові слова: соціальна інфраструктура; моніторинг; економічна безпека підприємств та установ соціальної інфраструктури; експертна система.

Вступ

Соціальна інфраструктура представляє сукупність, або комплекс, галузей, призначенням яких у суспільному поділі праці є задоволення потреб населення у соціально-побутових і соціально-духовних послугах.

Окрім вищезгаданого визначення понять "соціальна інфраструктура" існують інші терміни. Так, М.В. Микитенко розглядає термін "територіально-галузева система соціальної інфраструктури", під якою "слід розуміти комплекс взаємопов'язаних інфраструктурних об'єктів, що діють в межах території певного таксономічного рангу і перебувають під єдиним керівництвом (у тому числі оперативним), або тісно взаємопов'язаних допомогою економічних договорів і зобов'язань" [1, с. 19]. Такий термін подають також Ю. Н. Казаков та Б.С. Мовчан [2]. Л.А. Меркушева досліджує термін "територіальна система соціальної інфраструктури", який являє собою сукупність різного "...роду закладів обслуговування, єдиних за функціональним призначенням, покликаних забезпечувати необхідні умови для відтворення та всебічного розвитку певної територіальної спільності населення" [3, с. 47].

Соціальна інфраструктура суттєво впливає на всі без виключення суспільні процеси: освіту, культурну діяльність, збереження здоров'я населення, трудову міграцію, раціональне використання трудових ресурсів тощо. Взаємозв'язок соціальної практики та загальних умов життєдіяльності людини виявляється в тому, що реалізація цілей особистості передбачає

наявність матеріальної бази, а також, у свою чергу, наявність інфраструктури впливає на свідомість та поведінку людини.

Для визначення рівня соціальної інфраструктури розглядають тенденції розвитку окремих складових. Найчастіше використовують наступні показники:

- складова житлово-комунального господарства;
- освітня складова;
- медична складова;
- складова соціального забезпечення;
- культурна складова.

Кожна із складових інфраструктури включає певні показники, які легко вимірюються за допомогою статистичних даних, що є у вільному доступі.

Визначаючись із класифікацією соціальної інфраструктури, багато вчених дотримуються міркування про те, що вона надає послуги. А як відомо, згідно з класифікації ЮНКТАД і Світового банку послуги включають понад 660 різновидів. Звідси випливає, що обслуговування – це надання послуг. Таким чином, "сфера послуг" та "соціальна інфраструктура" ототожнюються.

На думку автора, соціальну інфраструктуру можна розмежувати на шість складових: соціально-побутову, соціально-оздоровчу, освітньо-духовну, громадсько-політичну, комунікаційну та соціально-економічну. Такий поділ сприяє вивченню ефективності міжгалузевих зв'язків і в загальному вигляді розмежовує суб'єкти за їх функціональним призначенням.

В сучасних умовах поняття соціальної інфраструктури було би неповним без залучення

складової національної безпеки України. Відповідно до Стратегії національної безпеки України, затвердженої Указом Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015, вводиться поняття критичної інфраструктури. Світові тенденції до посилення загроз природного та техногенного характеру, підвищення рівня терористичних загроз, збільшення кількості та підвищення складності кібератак, а також пошкодження інфраструктурних об'єктів у східних та південних регіонах України внаслідок збройної агресії Російської Федерації зумовили актуалізацію питання захисту систем, об'єктів і ресурсів, які є критично важливими для функціонування суспільства, соціально-економічного розвитку держави та забезпечення національної безпеки.

Процеси, які відбуваються в економіці України в останній час, визначають нові тенденції в розвитку соціальної інфраструктури. Зростаюча її роль в прискоренні соціально-економічного розвитку України, у формуванні трудового потенціалу, у підвищенні рівня життя населення обумовлює актуальність наукових досліджень щодо проблем теорії, методології, практики розвитку соціальної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми соціально-економічного розвитку суспільства, моніторинг і контроль за досягненням цілей безпеки на макрорівні та управління цим процесом потребують чіткого визначення ключових принципів. Стан економічної безпеки є головним критерієм оцінки ефективності державної політики і діяльності владних структур під час реформування й розвитку економічної системи держави, і зокрема, регулювання розвитком її соціальної інфраструктури. Дослідженнями, пов'язаними з проблемами економічної безпеки та її фінансової складової, займаються українські науковці О. Власюк, З. Варналій, В. Геєць, М. Єрмошенко, Я. Жаліло, В. Мунтіян, А. Мокій, А. Сухоруков, М. Флейчук та інші.

За останні роки в наукових роботах поширюється тенденція до введення територіального (регіонального) аспекту в управління розвитком соціальної інфраструктури. Проблемам розміщення та розвитку об'єктів соціальної інфраструктури присвячені роботи Данилишина Б. М., Дорогунцова С. І., Олійника Я. Б., Садової У. Я., Чернюк Л. Г. та інших дослідників [4; 5].

Проте недостатнього висвітлення отримали питання методологічних основ формування системи фінансової безпеки як однієї з ключових компонент економічної безпеки держави. Саме оцінка рівня фінансової безпеки, характеристика її індикаторів та методи оцінювання і стали метою нашого дослідження. Механізм забезпечення фінансової безпеки держави окреслимо як сукупність організаційної структури, методів та інструментів, що складається з таких компонентів, як організаційна

структура, система принципів, методи забезпечення, правові засади, основні функції підтримки рівня безпеки; сукупність індикаторів, підсистема моніторингу, підсистема інформаційного та аналітично-прогнозного забезпечення [6, с. 34-37].

Теоретичним аспектам поняття "моніторинг" у загальному розумінні приділяли увагу в своїх працях наступні автори: Коротков Е.М., Литвак Б.Г., Кононенко П.І., Хан Д., Данилочкіна Н.Г., Кизим М.О., Забродський В.А., Олексюк О.С., Плікус І.Й. та інші. Особливо слід зазначити, що у загальних дослідженнях поза увагою залишається методичне забезпечення процесу моніторингу, зокрема, моніторингу рівня економічної безпеки, що робить актуальним подальші дослідження цього питання.

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 моніторингу економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури.

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 діяльність та розповсюдження інформації для підприємств та установ соціальної інфраструктури. У ході дослідження використано такі методи як: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення та систематизації, кваліметричний метод, метод розширення факторної системи, методи графічного зображення.

Результати досліджень та їх обговорення

Варто зазначити, що "соціальна інфраструктура – це складна, мозаїчна, ієрархічна система, що включає галузі різного ступеню розвитку та функціонального призначення, загальною метою яких є задоволення потреб населення в різних видах послуг. [7, с.5]. До соціальної інфраструктури належать: пасажирський транспорт, освіта, культура, охорона здоров'я, соціальне забезпечення, житлово-комунальне господарство, ресторанне господарство, торгівля та інші сфери.

Аналіз існуючих методичних підходів оцінки розвитку соціальної інфраструктури дало можливість визначити їх позитивні та негативні сторони та встановити, що: по-перше, частіше всього дослідники використовують, для оцінки поточного стану соціальної інфраструктури та змін її динаміки по роках метод агрегатного індексування. По-друге, для оцінки саме розвитку доречно використовувати такі

статистичні методи: як коефіцієнт варіації, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, а також методи групування, стандартизації показників, визначення сумарних та інтегральних показників тощо. По-третє, незважаючи на те, що для оцінки розвитку соціальної інфраструктури та її підсистем використовують різноманітний методичний інструментарій дослідження, можна зазначити відсутність у методиках орієнтації на встановлення певних залежностей розвитку системи, що у сучасних умовах економічної дестабілізації набуває особливої актуальності. По-четверте, більшість методичних підходів оцінки розвитку соціальної інфраструктури регіонів базуються на використанні інструментарію визначення інтегральної оцінки за різними показниками, які об'єднані у певні підгрупи, що характеризують багатоаспектні процеси соціальної інфраструктури. По-п'яте, після оцінки стану розвитку соціальної інфраструктури в регіонах, для розроблення подальших варіантів розвитку, з урахуванням регіональної специфіки й впливу зовнішніх факторів, прийняття управлінських рішень, заходів пожевлення розвитку соціальної інфраструктури, особливе місце займає використання методів економіко-математичного моделювання.

Встановлено, що загальними рисами досліджуваних методів оцінки розвитку соціальної інфраструктури є те, що: вони базуються на виділенні часткових груп показників, які характеризують систему у цілому, розраховується інтегральний показник розвитку соціальної інфраструктури, здійснюється ранжування регіонів за рейтингом у залежності від отриманих результатів, що допомагає при розробленні стратегії розвитку на основі сформульованих прогнозів та визначенні заходів, які забезпечують їх реалізацію.

Аналіз найбільш часто вживаних показників, що використовуються для оцінки соціальної інфраструктури дає можливість стверджувати, що частіш за все ці показники є показниками які наводяться Державним управлінням статистики та не існує єдиного загально визначеного набору часткових показників для оцінки соціальної інфраструктури.

Проведене дослідження робіт науковців щодо визначення розвитку соціальної інфраструктури дає можливість визначити найбільш часто вживані показники.

Охорона здоров'я: кількість лікарняних ліжок на 10 тис.; кількість амбулаторно-поліклінічних закладів (АПЗ); кількість відвідувань за зміну АПЗ на 10 тис. населення; кількість фельдшерських і акушерсько-фельдшерських пунктів; кількість пологових будинків; кількість лікарських ліжок для вагітних і роділь на 10 тис. жінок; кількість лікарів усіх спеціальностей (на 10 і тис. населення); кількість середнього медичного персоналу (на 10 тис. населення); середньорічна кількість найманих працівників охорони здоров'я та соціальної допомоги (на 10 тис. населення); забезпеченість населення медичними кадрами на 10 тис. населення; обсяг надання послуг у сфері охорони здоров'я (на 1 особу);

відношення кількості місць у санаторно-курортних і оздоровчих закладах до чисельності населення; чисельність оздоровлених у санаторно-курортних і оздоровчих закладах; чисельність оздоровлених дітей у відсотках до загальної чисельності дітей 7–16 років.

Фізична культура та спорт: кількість дитячо-юнацьких спортивних шкіл; питома вага дітей у ДЮСШ у загальній чисельності населення; кількість спеціалізованих дитячо-юнацьких шкіл олімпійського резерву.

Наука й освіта: охопленість дітей дошкільними закладами (у відсотках до кількості дітей відповідного віку); кількість учнів на одного вчителя; кількість загальноосвітніх навчальних закладів; кількість вищих навчальних закладів I-IV рівнів акредитації; кількість студентів вищих навчальних закладів I-IV рівнів акредитації; кількість учнів і слухачів ПТНЗ на 10 тис. населення; наявність парку обчислювальної техніки.

Екологічний стан: потужність очисних споруд; скидання забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти; викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення; викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення у розрахунку на одну особу.

Культура та мистецтво: кількість місць у залах для демонстрування фільмів на 100 жителів; кількість місць у закладах культури клубного типу на 100 жителів; книжковий фонд бібліотек примірників на 100 жителів.

Роздрібна торгівля, громадське харчування, послуги населенню: обсяг реалізованих послуг на душу населення; роздрібний товарообіг підприємств на душу населення (у т.ч. ресторанного господарства); забезпеченість населення торговими площами магазинів.

Житлово-комунальне господарство: забезпеченість населення житлом; кількість готелів та інших місць для тимчасового проживання; коефіцієнт використання місткості готелів та ін. місць для тимчасового проживання.

Транспорт: вантажооборот за усіма видами транспорту; пасажирооборот за усіма видами транспорту; щільність автомобільних доріг загального користування з твердим покриттям; щільність залізничних колій загального користування.

Соціальний рівень: ВРП на душу населення; природний приріст населення; рівень безробіття; зайнятість населення у віці 15–70 років; рівень інфляції (індекс споживчих цін); середньомісячна заробітна плата; доходи населення; тривалість життя чоловіків та жінок; загальні коефіцієнти народжуваності та смертності; чисельність наявного населення на початок року; частка населення з доходами нижче за розмір прожиткового мінімуму; кількість померлих у віці до 1 року, осіб /1000 народжених; співвідношення між доходами 10% найбільш високодохідних і 10% низькодохідних груп населення.

Отже, наведені найбільш часто вживані показники, що використовуються для оцінки соціальної інфраструктури дають можливість стверджувати, що частіш за все ці показники є показниками які наводяться Державним управлінням статистики та не існує єдиного загально визначеного набору часткових показників для оцінки соціальної інфраструктури.

Проведено оцінку соціальної інфраструктури Харківської області за 2019 р. Для оцінки було використано метод об'єднання кластерів – метод Варда (Ward-Method). Він використовує методи дисперсійного аналізу для оцінки відстаней між кластерами. Метод мінімізує суму квадратів (SS) для будь-яких двох (гіпотетичних) кластерів, які можуть бути сформовані на кожному кроці. Для визначення міри подібності та відстані було застосовано відстань Пірсона, що є найменшою відстань між двома точками x та y (евклідова відстань) в нормалізованому просторі [8].

Для проведення кластерного аналізу було обрано 73 показника за областями України, які відображали діяльність закладів соціальної інфраструктури за такими секторами: пасажирський транспорт, освіта, охорона здоров'я, культура, роздрібна торгівля,

житлово-комунальне господарство, соціальне забезпечення, ресторанне господарство, рекреаційне господарство. За результатами кластерного аналізу було створено дендрограму, на основі якої побудовано картосхему.

Загальний рейтинг області наведений у табл. 1.

Таким чином, за даними наших досліджень Харківська область має середній рівень розвитку інфраструктури й посідає 6-ме місце серед інших регіонів України з індексом 1,11906.

Харківська область належить до регіонів з найвищим рівнем розвитку транспортної інфраструктури, яка включає залізничне, автомобільне та авіаційне сполучення, а також розгалужену систему громадського транспорту. Крім того, Харківська область посідає перше місце в Україні за протяжність автомобільних доріг загального користування (понад 9,6 тис. км), з них майже 98% – з твердим покриттям. Проте в загальноукраїнському рейтингу за рівнем розвитку транспортної підсистеми Харківська область посідає 7-ме місце (індекс 0,9902). Це пов'язано, насамперед, із зменшенням вантажообороту та пасажирообороту, яке спостерігалось з 2015 р. – початком російської агресії на сході України.

Таблиця 1. Розраховані індекси розвитку інфраструктури

Складові інфраструктури (підсистема)	Індекс	Значення індексу	Рейтинг
Транспортна підсистема	ІТ.с.	0,9902	7
Підсистема зв'язку	ІРс.з.	1,2044	3
Екологічна (природоохоронна) підсистема	ІРп.с.	1,4843	4
Рекреаційна підсистема (туризм)	ІРр.с.	0,8025	22
Підсистема житлово-комунального господарства	ІРс.жкг	1,8516	10
Освітня підсистема	ІРо.с.	0,9843	9
Медична підсистема	ІРм.с.	1,0133	3
Підсистема соціального забезпечення	ІРс.с.з.	1,0047	12
Культурна підсистема	ІРк.с.	1,0442	5
Інтегральний індекс динаміки розвитку інфраструктури	ІРінф.	1,1191	6

Ключовими проблемами є високий ступінь зношеності основних засобів, застарілі технології та бізнес-моделі, надвисокі ресурсозатратність та енергоємність виробництва, нерозвинута промислова інфраструктура, зокрема використання інформаційно-комунікаційних платформ і технологій у ланцюжках створення доданої вартості продукції. Частка переробної промисловості у структурі ВДВ у 2019 році становила 14%, у той час як для групи країн ЄС-27 цей показник знаходиться на рівні 15,2%. Частка виробництв із використанням високих та середньовисоких технологій у структурі ВДВ промисловості становить лише 19,1% проти 38,6% у країнах ЄС. Це є свідченням надто низького рівня використання новітніх технологій та їх упровадження у виробничі процеси. В умовах обмеженості фінансових ресурсів сформувався низький рівень наукоємності ВВП України. Частка обсягу виконаних наукових і науково-технічних робіт у ВВП поступово зменшувалася і досягла 0,61% у 2019 році (світовий рівень – 2,17%, європейський – 2,01%). Стримуючим

чинником для трансферу технологій і залучення інвестицій у високотехнологічні галузі є недосконалість сфери захисту об'єктів інтелектуальної власності та їх введення у господарський обіг.

Отже в умовах поширення п'ятого (з 2010 року – кінець фази швидкого зростання) та переходу розвинених країн до шостого технологічного циклу (2010 рік – початок розвитку технологій, з 2018 року – період широкого розповсюдження) збереження такої структури промисловості й експорту, рівня фінансування наукових і науково-технічних робіт обумовлюватиме безнадійне відставання розвитку України. Надійна та доступна інфраструктура, що охоплює як дорожньо-транспортні, енергетичні та інформаційно-комунікаційні мережі, так і інноваційну інфраструктуру, є запорукою ефективної діяльності бізнесу та якісних умов життєдіяльності населення. Рівень транспортного обслуговування економіки і населення України суттєво поступається показникам розвинених країн світу. Відповідно до Індeksu

глобальної конкурентоспроможності, за якістю інфраструктури Україна за рік опустилася на 6 позицій – з 69-го до 75-го місця серед 138 країн світу, а за якістю автомобільних доріг посіла одне з останніх місць – 134-те. Характерними ознаками стану транспортної інфраструктури є високий ступінь фізичного і морального зносу основних засобів, а також невідповідність темпів автомобілізації країни стану автомобільних доріг.

Українським нездовільним є досвід впровадження державно-приватного партнерства, низькі темпи залучення інвестицій, технічних інновацій та технологічної модернізації галузі. Непрозорою залишається система формування тарифів на природні монополії та інфраструктурні послуги, які впливають на ціноутворення в інших галузях економіки.

Результати узагальнення існуючих підходів до визначення терміну "моніторинг" показали, що суттєвих розбіжностей до розуміння цього терміну у вчених немає. Так, Коротков Е.М. визначає термін "моніторинг" як "систематичне відстеження процесів або тенденцій, постійне спостереження з метою своєчасної оцінки виникаючих ситуацій" [9]. Литвак Б.Г. під "моніторингом" розуміє "спеціальне організоване систематичне спостереження за станом яких-небудь об'єктів" [10]. Вільна енциклопедія Вікіпедія надає наступне визначення: "Моніторинг – комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичний контроль (стеження) за станом та тенденціями розвитку природних, техногенних та суспільних процесів" [11]. Таким чином, можна зробити висновок, що в загальному розумінні моніторинг – це постійне спостереження за процесом або явищем.

Метою моніторингу економічної безпеки соціальної інфраструктури є одержання інформації про рівень ефективності і результативності діяльності соціальної інфраструктури на основі якісного і кількісного аналізу і оцінювання відповідних показників та оцінки виникнення або існування можливих загроз та ризиків. Предметною областю моніторингу рівня економічної безпеки є визначення інтегрального показника економічної безпеки соціальної інфраструктури за виділеними функціональними складовими. Однією із умов, якою повинен відповідати алгоритм проведення моніторингу є можливість кількісної оцінки всіх досліджуваних показників для визначення рівня економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури.

Моніторинг рівня економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури передбачає виконання послідовних етапів регуляторного впливу. На першому етапі відбувається формування системи економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. Система регулювання економічної безпеки на підприємстві (установі) має наступні елементи: мета, завдання, об'єкт, суб'єкт, методи та інструменти. Метою регулювання економічної безпеки на

підприємстві є визначення можливого стану системи економічної безпеки, який може бути досягнутий за умови попередження виникнення загроз економічній безпеці та забезпечення розвитку людини і суспільства як пріоритетних. Спираючись на загальну методологію статистичного моніторингу та враховуючи особливості процесу підтримки належного рівня економічної безпеки підприємства (установи) при формуванні методичного підходу щодо здійснення внутрішнього моніторингу на підприємстві визначено наступні актуальні завдання:

- формування мети і основних завдань моніторингу рівня економічної безпеки, виходячи із місії, економічних завдань і інтересів, що стоять перед підприємством (установою);

- формування системи одиничних показників-індикаторів, які можуть кількісно характеризувати стан окремих функціональних складових економічної безпеки підприємства (установи);

- встановлення джерел інформації для проведення необхідних розрахунків рівня окремих функціональних складових економічної безпеки підприємства та інтегрального показника;

- збирання та передання для подальшої обробки необхідної інформації;

- оцінка достовірності та повноти і глибини надання інформації;

- зведення обробленої інформації у комп'ютерні бази даних;

- аналітична обробка інформації та отримання результатів щодо поточного рівня стану економічної безпеки підприємства (установи);

- виявлення причин і наслідків низької ефективності функціонування системи регулювання економічної безпеки підприємства;

- розробка пропозицій з удосконалення регіонального регулювання для забезпечення безпеки;

- прогнозування рівня економічної безпеки підприємства (установи).

Функції регулювання економічної безпеки на регіональному рівні забезпечуються принципами, методами, способами та інструментами управління економічною безпекою. Принципи управління визначають основні правила управлінської діяльності, які повинні виконуватися суб'єктами управління. Під методами регулювання економічної безпеки розуміються способи впливу суб'єктів управління на об'єкти управління, основними серед які є: правові, адміністративні, економічні. При управлінні економічною безпекою підприємств та установ соціальної інфраструктури використовуються наступні інструменти: законодавче та нормативно-правове забезпечення у сфері національної безпеки, державного та регіонального економічного управління; державне замовлення; соціальні норми і нормативи; критичні порогові значення економічних показників; державні дотації, субсидії, податкові пільги. Під способами регулювання розуміється дія або система дій, яка використовується для виконання забезпечення

економічної безпеки на основі Закону України "Про основи національної безпеки України" [12].

На другому етапі моніторингу економічної безпеки на підприємстві проводиться оцінка стану економічної безпеки регіону за виділеними функціональними складовими. Для визначення рівня економічної безпеки за окремими функціональними складовими можна використовувати розроблену експертну систему "Програмне забезпечення "Універсальний експерт" (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41023) з базою даних Safe Line (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41025). Названа експертна система дозволяє не тільки розрахувати рівень економічної безпеки, але й надає експертні висновки, в яких відображені рекомендовані дії щодо підвищення рівня економічної безпеки. Експертні системи є першим етапом на шляху створення штучного інтелекту. Єдиної думки про визначення експертних систем в сучасній науковій літературі немає. Вільна енциклопедія Вікіпедія надає наступне визначення експертної системи: "експертна система - це методологія адаптації успішних рішень однієї сфери науково-практичної діяльності для іншої; інтелектуальна комп'ютерна програма, яка містить знання та аналітичні здібності одного або кількох експертів у певній галузі застосування і здатна робити логічні висновки на основі цих знань, тим самим забезпечуючи вирішення специфічних завдань без присутності експерта" [13]. Розроблена експертна система "Універсальний експерт" відноситься до комбінованого типу експертних систем. Її можна використовувати для діагностики рівня економічної безпеки об'єкта економіки, що досліджується, а також для цілей моніторингу та прогнозування. Для отримання прогнозного рівня економічної безпеки досліджуваного об'єкта бажано провести аналіз стану економічної безпеки за кілька суміжних періодів для визначення існуючих тенденцій.

Основні етапи дослідження стану економічної безпеки підприємства (установи) наступні.

Перший етап. Формування системи одиничних показників вимірювання функціональних складових. Основою формування системи одиничних показників є ідея збалансованої системи показників. У відповідності з цим підходом оцінка функціональної складової за допомогою системи збалансованих показників дозволяє в повному обсязі визначити стан складової економічної безпеки. Використання головної ідеї збалансованої системи показників полягає у формуванні положень стратегічно безпечного розвитку підприємства на основі визначеного в ході загальної оцінки рівня економічної безпеки і можливих загроз.

На другому етапі проводиться розрахунок одиничних показників економічної безпеки підприємства за формулами. Кожен одиничний показник має рекомендоване значення. Це дозволяє виділити індикатори, які не відповідають нормам, а також визначити негативні сторони розвитку.

На третьому етапі проводиться формування рівнянь бажаності за всіма одиничними показниками економічної безпеки. Оцінка рівня економічної безпеки підприємства передбачає приведення різних критеріїв її дослідження до єдиного універсального параметру, а саме до інтегрального показнику ЕБР. Під критерієм бажаності розуміється граничний кількісний вимір відносного значення конкретного одиничного показника, який визначається за допомогою функції Харрінгтона [14].

На четвертому етапі розраховуються групові показники економічної безпеки підприємства за допомогою визначення середньгеометричного значення.

На п'ятому етапі розраховується інтегральний показник рівня економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури за функціональними складовими. Розрахований інтегральний показник рівня економічної безпеки узагальнює безліч одиничних показників і чисельно відображає відносну оцінку рівня її складових. Порівнюючи отриману величину інтегрального показника рівня економічної безпеки підприємства з діапазоном значень економічної безпеки у відповідності з теорією Харрінгтона, можна зробити висновки про рівень економічної безпеки підприємства.

Висновки

За результатами дослідження встановлено, що процес моніторингу регулювання економічної безпеки підприємства доцільно визначити як одну з найважливіших функцій управління економічною безпекою підприємства, що спрямована на систематичний збір, обробку і надання користувачам (керівникам, зацікавленим особам) оперативної інформації про стан об'єкта управління та здійснюється за п'ятьма основними етапами:

- 1) формування системи економічної безпеки на підприємстві;
- 2) оцінки стану економічної безпеки підприємства за виділеними функціональними складовими;
- 3) оцінки можливостей регулювання забезпечення економічної безпеки підприємства;
- 4) розробки та впровадження інструментарію регулювання економічною безпекою підприємства, спостереження;
- 5) контролю за виконанням попередніх етапів.

Для оцінки стану економічної безпеки підприємства доцільно використовувати розроблену експертну систему "Програмне забезпечення Універсальний експерт" з базою даних Safe Line.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні пропозицій щодо удосконалення методичного підходу оцінки розвитку соціальної інфраструктури регіонів, що базується на аналізі існуючих методичних підходів шляхом використання часткових показників оцінки соціальної

інфраструктури та дозволяє враховувати переваги та недоліки існуючих методичних підходів, а саме:

- частіше за все дослідники використовують, для оцінки поточного стану соціальної інфраструктури та змін її динаміки за роками метод агрегатного індексування. Сутність використання цього методу пояснюється тим, що побудова узагальнюючого показника дає можливість виявити взаємообумовлюючий вплив показників соціального та економічного розвитку регіонів, ступінь міжрегіональної асиметрії розвитку, особливості динамічних змін тощо;

- для оцінки саме розвитку доречно використовувати такі статистичні методи – коефіцієнт варіації, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, а також методи групування, стандартизації показників, визначення сумарних та інтегральних показників тощо;

- незважаючи на те, що для оцінки розвитку соціальної інфраструктури та її підсистем використовують різноманітний методичний інструментарій дослідження, можна зазначити відсутність у методиках орієнтації на встановлення певних залежностей розвитку системи, що в сучасних умовах економічної дестабілізації набуває особливої актуальності;

- більшість методичних підходів оцінки розвитку соціальної інфраструктури регіонів базуються на використанні інструментарію визначення інтегральної оцінки за різними показниками, які об'єднані у певні підгрупи, що характеризують багатоаспектні процеси соціальної інфраструктури. Інтегральний показник розраховується або за допомогою коефіцієнтів вагомості, з урахуванням думки експертів, або за рахунок встановлення відхилення нормованих значень часткових показників від еталонного, за який частіше за все приймається максимальне значення часткового показника в певному регіоні;

- після оцінки стану розвитку соціальної інфраструктури в регіонах, для розроблення подальших варіантів розвитку, з врахуванням регіональної специфіки й впливу зовнішніх факторів, прийняття управлінських рішень, заходів пожевлення розвитку соціальної інфраструктури, особливе місце займає використання методів економіко-математичного моделювання, що дозволяє мінімізувати витрати праці й часу при обробленні параметрів розвитку соціальної інфраструктури шляхом групування регіонів, залежно від отриманого значення індексу розвитку соціальної інфраструктури.

Список літератури

1. Никтенко М. В., Сивограков, О. В., Гаврилов А. Б. и др. Управление социальным развитием региона. Минск: Наука и техника, 1990. 190 с.
2. Казаков Ю. Н., Мовчан Б. С. Развитие социальной инфраструктуры экономических районов / Отв. Ред. В. С. Кулибанов. М. : Наука, 1991. 141 с.
3. Меркушева Л. А. География сферы обслуживания населения. Красноярск : Издательство Красноярского университета, 1989. 184 с.
4. Семиноженко В. П., Данилишин Б. М. Новый регионализм. К. : Наукова думка, 2005. 145 с.
5. Сергеев И., Кирсанова Н., Кирсанова И. Развитие социальной сферы: приоритеты регулирования. *Экономист*. 2007. № 1. С. 46–55.
6. Користін О. Є., Барановський О. І., Герасименко Л. В. та ін. Економічна безпека: навч. посіб. / за ред. О.М. Джужі. К. : Алеута; КНТ; Центр учбової літератури, 2010. 368 с.
7. Лукьянова Н. Г. Пространственная дифференциация социальной инфраструктуры крупного города: на примере Смоленска: автореферат дис... на соискание ученой степени канд. геогр. наук: спец. 25.00.24 "Экономическая, социальная и политическая география". Смоленск, 2011. 22 с.
8. Кластерный анализ. [Електронний ресурс]. URL : <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html>
9. Коротков С. М. Концепция менеджмента. М. : Дека, 1997. 304 с.
10. Литвак Б. Г. Разработка управленческого решения. М. : Дело, 2000. 392 с.
11. Моніторинг. Вікіпедія [Електронний ресурс]. URL : [uk.wikipedia.org/wiki/ Моніторинг](http://uk.wikipedia.org/wiki/Моніторинг)
12. Про основы национальной безопасности Украины: Закон Украины № 964 - IV від 10.06.2003 [Електронний ресурс]. URL : <http://zakon.rada.gov.ua>
13. Експертні системи. Вікіпедія. [Електронний ресурс]. URL : uk.wikipedia.org/wiki/Експертні_системи
14. Впровадження збалансованої системи показників / Horvath & Partners; Пер. з нім. М. : Альпіна Бізнес Букс, 2005. 478 с.

References

1. Niktenko, M. V., Sivogorakov, O. V., Gavrilov, A. B. et al. (1990), *Management of social development of the region*, Minsk : Science and Technology, 190 p.
2. Kazakov, Yu. N., Movchan, B. S. (1991), *Development of social infrastructure of economic areas*, Moscow, 141 p.
3. Merkusheva, L. A. (1989), *Geography of public services*, Krasnoyarsk : Krasnoyarsk University Press, 184 p.
4. Seminozhenko, V. P., Danylyshyn, B. M. (2005), *New regionalism*, Kyiv, 145 p.
5. Sergeev, I., Kirsanova, N., Kirsanova, I. (2007), "Development of the social sphere: priorities of regulation", *Economist*, No. 1, P. 46–55.
6. Korystin, O. E., Baranovsky, O. I., Gerasimenko, L. V. et al. (2010), *Economic security : textbook*, Kyiv, CST; Center for Educational Literature, 368 p.
7. Lukyanova, N. G. (2011), "Spatial differentiation of the social infrastructure of a large city: on the example of Smolensk: dissertation abstract for the degree of Cand. geogr. Science: special. 25.00.24 "Economic, social and political geography", Smolensk, 22 p.
8. "Cluster analysis", available at : <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html>

9. Korotkov, E. M. (1997), *Management concept [Kontseptysia menedzhmenta]*, Deca, Moscow, Russia.
10. Litvak, B. G. (2000), *Development of the administrative decision [Razrabotka upravlencheskoho resheniya]*, Delo, Moscow, Russia.
11. Wikipedia (2015), "Monitoring", available at: uk.wikipedia.org/wiki/monitoring (last accessed 15 August 2020).
12. Verkhovna Rada of Ukraine (2003), Law of Ukraine "On National Security of Ukraine", available at: <http://zakon.rada.gov.ua> (last accessed 15 August 2020).
13. Wikipedia (2015), "Expert systems", available at: uk.wikipedia.org/wiki/Ekspertnye_sistemy (last accessed 13 August 2020).
14. Horvath & Partners (2005), *Implementation of Balanced Scorecard [Vprovadzhennia zbalansovanoi systemy pokaznykiv]*, Alpina Business Books, Moscow, Russia.

Надійшла (Received) 29.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Краївська Інна Анатоліївна – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, старший викладач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: kraivska@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5701-8557>.

Краивская Инна Анатольевна – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, старший преподаватель кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Kraivska Inna – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Senior Lecturer of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Audit, Kharkiv, Ukraine.

МОНИТОРИНГ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ И УЧРЕЖДЕНИЙ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Статья посвящена исследованию вопросов формирования основных направлений мониторинга уровня экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры. **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по формированию информационно-аналитического обеспечения мониторинга экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры. **Целью** статьи является разработка теоретико-методических положений и обоснование практических рекомендаций по формированию информационно-аналитического обеспечения мониторинга экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры. **Задачи** работы: проанализировать существующие методические подходы оценки развития социальной инфраструктуры регионов; предложить направления совершенствования системы мониторинга экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры; проанализировать существующие методические подходы для применения в процессе мониторинга социальной инфраструктуры регионов. В ходе исследования использованы методы: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения и систематизации. В работе обобщены, что целью мониторинга экономической безопасности социальной инфраструктуры является получение информации об уровне эффективности и результативности деятельности социальной инфраструктуры на основе качественного и количественного анализа и оценки соответствующих показателей и оценки возникновения или существования возможных угроз и рисков. Предметной областью мониторинга уровня экономической безопасности является определение интегрального показателя экономической безопасности социальной инфраструктуры по выделенным функциональными составляющими. Одним из условий, которым должен соответствовать алгоритм проведения мониторинга является возможность количественной оценки всех исследуемых показателей для определения уровня экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры. **Выводы.** Усовершенствован процесс мониторинга экономической безопасности предприятий и учреждений социальной инфраструктуры по установленным этапам. Обоснованно предложено по совершенствованию методического подхода к оценке развития социальной инфраструктуры регионов, основанный на анализе существующих методических подходов путем использования частных показателей оценки социальной инфраструктуры и позволяет учитывать преимущества и недостатки существующих методических подходов.

Ключевые слова: социальная инфраструктура; мониторинг; экономическая безопасность предприятий и учреждений социальной инфраструктуры; экспертная система.

MONITORING OF ECONOMIC SECURITY OF ENTERPRISES AND INSTITUTIONS OF SOCIAL INFRASTRUCTURE

The article is devoted to the study of the formation of the main directions of monitoring the level of economic security of enterprises and institutions of social infrastructure. The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects of the formation of information and analytical support for monitoring the economic security of enterprises and institutions of social infrastructure. The purpose of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for the formation of information and analytical support for monitoring the economic security of enterprises and institutions of social infrastructure. **Objectives:** to analyze the existing methodological approaches to assess the development of social infrastructure of the regions; improving the system of monitoring the economic security of enterprises and institutions of social infrastructure; to analyze the existing methodological methods for application in the process of monitoring the social infrastructure of the regions. During the research were used **methods:** abstract-logical analysis, theoretical generalization and systematization. The paper summarizes that the purpose of monitoring the economic security of social infrastructure is to obtain information on the level of efficiency and effectiveness of social infrastructure based on qualitative and quantitative analysis and evaluation of relevant indicators and assessment of the emergence or existence of possible threats and risks. The subject area of monitoring the level of economic security is to determine the integrated indicator of economic security of social infrastructure by the selected functional components.

One of the conditions that must be met by the monitoring algorithm is the ability to quantify all the studied indicators to determine the level of economic security of enterprises and institutions of social infrastructure. **Conclusions.** The process of monitoring the economic security of enterprises and institutions of social infrastructure at the established stages has been improved. Substantiated proposals for improving the methodological approach to assessing the development of social infrastructure of the regions, based on the analysis of existing methodological approaches through the use of private indicators of social infrastructure assessment and allows to take into account the advantages and disadvantages of existing methodological approaches.

Keywords: social infrastructure; monitoring; economic security of enterprises and institutions of social infrastructure; expert system.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Краївська І. А. Моніторинг економічної безпеки підприємств та установ соціальної інфраструктури. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.086>.

Kraivska, I. (2020), "Monitoring of economic security of enterprises and institutions of social infrastructure", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.086>.

UDC 343

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.095>

D. MOMOT

OPTIMIZATION OF RISKS OF THE INVESTMENT PORTFOLIO OF ART OBJECTS ACCORDING TO THE LEVEL OF FINANCIAL SECURITY OF ART INVESTING IN THE LOCAL ART MARKET

The article is devoted to the study of theoretical and methodological principles and development of practical recommendations for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local market. The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local market. The **purpose** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local market. **Objectives:** to investigate and systematize the conceptual and categorical apparatus of financial security of art-investment; to develop a methodical approach to assessing the level of investment attractiveness of an art object according to the level of financial security of art investing; to offer analytical and applied support for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market. During the research the following **methods** were used: abstract-logical analysis, theoretical generalization, system and statistical analysis, system and statistical analysis, economic-mathematical methods, graphical method. The essence and genesis of the concept of investment as an economic category in the context of the development of the history of economic thought are determined, on the basis of which the specific features of the investment process are generalized, the concept of art-investment is defined. Analytical and applied support for minimizing the risks of the investment portfolio of art objects at the level of financial security of art investment in the local art market and its testing on the example of the author's investment portfolio of art objects of contemporary Ukrainian artists. **Conclusions.** Analytical and applied support for minimizing the risks of the investment portfolio of art objects by the level of financial security of art investing in the local art market was developed. It allows to determine the investment potential of the art object by the components of financial security of art investment by the parameters of the internal environment based on the assessment of the multiplier to assess the investment attractiveness of art objects; to establish the priority of investing in art object as part of the investment portfolio; to position each art object on the matrix taking into account the emotional effect of ownership of the art object for the investor.

Keywords: investment portfolio of art objects; art investing; financial security of art investing; risks of art investing; investment attractiveness of art objects; multiplier of investment attractiveness of an art object; investment potential of an art object.

Introduction

Investment belongs to the economic categories that determine the process of consistent transformation of initially accumulated resources into a product of the investment sphere in order to increase profits in the long run and/or achieve another effect. Investing in art objects is an alternative type of investment, which is characterized by specific features and requires the development of modern theoretical and methodological support and practical tools for decision-making on the implementation of art investing, taking into account proposals formulated in various economic theories and conjuncture art market [1].

Therefore, the search for ways to protect the interests of art investors from external and internal threats and minimize the risks of investing in art objects is a relevant and timely area of research.

Analysis of recent research and publications

The work of many foreign researchers is devoted to the study of the problem of investment, namely: T. Veblen, J. Dunning, O. Domar, D. Keynes, R. Coase, J. Linter, G. Markovic, P. Masse, W. Mitchell, J. Mossin, M. Porter, P. Samuelson, I. Fischer, E. Hansen, R. Harrod, D. Hicks, W. Sharpe and many others.

Among domestic economists who have studied this problem, it is worth noting the work of researchers such as: V.D. Bazylevych, L.Ya. Korniychuk, T.V. Mayorova,

A.A. Peresada, A.V. Cherep and others.

However, despite the significant developments of scientists, a relevant and necessary step is the further development of theoretical and methodological provisions for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market. Thus, the theoretical and methodological and applied value of solving the outlined problems determined the relevance of the chosen topic, determined the purpose, objectives and direction of the study.

Goals and objectives of the study

The purpose of the article is to develop theoretical and methodological provisions for optimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market.

Materials and methods of research

The theoretical and methodological basis of the study was the scientific works of leading domestic scientists and foreign economists. In the course of the research such methods were used as: abstract-logical analysis, dialectical, theoretical generalization, system and statistical analysis, system and statistical analysis, economic-mathematical methods, graphic method.

Research results and their discussion

Review and generalization of literature sources allows us to say that historically in foreign literature, the category of investment is interpreted as goods and values that are invested in business activities to obtain future income.

As historical and economic sources show, the prototype of modern investment was "money", "savings", "accumulation", "capital".

Since the era of mercantilism, investment has been seen as an initial advance, a "cumulative value". Considering money as a commodity, Jean Colbert (1619 – 1683) considered the first objective prerequisite for industrial development by rich people to invest the accumulated money in production.

François Quesnay (1694 – 1774) formulates the concept of investment as initial advances or capital investments. F. Quesnay argued that capital is not money, but what is bought for money, ie the means of production used in agriculture [2]. Moreover, money, according to F. Quesnay – is a barren wealth, so he was opposed to the accumulation of money, turning them into treasure. Developing the theory of F. Quesnay, who considered capital in kind, Jacques Turgot (1727 – 1781) defines it as "accumulated value".

The founder of the classical school of political economy Adam Smith (1723 – 1790) in his work "Studies on the nature and causes of wealth of peoples" concluded that the intensification of investment processes associated with the accumulation of capital, which, in turn, is a consequence of savings, is based on net income. Real wealth is not proportional to gross but to net income. The greatest amount of wealth can be achieved by giving everyone full economic freedom [3]. The representative of the classical school of political economy David Ricardo (1772 – 1823) gives his own interpretation of the problem of investing capital. He notes that the only source of growth of the nation's wealth is the accumulation in conditions of free competition. He supported proposals to liberalize the economy and freedom of trade and denied the possibility of forced savings. The classical school of political economy significantly influenced the further development of investment theories and doctrines in the works of economists of the new wave of the first half of the XIX century: Thomas Malthus (1766 – 1834), James Lauderdale (1759 – 1839), James Mill (177 – 1836) and others. Scholars consider means to stabilize investment flows through government regulation, in particular through government monetary policy.

During the completion of the industrial revolution and the aggravation of socio-economic contradictions in the 40th of the XIX century economic ideas of Marxism begin to take shape. Thus, Karl Marx in his "Capital" distinguishes the monetary form of capital. The specific nature of this form of capital, according to K. Marx, is determined by the fact that money (because it can be converted into a self-increasing value) has an additional consumer value, which is their ability to "function as capital and in this guise to produce average profit on average". K. Marx argued that there is no problem of

stimulating investment, because under capitalism, all savings are invested in order to gain a competitive advantage in the pursuit of super profits [4].

In the second half of the XIX century and at the beginning of the XX century there is a transformation of the classical investment concept into new neoclassical theories. Within the tradition of the Austrian scientific school, human activity in the market is studied as a process of coordinating successive changes that occur over time, whose participants act according to their own knowledge, beliefs, expectations, produce new information, find new opportunities, realize their creative potential. Representatives of the Austrian scientific school of marginal utility interpret investment as the exchange of satisfaction of today's needs for their satisfaction in the future with the help of invested goods. Thus, Carl Menger (1840 – 1921) believes that value is only subjective and exists in human consciousness. Labor expended on the production of a good cannot act as a measure of the value of the good. Value depends only on people's subjective evaluation, and they, in turn, always value relatively rare goods the most. For example, a painting by da Vinci and a painting by a modern novice artist will have completely different values (even if the same amount of work is spent on the creation of these paintings). O. Bem-Bawerk (1851 – 1919) argued that savings by limiting consumption are necessary for economic growth. He sees public and private funds as a source of investment for entrepreneurship, new technologies and capital formation.

In the 20th of the twentieth century in the United States, the idea of stabilizing the economy through the regulation of the investment cycle through a prudent monetary policy is developing, the leader of the group of economists who support this direction was Irving Fisher (1867-1946). In his works, he describes for the first time a pattern called the "Fisher effect", according to which the projected increase in inflation leads to a proportional increase in interest rates and, conversely, lowering the projected inflation rate leads to lower interest rates. Subsequently, the "Fisher's rule" was called the shrinking of the investment potential of society and the slowdown in economic growth due to the expanding monetary policy of the state and inflation [5].

Thus, on the basis of classical and neoclassical theories, it was proved that investment processes are not subject to self-regulation, but require coordination by the state, which contributed to the introduction of the doctrine of state regulation of the economy.

According to the theory of John Maynard Keynes (1883-1946), investment is considered as a current increase in the value of capital assets as a result of production activities of this period, this is the part of income for this period that was not used for consumption [6]. According to the new theoretical conclusions obtained by J.M.Keynes: there is no automatic mechanism for balancing savings and investment; the excess of savings over investment leads to a decrease in business activity; the condition of macroeconomic equilibrium is their equality. Thus, J.M.Keynes singles out the dual essence of investment: on the one hand, investment is the amount of accumulated income for the purpose of accumulation, the

amount of investment resources. On the other hand – it is an investment (cost), which determines the increase in capital as realized investment supply and demand. J.M. Keynes first justified the need to stimulate the investment process by stimulating effective consumer demand through monetary and fiscal policy. A significant achievement of J.M. Keynes is the development of an investment multiplier mechanism (the ratio of income to investment), which allows him to formulate a rule that any new increase in investment automatically provides an increase in total income, in which the share of savings grows faster than the share, which is consumed, and, consequently, provides the basis for future investment. As part of the development of microeconomic investment analysis, J.M. Keynes proved that the investment behavior of the firm is determined by such factors as the level of accumulation, the level of investment income and interest rates in the credit market.

In the postwar period of development of market economies of developed countries, followers of J. Keynes (E. Hansen, R. Harrod, J. Hicks, O. Domar, P. Samuelson) created a neo-Keynesian theory of economic dynamics and growth, the main content of which is the problem of economic equilibrium by state regulation of investment activity using methods of state influence such as the state budget as a "built-in stabilizer"; stimulated investment that provides economic growth in a guaranteed, natural and actual pace; state regulation of interest rates.

The next stage in the development of theoretical thought in the field of investment was the development of ideas of institutionalism through the study of investment processes through the prism of social and political problems and improving research tools and terminology - institutions, transaction costs, limited rationality, opportunistic behavior, contracts, specific assets, and institutional changes. Representatives of the institutional direction, in particular A. Spithof, T. Veblen, J. Commons, W. Mitchell, R. Croes, focused on social institutions. Ronald Coase, a professor at the University of Chicago and winner of the Nobel Prize in Economics (1991), argued that transactions involve the costs of using a market mechanism that he called transactional, leading to redistribution of property rights and affecting the structure and efficiency of production. Proponents of this scientific school to the main institutions of a favorable investment environment, along with economic, included institutional (institutional structure of society; legal framework; development of ideology, etc.) and social (state and needs of social development).

The generalization of the achievements of the neoclassical, Keynesian, institutional directions of investment research is presented in the modern synthesis of investment theories of the famous Nobel laureates G. Markovic, M. Miller, F. Modigliani, W. Sharp, D. Tobin, R. Solow.

The founder of modern portfolio theory (evaluation of the efficiency of the investment portfolio) was the winner of the Nobel Prize (1990) for his work on the theory of financial economics G. Markowitz. He developed a new approach to the study of the effects of investment risk on the basis of his own theory of asset

allocation in the investment portfolio in conditions of uncertainty [7].

It is generally accepted that the main contribution to the theory of capital structure and prices of funding sources was made by F. Modigliani (1918–2003) and M. Miller (1923–2000), who argue that in the absence of taxes the value of the company's capital does not depend on its structure, the company's decision on new investments does not depend on the dividend policy it pursues, the total market value of the company does not depend on the amount of debt in the capital structure [8].

Laureate of the Nobel Prize (1990) for his work on the theory of financial economics, W. Sharp develops the theory of the ratio of risk and return on investment in securities. First, W. Sharp divided the overall risk of investing in securities into two parts: systematic risk, which is associated with the system of economic and financial relations (non-diversified risk) and non-systematic risk (diversified, or portfolio). Second, W. Sharp proposed the Capital Asset Pricing Model (CAPM), which allows a corporation to determine the cost of capital needed to do business. Third, W. Sharp established the procedure for forming the investment portfolio of securities in stages: the choice of investment policy, analysis of the securities market, the formation of the securities portfolio, focusing on the security aspect of investing [9].

In their research, W. Sharp, G.J. Alexander, J.W. Bailey in a broad sense consider investing as "parting with money today to get their increased amount in the future." Scientists identify two factors associated with the investment process – time and risk [10]. The investment process is directly related to the time factor. There is always a time lag between capital investment and investment income, which can be characterized by different intervals. When making an investment, the investor always takes the risk associated with a possible reduction or non-receipt of the expected return, as well as a possible loss (partial or full) of the amount of invested capital. The authors proved that the level of investment risk is directly dependent on the level of their expected return.

Modern investment theories are developing in the direction of studying the processes of capital export abroad in the form of foreign direct investment (FDI) and the motivation of investors, the development of the theory of transnational corporations. Significant contributions to the development of this area of research have been made by such scientists as S. Hymer, J. Dunning, T. Horst, R. Vernon, S. Menardi, M. Porter, M. Casson, and others.

The most common conceptual approach to explaining the process of foreign direct investment was the eclectic paradigm of international production of J. Dunning (1976), based on three objective components that influence the company's choice of different models of entry into specific markets: the benefits of ownership (O – ownership advantages), location advantages (L – location advantages) and internalization advantages (I – internalization advantages). J. Dunning's Concept of Investment Development Path (IDP) was put forward in 1979, according to which the import and export of capital

of a certain country are directly dependent on the level of its economic development in comparison with other countries [11].

M. Porter's large-scale study on the impact of competitive advantage contributes to a better understanding of transnational activities of companies, taking into account four factors: factor 1: corporate strategy, structure and competition: management and leadership, company goals, new business and entrepreneurship, venture capital, etc.; factor 2: the state of factors, including human, physical, knowledge, capital, infrastructure; factor 3: components of demand, such as the volume of demand in the country, its growth rate, consumer segmentation, consumer characteristics; factor 4: the existence of related and supporting industries [12].

The eclectic paradigm of J. Dunning was further developed in the works of J. Marcusen, W. Isier, and E. Helpman, who proposed a number of approaches united by the concept of "knowledge – capital". They explained the key advantages of OLI – the paradigm from the standpoint of assessing knowledge as capital, covering human capital, patents, trademarks, reputation and other types of knowledge.

Leading representative of the Chicago School of Economics, winner of the Alfred Nobel Prize in Economics for achievements in research in the field of consumption analysis, the history of money circulation and the development of monetary theory, as well as for practical demonstration of the complexity of economic stabilization policy (1976) Milton Friedman (1912–2006), like other neoliberals, recognizes that a market economy has great internal potential for self-balancing and self-regulation. He proposes to limit intervention in the economy to the macroeconomic sphere, in particular control over money circulation [13].

Modern foreign scholars Z. Bodie, A. Kane and A. J. Marcus consider investment as the cost of money and other resources in the present period to obtain benefits in the future [14]. A similar view is shared by the French economist P. Masse, who sees investing as an act of future satisfaction from current investment benefits [15].

Thus, Western scientific thought about the investment process was formed in the evolutionary development of theories of finance. Investments are considered as a set of all types of resources (goods, property and intellectual values) invested in objects of entrepreneurial and other activities, as a result of which profit (income) is created or other effect (social, ecological and other types of effect) is achieved in the future.

In Ukraine, the development of scientific approaches to investing begins in the early 90th. Based on world experience, Ukrainian scientists are developing a theoretical and methodological basis for investment decisions.

Summing up the historical discourse on the formation of the theory of investment activity, we note that the results of the study can identify such specific features of the investment process.

First, in general, investing is a process of unity of investment processes with the prospect of profit or other effect.

Second, investing is a long process during which the following transformations take place: investment resources (goods, values) → investments (costs) → increase in capital value → profit (effect). In the first stage, investment actually takes place - the process of transforming investments into objects of investment activity. In the second stage, there is a modification of investment in capital growth. At the final stage, the ultimate goal of investing is realized - to make a profit or other effect.

Third, it is important to realize the fact that investment activity, as a way to combine investment needs with investment opportunities, covers not only the investment cycle, but also the further management of property created in the investment process. Therefore, it is expedient to distinguish two stages of the investment cycle: the creation of capital value and its functioning (operation).

Fourth, investment activity is carried out in the investment sphere, which is a system of economic relations concerning the movement (realization) of investments. It is in the investment sphere that the proportions between accumulation and investment, investment and capital value growth, investment of investment resources and return on investment are formed.

Fifth, the development of the investment sphere is closely related to the development of the investment market, which synthesizes the supply of investment (capital) by potential investors and the demand for investment by potential participants in investment activities. Thus purchase and sale of the capital in the market of investments take place proceeding from prospects of reception of the future profits which exceed their current level.

Sixth, investing is based on the coincidence of interests of participants in the investment process, which is associated with one of the main features of investing - the target.

Seventh, investment is the bearer of property rights and dispositions. Capital invested as an accumulated investment resource can act as a carrier of all forms of ownership – individual private, collective private, municipal, national, and so on.

Eighth, investments are characterized by liquidity, ie in the event of adverse conditions of the internal or external environment, investments can be realized, which will ensure the release of invested capital. In this case, the main parameter of liquidity assessment is the period of time during which the invested capital can be converted into cash without losing its real market value.

This understanding of the economic essence of investment makes it possible to determine the economic essence of the category of art investment. Art-investing is a form of placing capital in art-objects of investment quality in case a potential investor has accumulated (free) capital and is an alternative type of investment activity carried out in order to obtain a monetary return with minimal risk of losing investment and/or achieving other

effect in the future; hedging potential capital loss risks; investing in cultural development (aestheticization) or achieving an emotional effect. The main purpose of art investing is to invest capital in the most investment-attractive art objects in order to obtain maximum profit or achieve another beneficial effect for the investor. At the same time, it is important to ensure the financial security of art investing, which requires the development of modern tools to minimize investment risks.

Optimizing the portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing is an important component of the process of managing the financial security of art investing, which should be carried out using scientifically sound tools at the stage of decision-making on art investing. As a result indicator for assessing the priority of investing in an art object in the investment portfolio, it is proposed to determine the multiplier of investment attractiveness of the art object by the formula (1):

$$IAi = \frac{Si}{ARTf_{si}^{int}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

where IAi is a multiplier of the investment attractiveness of the art object; S_i – price of the i -th art object; $ARTf_{si}^{int}$ –

financial security indicator of the i -th art object, calculated by the components of the internal environment.

The multiplier of the investment attractiveness of the art object allows you to assess the effect of minimizing the risks of investing in the art object by the components of the internal environment. The proposed indicator allows you to calculate how many monetary units of the value of the art object per one rating point of the indicator of financial security of investing in the art object, calculated by the components of the internal environment. The lower this figure, the lower the level of risk of investing in an art object relative to the level of financial security of art investing. Of course, the stimulating effect of the multiplier of the investment attractiveness of an art object depends on many factors. Thus, if the financial security of the art object increases by the components of the internal environment, the multiplier of the investment attractiveness of the art object decreases, which makes it appropriate to implement measures to minimize the risks of art investing, taking into account the effects of multiplier links.

Considering the proposed multiplier of the investment attractiveness of the art object as a result, it was decomposed according to the key indicators of financial security management of art investment for the local art market (fig. 1).

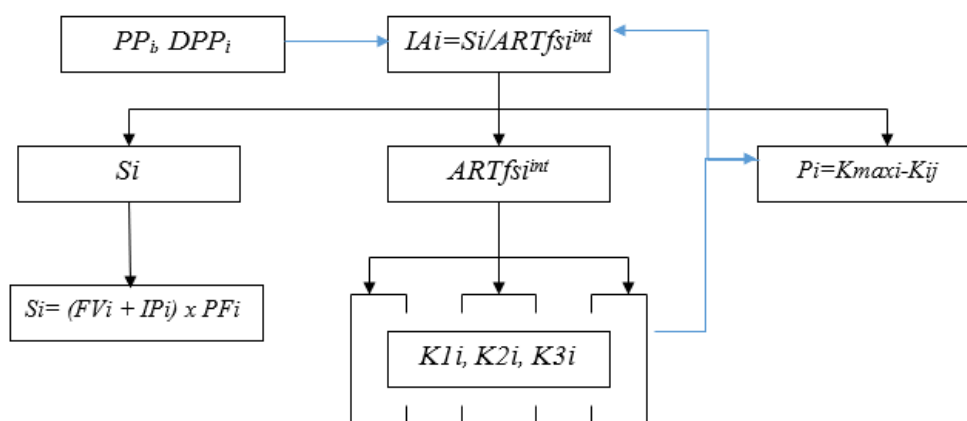


Fig. 1. Model of parameters for assessing the investment attractiveness of the portfolio of art objects by the level of financial security of art investment for the local art market (made by the author)

where PP_i, DPP_i is a payback period of investment in an art object; IAi is a criterion of investment attractiveness of an art object; S_i – estimated price of the i -th art object or resale value (prospective value); FVi (*Fair Value*) $_i$ – fair price of the i -th art object; IPi (*Irrational Premium*) – premium for irrationality (or the price of perception); PFi (*Provenance Multiplier*) – provenance multiplier; $ARTf_{si}^{int}$ – financial security indicator of the i -th art object, calculated by the components of the internal environment ($K1, K2, K3$); $K1$ – component of investment attractiveness of the i -th art object; $K2$ – component of the author's activity for the i -th art object; $K3$ – component of the valuation of the i -th art object.

The investment attractiveness potential of the art object is proposed to be defined as the possibility of increasing the financial security parameters of the art object, calculated by the components of the internal

environment, by comparing the estimates of the art object with the maximum possible level of the parameter.

It is proposed to calculate the potential to increase the level of financial security of the art object in terms of each component of financial security of the internal environment by the formula (2):

$$P_{ij}^n = (\max K_i - K_{ij}), j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

where P_{ijk}^n – is a potential of investment attractiveness by the i -th parameter for the j -th art object; $\max K_i$ – the maximum value of the i -th parameter; K_{ij} – evaluation of the i -th parameter for the j -th art object; n – the number of parameters of a comprehensive indicator of financial

security of art investment; m – the number of art objects in the investor's portfolio.

The proposed model of parameters allows to assess the investment risks of the portfolio of art objects and to ensure their minimization by using the identified potential to increase the financial security of the art object in the local art market.

Based on the results of calculations, the target parameters for each art object of the investment portfolio relative to the selected parameter of financial security of art investment are set, which are perspective-oriented and

allow to determine the trajectory of investment portfolio optimization according to selected parameters of financial security of art investment.

Approbation of the developed analytical and applied support to minimize the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market using the proposed model is carried out on the example of the investment portfolio of art objects of contemporary Ukrainian artists (table 1).

Table 1. Investment portfolio of art objects of contemporary Ukrainian artists

Author		Name of the art object	Description of the art object	Price of the art object, USD
Winnie Reunov	AO1	Oxford University Press	2009, canvas, oil, 150 x 110 cm	9000
Alexander Voronin	AO2	Innocence	2013, etching, paper, 60 x 96 cm	600
Igor Kanivets and Margarita Sherstyuk	AO3	Personal space	2014, oil on canvas, 120 x 180 cm	4000
Andriy Bludov	AO4	Delhi Museum	2016, canvas, oil, silk-screen paint, 100 x 80 cm	4000
Elmira Shemsidinova	AO5	Prickly pear	2017, canvas, oil paint, 120 x 120 cm	2000
Maxim Mazur	AO6	Figure 9	2019, mixed media, 75 x 100 cm	700
Julia Mokhovikova	AO7	Son of the sun	120x190 2020 oil on canvas	5000
Alexander Roitburd	AO8	Two	140 x120, oil on canvas	12000
Yuri Siviryln	AO9	no title	200x150 cm canvas acrylic 2020	5000

For each art object, matrices for assessing the level of financial security of art investment according to the selected parameters of the internal environment are compiled (table 3).

The final matrix for assessing the level of financial security of art investment by selected parameters of the

internal environment for all art objects of the investment portfolio of art objects selected for study by contemporary Ukrainian artists with the multiplier of investment attractiveness of the art object is presented in table 2.

Table 2. The final matrix for assessing the level of financial security of art investment according to the selected parameters of the internal environment of the investment portfolio of art objects of contemporary Ukrainian artists made by the author

AO	K1 max=16	K2 max=18	K3 max=14	ARTfs max=48	IA
AO1	7	6	6	19	473,68
AO2	7	8	4	19	31,58
AO3	9	8	6	23	173,91
AO4	9	10	7	26	153,85
AO5	9	10	4	23	86,96
AO6	7	5	3	15	46,67
AO7	8	10	5	23	217,39
AO8	11	14	8	33	363,64
AO9	10	14	6	30	166,67

Graphically, the profile of financial security of art investment according to the selected parameters of the internal environment of the investment portfolio of art

objects of contemporary Ukrainian artists is presented in fig. 2.

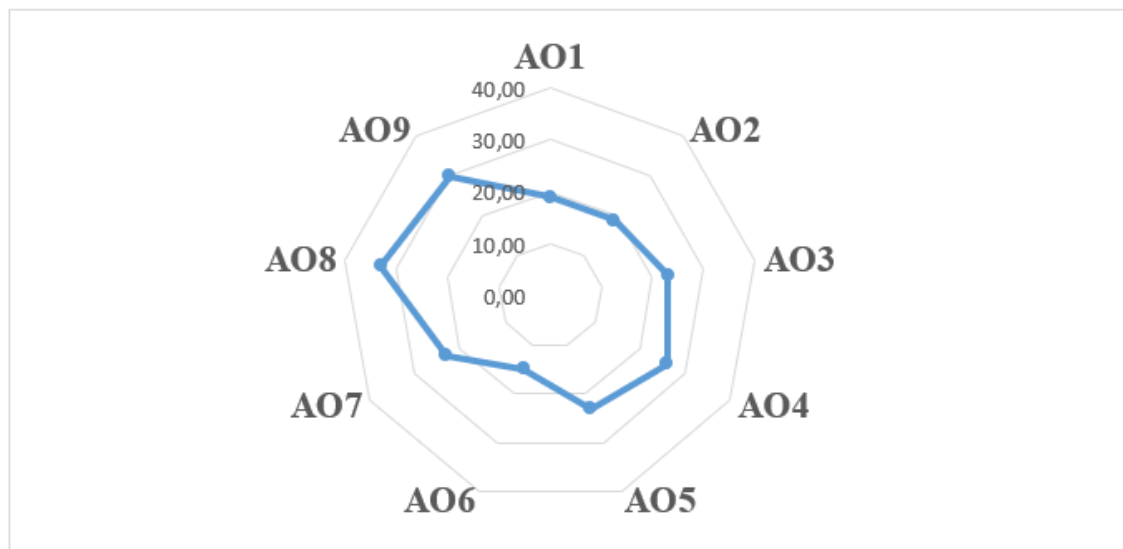


Fig. 2. Profile of the assessment of financial security of art-investment according to the selected parameters of the internal environment of the investment portfolio of art-objects of contemporary Ukrainian artists

The final parametric matrix of assessment of the level of financial security of art-investment according to the selected parameters of the internal environment of the investment portfolio of art-objects of contemporary Ukrainian artists is presented in table 3.

The obtained data allow to establish the priority of investing in art objects of the presented investment portfolio according to the parameters of financial security

of the internal environment in the following sequence: AO2, AO6, AO5, AO4, AO9, AO3, AO7, AO8, AO1. Graphically, the diagram of the multiplier of investment attractiveness of the investment portfolio of art objects of contemporary Ukrainian artists is presented in fig. 3.

The results show that the smaller is the value of the obtained investment attractiveness multiplier, the less risky is the investment in the art object.

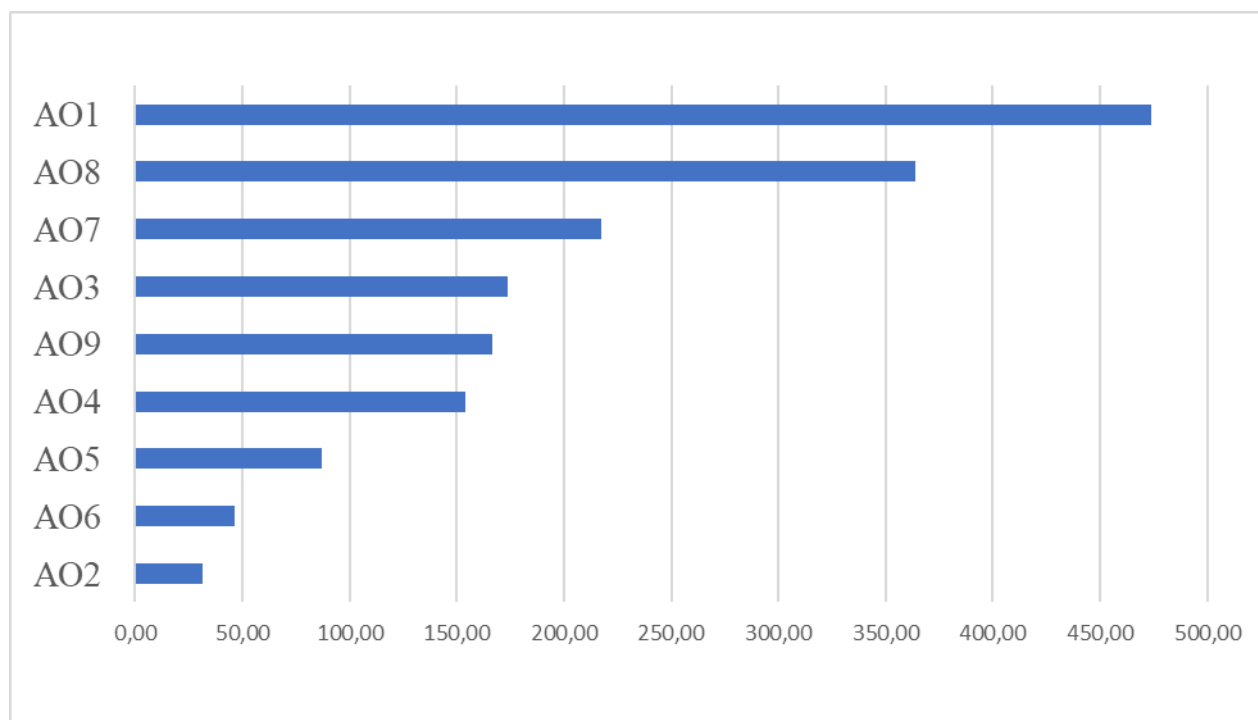


Fig. 3. The multiplier of investment attractiveness of art objects of the investment portfolio of contemporary Ukrainian artists

Table 3. Matrix for assessing the level of financial security of art investment by the parameters of the internal environment for the art object AO1

Winnie Reunov "Oxford University Press", 2009		AO1	K1	K2	K3	ART _f
Components of investment attractiveness of an art object (K1)	Components of the author's activity (K2)	Art object valuation components (K3)				
Price range	Availability of an Internet site	The price of an art object, (the price of the last transaction)	1	0	1	2
Availability of works in significant private collections and public museums	Representation in social networks	Name and nationality of the author				
Belonging of the selected work to a certain series	Intensity and quality of filling of online channels	Liquidity and market width of the author's works	2	0	0	2
The name of the artist in the list of TOP-500 most expensive paintings in the world by auction volume	Representation of the author on online platforms	Contextual cost	0	0	0	0
Physical condition of the art object	History of exhibitions (number and frequency of exhibitions)	The size of the picture	0	1	0	1
Legality of the art object	Link to local / western frontman / dealer gallery	The age of the artist at the time of painting	2	1	1	4
The originality of the art object	Availability of auction sales	Provenance risk	2	1	2	4
Availability of documents for transportation	Mention of the artist in the media		0	1	2	3
	The artist's reputation among experts		0	1	0	1
			0	1	0	1
			7	6	6	19

The proposed methodological approach to assessing the level of financial security of art investment for art objects of the investment portfolio allows to develop a trajectory of minimizing the risks of investing in an art object according to the established components of

financial security of the internal environment of art investing. To do this, the matrix of investment potential of the art object is built according to the components of financial security of art investment according to the parameters of the internal environment (table 4).

Table 4. Matrix of investment potential of an art object by components of financial security of art-investment by parameters of the internal environment (made by the author)

AO	K1 max=16	K2 max=18	K3 max=14	ART _{is} max=48
AO1	9	12	8	29
AO2	9	10	10	29
AO3	7	10	8	25
AO4	7	8	7	22
AO5	7	8	10	25
AO6	9	13	11	33
AO7	8	8	9	25
AO8	5	4	6	15
AO9	6	4	8	18

However, promising for the final decision on investing in an art object is the positioning of each art object on the matrix, taking into account the emotional effect of owning an art object for the investor.

Emotional effects include, but are not limited to, aesthetic pleasure and other effects of prestige and complementarity. Emotionally reacting to the objects of the surrounding reality is a natural property of man.

However, to assess the importance of aesthetic pleasure is quite difficult, because beauty and its role in the life of each person are individual. In the framework of this study, approaches to the assessment of the emotional effect are systematized and the art objects of the investment portfolio are positioned according to the level of the multiplier of investment attractiveness and the emotional effect of owning an art object on the matrix (table 5).

Table 5. Matrix of positioning of art objects of investment portfolio on the level of multiplier of investment attractiveness and emotional effect from possession of art object (made by the author)

	AO With the greatest emotional effect	AO With an average emotional effect	AO With low emotional effect
IA AO with high investment attractiveness (199-1)	AO2, AO6, AO5	AO4, AO9	AO3
IA AO with average investment attractiveness (349-200)		AO7	
IA AO with low investment attractiveness (500-350)		AO8	AO1

Therefore, based on the results of the positioning, a matrix is obtained, which allows to select the optimal possible solutions for art investing, taking into account the level of financial security and investment potential from many options for the development of the situation.

Conclusions

According to the results of the study, the essence and genesis of the concept of investment as an economic category in the context of the history of economic thought (for 4 centuries) in the works of economists and identified their main achievements that formed the basis for the

formation of theoretical and methodological principles of financial security management of art-investment and optimization of risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art-investing in the local market.

Art-investing is defined as a form of capital placement in art objects of investment quality in case a potential investor has accumulated (free) capital and is an alternative type of investment activity carried out in order to obtain monetary income with minimal risk of investment loss and/or achievement another effect in the future; hedging potential capital loss risks; investing in cultural development (aestheticization) or achieving an

emotional effect. The main purpose of art investing is to invest capital in the most investment-attractive art objects in order to obtain maximum profit or achieve another beneficial effect for the investor.

To minimize the risks of art investment, analytical and applied software for minimizing the risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market, based on calculating the investment attractiveness multiplier of the art object as a result indicator priority of investing in an art object as part of the investment portfolio. A model of decomposition of the multiplier of investment attractiveness of an art object according to key indicators of financial security management of art investment for the local art market has been developed.

References

1. Momot T., Momot, D. (2018), "Art-industry market infrastructure: the analysis of modern structure and functions", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 2 (4), P. 34–44. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.034>
2. Kene, F. (1960), *Farmers: Selected Economic Studies [Fermery: Izbrannyye ekonomicheskkiye pronzvedeniya]*, Moscow, From-in social-zkon. lit., 567 p.
3. Smith, A. (2007), *Research on the nature and causes of the wealth of peoples [Issledovaniye o prirode i prichinakh bogatstva narodov]*, Moscow, Eksmo, Series: Anthology of Economic Thought, 960 p.
4. Marks, K. (1978), *Capital. Criticism of Political Economy [Kapital. Kritika politicheskoy ekonomii]*, Vol. I: Capital production process, Moscow, Politizdat, 891p.
5. Fisher, I. (1930), "The Theory of Interest" [Electronic resource], New York, available at: <http://www.ekonlib.org/library/YPDBooks/Fisher/fshTol.html>
6. Keynes, J. M. (1973), "General Theory of Employment, Interest and Money", *Collected Writings of John Maynard Keynes*, Vol. VII, London, Macmillan.
7. Markowitz, H. M. (1956), *Portfolio Selection. Efficient Diversification of Investments*, New York, Wiley.
8. Modigliani, F. M. Miller (1958), *The Cost of Capital, Corporation Finance and Theory of Investment*, American Economic Review, 48 p.
9. Sharpe, W. (1985), *Investment*, New York, Prentice Hall.
10. Sharpe W., Alexander, G., Bailey, J. (1999), *Investments [Investitsii]*: transl. from English, Moscow, INFRA-M, 1028 p.
11. Dunning, J. (1990), "The eclectic paradigm as an envelope for economic and business theories of MNE activity", *International Business Review*, Vol. 9, P. 163–190.
12. Porter, M. E. (1990), *The Competitive Advantage of Nations*, N. Y., The Free Press, A Division of Macmillan, Inc., 895 p.
13. Friedman, M. (2006), *Capitalism and Freedom [Kapitalizm i svoboda]*: Per. from English, Moscow, New publishing house, 240 p.
14. Bodie, Z., Kane, A., Markus, A. (2008), *Principles of Investment [Printsipy investitsiy]*, Moscow, Williams, 984 p.
15. Masse, P. (1971), *Criteria and Methods for Optimal Investment Determination [Kriterii i metody optimal'nogo opredeleniya kapitalovlozheniya]*, Moscow, 503 p.

Received 18.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Момот Дарина Тарасівна – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри менеджменту і публічного адміністрування, Харків, Україна; email: momotdaryna@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6026-541X.

Момот Дарина Тарасівна – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры менеджмента и публичного администрирования, Харьков, Украина.

Momot Daryna – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Ph.D student of the Department of Management and Public Administration, Kharkiv, Ukraine.

ОПТИМІЗАЦІЯ РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЮ АРТ-ОБ'ЄКТІВ ЗА РІВНЕМ ФІНАНСОВОЇ БЕЗПЕКИ АРТ-ІНВЕСТИВАННЯ НА ЛОКАЛЬНОМУ АРТ-РИНКУ

Стаття присвячена дослідженню теоретико-методичних засад і розробці практичних рекомендацій щодо оптимізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному ринку. **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо оптимізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному ринку. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо оптимізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному ринку. **Завдання** роботи: дослідити та

систематизувати понятійно-категоріальний апарат забезпечення фінансової безпеки арт-інвестування; розробити методичний підхід до оцінки рівня інвестиційної привабливості арт-об'єкта за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування; запропонувати аналітико-прикладне забезпечення оптимізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному арт-ринку. У ході дослідження використано **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу, системний та статистичний аналіз, економіко-математичні методи, графічний метод. В роботі визначено сутність та генезис поняття інвестицій як економічної категорії в контексті розвитку історії економічної думки, на базі чого узагальнено специфічні особливості процесу інвестування, визначено поняття арт-інвестування. Розроблено аналітико-прикладне забезпечення мінімізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному арт-ринку та здійснено його апробацію на прикладі сформованого автором інвестиційного портфелю арт-об'єктів сучасних українських художників. **Висновки.** Розроблено аналітико-прикладне забезпечення мінімізації ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному арт-ринку, що дозволяє на основі оцінки мультиплікатора оцінки інвестиційної привабливості арт-об'єктів встановити пріоритетність інвестування у арт-об'єкт у складі інвестиційного портфелю, визначити інвестиційний потенціал арт-об'єкта за компонентами фінансової безпеки арт-інвестування за параметрами внутрішнього середовища, здійснити позиціонування кожного арт-об'єкта на матриці з врахуванням емоційного ефекту від володіння арт-об'єктом для інвестора.

Ключові слова: інвестиційний портфель арт-об'єктів; арт-інвестування; фінансова безпека арт-інвестування; ризики арт-інвестування; інвестиційна привабливість арт-об'єктів; мультиплікатор інвестиційної привабливості арт-об'єкта; інвестиційний потенціал арт-об'єкта.

ОПТИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ АРТ-ОБЪЕКТОВ ПО УРОВНЮ ФИНАНСОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АРТ-ИНВЕСТИРОВАНИЯ НА ЛОКАЛЬНОМ АРТ-РЫНКЕ

Статья посвящена исследованию теоретико-методических основ и разработке практических рекомендаций по оптимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном рынке. **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по оптимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном рынке. **Целью** статьи является разработка теоретико-методических положений и обоснование практических рекомендаций по оптимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном рынке. **Задачи** работы: исследовать и систематизировать понятийно-категориальный аппарат обеспечения финансовой безопасности арт-инвестирования; разработать методический подход к оценке уровня инвестиционной привлекательности арт-объекта по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования; предложить аналитико-прикладное обеспечение оптимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном арт-рынке. В ходе исследования использованы **методы**: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа, системный и статистический анализ, экономико-математические методы, графический метод. В работе определена сущность и генезис понятия инвестиций как экономической категории в контексте развития истории экономической мысли, на базе чего обобщены специфические особенности процесса инвестирования, определено понятие арт-инвестирования. Разработано аналитико-прикладное обеспечение минимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном арт-рынке и осуществлено его апробацию на примере сформированного автором инвестиционного портфеля арт-объектов современных украинских художников. **Выводы.** Разработанное аналитико-прикладное обеспечение минимизации рисков инвестиционного портфеля арт-объектов по уровню финансовой безопасности арт-инвестирования на локальном арт-рынке, позволяет на основе оценки мультипликатора оценки инвестиционной привлекательности арт-объектов установить приоритетность инвестирования в арт-объект в составе инвестиционного портфеля, определить инвестиционный потенциал арт-объекта по компонентам финансовой безопасности арт-инвестирования по параметрам внутренней среды, осуществить позиционирование каждого арт-объекта на матрице с учетом эмоционального эффекта от владения арт-объектом для инвестора.

Ключевые слова: инвестиционный портфель арт-объектов; арт-инвестирование; финансовая безопасность арт-инвестирования; риски арт-инвестирования; инвестиционная привлекательность арт-объектов; мультипликатор инвестиционной привлекательности арт-объекта; инвестиционный потенциал арт-объекта.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Момот Д. Т. Оптимізація ризиків інвестиційного портфелю арт-об'єктів за рівнем фінансової безпеки арт-інвестування на локальному арт-ринку. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.095>.

Momot, D. (2020), "Optimization of risks of the investment portfolio of art objects according to the level of financial security of art investing in the local art market", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.095>.

О. М. ОВЧЕЛУПОВА

ОЦІНКА КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ ПОЗИЧАЛЬНИКІВ КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ: НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Стаття присвячена дослідженню теоретико-методичних засад і розробці практичних рекомендацій щодо оцінки кредитоспроможності позичальника комерційного банку. **Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних аспектів щодо підвищення якості інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку. **Метою** статті є розробка теоретико-методичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій щодо оцінки кредитоспроможності позичальника. **Завдання** роботи: проаналізувати фактичні показники розвитку банківської системи України, у тому числі масштаби кредитних операцій комерційних банків; дослідити та систематизувати понятійний апарат оцінки кредитоспроможності позичальників; на базі нормативно-правового регулювання встановити алгоритм визначення значення коефіцієнта імовірності дефолту позичальника-юридичної особи; розробити заходи з удосконалення методичних підходів щодо оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку. У ході дослідження використано **методи**: абстрактно-логічний аналіз, теоретичного узагальнення, системного та статистичного аналізу, графічний метод. За результатами дослідження проаналізовано динаміку обсягів активів та наданих кредитів вітчизняних банків за період 2015-2020 рр. та кредитних операцій вітчизняних банків за період 2017-2020 рр. Узагальнено теоретико-методичні підходи до оцінки кредитоспроможності позичальників. Розроблено заходи щодо формування науково-обґрунтованого методичного підходу до оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку. **Висновки**: запропоновано заходи щодо удосконалення методичного забезпечення оцінки кредитоспроможності комерційних банків, що дозволяють забезпечити підвищення якості кредитних операцій, мінімізацію ймовірності виникнення ризиків і загроз, а отже сприятимуть забезпеченню стабільності розвитку та високого рівня фінансово-економічної безпеки комерційних банків.

Ключові слова: кредитоспроможність; позичальник; логістична модель; інтегральний показник фінансового стану боржника; клас боржника; коефіцієнт імовірності дефолту.

Вступ

Успішність розвитку банківських установ визначається ефективністю організації кредитних відносин. Кредитні відносини між банківськими установами та позичальниками забезпечують отримання прибутку банківськими установами та є джерелом додаткових фінансових ресурсів для суб'єктів господарювання.

Обґрунтованість, прозорість кредитних операцій та покращення якості кредитного портфелю комерційного банку прямо залежить від ефективно організованої оцінки кредитоспроможності його позичальників.

Нестабільна соціально-економічна ситуація, непрогнозованість впливу зовнішніх факторів на функціонування банківських установ зумовлюють високий ризик неповернення кредитних зобов'язань. Необхідність підвищення рівня кредитних вкладень з метою наповнення вітчизняної економіки фінансовими ресурсами актуалізують питання застосування науково-обґрунтованої, прозорої та ефективної методики оцінки кредитоспроможності позичальників. Використання у практиці комерційних банків методики, що матиме комплексний та системний характер та дозволить об'єктивно визначати фінансовий стан, потенційного позичальника і можливості дотримання ним принципів кредитування, сприятиме досягненню комерційними банками сталих засад функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання	оцінки	кредитоспроможності

позичальників комерційного банку викладено у працях таких науковців, як: Васильчак С., Вовчак О., Гідулян А., Давидович І., Кіндрацька Г., Крамаренко І., Кужелев М., Маркович Т., Саух І., Світлична В., Слав'юк Р., Суханова А., Федоришина Л., Чайковський Я. [1-8; 13-15; 17-19]. Враховуючи зазначені розробки дослідників у теорію оцінки кредитоспроможності позичальників банку, вважаємо за необхідне зазначити, що достатня кількість теоретичних і практичних аспектів кредитоспроможності і досі залишаються недостатньо розробленими, а деякі позиції є дискусійними.

Постановка завдання

Зважаючи на викладене вище, метою роботи є дослідження дискусійних питань застосування методики оцінки кредитоспроможності позичальників комерційних банків, а також розробка пропозицій із підвищення якості її інформаційно-аналітичного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

Здійснення економічних відносин між позичальником та комерційним банком, пов'язаних із наданням у тимчасове користування фінансових ресурсів, їх своєчасним поверненням, сплатою відсотків, у сукупності представляє собою сутність кредитних операцій. Надання кредитів обов'язково супроводжується механізмом оцінки кредитоспроможності позичальника. А результат оцінки є тим вагомим фактором, що визначає ефективність кредитних операцій та кредитної

політики комерційного банку загалом.

В рамках цього дослідження проаналізовано фактичні показники розвитку банківської системи України, у тому числі масштабів кредитних операцій комерційних банків.

За період 2012-середина 2020 рр. кількість діючих банківських установ України зменшилася. У 2012 р. кількість їх була 175 установ, у 2013 р. – 180 установ, у 2014 р. – 163 установи, у 2015 р. – 117 установ, у 2016 р. – 93, у 2017 р. – 82 р., у 2018 р. – 77, 2019 р. – 75 і перша половина 2020 р. – 75 установ. Отже, за аналізований період відбулося значне (у 2,3 рази) скорочення кількості банківських установ.

Останнє, на жаль, вкрай негативно впливає на вітчизняну банківську систему, погіршує умови конкуренції на банківському ринку, а також загострює диспропорції у структурі банківської системи (між банками різних форм власності та в залежності від їх розміру). Окрім того, зменшилася і кількість банківських відділень, що є основними "точками продажу" банківських продуктів, що також погіршує умови конкуренції та знижує рівень доступності банківських продуктів для клієнтів – юридичних і фізичних осіб.

Показники обсягів активів банків та наданих кредитів за період 2015-2020 рр. наведено на рис. 1.

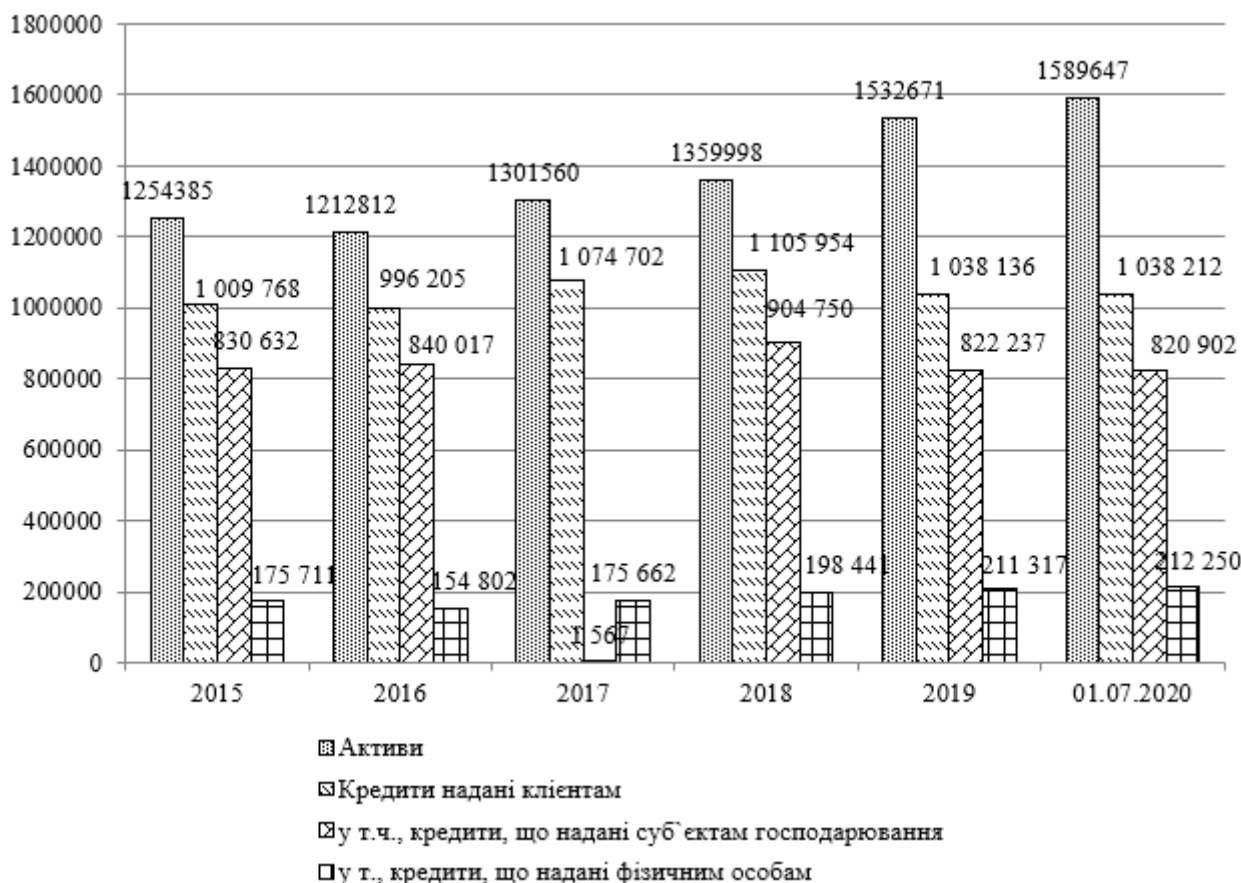


Рис. 1. Динаміка обсягів активів та наданих кредитів вітчизняних банків за період 2015-2020 рр., млн. грн.

Джерело: складено автором за даними [10]

Протягом 2015-2020 рр. простежується динаміка зростання обсягів активів вітчизняних банківських установ. А от обсяги наданих клієнтам кредитів зростали до 2018 р. (1 105 954 млн. грн.), а надалі фіксується тенденція їх зменшення (2019 р. – 1 038 136 млн. грн., 2020 р. – 1 038 212 млн. грн.). У структурі наданих кредитів переважну долю склали кредити саме суб'єктам господарювання. Їх динаміка подібна динаміці всіх наданих кредитів. Кредити, надані фізичним особам за період 2015-2020 рр. залишаються майже незмінними, і починаючи з 2017 р. (176 662 млн. грн.) демонструють тенденцію зростання (2020 р. – 212 250 млн. грн.).

Відносно кредитних операцій банківських установ вважаємо доцільним навести наступну інформацію (рис. 2).

Дані рис. 2 дозволяють зробити висновок, про достатньо високий рівень непрацюючих кредитів у складі кредитів корпоративного сектору. І хоча у 2017 р. частка непрацюючих кредитів у складі кредитів корпоративного сектору складала 56,03 %, у 2018 р. – 55,83 %, у 2019 р. – 53,83 % і у 2020 р. – 53,63% (тобто знижується її розмір), все ж таки це є дуже великим негативним показником. Частка непрацюючих кредитів у складі кредитів фізичним особам має більш "оптимістичну" характеристику, адже її показник поступово знижується: 2017 р. – 53,51 %, у 2018 р. – 46,04 %, у 2019 р. – 34,11 % і у 2020 р. – 36,24 %.

Для банківських установ кредити фізичним особам грають роль найпростішого способу заробити кошти. А в умовах недостатнього попиту на кредити зі

сторони корпоративних клієнтів, питома вага кредитів фізичним особам хоча і не є значною, але постійно зростає. Однак, як вважають економісти, у сучасних умовах недостатнього росту української економіки та високого рівня інфляції, перспективи повернення таких кредитів погіршуються.

За оцінками фахівців "...обсяг непрацюючих кредитів в українських банках залишається незмінним, а інколи демонструє тенденцію до збільшення, незважаючи на заклики НБУ вирішити

цю проблему. Відповідно, навіть після "очищення" банківської системи у 2014-2016 рр., ризик неповернення кредитних коштів жодним чином не зменшився" [9]. Ситуація погіршується ще і негативною тенденцією співвідношення "непрацюючих" кредитів до "працюючих": так при встановленій нормі (30%), у вітчизняній банківській системі не повертають кожний другий кредит (у середньому таке співвідношення складає 56%).



Рис. 2. Динаміка показників кредитних операцій вітчизняних банків за період 2017-2020 рр., млн. грн.
Джерело: складено автором за даними [9-10]

На жаль, банківські установи, намагаючись покрити непрацюючі кредити, підвищують відсотки по наданим кредитам, а це призводить до зменшення їх конкурентної привабливості, а, отже, не стимулює економічне зростання. Також, негативними тенденціями функціонування вітчизняної банківської системи виступають і падіння ринкової частки приватних вітчизняних установ на банківському ринку на тлі збереження значної частки банків іноземних банківських груп. Отже, можна підсумувати, що виявлені тенденції зниження обсягів кредитування економіки банківськими установами, а також зростаючі обсяги непрацюючих кредитів, на жаль, свідчать про системну та вкрай негативну ситуацію, яка призводить до кризових явищ у банківській системі країни і гальмування розвитку реального сектору економіки. Вважаємо необхідним підкреслити, що негативна тенденція щодо здійснення кредитних операцій банків в більшості випадків є наслідком саме недоліків існуючих методів оцінки кредитоспроможності позичальників.

В рамках цього дослідження визначимося із термінологічним змістом категорії "кредитоспроможність". Необхідно зауважити, що одностайно думки серед науковців щодо визначення кредитоспроможності і досі немає. Для з'ясування сутності кредитоспроможності звернемося до найбільш поширених її тлумачень (табл. 1).

Неоднозначність поглядів науковців та фахівців з банківського менеджменту щодо визначення сутності кредитоспроможності підтверджує відсутність її єдиного трактування. Отже, ґрунтуючись на аналізі трактувань категорії "кредитоспроможність", їх логічному синтезі, вважаємо за доцільне сформулювати наступне її визначення: кредитоспроможність – це комплексний показник, що відображає спроможність позичальника одержати кредит, повернути його своєчасно і в повному обсязі відповідно до умов кредитної угоди, тобто погасити свої боргові зобов'язання перед комерційним банком.

Сформулювавши зміст кредитоспроможності, варто акцентувати увагу на методах її оцінки. Під час оцінки кредитоспроможності позичальника

комерційний банк повинен ґрунтовно підійти до цього, комерційний банк прогнозує і ступінь визначення всіх умов надання кредиту: його розміру, кредитного ризику та можливих втрат у разі відсотків за користування, термінів повернення. Окрім порушення умов кредитної угоди.

Таблиця 1. Підходи до визначення змісту категорії "кредитоспроможність"

Трактування	Автор
Спроможність позичальника в повному обсязі й у визначений кредитною угодою термін розраховуватися за своїми борговими зобов'язаннями винятково грошовими коштами	Васильчак С.В., Демус Л.Р. [1, С.155]
Здатність позичальника акумулювати грошові потоки, достатні для своєчасного погашення боргових зобов'язань відповідно до заздалегідь узгодженого графіка повернення кредитних коштів і сплати відсотків	Вовчак О., Меда Н. [2, С.12]
Системна оцінка банком існуючих реальних можливостей погашення наданої ним позики	Гідулян А. [3, С.51]
Передумова для підприємства залучити кредит та своєчасно і в повному обсязі повернути його, сплатити проценти, що визначається фінансовим станом позичальника, здатністю його ефективно використовувати кредитні ресурси, залучити додаткові фінансові ресурси тощо	Давидович І.Д., Ломачинська І.А., Мумладзе А.О. [4, С.85-86]
Спроможність позичальника залучити фінансові ресурси та в повному обсязі у визначений термін погашати свої боргові зобов'язання	Світлична В.Ю., Фатєєва Г.С. [14, С.253]
Здатність позичальника, за окреслених умов кредитування, в повному обсязі і у визначений кредитною угодою термін розраховуватися за своїми борговими зобов'язаннями грошовими коштами, що генеруються ним у процесі операційної діяльності	Слав'юк Р.А. [15, С.499]
Сформована наявність передумов у позичальника щодо отримання і повернення кредиту	Словник-посібник економічних термінів [16]
Оцінка наявності економічних і юридичних передумов для одержання кредиту та спроможності підприємства у повному обсязі й у визначений кредитною угодою термін повернути його, що здійснюють на основі розгляду фінансово-господарських аспектів діяльності позичальника, а також репутації керівника підприємства, що проводиться на етапі підготовки та прийняття рішення стосовно видачі кредиту й умов укладення кредитного договору і в процесі кредитування на перспективу	Чайковський Я. [19, С.179]

Джерело: складено автором за даними [1-4; 14-16; 19]

Значимо, що під час оцінки кредитоспроможності позичальника для вітчизняних комерційних банків обов'язковим є використання норм Постанови Правління НБУ "Положення про визначення банками України розміру кредитного ризику за активними банківськими операціями" (від 30.06.2016 р. № 351) та Постанови Правління НБУ "Про внесення змін до деяких нормативно-правових актів Національного банку України" (від 16.03.2018 р. № 26) [11-12]. Базуючись на нормах зазначеного Положення вітчизняні банки розробляють внутрішні положення для оцінки кредитоспроможності позичальників.

Положення № 351, за оцінками його розробників, повинно сприяти своєчасній оцінці комерційними банками розміру кредитного ризику, обґрунтованому розрахунку банківського капіталу відповідно до застосовуваних у міжнародній практиці підходів. Норми Положення ґрунтуються на оцінці імовірності дефолту боржника (відповідно до принципу міжнародної практики "through the cycle" – протягом економічного циклу). При цьому, кредитний ризик є залежним від імовірності дефолту – "probability of default" (PD) та втрат у разі настання дефолту – "loss given default" (LGD). Положенням № 351 передбачено порядок розрахунку величини очікуваних збитків за

формулою трьох компонентів: імовірності дефолту боржника (PD), рівні втрат в разі дефолту (LGD) та боргу за активом ("exposure at default", EAD). Основну роль в оцінюванні кредитоспроможності грає оцінювання комерційним банком фінансового стану боржника, на підставі результатів якого визначається коефіцієнт імовірності дефолту. Отже, це актуалізує важливість забезпечення об'єктивності та достовірності системи оцінювальних фінансових показників.

Розглянемо послідовність алгоритму визначення значення коефіцієнта імовірності дефолту позичальника-юридичної особи (крім банку, бюджетної установи та юридичної особи-боржника за кредитом під інвестиційний проект) відповідно до вимог Положення № 351:

1) виходячи з належності підприємства до великого, середнього або малого та виду його економічної діяльності, обирається модель розрахунку інтегрального показника фінансового стану позичальника (табл.1-2 Додатку 7 Положення). При цьому використовується логістична формула:

$$Z = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \times x_i, \quad (1)$$

де: Z – інтегральний показник; x_i – показники, що визначаються на підставі фінансових коефіцієнтів, розрахованих за даними фінансової звітності позичальника, з урахуванням установлених НБУ діапазонів для кожного фінансового показника (табл.1-2 Додатку 7 до Положення); β_i – коефіцієнти логістичної моделі, що визначаються НБУ з урахуванням вагомості показників; β_0 – вільний член логістичної моделі, значення якого актуалізується НБУ;

2) базуючись на даних фінансової звітності (для великого та середнього підприємства – форма №1 та форма №2, для малого підприємства – форма №1-м та форма №2-м) визначаються фінансові показники, які використовуються для розрахунку інтегрального показника фінансового стану позичальника. При цьому, розрахунок інтегрального показника для великого та середнього підприємства передбачає 16 фінансових показників ($K_1 \div K_{16}$), а для малого підприємства – 13 фінансових показників ($MK_1 \div MK_{13}$);

3) розраховується інтегральний показник фінансового стану позичальника (згідно відповідної моделі табл.1-2 Додатку 7 до Положення);

4) визначається клас залежно від значення інтегрального показника з урахуванням величини підприємства (велике, середнє або мале) (табл.4-5 Додатку 7 до Положення). Найвищий клас позичальника – 1, найнижчий – 9. Положення наділяє банк правом коригування класу позичальника (визначеного на підставі розрахунку інтегрального показника), шляхом застосування коригуючих факторів, а саме:

- у разі своєчасності сплати боргу позичальником з дотриманням таких вимог: наявність факту прострочення боргу протягом 31÷60 днів, банк визначає клас не вище 5; протягом 31÷60 днів – не вище 8; 91 та більше днів – не вище 10;

- ознак, що свідчать про високий кредитний ризик позичальника;

- вимог стосовно визнання / припинення визнання банком дефолту позичальника;

- наявної інформації стосовно кредитної історії позичальника в частині його класифікації за класом 10, тоді банк понижує клас такого позичальника на три класи;

5) визначається значення коефіцієнта імовірності дефолту позичальника, базуючись на діапазоні значень коефіцієнта PD позичальника (табл. 1 Додатку 9 Положення). В процесі визначення коефіцієнта імовірності дефолту банк (в межах установленого діапазону) враховує ряд об'єктивних аспектів: коефіцієнт покриття боргу; наявність та активність ринків збуту продукції; динаміку фактичних значень інтегрального показника; рейтинги боржника; інші події та обставини, що можуть впливати на припинення виконання боржником своїх зобов'язань. Діапазони значень коефіцієнта імовірності дефолту (PD) позичальника наступні: клас 1 – 0,005÷0,009; клас 2 – 0,01÷0,019; клас 3 – 0,02÷0,03; клас 4 –

0,04÷0,06; клас 5 – 0,07÷0,010; клас 6 – 0,011÷0,017; клас 7 – 0,018÷0,032; клас 8 – 0,033÷0,059; клас 9 – 0,060÷0,99; клас 10 – 1 [11].

Окрім методу оцінки кредитоспроможності позичальників відповідно до Положення № 351, на практиці застосовують і такі методи, як: метод аналізу фінансових коефіцієнтів; оцінка фінансового стану позичальника з використанням абсолютних показників; метод дослідження грошових потоків; рейтинговий метод; бальна оцінка; метод дискримінантних показників; інтегральний метод; матрична оцінка; метод кредитного скорингу; якісна оцінка (економічне середовище, спроможність погашення кредиту, забезпечення, репутація позичальника). Методи оцінки, що найчастіше застосовуються у міжнародній практиці: CAMELS; CAMPARI; COPF, PARTS; PARSER; правило "6 C"; система 4 FC; правило "5 C". Отже, можна підсумувати, що існує достатньо велика кількість вітчизняних та міжнародних методів оцінки кредитоспроможності позичальників.

В рамках цього дослідження варто акцентувати увагу на тому, що незважаючи на таке велике розмаїття методів оцінки, в Україні все ж таки немає єдиного уніфікованого методу оцінки кредитоспроможності позичальників. Перелічені вище методи багато в чому є подібними, а відмінною їх рисою є сукупність показників (які виступають основою для отримання загального рейтингу позичальника) та порядок надання пріоритетності характеристикам позичальника.

Недостатньо висока якість чинних методів оцінки кредитоспроможності позичальників є наслідком недосконалого їх науково-теоретичного обґрунтування. Застосовувані методи оцінки, на жаль, не забезпечують менеджмент комерційного банку об'єктивною інформацією, а це призводить до прийняття необґрунтованих управлінських рішень.

Таким чином, виникає необхідність розробки заходів з удосконалення методичних підходів щодо оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку.

Вважаємо за необхідне підкреслити, що формування дієвої методики оцінки кредитоспроможності позичальника, безперечно, є необхідною умовою сталого, ефективного розвитку кожного комерційного банку. Адже використання у роботі банку такої методики забезпечить мінімізацію кредитного ризику, запобігатиме можливим втратам банку від кредитної діяльності, сприятиме недопущенню падіння рівня його фінансово-економічної безпеки, а отже, виступить важелем досягнення фінансової стійкості вітчизняного банківського сектору.

Спираючись на всі вищенаведені факти, можемо стверджувати, що основними заходами із формування науково-обґрунтованої методики оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку, на думку автора, можуть виступати наступні (рис. 3).

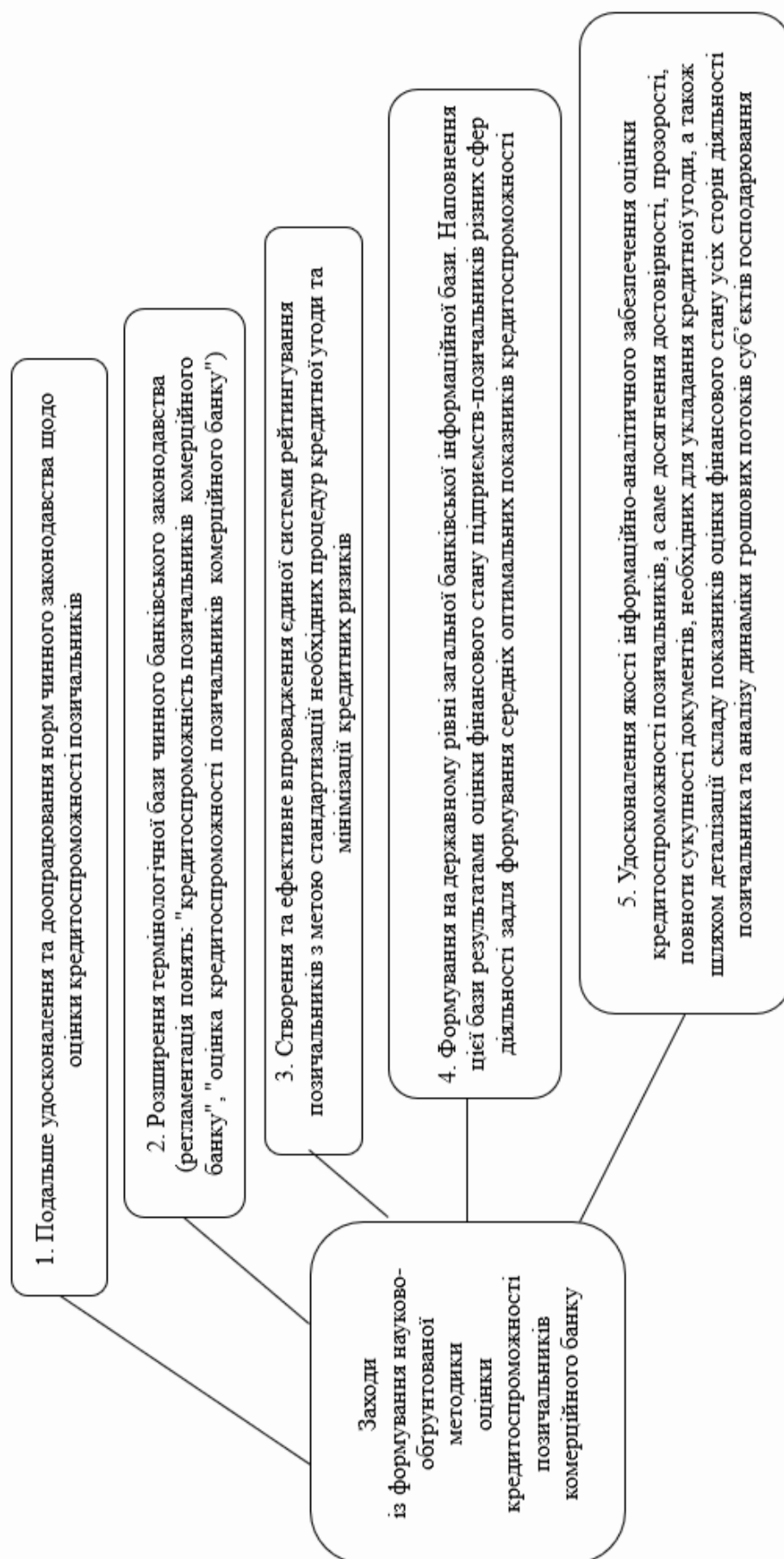


Рис. 3. Перелік заходів із формування науково-обґрунтованого методичного підходу до оцінки кредитоспроможності позичальників комерційного банку

Висновки

Таким чином, до напрямків удосконалення методичного забезпечення оцінки кредитоспроможності комерційних банків доцільно віднести наступні кроки:

- по-перше, розширення повноважень комерційних банків. Як слушно зазначено у [8, с.111] "...банки повинні мати право на власний розсуд приймати рішення про застосування одного з двох підходів до вимірювання кредитного ризику: стандартизований, заснований на присвоєнні зовнішнього кредитного рейтингу відповідними незалежними агентствами, або метод IRB, що базується на власних внутрішніх рейтингах окремого комерційного банку". Надання комерційним банкам більш розширених прав щодо рейтингування позичальників та визначення імовірності їх дефолту;
- по-друге, подальше удосконалення методичних підходів до оцінки кредитоспроможності позичальників. А саме створення методичного підходу до визначення інтегрального показника кредитоспроможності. Останній повинен базуватися на врахуванні та поєднанні як кількісних, так і якісних показників, та аспектів, що всебічно характеризують показники діяльності позичальника (характеристика

бізнесу, ринкова позиція позичальника, ділова репутація тощо). Окрім того, інтегральний показник повинен враховувати суттєві, суб'єктивні, специфічні особливості діяльності суб'єкта господарювання (період функціонування підприємства, показник ділової репутації, показник погашення позичок, склад засновників, рівень менеджменту та ін.);

- по-третє, поліпшення якості інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки кредитоспроможності за рахунок обчислення як поточного, так і прогностичного розміру кредитоспроможності позичальника. При цьому, під час розрахунку поточної кредитоспроможності здійснюють аналітичне порівняння отриманих показників із їх нормативними значеннями; тоді як прогностичний розмір кредитоспроможності визначають, виходячи із динаміки зміни показників ділової активності та рентабельності підприємства.

Підсумовуючи, необхідно зазначити, що, на думку автора, достовірний, вискоєфективний методичний підхід до оцінки кредитоспроможності позичальників комерційними банками сприятиме підвищенню якості кредитних операцій, мінімізації ймовірності виникнення ризиків і загроз, а отже і забезпеченню стабільності розвитку та високого рівня фінансово-економічної безпеки банків.

Список літератури

1. Васильчак С. В., Демус Л. Р. Оцінка кредитоспроможності позичальника як один із методів забезпечення економічної безпеки банку. *Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць*. 2012. Вип. 22.1. С. 154–161.
2. Вовчак О., Меда Н. Модернізація підходів до оцінки кредитоспроможності позичальників банків. *Вісник НБУ*. 2013. № 12. С. 11–15.
3. Гідулян А. Поліпшення методики оцінки кредитоспроможності позичальників. *Вісник НБУ*. 2012. № 1. С. 50–53.
4. Давидович І. Д., Ломачинська І. А., Мумладзе А. О. Удосконалення теоретичних підходів до визначення сутності "кредитоспроможність підприємства". *Вісник ОНУ імені І.І. Мечникова*. 2016. Т. 21. Вип. 11 (53). С. 83–88.
5. Кіндрацька Г. Оцінювання платоспроможності українських підприємств: проблемні аспекти типових методик. *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2019. № 3. С. 133–143.
6. Крамаренко І. С., Козаченко Л. А. Методика оцінки кредитоспроможності заємщика: практичний аспект. *Економіка України*. 2018. № 5 (670). С. 49–60.
7. Кужелєв М. О., Ковальова К. В. Теоретичні аспекти управління кредитоспроможністю підприємства. *Економіка та держава*. 2019. № 12. С. 55–60.
8. Маркович Т. Г. Оцінка комерційними банками кредитоспроможності підприємств-експортерів: дис. ... канд. екон. наук : 08.00.09 – бухгалтерський облік, аналіз та аудит (за видами економічної діяльності). Житомир. 2019. 260 с.
9. Надійність та показники банківської системи України: драйвер росту чи тягар? URL: <http://icps.com.ua/nadiynist-ta-rokaznyky-bankivskoyi-systemy-ukrayiny-drayver-rostu-tyahar> (дата звернення: 12.08.2020).
10. Офіційний сайт НБУ. URL: <https://nbu.gov.ua> (дата звернення: 12.08.2020).
11. Положення про визначення банками України розміру кредитного ризику за активними банківськими операціями: Постанова Правління НБУ від 30.06.2016 р. № 351. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0351500-16#Text> (дата звернення: 12.08.2020).
12. Про внесення змін до деяких нормативно-правових актів Національного банку України: Постанова Правління НБУ від 16.03.2018 р. № 26. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0026500-18#Text> (дата звернення: 12.08.2020).
13. Саух І. В., Виговський В. Г. Аналітичне забезпечення оцінки кредитоспроможності позичальника. *Ефективна наука*. 2019. № 8.
14. Світлична В. Ю., Фатєєва Г. Є. Актуальні питання організації кредитних відносин в діяльності банківських установ України. *Коммунальное хозяйство городов: Научн.-техн. сб.* 2011. № 100. С. 252–262.
15. Слав'юк Р. А. Оцінювання кредитоспроможності позичальника: досвід Польщі. *Інфраструктура ринку*. 2018. Вип. 19. С. 497–505.
16. Дрозд О. М., Дубічинський В. В., Д'яков А. С. та ін. Словник-посібник економічних термінів / за ред. Т. Р. Кияка. Київ. Вид. Дім "KM Academia", 2010. 264 с.
17. Суханова А. В., Пухальська Н. О., Черній Б. С. Сучасні методи оцінки кредитоспроможності позичальника банківськими установами. *Економіка і суспільство*. 2018. № 18. С. 821–826.
18. Федоришина Л. І., Цуркан А. О. Удосконалення методичних підходів до оцінки кредитоспроможності позичальника комерційного банку. *Агроевіт*. 2018. № 11. С. 39–42.

19. Чайковський Я. Напрямки вдосконалення методики аналізу кредитоспроможності боржника-юридичної особи. *Українська наука: минуле, сучасне, майбутнє*. 2014. Вип. 19, Ч. 1. С. 176–188.

References

- Vasilchak, S. V., Demus, L. R. (2012), "Assessment of the borrower's creditworthiness as one of the methods of ensuring the economic security of the bank" ["Otsinka kredytopromozhnosti pozychal'nyka yak odyń iz metodiv zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky banku"], *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine. Collection of scientific and technical works*, Vol. 22.1, P. 154–161.
- Vovchak, O., Meda, N. (2013), "Modernization of approaches to assessing the creditworthiness of bank borrowers" ["Modernizatsiya pidkhodiv do otsinky kredytopromozhnosti pozychal'nykiv bankiv"], *Bulletin of the NBU*, No. 12, P. 11–15.
- Gidulyan, A. (2012), "Improving the methodology for assessing the creditworthiness of borrowers" ["Polipshennya metodyky otsinky kredytopromozhnosti pozychal'nykiv"], *Bulletin of the NBU*, No. 1, P.50–53.
- Davydovych, I. D., Lomachynska, I. A., Mumladze, A. O. (2016), "Improving theoretical approaches to defining the essence of 'creditworthiness of the enterprise' ["Udoskonalennya teoretychnykh pidkhodiv do vyznachennya sutnosti 'kredytopromozhnist' pidpryyemstva"]", *Bulletin of ONU named after I. I. Mechnykova*, Vol. 21, No. 11 (53), P. 83–88.
- Kindratska, G. (2019), "Assessing the solvency of Ukrainian enterprises: problematic aspects of standard methods", *Economic Journal of the Lesya Ukrainka East European National University*, No. 3, P. 133–143.
- Kramarenko, I. S., Kozachenko, L. A. (2018), "Methodology for assessing the borrower's creditworthiness: a practical aspect", *Economy of Ukraine*, No. 5 (670), P. 49–60.
- Kuzhelev, M. O., Kovaleva, K. V. (2019), "Theoretical aspects of enterprise creditworthiness management", *Economy and state*, No. 12, P. 55–60.
- Markovic, T. G. (2019), *Estimation by commercial banks of creditworthiness of the enterprises-exporters : dis. ... Cand. econ. Sciences: 08.00.09 - accounting, analysis and audit (by types of economic activity)*, Zhytomyr, 260 p.
- "Reliability and performance of Ukraine's banking system: growth driver or burden?" ["Nadiynist' ta pokaznyky bankivskoyi systemy Ukrayiny: drayver rostu chy tyahar?"], available at : <http://icps.com.ua/nadiynist-ta-pokaznyky-bankivskoyi-systemy-ukrayiny-drayver-rostu-chy-tyahar> (last accessed: 12.08.2020).
- "Official site of the NBU" ["Ofitsiynyy sayt NBU"], available at : <https://nbu.gov.ua> (last accessed: 12.08.2020).
- "Regulations on the determination by banks of Ukraine of the amount of credit risk on active banking operations: Resolution of the Board of the NBU dated 30.06.2016 No. 351" ["Polozhennya pro vyznachennya bankamy Ukrayiny rozmiru kredytnoho ryzyku za aktyvnymy bankivskymy operatsiyamy: Postanova Pravlinnya NBU vid 30.06.2016 No. 351"], available at : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0351500-16#Text> (last accessed: 12.08.2020).
- "On Amendments to Certain Regulations of the National Bank of Ukraine: Resolution of the Board of the NBU of March 16, 2018 No. 26" ["Pro vnesennya zmin do deyakykh normatyvno-pravovykh aktiv Natsional'noho banku Ukrayiny: Postanova Pravlinnya NBU vid 16.03.2018 No. 26"], available at : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0026500-18#Text> (last accessed: 12.08.2020).
- Saukh, I. V., Vygovsky, V. G. (2019), "Analytical support for assessing the borrower's creditworthiness", *Effective science*, No. 8.
- Svitlychna, V. Yu., Fateeva, G. E. (2011), "Current issues of credit relations in the activities of banking institutions of Ukraine" ["Aktual'ni pytannya orhanizatsiyi kredytnykh vidnosyn v diyal'nosti bankivskiykh ustanov Ukrayiny"], *Municipal economy of cities: Nauchn.-tehn. Sat*, No. 100, P. 252–262.
- Slavyuk, R. A. (2018), "Assessing the borrower's creditworthiness: the experience of Poland", *Market infrastructure*, Issue 19, P. 497–505.
- Drozd, O. M., Dubichinsky, V. V., Dyakov, A. S. et al. (2010), *Dictionary-manual of economic terms [Slovyk-posibnyk ekonomichnykh terminiv]* / for ed. T. R. Kiyaka, Kyiv, Vid. House "KM Academia", 264 p.
- Sukhanova, A. V., Puhalskaya, N. O., Cherniy, B. S. (2018), "Modern methods of assessing the creditworthiness of the borrower by banking institutions", *Economy and society*, No. 18, P. 821–826.
- Fedorishina, L. I., Tsurkan, A. O. (2018), "Improving methodological approaches to assessing the creditworthiness of a commercial bank borrower", *Agrosvit*, No. 11, P. 39–42.
- Tchaikovsky, J. (2014), "Directions of improvement of a technique of the analysis of creditworthiness of the debtor-legal entity" ["Napryamky vdoskonalennya metodyky analizu kredytopromozhnosti borzhnyka-yurydychnoyi osoby"], *Ukrainian science: past, present, future*, Vol. 19, Part 1, P. 176–188.

Надійшла (Received) 22.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Овчелупова Ольга Миколаївна – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, здобувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, Харків, Україна; email: o.ovchelupova@bankvostok.com.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6053-5168>.

Овчелупова Ольга Николаевна – Харьковская национальная академия городского хозяйства, соискатель кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, Харьков, Украина.

Ovchelupova Olga – PhD Student of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Audit, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКА КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА: НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Статья посвящена исследованию теоретико-методических основ и разработке практических рекомендаций, по оценке кредитоспособности заемщика коммерческого банка. **Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических аспектов по повышению качества информационно-аналитического обеспечения оценки кредитоспособности заемщиков коммерческого банка. **Целью** статьи является разработка теоретико-методических положений и обоснование практических рекомендаций, по оценке кредитоспособности заемщика. **Задачи** работы: проанализировать фактические показатели развития банковской системы Украины, в том числе масштабы кредитных операций коммерческих банков; исследовать и систематизировать понятийный аппарат оценки кредитоспособности заемщиков; на базе нормативно-правового регулирования установить алгоритм определения значения коэффициента вероятности дефолта заемщика-юридического лица; разработать меры по совершенствованию методических подходов к оценке кредитоспособности заемщиков коммерческого банка. В ходе исследования использованы методы: абстрактно-логический анализ, теоретического обобщения, системного и статистического анализа, графический метод. По результатам исследования проанализирована динамика объемов активов и предоставленных кредитов отечественных банков за период 2015-2020 гг. и кредитных операций отечественных банков за период 2017-2020 гг. Обобщены теоретико-методические подходы к оценке кредитоспособности заемщиков. Разработаны мероприятия по формированию научно-обоснованного методического подхода к оценке кредитоспособности заемщиков коммерческого банка. **Выводы:** предложены меры по совершенствованию методического обеспечения оценки кредитоспособности коммерческих банков, позволяющих обеспечить повышение качества кредитных операций, минимизацию вероятности возникновения рисков и угроз, а значит способствуют обеспечению стабильности развития и высокого уровня финансово-экономической безопасности коммерческих банков.

Ключевые слова: кредитоспособность; заемщик; логистическая модель; интегральный показатель финансового состояния должника; класс должника; коэффициент вероятности дефолта.

ASSESSMENT OF THE BORROWER'S CREDIT CAPACITY OF THE COMMERCIAL BANK: DIRECTIONS FOR IMPROVING THE QUALITY OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT

The article is devoted to the study of theoretical and methodological bases and the development of practical recommendations for assessing the creditworthiness of a borrower of a commercial bank. The **subject** of the study is a set of theoretical, methodological and practical aspects to improve the quality of information and analytical support for assessing the creditworthiness of commercial bank borrowers. The **purpose** of the article is to develop theoretical and methodological provisions and substantiate practical recommendations for assessing the creditworthiness of the borrower. **Objectives:** to analyze the actual indicators of development of the banking system of Ukraine, including the scale of credit operations of commercial banks; to study and systematize the conceptual apparatus for assessing the creditworthiness of borrowers; on the basis of regulatory legal regulation to establish an algorithm for determining the value of the default factor of the borrower-legal entity; to develop measures to improve methodological approaches to assessing the creditworthiness of commercial bank borrowers. During the research the following methods were used: abstract-logical analysis, theoretical generalization, system and statistical analysis, graphical method. According to the results of the study, the dynamics of assets and loans of domestic banks for the period 2015-2020 was analyzed. and credit operations of domestic banks for the period 2017-2020. Theoretical and methodological approaches to assessing the creditworthiness of borrowers are summarized. Measures have been developed to form a scientifically sound methodological approach to assessing the creditworthiness of commercial bank borrowers. **Conclusions:** proposed measures to improve the methodological support for assessing the creditworthiness of commercial banks, to improve the quality of credit operations, minimize the likelihood of risks and threats, and thus contribute to the stability of development and a high level of financial and economic security of commercial banks.

Keywords: creditworthiness; borrower; logistics model; integrated indicator of the debtor's financial condition; debtor's class; default probability ratio.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Овчелупова О. М. Оцінка кредитоспроможності позичальників комерційного банку: напрямки підвищення якості інформаційно-аналітичного забезпечення. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.106>.

Ovchelupova, O. (2020), "Assessment of the borrower's credit capacity of the commercial bank: directions for improving the quality of information and analytical support", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.106>.

UDC 004.932

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.115>

H. ABRAMOVA, O. AVRUNIN

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYZING TOMOGRAPHIC IMAGES OF BONE STRUCTURES

The **subject** matter of research in the article is the morphological structure of bone tissue in the lumbar spine, visualized by tomography in the sagittal and axial planes. The **goal** of the research is to create the most informative investigation method for analyzing the structure of bone tissue, taking into account pathology in the form of metastatic bone lesions. This is justified by the fact that the detection of pathological processes is one of the most important tasks of image processing and analysis; at the same time, early diagnosis of various pathologies, including cancer, significantly increases the chances of patient recovery. **Tasks:** to consider the existing modern methods for analyzing the structure of bone tissue, to develop and propose a method for detecting bone tissue pathology in multiple myeloma. For the development of **methods** for the analysis of tomographic images with lesion of the bone structure, one of the fundamental issues is visualization of tomographic data. In this case, it is advisable to provide modules for both two-dimensional and three-dimensional visualization with methods of processing and segmentation of vertebral bodies, as well as correcting the results obtained in an interactive mode. The research uses methods of improving the quality of images, filtering using adaptive local filters, segmentation and stereology methods, cluster analysis method. The **result** of the work is to obtain a method suitable for use in the analysis of bone tissue with its accompanying pathology in the form of bone metastases. This method will be the basis for the further development of a method aimed at analyzing the microstructure of bone tissue, which will significantly increase the accuracy of calculations. **Conclusions.** The relevance of the topic under study is of vital importance for a huge number of patients suffering from cancer. In the course of the research, algorithms for processing and analyzing input images were developed, taking into account the modality of the input data. This makes it possible to develop the next stage of analysis aimed at the microstructure of the bone tissue.

Keywords: multiple myeloma; image processing; tumor; bone lesion; early diagnosis; image segmentation; bone structure; image filtering.

Problem statement

According to the Ministry of Health, there are more than 1 million cancer patients in Ukraine; 450 new cases of cancer are registered daily [1]. It should be noted that 90% of patients develop bone lesions during their disease. For this reason, imaging plays an important role in the diagnosis and follow-up of cancer patients. Bone pathology is the most common clinical feature of multiple myeloma (MM). Multiple myeloma is a tumor in the bone marrow that systemically affects the skeleton; characterized by clonal proliferation of plasma cells and bone marrow infiltration. Bone cancer metastases are characterized by bone marrow damage (diffuse, diffuse-focal, rarely focal), accompanied by bone-destructive changes (osteoporosis, osteolysis), and the development of monoclonal immunoglobulinopathy [2–3].

Today, standard methods for examining bone tissue in MM determine bone mineral density, while some new methods focus on micro-objects. Terminologically, micro-objects in the work are understood as objects on specially prepared micro-preparations. The variety of cellular and tissue structures found in the human body is considered to be medico-biological micro-objects [4]. In this work, the micro-object is taken as the trabecular structure of bone tissue and elements of its morphological structure.

The quality of image analysis and further development of research methods directly depend on the quality of the obtained diagnostic images – first of all, these are the results of X-ray computed tomography (CT) and radionuclide imaging [5]. At the same time, the lack of an integrative approach to assessing the morphofunctional parameters of bone structures makes it difficult and hinders the detection of pathological processes at early stages.

Analysis of recent research and publications

Recent advances in imaging make it possible to assess bone microstructure in vivo using high-resolution peripheral quantitative computed tomography [5–6].

Imaging techniques used to assess the structure of the trabecular bone include conventional x-rays, magnification x-rays, high-resolution computed tomography (HRCT), and high-resolution MRI (MRI-HR).

High-resolution MRI (HR-MRI) techniques can provide three-dimensional information about cancellous bone in peripheral regions with a resolution of the order of trabecular dimensions (in-plane resolution: ~ 110 μm , section thickness: ~ 300 μm) [7–10]. Recent advances also allow imaging of the proximal femur, a major area of clinical interest, although the signal-to-noise ratio (SNR) and resolution (in-plane resolution: ~ 250 μm , slice thickness: ~ 500 μm) are lower than peripheral areas [11].

MRI scans can also be used to generate 3D bone geometry for finite element analysis (FEA) models. It is a numerical method that can be used to predict the mechanical response of a bone to stress. [12].

The scanning electron microscopy method allows us to estimate the pore size, shape and direction of trabeculae, identify their destruction, and evaluate the structure of bone collagen [13].

The method of peripheral quantitative CT (HR-pQCT) is also known, which is used for visualization of bone microstructure, but its spatial resolution is 200-500 microns [14].

The method of optical microscopy is based on histological preparations of trabecular bone tissue with post-traumatic changes in structure, studied under an optical microscope. Morphometric changes are

characterized by a decrease in the area of bone beams and a violation of the integrity of bone lacunae [13–15].

The method of multi-detector CT is widely used in clinical practice. However, the resolution of this method is 0.5-1 mm, while the dimensions of the bone trabecula are 0.25-0.7 mm and the distance between them is 0.1-1.0 mm [16].

Highlighting previously unsolved parts of a common problem. Purpose of work

Analysis of the literature showed that despite the variety of methods, there is no suitable method for assessing the bone structure with high sensitivity. It should also be noted that a specific and especially important task in the work is not only the analysis of the structure of bone tissue at the micro level, but a combination of this issue with pathological changes associated with the complexity of the course of oncological diseases.

Thus, due to the heterogeneous structure of the bone structure and the random location of metastatic lesions in them, the analysis of tomographic images is complicated. In this regard, the task of developing new methods for analyzing bone structures remains relevant.

Materials and methods

The material of the research is tomographic images of sections of the vertebrae L1-L5 (fig. 1).

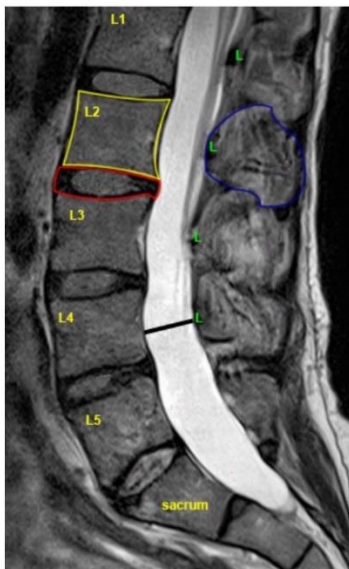


Fig. 1. MRI of the spine with selected areas of interest (vertebra L1-L5); sagittal T2-weighted MRI, middle section of the lumbar region

In the development of a tomographic image analysis system for multiple myeloma, one of the fundamental issues is the visual presentation of tomographic data. Therefore, for the purpose of expediency, two-dimensional visualization modules are provided.

Two-dimensional processing involves working with images of individual tomographic slices and includes

various types of brightness-contrast correction, methods of linear and nonlinear filtering of images, adjusted in accordance with user settings. Data processing, in addition to improving the visual perception of images, should provide the possibility of performing the segmentation procedure - highlighting areas in the image that belong to structures with common properties, which are chosen for tomographic images: intensity, configuration, size and localization.

According to the standard technique, magnetic resonance imaging (MRI) is performed in the sagittal and axial planes of the T2-weighted type, if necessary, supplemented by T1-weighted MRI in different planes, as well as MRI with fat suppression.

At the first stage, the image is analyzed from the point of view of subjective perception. The image has a normal distribution of the brightness of the elements and for the convenience of further calculations the normal distribution criterion is applied. The image quality is assessed by the degree of deviation of the real brightness distribution from the normal one. In addition to a quantitative assessment, this method allows you to obtain information about the presence and weight ratio of the brightness gradations of the image.

These transformations are carried out according to the expression (1):

$$L_{res} = \frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}}, \quad (1)$$

where L , L_{res} – an array of values, respectively, of the original and resulting images; L_{min} , L_{max} – respectively, the minimum and maximum values of the original image.

Transformations according to formula (1) are effective if the intensities of the pixels of potentially information areas are concentrated in a narrow dynamic range. If we apply these transformations to the original image, then we will not achieve the desired effect, since the histograms of its color components occupy the entire possible range.

Improving the visual quality of the original image can be achieved by modifying expression (1), i.e. to make stretching of dynamic range of intensities of image pixels nonlinear:

$$L_{res} = \left(\frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} \right)^\alpha, \quad (2)$$

where α – nonlinearity coefficient.

Further, at the second stage, due to the specific properties of tomographic images, filtration is applied using adaptive local filters (3). Mathematically, this filtration can be expressed as follows:

$$g(x, y) = f(x, y) - \frac{\delta_L^2}{\delta_L^2} [f(x, y) - m_L], \quad (3)$$

where $g(x, y)$ – filtered image in general; $f(x, y)$ – initial image; δ_L^2 – local variance in the S_{xy} ,

neighborhood, S_{xy} – rectangular neighborhood with dimensions $m \times n$ in the point (x, y) ; δ_{η}^2 – overall image noise variance; m_L – local mean in the S_{xy} neighborhood

At the third stage, you need to perform segmentation. We can use the k -means method. This method is one of the simplest and most common clustering methods if you know the number of classes to split data into. You can use this algorithm to segment medical images.

The k -means clustering algorithm is as follows:

a) N classes are created (N is the number of classes into which the data should be split). The centers of mass of the classes are initialized to a specific value. Can be initialized with random values;

b) the data that needs to be clustered are sequentially analyzed and belong to the class to which they are closest (according to the Euclidean distance and the center of mass);

c) the center of mass is recalculated for each class;

d) if in some class the center of mass is changed, then there is a transition to step "b";

e) based on the smallest distance of the center of mass of the cluster and the corresponding data, the data is assigned to a certain class.

Applying this method to the samples under study, we obtain the following results: fig. 2a shows an axial section of an MRI vertebra in normal conditions, and fig. 2b shows the result of its segmentation using the k -means method.



Fig. 2a. Computed tomogram of the lumbar spine, axial section, norm

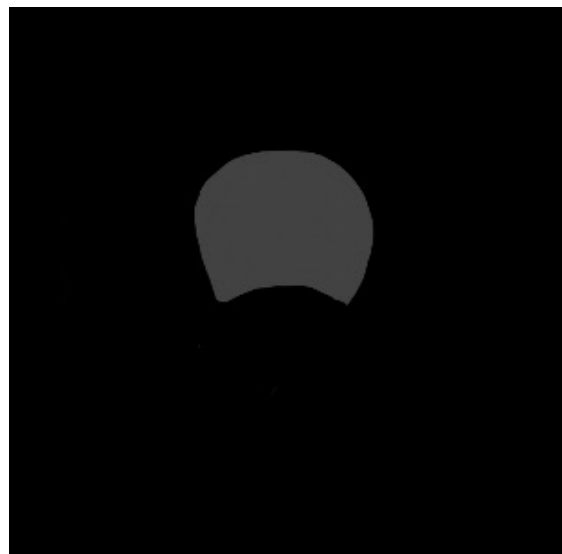


Fig. 2b. Result of fig. 2a segmentation by k -means method

As a result of segmentation, the region of interest shown in fig. 2b was obtained; this region covers the entire area of the bone marrow in the vertebra. The image is ready for the next stages of processing.

Next, we will carry out the same analysis for the sample with pathology shown in fig. 3a. The segmentation result in fig. 3b.

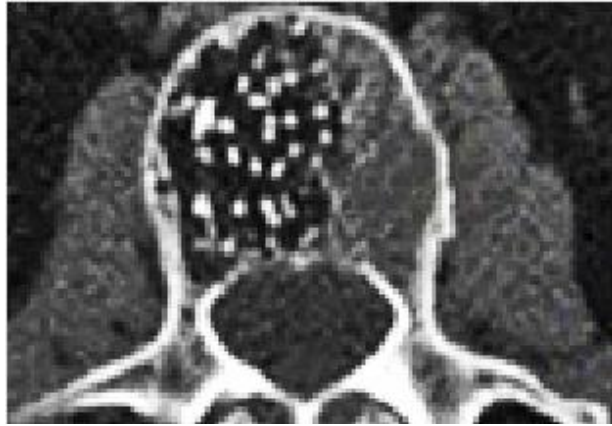


Fig. 3a. Computed tomogram of the lumbar spine, axial section, pathology

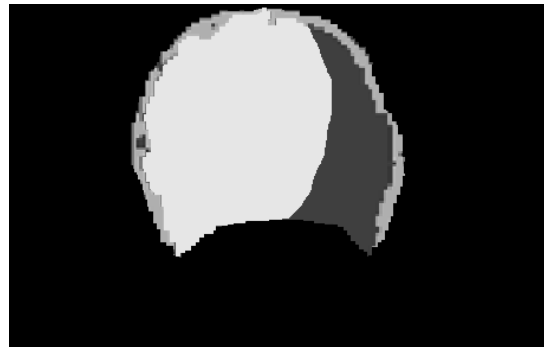


Fig. 3b. The result of segmentation of fig. 3a by the k-means method

On the tomogram shown in fig. 3a, the area with tissue structure disturbance is on the left. This condition is explained by the presence of bone metastasis, which destroys the trabecular structure of the spine. Fig. 3b shows the result of image segmentation 3a; the white segment is an area with a lesion that should be looked at during image analysis.

Since this study considers the principle of analyzing images obtained by both MRI and computed tomography, we present the results of segmentation of images of the lumbosacral spine obtained in both methods to illustrate the modality.

Fig. 4a shows a CT scan of the lumbosacral spine, normal. Fig. 4b shows the result of segmentation of this image by the k-means method.



Fig. 4a. CT scan of the lumbosacral region, norm



Fig. 4b. The result of segmentation of fig. 4a by the k-means method

For visual comparison, fig. 5a shows such an image, only obtained as a result of MRI. Fig. 5b shows, respectively, the result of its segmentation by the k-means method.

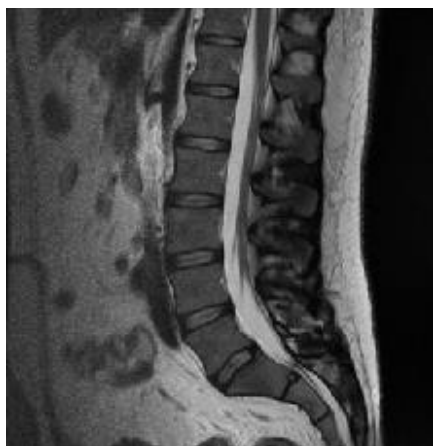


Fig.5a. MRI of the lumbosacral region, norm

Both imaging techniques, MRI and CT, have a very wide range of applications and are very popular. It is not entirely correct to compare these diagnostic methods, since they are based on different technological processes and use different approaches for tissue visualization. CT and MRI have their own advantages and disadvantages. The feasibility of using a particular technique is determined by the doctor, based on the goals and objectives of the study.

After the above steps have been completed, the image is ready for the next, fourth step, which consists in working directly with the areas of interest. In this work, the object for research is the affected vertebral bodies.

Cancer metastases in bone are characterized by damage to the bone tissue by cancer cells, which penetrate into it with the flow of blood and lymph from the primary tumor. In addition, these cancer cells can spread to other organs and tissues, forming metastases in them.

The main cells of bone tissue are osteoblasts, which are responsible for the formation of new cells and bone growth, and osteoclasts, which are responsible for the destruction and absorption of used bone cells.

When the bones are affected by metastases, the functions of the above cells are disrupted, and therefore, bone metastases, depending on the type of lesion, are divided into:

- osteolytic: when osteoclasts are damaged, bone thinning occurs, leading to pathological fractures under stress. With the progression of the disease, these signs may appear even with the slightest exertion (for example, when getting out of bed, when trying to take a step, etc.);

- osteoblastic: when osteoblasts are damaged, a pathological increase in bone tissue, the formation of growths and protrusions on the bone, limitation of joint mobility are diagnosed;

- mixed: damage to osteoblasts and osteoclasts. They are found most often in patients with bone metastases and are manifested by bone thinning and the appearance of new metastases.



Fig. 5b. The result of segmentation of fig. 5a by the k-means method

Radiographically, they appear as small foci of vacuum or larger foci of destruction with a homogeneous or cellular structure. The edges of the lesions are usually indistinct, without a sclerotic ring of the seal.

After completing the above steps, the image is ready for the main processing module. The main fifth stage is as follows: in the image without pathology, an area is highlighted so that the object of interest is located inside it. The selection area corresponds to the size of the vertebral body. A maximum intensity graph is then plotted over this area. Further, to compare the results, it is necessary to carry out the same steps for a sample with pathology. After that, for each of the cases, the area of the integral curve is calculated. With pathology, the area will be smaller. For further interpretation of the value of the area difference and the development of the algorithm, a coefficient characterizing the area defect is introduced. With the help of the value of this coefficient, it is possible to distribute patients according to the degree of complexity of the disease, and as a result, help the radiologist to select an individual treatment and further monitor the dynamics.

Research results and their discussion

The result of the work is the development of a method suitable for use in the analysis of bone tissue in pathology in the form of bone metastases. However, this method will also be useful in the further follow-up of the patient and response to therapy. It should also be noted that the results obtained in this study will be the basis for the further development of a method aimed at analyzing the microstructure of bone tissue, which will increase the accuracy of calculations.

Conclusions and prospects for further development

The relevance of the topic under study is of vital importance for a huge number of patients suffering from cancer. During the study, a method was developed for

processing and analyzing tomographic images, namely, bone structures, in the form of vertebrae, in patients with multiple myeloma. The obtained result makes it possible to develop the next analysis module aimed at the microstructure of bone tissue.

The results obtained are planned to be used in the future to describe the state of the vertebrae with pathologies and disorders. In the future, the development of an analysis method aimed at the microstructure of trabecular bone tissue, taking into account the presence of pathology.

References

1. "Center for Medical Statistics of the Ministry of Health of Ukraine" : website, available at :<http://medstat.gov.ua/ukr/main.html> (last accessed 1.02.2020).
2. Avrunin, O., Abramova, A. (2019), "The main signs of bone lesions in multiple myeloma", *Science and technology: zb. scientific works DVNZ "PDTU"*, Mariupol, No. 20, P. 174–181.
3. Bäuerle, T., Hillengass, J., Fechtner, K. et al. (2009), "Multiple myeloma and monoclonal gammopathy of undetermined significance: importance of whole-body versus spinal MR imaging", *Radiology*, No. 2 (252), P. 477–485.
4. Proskurina, M., Stegachev, S., Yudin, A. (2012), "Metastatic lesion of the vertebral body", *Medical imaging*, No. 2, P. 129–130.
5. Avrunin, O. (2009), "Experience in the development of a biomedical system of digital microscopy", *Applied radio electronics*, No. 1 (8), P. 46–52.
6. Kang, D. J., Lee, S. J., Na, J. E., Seong, M. J., Yoon, S. Y., Jeong, Y. W., Ahn, J. P., Rhyu, I. J. (2018), "Atmospheric scanning electron microscopy and its applications for biological specimens", *Microscopy Research and Technique*, Vol. 82, No. 1, P. 53–60.
7. Kim, G. J., Yoo, H. S., Lee, K. J., Choi, J. W., Hee, A. J. (2018), "Image of the micro-computed tomography and atomic-force microscopy of bone in osteoporosis animal model", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 18, No. 10, P. 6726–6731.
8. Avrunin, O. (2006), "Experience in software development for tomographic data visualization", *Bulletin of NTU "KhPI"*, No. 23, P. 3–8.
9. Choël, L., Last, D., Duboeuf, F., Seurin, M. J., Lissac, M., Briguet, A., Guillot, G., Choel, L., Last, D., Duboeuf, F., Seurin, M. J., Lissac, M., Briguet, A., Guillot, G. (2004), "Trabecular alveolar bone microarchitecture in the human mandible using high resolution magnetic resonance imaging", *Dentomaxillofacial Radiol*, No. 33 (3), P. 177–182.
10. Krug, R., Burghardt, A. J., Majumdar, S., Link, T. M. (2010), "High-Resolution Imaging Techniques for the Assessment of Osteoporosis", *Radiol. Clin. North Am.*, No. 48 (3), P. 601–621.
11. Chang, G., Deniz, C. M., Honig, S., Egol, K., Regatte, R. R., Zhu, Y., Sodickson, D. K., Brown, R. (2014), "MRI of the hip at 7T: feasibility of bone microarchitecture, high-resolution cartilage, and clinical imaging", *Magn. Reson. Imaging*, No. 39 (6), P. 1384–1393.
12. Magland, J. F., Rajapakse, C. S., Wright, A. C., Acciavatti, R., Wehrli, F. W. (2010), "3D fast spin echo with out-of-slab cancellation: a technique for high-resolution structural imaging of trabecular bone at 7 Tesla", *Magn. Reson. Med.*, No. 63 (3), P. 719–727.
13. Wegst, U. G. K., Bai, H., Saiz, E., Tomsia, A. P., Ritchie, R. O. (2015), "Bioinspired structural materials", *Nature Materials*, Vol. 14, P. 23–36.
14. Koga, D., Kusumi, S., Shodo, R., Dan, Y., Ushiki, T. (2015), "High-resolution imaging by scanning electron microscopy of semithin sections in correlation with light microscopy", *Microscopy*, Vol. 64, No. 6, P. 387–394.
15. Koga, D., Ushiki, T., Watanabe, T. (2017), "Novel scanning electron microscopy methods for analyzing the 3D structure of the Golgi apparatus", *Anatomical Science International*, Vol. 92, No. 1, P. 37–49.
16. Han, S. W., Tamaki, T., Adachi, T. (2015), "A novel osteoblast/osteocyte selection method in primary isolated chick bone cells by atomic force microscopy", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15, No. 5, P. 3923–3927.

Received 26.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Абрамова Ганна Арнольдівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри біомедицинської інженерії, Харків, Україна; email: hanna.abramova@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8911-8202>.

Абрамова Анна Арнольдівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри біомедицинської інженерії, Харків, Україна.

Abramova Hanna – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

Аврунін Олег Григорович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри біомедицинської інженерії, Харків, Україна; email: oleh.avrunin@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6312-687X>.

Аврунін Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедры биомедицинской инженерии, Харьков, Украина.

Avrunin Oleg – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine.

РОЗРОБКА МЕТОДУ АНАЛІЗУ ТОМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ КІСТКОВИХ СТРУКТУР

Предметом дослідження в статті є морфологічна структура кісткової тканини у поперековому відділі хребта, візуалізована томографією в сагітальній і аксіальній площинах. **Метою** роботи є створення найбільш інформативного методу дослідження

аналізу структури кісткової тканини з урахуванням патології у вигляді метастатичного ураження кісток. Це обумовлено тим, що виявлення патологічних процесів є однією з найважливіших задач обробки та аналізу зображень; при цьому рання діагностика різних патологій, включаючи рак, значно збільшує шанси відновлення пацієнтів **Завдання:** розглянути існуючі сучасні методи аналізу структури кісткової тканини, розробити і запропонувати метод виявлення патології кісткової тканини при множинній мієломі. Для розробки методів аналізу томографічних зображень при ураженні кісткової структури одним з основоположних питань є наочна візуалізація томографічних даних. При цьому доцільно передбачити модулі як двомірної, так і тримірної візуалізації з методами обробки і сегментації тіл хребців, а також корекції отриманих результатів в інтерактивному режимі. В роботі використовуються **методи** підвищення якості зображень, фільтрації із застосуванням адаптивних локальних фільтрів, методи сегментації і стереології, метод кластерного аналізу. **Результатом** роботи є отримання методу, придатного для використання в аналізі кісткової тканини з супутньою патологією у вигляді кісткових метастазів. Даний метод буде основою для подальшої розробки методу, спрямованого на аналіз мікроструктури кісткової тканини, що в разі збільшить точність розрахунків. **Висновки.** Актуальність досліджуваної теми має життєво важливе значення для величезної кількості пацієнтів, які страждають на онкозахворювання. У процесі дослідження було розроблено алгоритми обробки і аналізу вхідних зображень з урахуванням модальності вхідних даних. Це дає можливість розробляти наступний етап аналізу, спрямований на мікроструктуру кісткової тканини.

Ключові слова: множинна мієлома; обробка зображень; пухлина; ураження кісток; рання діагностика; сегментація зображень; структура кістки; фільтрація зображень.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСТНЫХ СТРУКТУР

Предметом исследования в статье является морфологическая структура костной ткани в поясничном отделе позвоночника, визуализированная томографией в сагиттальной и аксиальной плоскостях. **Целью** работы является создание наиболее информативного метода исследования для анализа структуры костной ткани с учетом патологии в виде метастатического поражения костей. Это обосновано тем, что обнаружение патологических процессов является одной из важнейших задач обработки и анализа изображений; при этом ранняя диагностика различных патологий, включая рак, значительно увеличивает шансы восстановления пациентов **Задачи:** рассмотреть существующие современные методы анализа структуры костной ткани, разработать и предложить метод выявления патологии костной ткани при множественной миеломе. Для разработки методов анализа томографических изображений при поражении костной структуры одним из основополагающих вопросов является наглядная визуализация томографических данных. При этом целесообразно предусмотреть модули как двухмерной, так и трехмерной визуализации с методами обработки и сегментации тел позвонков, а также коррекции получаемых результатов в интерактивном режиме. В работе используются **методы** повышения качества изображений, фильтрации с применением адаптивных локальных фильтров, методы сегментации и стереологии, метод кластерного анализа. **Результатом** работы является получение метода, пригодного для использования в анализе костной ткани с сопутствующей ее патологией в виде костных метастазов. Данный метод будет основой для дальнейшей разработки метода, направленного на анализ микроструктуры костной ткани, что в разы увеличит точность расчетов. **Выводы.** Актуальность исследуемой темы имеет жизненно важное значение для огромного количества пациентов, страдающих онкозаболеваниями. В процессе исследования были разработаны алгоритмы обработки и анализа входных изображений с учетом модальности входных данных. Это дает возможность разрабатывать следующий этап анализа, направленный на микроструктуру костной ткани.

Ключевые слова: множественная миелома; обработка изображений; опухоль; поражение костей; ранняя диагностика; сегментация изображений; структура кости; фильтрация изображений.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Абрамова Г. А., Аврунін О. Г. Розробка методу аналізу томографічних зображень кісткових структур. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.115>.

Abramova, H., Avrunin, O. (2020), "Development of a method for analyzing tomographic images of bone structures", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.115>.

O. KOLOMIITSEV, V. PUSTOVAROV

FORMAL REPRESENTATION OF THE PIXEL-BY-PIXEL CLASSIFICATION PROCESS USING A MODIFIED WANG-MENDEL NEURAL NETWORK

The **subject** of research in the article are the processes of formalization of the pixel-by-pixel classification problem using the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel for segmentation of urban structures in the automated analysis of space and aerial photographs of the city. The **purpose** of the work is to develop the architecture of the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel as a classifier for image segmentation to increase the values of efficiency and reliability of urban monitoring. The following **tasks** are solved in the article: analysis of possibilities of Wang-Mendel network modification based on representation of membership functions in terms of interval fuzzy sets of the second type (IFST2) and realization of phasing, aggregation and activation operations using IFST 2 operations, development of the architecture of the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel as a classifier for image segmentation. The following **methods** and **models** are used: methods and models of fuzzy set theory (fuzzy Wang-Mendel neural network, interval fuzzy sets of the second type), methods and models of deep learning methodology (convolutional neural network for image segmentation (auto coder) U-net). The following results were obtained: the use of a fuzzy Wang-Mendel neural network as a classifier of a modified U-Net decoder based on the representation of membership functions in IFST2 and the implementation of phasing, aggregation and activation operations using operations on IFST2; introduction of an additional operation of type reduction in the phase of dephasification of the original variable based on the classical method of the center of gravity (centroid); introduction of several outputs of the network to recognize the appropriate number of classes (subclasses) of the subject area. To do this, the third layer is represented as a set of several pairs of adder neurons, and the fourth implements several normalizing neurons, the number of which corresponds to the number of pairs of the third layer. **Conclusions:** the use in the architecture of a convolutional neural network for segmentation of U-net images as a classifier of the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel will provide an additional increase in the accuracy of pixel-by-pixel classification of certain objects. Instead of fuzzy sets of the first type (FST1) in this network IFST2 are used. The proposed IFST2, on the one hand, provide a formalization of more additional degrees of uncertainty compared to FST1, on the other hand, are "implemented" in the development of fuzzy systems (models) and have less computational complexity, compared to fuzzy sets of the second type (FST2).

Keywords: segmentation; classification; fuzzy set of the second type; fuzzy neural network; production model.

Introduction

At present, the rapid growth of urban areas requires the improvement of management systems. In order to effectively manage a modern city, it is necessary to obtain timely data, which is ensured by conducting appropriate monitoring.

The main requirements for monitoring are efficiency and reliability in obtaining information. It is possible to increase the value of efficiency and reliability of urban monitoring through the use of data from automated analysis of space and aerial photographs of the city.

When monitoring, the most important thing is to identify changes in the urban environment and analyze the causes of their occurrence. The most common changes in the urban environment that can be monitored by automated analysis of space and aerial photographs are the demolition and erection of buildings, changes in the area of greenery, construction or expansion of roads, detection of illegal construction, etc.

The first step in the analysis of space and aerial photographs, with automated monitoring of the urban environment, it is possible to consider the stage of automatic recognition of various objects in the field. The most effective for solving the problems of semantic segmentation in the framework of the theory of deep learning are various implementations of the auto encoder.

In this study, the U-Net network is used as the basic architecture of a deep neural network for the segmentation of urban structures in digital space and aerial photographs in automated monitoring of the urban environment. The classifier of the classic U-Net are fully connected layers,

which are converted into a convolution.

However, studies show that fuzzy neural networks provide higher recognition accuracy compared to classical fully connected networks [1].

Thus, an actual scientific task is the development of neural network architecture, as a classifier of which it is possible to use a modified fuzzy Wang-Mendel neural network [1].

Analysis of publications

Currently, there are a large number of publications on the development of neural network architecture for the segmentation of objects in images for different purposes [4-12]. At the same time, the issues of integrated application of the modified fuzzy Wang-Mendel neural network for segmentation of urban structures in digital space and aerial photographs in automated monitoring of the urban environment, including the use of fuzzy neural networks, are not actually considered and require further research.

The aim of the article is to develop the architecture of the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel as a classifier for image segmentation and increase the values of efficiency and reliability of urban monitoring.

Main part

The classical fuzzy neural production network of Wang-Mendel implements a fuzzy production model according to the rules, the conditions and conclusions of

which are formed on the basis of a fuzzy set of type 1. In this case, the membership functions of all fuzzy sets are Gaussian. In this regard, the output signal of the Wang-Mendel network can be calculated according to the expressions [13 – 15]:

$$y_{class}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M c_i \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \mu_{ij}(x_j)}, \quad (1)$$

$$\mu_{ij}(x_j) = \exp \left[- \left(\frac{x_j - a_{ij}}{b_{ij}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

where x_j is an input signal; c_i is the center of the width of the Gaussian function, which represents the membership function of a fuzzy set of rule conclusions; μ_{ij} is a Gaussian function with the parameters of the mathematical expectation, which determines the center a_{ij} , and the scatter parameters, which are determined by the standard deviation, which represents the membership function of a fuzzy set of conditions of the rules; N – the number of input network variables; M – the number of neurons in the first layer that realizes the fuzzification of input variables.

Directly, the structure of the Wang-Mendel network is a four-layer neural network in which:

- in the first layer the fuzzification of input variables is performed;
- in the second layer the aggregation of activation values of the fuzzy production rule condition is carried out;
- in the third layer activation of conclusions of rules of withdrawal is carried out;
- in the fourth layer, consisting of one neuron, dephasification of the output variable and the formation of the output signal.

According to the network structure and expressions (1), (2), the first and third layers are parametric.

The fuzzy inference algorithm, which is implemented by this fuzzy neural production network, is based on the following main provisions:

- input variables are clear;
- the membership functions of all fuzzy sets are represented by the Gaussian function;
- accumulation of activated rules is not carried out.

Modification of the classical Wang-Mendel network to solve the problem for pixel-by-pixel classification of certain objects is carried out with the following help:

1) representation of membership functions in terms of IFST2 and implementation of fuzzification, aggregation and activation operations using operations on IFST2;

2) the introduction of an additional type reduction operation in the phase of dephasification of the original variable based on the classical method of the center of gravity (centroid);

3) introduction of several network outputs to recognize the appropriate number of classes (subclasses) of certain objects. To do this, the third layer is presented

as a set of several pairs of neurons-adders, and the fourth implements several neurons-normalizers, the number of which corresponds to the number of pairs of the third layer.

In the general case, the fuzzy production rule for the modified fuzzy Wang-Mendel neural production network can be represented as follows [14]:

$$R: \text{IF } \beta_1 \text{ is } \alpha_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \beta_n \text{ is } \alpha_n \text{ THEN } \beta_{n+1} = c_j^p, \quad (3)$$

where β_1 is the name of the input data (in the form of a clear (in some cases) or linguistic value (LV)) specified by the tuple $\langle \beta_1, T_i, X_i, M_i \rangle, i=1, \dots, n$ and n is a number of input variables; $T_i = \{a_i\}$ – a set of values (terms) of the input LV of the rule R , each of which is the name of a fuzzy value (FV) to describe the values of the recognition parameters of compact (point) objects of air reconnaissance; X_i – the range of values of the FV, the names of which are included in T_i , M_i – semantic procedure that matches fuzzy set to the value of the LV. The syntactic procedure of generating new values for LV G_i is not used, because all LV values within the proposed approach are determined at the stage of formation of the rule base; α_i is the value of the term of the input LV in the form of the name FV (linguistic value of the object recognition parameter), given by the tuple $\langle \alpha_i, X_i, \tilde{A} \rangle, i=1, \dots, n$, $\tilde{A} \subseteq X_i; \tilde{A} = \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}$ – IFST2 on the set X_i , which describes the possible values that can take FV $\alpha_i \in T_i; \beta_{n+1}$ is the name of the original LV, given by the tuple $\langle \beta_{n+1}, T_{n+1}, Y, M_{n+1} \rangle, Y$ is the range of values of terms, the names of which are included in T_{n+1} , representing the number of the recognized class (subclass) of the object; M_{n+1} is a semantic procedure that corresponds to the value of LV one-point fuzzy set; c_j^p is the value of the term source LV in the form of the name or class number from the set $C_p = \{c_j^p\}, j=1, \dots, m$, where m is the number of classes (subclasses) of compact (point) objects.

Formally, IFST2 means a fuzzy set of type 2, or all secondary degrees $f_x(u) = \mu_{\tilde{A}}(x, u)$ are equal to 1 and are represented as follows:

- in the case of continuous (infinite) X and J_x , as [15]:

$$\tilde{A} = \int_x \int_u \frac{1}{(x, u)}, u \in J_x \subseteq U = [0, 1], x \in X, \quad (4)$$

or:

$$\tilde{A} = \int_x \left[\frac{\int_u \frac{1}{u}}{x} \right], u \in J_x \subseteq U = [0, 1], x \in X; \quad (5)$$

- in the case of discrete (finite) X and J_x , as:

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^N \frac{\left[\sum_{i=1}^{M_j} \frac{1}{u_i} \right]}{x_j}, u \in J_x \subseteq U = [0, 1], x \in X \quad (6)$$

or as a set:

$$\tilde{A} = \{((x, u), 1) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq U = [0, 1]\}, \quad (7)$$

where x is a first variable $x \in X$; X is the universal set of objects of the visual field; u is the second variable $u \in J_x$; J_x is a primary affiliation $J_x \subseteq U$; U – area of definition of primary affiliation $U = [0, 1]$; $f_x(u) = \mu_{\tilde{A}}(x, u)$ – secondary degree, which is equal to 1.

There are two main methods of formal representation of IFST2 – methods of vertical and wavy section [8, 9]. To represent the membership functions of the modified fuzzy Wang-Mendel neural production network in terms of IFST2, it is possible to consider the basic concept of the occupied area of uncertainty.

The aggregation of all IFST2 primers is the footprint of uncertainty (*FOU*) and can be represented as [8, 9]:

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u); u \in J_x \subseteq [0, 1]\}. \quad (8)$$

The definition of *FOU* for IFST2 and total FST2 is the same. However, for IFST2 the occupied area of uncertainty is of particular importance. This is due to the fact that, since the secondary stages of IFST2 do not transmit new information about the additional stages of uncertainty, it can be assumed that the *FOU* is a complete description of IFST2.

For IFST2, the primary membership can be represented as follows [8, 9]:

$$J_x = [\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)], \quad (9)$$

where $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ – the value of the upper membership function denoted as *UMF*(\tilde{A}) or $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$; $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ – the value of the lower membership function, denoted as *LMF*(\tilde{A}) or $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$.

The nested interval FST2 \tilde{A}_e for continuous (infinite) sets X and J_x is a set in which each primary variable $x \in X$ has only one secondary variable $u \in J_x$ (ie one value of the primary membership) with a corresponding secondary degree equal to 1, that is:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \frac{\left[\frac{1}{u} \right]}{x}, u \in J_x \subseteq U = [0, 1]. \quad (10)$$

A nested FST1 A_e with power N for discrete (finite) sets X and J_x is a set of pairs, where the first elements of the pair represent the corresponding primary variables,

and the second elements are exactly the same value as $J_{x_1}, J_{x_2}, \dots, J_{x_N}$, namely u_1, u_2, \dots, u_N , i.e.:

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^N \frac{u_j}{x_j}, u_j \in J_{x_j} \subseteq U = [0, 1], x_j \in X. \quad (11)$$

Comparing expressions (10) and (11), it is possible to represent the nested IFST2 through the elements of the nested FST1 as [8, 9]:

$$\tilde{A}_e = \frac{1}{A_e}. \quad (12)$$

Representation Theorem is considered in [8, 9], according to which IFST2 \tilde{A} can be represented as a union of IFST2 nested in it, i.e.:

$$\tilde{A} = \bigcup_{j=1}^n \tilde{A}_e^j, \quad (13)$$

where n – the number of nested IFST2 (\tilde{A}_e^j is represented according to the expression (9)) $n = \prod_{i=1}^N M_i$; N – the number of values to which X is sampled; M_i – the number of values to which J_i is sampled.

Representation of IFST2 as expression (13) is a representation of IFST2 by the wavy section.

By analogy with expression (13), the occupied area of uncertainty *FOU* can be represented as:

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{j=1}^n A_e^j. \quad (14)$$

By expression (14) and taking into account expression (13), IFST2 can be represented as follows:

$$\tilde{A} = \bigcup_{j=1}^n \frac{1}{A_e^j} = \frac{1}{\bigcup_{j=1}^n A_e^j} = \frac{1}{FOU(\tilde{A})} = \frac{1}{\bigcup_{\forall x \in X} [\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)]}. \quad (15)$$

In fig. 1 presents the final structure of the modified fuzzy Wang-Mendel neural network based on the use of IFST2 and with k outputs by the number of recognized classes (subclasses) of objects.

In this case, the output signal of the modified Wang-Mendel network can be calculated by the following series of expressions:

$$\begin{aligned} \bar{y}_{class}(x) &= \frac{\sum_{j=1}^M \bar{c}_i \prod_{j=1}^N (x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \bar{\mu}_{ij}(x_j)}, \\ \underline{y}_{class}(x) &= \frac{\sum_{j=1}^M \underline{c}_i \prod_{j=1}^N \underline{\mu}_{ij}(x_j)}{\sum_{i=1}^M \prod_{j=1}^N \underline{\mu}_{ij}(x_j)}. \end{aligned} \quad (16)$$

$$Y = J_x^{class} = \left| \bar{y}_{class}(x), \underline{y}_{class}(x) \right|, \quad (17)$$

where x_j is an input signal; $\bar{c}_i, \underline{c}_i$ is the center of the width of the upper and lower Gaussian function, which represents the membership function of a fuzzy set of rule conclusions; $\bar{\mu}_{ij}, \underline{\mu}_{ij}$ - the values of the upper and lower membership functions of the prerequisites of the rules; J_x^{class} - the primary affiliation of the recognized class (subclass).

Thus, according to the representative theorem (by expression (15)), IFST2 is the union of all nested FST1,

which cover its occupied area of uncertainty. The importance of this conclusion is as follows:

- first, the thesis that IFST2 is fully described (determined) by its FOU is confirmed;

- secondly, it is possible to use as operations on IFST2 the corresponding operations on FST1, which greatly simplifies the computational complexity of IFST2 for their implementation within the framework of the corresponding fuzzy logic systems. Therefore, the membership functions are used, which are fully described by the corresponding FOU, in which, in turn, the upper and lower limits can be represented by the Gaussian function according to the expression (2).

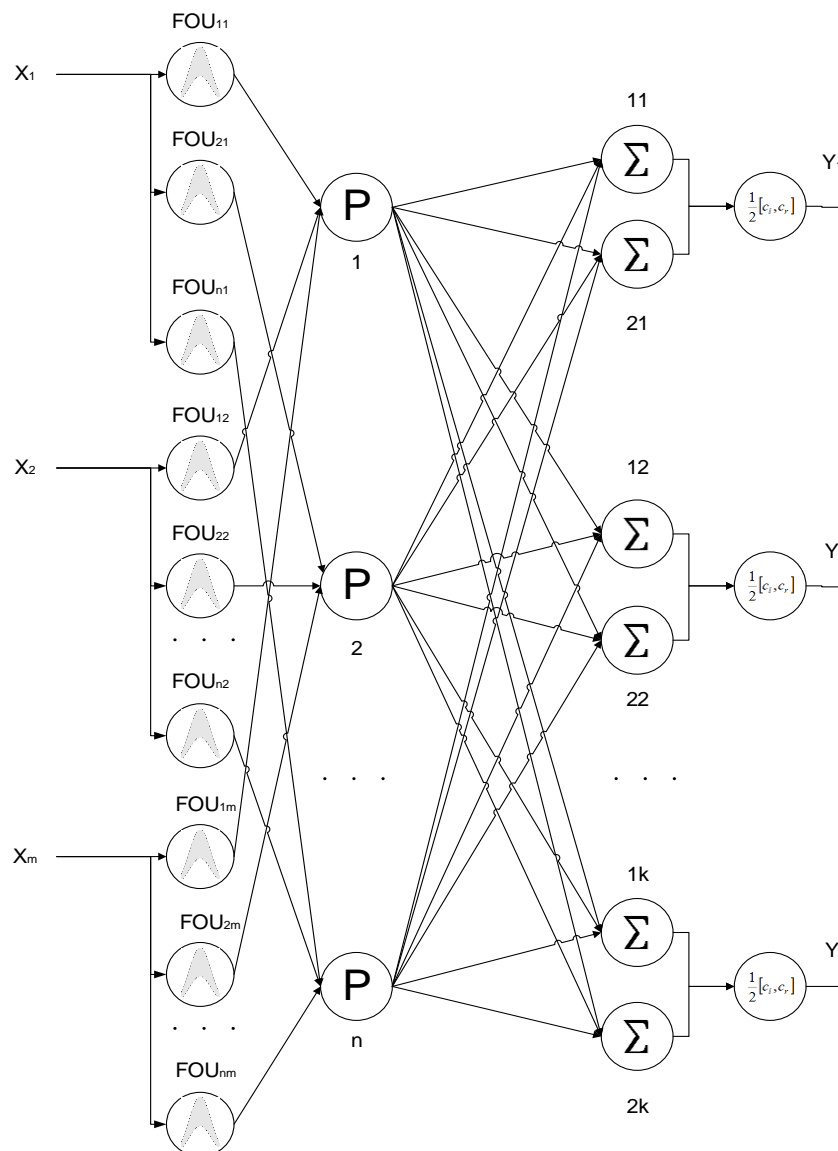


Fig. 1. The structure of the modified fuzzy neural production network of Wang-Mendel based on IFST2

This study identified two classes for recognition: urban and non-urban. Semantic segmentation is used as a basic method of recognition. Semantic (or semantic) image segmentation is the selection of areas in the image, each of which corresponds to a certain feature. In general, the tasks of semantic segmentation are difficult to algorithmize, so for image segmentation are now widely

used deep neural networks, which show a fairly high accuracy of recognition of segmentation objects (this is a network based on U-Net auto encoder, where the classifier is proposed to use modified fuzzy Wang-Mendel neural network). The input data for the corresponding network are digital images of the urban environment, and the output data are considered to be the corresponding

segmented images with the selection of pixels corresponding to two classes: urban structure and non-structure.

Conclusions

Thus, the architecture of the modified convolutional neural network with respect to image segmentation (auto coder) U-net is proposed. In this case, as a classifier, the use of a modified fuzzy Wang-Mendel neural production network with respect to the pixel-by-pixel classification of

certain objects is proposed. Also, IFST2 is used in this network instead of FST1.

The proposed IFST2, on the one hand, provide a formalization of more additional degrees of uncertainty compared to FST1, on the other hand, are "implemented" in the development of fuzzy systems (models) and have less computational complexity compared to FST2.

The use of the developed architecture will increase the accuracy of segmentation of urban structures on digital space and aerial photographs with automated monitoring of the urban environment.

References

- Mishchenko, V. A. Mishchenko, V. A., Astakhova, I. F., Krasnoyarov, A. A. (2012), "Learning algorithm for the Wang-Mendel fuzzy neural network for recognizing handwritten characters in the work of the postal service" ["Algoritm obucheniya nechetkoy neyronnoy seti Vanga-Mendelya dlya raspoznavaniya rukopisnykh simvolov v rabote pochtovoy sluzhby"], *Bulletin of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies*, No. 1, P. 141–146.
- "Semantic segmentation: a quick guide" ["Semanticheskaya segmentatsiya: kratkoye rukovodstvo"], available at : <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/semantic-segmentation/>.
- Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015), "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation", *In International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*, Springer, P. 234–241.
- Kuksa, P. P. "Analysis of neural network-fuzzy models" ["Analiz neyrosetevykh-nechetkikh modeley"], *Moscow State Technical University*, available at : <http://pkuksa.org/~pkuksa/publications/nfm-analysis-c-0-sept-03.pdf>
- Kruglov, V. V., Dli, M. I., Golunov, R. Yu. (2001), *Fuzzy logic and artificial neural networks [Nechetkaya logika i iskusstvennyye neyronnyye seti]*, Fizmatlit, 224 p.
- Olizarenko, S. A., Kapranov, V. A., Safronov, R. V. (2016), "Development of a fuzzy convolutional neural network architecture for the recognition of compact (point) objects in a digital aerial photograph" ["Rozrobka arkhitektury nechitkoyi zhortochnoyi neyronnoyi merezhi dlya rozpiznavannya kompaktnykh (tochkovykh) ob'yektiv na tsyfrovomu aerofotoznimku"], *Systems of Arms and Military Equipment*, Kharkiv, HUPS, Issue 4 (48), P. 38–41.
- Ivanov, E. S., Tishchenko, I. P., Vinogradov, A. N. (2019), "Segmentation of multispectral images using convolutional neural networks" ["Segmentatsiya mul'tispektral'nykh snimkov s primeneniem svortochnykh neyronnykh setey"], *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, Vol. 16, No. 1, P. 25–34.
- Soloviev, R. A., Telpukhov, D. V., Kustov, A. G. (2017), "Automatic segmentation of satellite images based on a modified convolutional neural network UNET" ["Avtomaticheskaya segmentatsiya sputnikovykh snimkov na baze modifitsirovannoy svortochnoy neyronnoy seti UNET"], *Engineering Bulletin of the Don*, No. 4, available at : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4433
- Long, J., Shelhamer, E., Darrell, T. (2015), "Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation", *Computer Vision and Pattern Recognition (cs.CV)*, available at : <https://arxiv.org/abs/1411.4038>
- Gordienko, A. S. (2015), "The use of index images for detecting changes in space images of different times" ["Primeneniye indeksnykh izobrazheniy pri vyyavlenii izmeneniy po raznovremennym kosmicheskim snimkam"], *Interexpo GEO-Siberia-2015. XI Int. scientific. Congr. : Int. scientific. conf. "Remote sensing methods of the Earth and photogrammetry, environmental monitoring, geocology": collection of articles. materials in 2 volumes (Novosibirsk, April 13-25, 2015)*, Novosibirsk : SGUGiT, Vol. 1, P. 67–70.
- Gavrilova, T. A., Khoroshevsky, V. F. (2000), *Knowledge bases of intelligent systems [Bazy znaniy intellektual'nykh sistem]*, SPb. : Peter, 384 p.
- Iskander, Yu. M. (2003), *Creation of knowledge bases of intelligent systems [Sozdaniye baz znaniy intellektual'nykh sistem]*, Ministry of Defense of the Russian Federation, 233 p.
- Milletari, F., Navab, N., Ahmadi, S. (2016), "V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation", *2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV)*, Stanford, CA, P. 565–57.
- Takagi, T., Sugeno, M. (1985), "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 15, No. 1, P. 116–132.
- Mendel, J. M., Hagsras, H., John, R. I. "Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems", *IEEE CIS Standards Committee*, available at : <http://iee-cis.org/technical/standards>.

Received 03.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Коломійцев Олексій Володимирович – Заслужений винахідник України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, Харків, Україна; email: Alexus_k@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>.

Коломійцев Алексей Владимирович – Заслуженный изобретатель Украины, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры вычислительной техники и программирования, Харьков, Украина.

Kolomiitsev Oleksii – Honored Inventor of Ukraine, Doctor of Sciences (Engineering), Senior Research, National Technical University is the "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Computing Engineering and Programming, Kharkiv, Ukraine.

Пустоваров Володимир Володимирович – здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук, Харківське представництво генерального замовника – Державне космічне агентство України, начальник групи, Харків, Україна; email: pustovarov78volodymyr@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3944-5771>.

Пустоваров Владимир Владимирович – соискатель научной степени кандидата технических наук, Харьковское представительство генерального заказчика – Государственное космическое агентство Украины, начальник группы, Харьков, Украина.

Pustovarov Volodymyr – Bread-Winner of Scientific Degree of PhD of Engineering Sciences, Kharkov Representative Office of General Customer – The State Space Agency of Ukraine, Chief of Group, Kharkiv, Ukraine.

ФОРМАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОПКСЕЛЬНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ВАНГА-МЕНДЕЛЯ

Предметом дослідження в статті є процеси формалізації задачі попиксельної класифікації з використанням модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя для сегментації міських будов при автоматизованому аналізі космічних та аерофотознімків території міста. **Мета** роботи – розробка архітектури модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя у якості класифікатора для сегментації зображень для підвищення значень оперативності та достовірності міського моніторингу. В статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз можливостей модифікації мережі Ванга-Менделя на основі подання функцій приналежності в термінах інтервальних нечітких множин другого типу (ІНМТ2) і реалізація операцій фазифікації, агрегування і активації з використанням операцій на ІНМТ2, розробка архітектури модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя у якості класифікатора для сегментації зображень. Використовуються такі **методи та моделі**: методи та моделі теорії нечітких множин (нечітка нейронна мережа Ванга-Менделя, інтервальні нечіткі множини другого типу), методи та моделі методології глибокого навчання (згортова нейронна мережа для сегментації зображень (автокодувальник) U-net). Отримано наступні **результати**: запропоновано використання нечіткої нейронної мережі Ванга-Менделя в якості класифікатора модифікованого декодера U-Net на основі подання функцій приналежності в ІНМТ2 і реалізація операцій фазифікації, агрегування і активації з використанням операцій на ІНМТ2; введення додаткової операції приведення типу в шарі дефазифікації вихідної змінної на основі класичного методу центру тяжіння (centroid); введення декількох виходів мережі для розпізнавання відповідної кількості класів (підкласів) предметної області. Для цього третій шар представляється як набір з декількох пар нейронів суматорів, а четвертий реалізує кілька нейронів-нормалізаторів, кількість яких відповідає кількості пар третього шару. **Висновок**: застосування у архітектурі згортової нейронної мережі для сегментації зображень U-net у якості класифікатора модифікованої нечіткої нейронної продукційної мережі Ванга-Менделя забезпечить додаткове підвищення точності попиксельної класифікації визначених об'єктів. Замість нечітких множин першого типу (НМТ1) в даній мережі використовуються ІНМТ2. Запропоновані ІНМТ2, з одного боку, забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності в порівнянні з НМТ1, з іншого боку, є такими, що "реалізуються" при розробці нечітких систем (моделей) і мають меншу обчислювальну складність, у порівнянні з нечіткими множинами другого типу (НМТ2).

Ключові слова: сегментація; класифікація; нечітка множина другого типу; нечітка нейронна мережа; продукційна модель.

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОПИКСЕЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ВАНГА-МЕНДЕЛЯ

Предметом исследования в статье являются процессы формализации задачи попиксельной классификации с использованием модифицированной нечеткой нейронной продукционной сети Ванга-Менделя для сегментации городских строений при автоматизированном анализе космических и аерофотоснимков территории города. **Цель** работы – разработка архитектуры модифицированной нечеткой нейронной продукционной сети Ванга-Менделя в качестве классификатора для сегментации изображений для повышения значений оперативности и достоверности городского мониторинга. В статье решаются следующие **задачи**: анализ возможностей модификации сети Ванга-Менделя на основе представления функций принадлежности в терминах интервальных нечетких множеств второго типа (ИНМТ2) и реализация операций фазификации, агрегирования и активации с использованием операций на ИНМТ2, разработка архитектуры модифицированной нечеткой нейронной продукционной сети Ванга-Менделя в качестве классификатора для сегментации изображений. Используются такие **методы и модели**: методы и модели теории нечетких множеств (нечеткая нейронная сеть Ванга-Менделя, интервальные нечеткие множества второго типа), методы и модели методологии глубокой учебы (сверточная нейронная сеть для сегментации изображений (автокодировщик) U-Net). Получены следующие **результаты**: предложено использование нечеткой нейронной сети Ванга-Менделя в качестве классификатора модифицированного декодера U-Net на основе представления функций принадлежности в ИНМТ2 и реализация операций фазификации, агрегирования и активации с использованием операций на ИНМТ2; введение дополнительной операции приведения типа в слое дефазификации исходной переменной на основе классического метода центра тяжести (centroid); введение нескольких выходов сети для распознавания соответствующего количества классов (подклассов) предметной области. Для этого третий слой представляется как набор из нескольких пар нейронов сумматоров, а четвертый реализует несколько нейронов-нормализаторов, количество которых отвечает количеству пар третьего слоя. **Вывод**: применение в архитектуре сверточной нейронной сети для сегментации изображений U-Net в качестве классификатора модифицированной нечеткой нейронной продукционной сети Ванга-Менделя обеспечит дополнительное повышение точности попиксельной классификации определенных объектов. Вместо нечетких множеств первого типа (НМТ1) в данной сети используются ИНМТ2. Предложены ИНМТ2, с одной стороны, обеспечивают формализацию большего количества дополнительных степеней неопределенности по сравнению с НМТ1, с другой стороны,

являются такими, которые "реализовываются" при разработке нечетких систем (моделей) и имеют меньшую вычислительную сложность по сравнению с нечеткими множествами второго типа (НМТ2).

Ключевые слова: сегментация; классификация; нечеткое множество второго типа; нечеткая нейронная сеть; продукционная модель.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Коломійцев О. В., Пустоваров В. В. Формальне представлення процесу попіксельної класифікації з використанням модифікованої нейронної мережі Ванга-Менделя. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 122–128. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.1.122>.

Kolomiitsev, O., Pustovarov, V. (2020), "Formal representation of the pixel-by-pixel classification process using a modified Wang-Mendel neural network", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 122–128. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.1.122>.

УДК 536.532

DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.129>

В. В. КОЧАН

ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ ТЕРМОПАР НА РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Предметом дослідження у статті є високоточні вимірювання температури термопарами, електроди яких деградували через тривалу дію високої температури при експлуатації. Швидкість деградації приблизно пропорційна температурі сталі експлуатації ділянок електродів термопар та часу експлуатації. Деградація є причиною двох видів похибки – від дрейфу функції перетворення (її поступової зміни протягом часу експлуатації) та від набутої термоелектричної неоднорідності електродів термопар (проявляє себе як зміна функції перетворення термопар при зміні профілю температурного поля навіть при сталих температурах робочого та вільних кінців). **Метою** статті є дослідження методу підвищення точності вимірювання температури термопарами, що мають значну, набуту у процесі експлуатації, термоелектричну неоднорідність. Мета досягається шляхом стабілізації профілю температурного поля вздовж електродів термопар, тоді похибка від їх набутої термоелектричної неоднорідності не може себе проявити. **Завдання:** оцінка похибок вимірювання температури за допомогою термопар, розроблення методу підвищення точності вимірювання температури неоднорідними термопарами, засобу стабілізації профілю температурного поля, методів керування профілем температурного поля та експериментальні дослідження пропонує методів керування. Використовуються загальновідомі **методи:** конструювання обладнання із заданими параметрами та обмеженнями, обчислення шляхом рішення системи лінійних рівнянь, формування необхідної функціональної залежності за допомогою нейронної мережі, експериментальні дослідження. Отримано такі **результати.** Стабілізація профілю температурного поля дає змогу зменшити вплив набутої термоелектричної неоднорідності термопар, яка за даними літератури, може сягати 11°C, до рівня 1,3°C. Показано, що розроблений засіб стабілізації профілю температурного поля – багатозонна трубчаста піч – через тісний тепловий зв'язок між зонами, вимагає багатоканального регулятора, не схильного до самозбудження. Запропоновано два методи керування профілем температурного поля – на основі рішення системи лінійних рівнянь та нейромережевий метод, у якому нейронна мережа навчається безпосередньо на багатозонній печі. **Висновки.** Як показали проведені експериментальні дослідження, пропонує методи не дають змоги похибки від набутої термоелектричної неоднорідності термопар проявити себе, що забезпечує можливість підвищення точності та метрологічної надійності вимірювання температури існуючими типами термопар.

Ключові слова: термопара; похибка; термоелектрична неоднорідність термопар; багатозонний об'єкт; керування температурою.

Вступ

Розвиток промисловості у рамках концепції четвертої промислової революції [1] вимагає вдосконалення технологічних процесів та обладнання для їх проведення. Одною з ключових ланок у цьому грає вдосконалення вимірювального обладнання. А вже давно у вимірювальних каналах промислових вимірювальних систем домінує похибка сенсорів [2]. Прикладом можуть бути прилади і системи вимірювання температури за допомогою термоелектричних перетворювачів (ТЕП), чутливими елементами яких є термопари (ТП) [3]. Успіхи мікроелектроніки за останні десятиліття дали змогу підвищити точність вимірювання термо-е.р.с. у десятки разів, а похибки ТП за цей час не змінилися [4]. Це підтверджує випуск Європейською асоціацією національних метрологічних інститутів ЄВРАМЕТ спеціальних дорожніх карт [5, 6], де підкреслено необхідність підвищення єдності температурних вимірювань шляхом створення ТП, які мають вищу точність і метрологічну надійність.

Похибки вимірювання температури за допомогою термопар

При вимірюванні температур вище 600°C ТП все ще залишаються найбільш поширеними сенсорами, хоча вони мають ряд недоліків, зокрема, надто велику для багатьох технологічних процесів похибку [7].

Вона в десятки разів перевищує похибку кращих вимірювальних каналів [8 – 10]. Основними похибками ТП є:

- значні початкові відхилення функції перетворення (ФП) ТП від номінальної – для поширених ТП типу ХА (К) до 5,5°C при 600°C та 8°C при 1100°C [4];
- значний дрейф ФП при тривалій експлуатації при високих температурах (зміна ФП ТП в часі експлуатації) – для ТП типу ХА (К) при часі експлуатації 1000 годин досягає 0,5°C при 600°C та 10°C при 1100°C [11];
- похибка від набутої при тривалій експлуатації при високих температурах термоелектричної неоднорідності електродів [12 – 16] – для ТП типу ХА (К) при часі експлуатації 1000 годин досягає 11°C при 800°C [14].

Методи зменшення похибок ТП першого [17] і другого [18] виду розроблені доволі давно. У [19] похибку від набутої термоелектричної неоднорідності вважають найбільш небезпечною. Причиною її виникнення є залежність швидкості деградації електродів ТП від температури експлуатації. При тривалій експлуатації внаслідок деградації кожна ділянка електродів ТП отримує індивідуальну ФП. При зміні профілю температурного поля вздовж електродів ТП змінюється температура перебування їх ділянок. Відповідно змінюється похибка кожної ділянки. Тому змінюється термо-е.р.с. ТП в цілому, незважаючи на те, що температури робочого та вільних кінців залишаються постійними. А у [20]

зроблено висновок, що похибку ТП, які побували в експлуатації, взагалі не можна коригувати.

Але останнім часом появились технічні рішення, що дають змогу зменшити вплив похибки від неоднорідності ТП на результат вимірювання. Метою даної статті є детальний розгляд найбільш ефективного із цих методів [12].

Метод підвищення точності вимірювання температури неоднорідними термопарами

Як було сказано, похибка від набутої неоднорідності проявляє себе при зміні профілю температурного поля вздовж електродів ТП. Основна ідея методу [12] полягає в наступному. Якщо не допустити змін цього профілю (стабілізувати його), то похибка від набутої неоднорідності не зможе себе

проявити. Не допустити змін профілю можна шляхом створення для електродів ТП їх власного профілю температурного поля за допомогою додаткових систем регулювання температури. Нагрівачі та сенсори цих систем повинні бути зміщені по осі електродів ТП.

Конструктивна схема пропонованого ТЕП з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КПТП) подана на рис. 1 [12, 21]. Головна термопара ГТС вимірює температуру об'єкта. Вздовж її електродів розміщені зони керування профілем температурного поля. Вони складаються з нагрівачів $H_1 \dots H_n$ та відповідних їм сенсорів температури $ТП_1 \dots ТП_n$. Вільні кінці всіх ТП підключені до вимірювально-керуючої системи (на рис. 1 не показана).

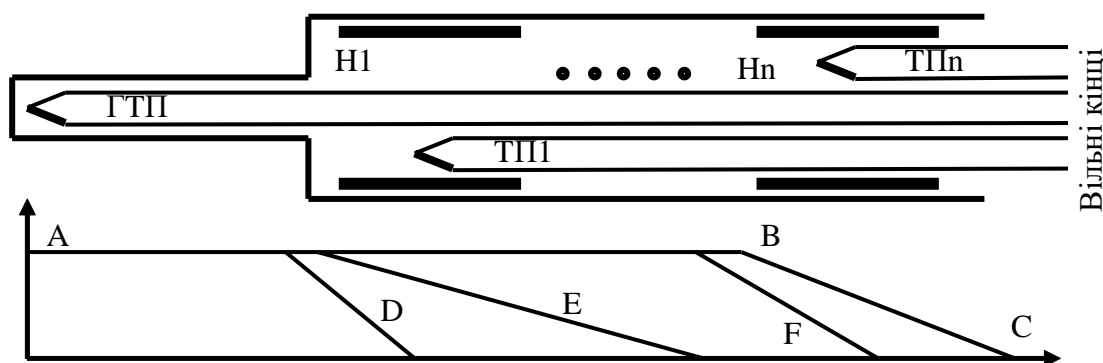


Рис. 1. Конструктивна схема пропонованого ТЕП з керованим профілем температурного поля

Внизу рис. 1 показано профіль температурного поля ABC, заданий регуляторами температури на базі $ТП_1, H_1 \dots ТП_n, H_n$. При зміні профілю температурного поля об'єкта в межах, вказаних профілями D ... F, профіль ABC не буде змінюватися. Тому похибка від набутої неоднорідності ГТП не може себе проявити.

До системи вимірювання температури за допомогою ТЕП з КПТП ставляться вимоги забезпечення високої точності вимірювання термо-е.р.с. всіх ТП. Тому цю систему найкраще виконувати не багатоканальною (кожна ТП має окремий вимірювальний канал) а багаточисловою (вимірювальний канал один для всіх, комутатор по чергово підключає до нього окремі ТП) [2]. Як показано у [21], похибка, викликана набутою неоднорідністю електродів ГТП (зміню профілю температурного поля вздовж її електродів), не перевищує $0,13^\circ\text{C}$. Нею можна нехтувати. При цьому загальна похибка вимірювання температури за допомогою ГТП (при умові корекції похибок від початкового відхилення ФП ТП від номінальної та дрейфу ФП ТП за час експлуатації на базі перевірки ГТП за допомогою еталонної ТП) не перевищує $1,4^\circ\text{C}$.

Піч керування профілем температурного поля

Представлена на рис. 1 та у [21] конструкція ТЕП з КПТП, виконаної як єдиний інтегрований сенсор, має значні недоліки:

1. Складність конструкції;

2. Відсутність уніфікації з існуючими ТЕП;
3. Неможливість застосування до ТЕП, що вже випускаються;
4. Складність заміни ГТП при значній деградації її електродів;
5. Необхідність метрологічної атестації як нового виду сенсора.

Вказані недоліки є суттєвими, вони стримують можливість широкого використання ТЕП з КПТП. Але ці недоліки не притаманні самому методу зменшення впливу змін профілю температурного поля на результат вимірювання температури. Вони є наслідком виконання ТЕП з КПТП саме як єдиного інтегрованого сенсора. Для їх усунення доцільно розділити ТЕП з КПТП на: (i) сам сенсор, тобто ГТП (стандартизовану ТП, яка випускається); (ii) засіб стабілізації профілю температурного поля вздовж електродів ГТП (спеціалізовану трубчатую піч). Тоді всі вказані вище недоліки усуваються.

Конструктивна схема пропонованої спеціалізованої багатозонної трубчатої печі подана на рис. 2. Вона складається із зовнішнього 1 та внутрішнього 2 трубчатих корпусів (діаметр внутрішнього корпусу відповідає зовнішньому діаметру стандартизованого ТЕП). Корпуси 1 і 2 з'єднані стінками 3 і 4 за допомогою зварних швів. В середині печі розміщено ізоляційний (керамічний) циліндр 5. На циліндр 5 намотано (або напилено) нагрівач 6. Виводи 7 нагрівача 6 проходять назовні

через ізоляційні втулки 8. Простір між корпусами 1 і 2 заповнений теплоізоляційним матеріалом 9.

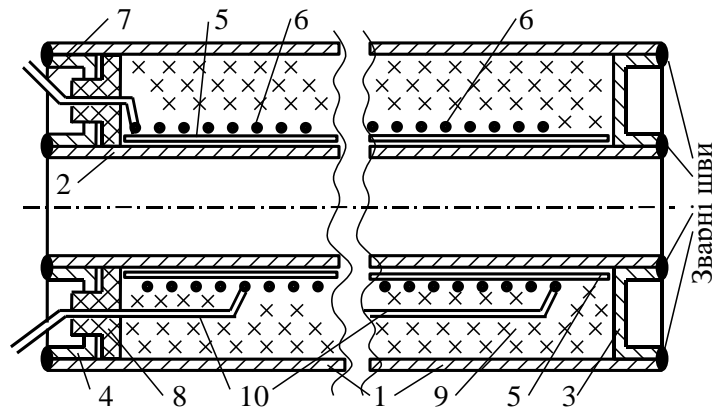


Рис. 2. Конструктивна схема спеціальної печі

Основною вимогою при конструюванні було скорочення кількості виводів, що виводяться на торцеву стінку печі (ліва на рис. 2, права стінка знаходиться при високій температурі). Тому було суміщено нагрівачі $H_1 \dots H_n$ та сенсори їх температури $ТС_1 \dots ТС_n$. Для цього нагрівачі 6 мотаять (або напилюють) матеріалом одного електрода ТП (наприклад, хромелю). Виводи 10 нагрівачів 6 роблять з матеріалу іншого електрода ТП (наприклад, алюмелю). При окремому виготовленні нагрівачів нагрівачі $H_1 \dots H_n$ та сенсорів $ТС_1 \dots ТС_n$ кількість виводів для n зон нагріву печі була би $4n$. При суміщенні нагрівачів і сенсорів кількість виводів буде $n+2$.

Методи керування профілем температурного поля

Слід відзначити, що між різними нагрівачами $H_1 \dots H_n$ (та сенсорами їх температури) існує значний тепловий зв'язок. Тому при використанні традиційних багатоканальних регуляторів дуже імовірна втрата їх стійкості (генерація температурних коливань). Системи багатозонного регулювання, які забезпечують стійкість при взаємних впливах окремих зон, вимагають значних обчислювальних ресурсів. У [22, 23] був запропонований простий метод регулювання, який можна реалізувати 8-ми бітним мікроконтролером. В його основу було покладено два твердження:

залежності приростів температури від приростів потужності є лінійними;

при обчисленні приростів потужності сумують не теплові потоки, а безпосередньо температури.

Такі твердження суперечать термодинаміці. Однак, при малих відхиленнях профілю температурного поля від заданого, вони дають змогу приблизно обчислити необхідні зміни потужності нагрівачів. Для цього необхідно рішити (наприклад, методом Гауса) систему рівнянь виду

$$\begin{cases} \Delta T_1 = k_{11}\Delta P_1 + k_{12}\Delta P_2 + \dots + k_{1n}\Delta P_n \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Delta T_n = k_{n1}\Delta P_1 + k_{n2}\Delta P_2 + \dots + k_{nn}\Delta P_n \end{cases} \quad (1)$$

де $\Delta T_1 \dots \Delta T_n$ – необхідні зміни температури нагрівачів зон від 1 до n ; $\Delta P_1 \dots \Delta P_n$ – необхідні для цього зміни потужності відповідних нагрівачів; $k_{11} \dots k_{nn}$ – коефіцієнти впливу окремих нагрівачів на температуру в зонах.

Після чергового обчислення та зміни потужності нагрівачів необхідно забезпечити закінчення перехідного процесу теплообміну. Наступну зміну потужності нагрівачів (за результатами нового вимірювання температури у всіх зонах) можна виконати після затримки тривалістю не менше трьох постійних часу печі. Таким чином, отримуємо практично розімкнуту систему регулювання, яка, за рахунок ітераційного наближення до заданого профілю температурного поля, не втрачає стійкості (не схильна до самозбудження).

Однак описаний метод регулювання добре працює лише при малих і повільних змінах профілю температурного поля. Коефіцієнти $k_{11} \dots k_{nn}$ повинні бути визначені для заданої температури експлуатації кожної зони. Але і тоді процес встановлення заданого профілю температурного поля вимагає декількох ітераційних циклів уточнення потужності нагрівачів.

Для підвищення точності визначення необхідної зміни потужності нагрівачів при різних температурах у [24, 25] був запропонований нейромережвий метод керування. Основна ідея методу полягає у формуванні керуючої дії нейронною мережею (НМ), навченою при різних змінах профілю температурного поля ГТП і при різних температурах експлуатації ТЕП з КПТП. Кількість виходів НМ рівна кількості нагрівачів зон. Пропонована структура системи керування температурним полем МТС подана на рис. 3. Вона складається з ТЕП з КПТП (на рис. 3 поданий як набір нагрівачів H і сенсорів C), багатоканальної вимірювальної підсистеми БВП, багатоканальних блоків задання температур зон БЗ^т, віднімання БВ і керування БК, а також нейронної мережі НМ. Результат вимірювання температури поступає на БВ і НМ. Тому НМ має інформацію про потрібну зміну температури кожної зони та інформацію про саму температуру зони. Це дозволяє НМ врахувати залежність теплових процесів від температури. Зміна

керуючої дії БК проводиться лише після закінчення перехідного процесу встановлення температури всіх зон (аналогічно, як у попередньому методі, для виключення самозбудження). Однак, за рахунок того, що НМ, навчена при різних змінах температури зон та

різних температурах зон, значно точніше визначає необхідні зміни потужності нагрівачів, кількість ітерацій при встановленні заданого профілю температурного поля, різко зменшується.

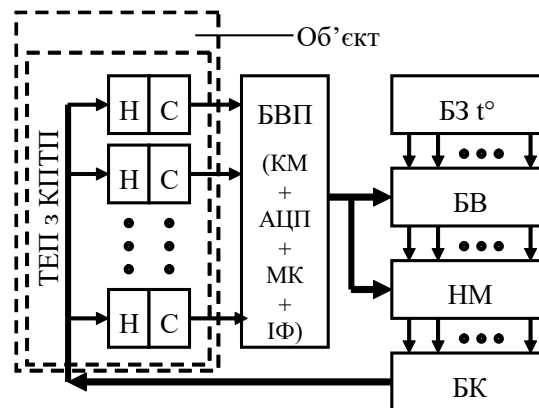


Рис. 3. Структурна схема вимірювально-керуючої системи в режимі підтримання профілю температурного поля

Нейромережеві регулятори зазвичай навчаються або на відповідній моделі об'єкта керування, або при ввімкненні їх паралельно до високоякісного регулятора ("вчителя"). Перший метод вимагає створення моделі об'єкта керування, яка має високу точність – її похибки повинні бути в декілька разів меншими за допустимі похибки керування. Ідентифікація параметрів високоточних моделей багатозонних об'єктів керування є непростю задачею, яка вимагає значного об'єму експериментальних досліджень. Метод "з вчителем" вимагає використання регуляторів, які вже забезпечують відповідне керування профілем температурного поля ТЕП з КПТП, тобто наперед вміють вирішити поставлену задачу.

Щоби не використовувати модель об'єкта та ТЕП з КПТП, пропонується навчати НМ безпосередньо на об'єкті вимірювання. Для цього на час навчання

змінюють структуру системи відповідно до рис. 4. Входи БК підключають до блоку задання приростів керуючої дії БЗП, а виходи НМ до блоку БН навчання НМ. Під час навчання БЗП дає $Bz t^\circ$ сигнал запам'ятати поточну температуру і формує для БК випадковий (додатні та від'ємні) прирости потужності нагрівачів Н. Після закінчення нагріву або охолодження зон печі БВП вимірює їх температуру та подає її на БВ і НМ. Навчена НМ мала б сформувати прирости потужності, які би повернули температуру зон до початкового значення (відповідали приростам, сформованим БЗП, з протилежною полярністю). Якщо прирости не рівні потрібним, то БН змінює ваги і зміщення нейронів для наближення формованих НМ приростів до потрібних. Метод вимагає 20 – 25 тестових змін потужності при різних температурах, далі НМ може навчатися на отриманих експериментальних даних.

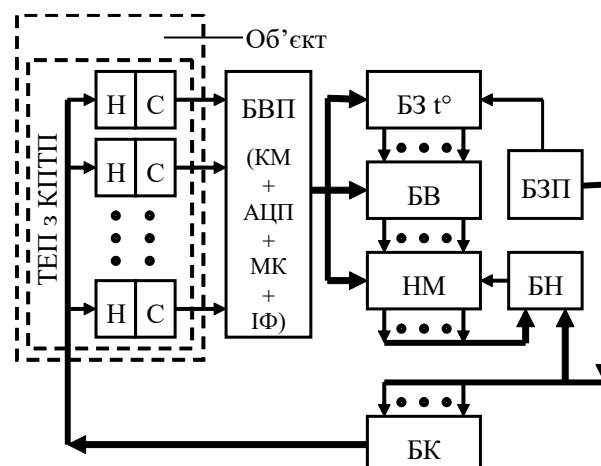


Рис. 4. Структурна схема вимірювально-керуючої системи в режимі навчання нейронної мережі

Експериментальні дослідження пропозованих методів керування

Для проведення експериментальних досліджень першого методу встановлення температурного поля

(що базується на рішенні системи рівнянь (1)) необхідно спочатку визначити коефіцієнти $k_{11} \dots k_{mn}$. Для їх прямого визначення експериментальним шляхом необхідно скласти систему k_{mn}^2 рівнянь та

рішити її відносно $k_{11} \dots k_{mm}$. З рішенням системи немає проблем. Але для складання такої системи слід отримати експериментальні дані для n^2 профілів температурного поля. Такий метод дуже трудомісткий. Також він має низьку точність – при такій великій кількості профілів температурного поля різниці між ними будуть малі. Тоді похибки вимірювання і незакінченість перехідних процесів будуть сильно впливати на результати обчислення коефіцієнтів $k_{11} \dots k_{mm}$.

Пропонується метод окремого визначення коефіцієнтів для кожного нагрівача. При цьому під час кожного експерименту вмикають лише один з нагрівачів (наприклад, j). Тоді система рівнянь (1) "вироджується" в стовпець. Її рішення дає змогу отримати значення коефіцієнтів $k_{j1} \dots k_{jn}$. Результати кожного з цих експериментів можна представити у вигляді графіка (рис. 5). З такого графіка можна прямо знайти значення коефіцієнтів $k_{j1} \dots k_{jn}$. Таким чином для n нагрівачів достатньо провести лише n експериментів.

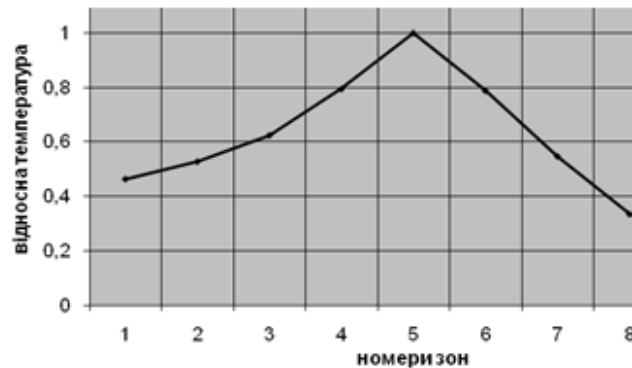


Рис. 5. Відносний розподіл зміни температури вздовж ТЕП з КПТП при ввімкненні одного нагрівача

У пропонованому методі визначення коефіцієнтів $k_{11} \dots k_{mm}$ за замовчуванням прийнято, що потужності всіх нагрівачів рівні. Однак потужність реальних нагрівачів окремих зон не є однаковою. Для врахування різниці між потужностями окремих нагрівачів представимо прирости потужності нагрівачів $\Delta P_1 \dots \Delta P_n$ в кожному члені правої частини системи (1) як

$$\Delta P_i = \Delta P_{MIN} \cdot k_i^p, \quad (2)$$

де k_i^p – коефіцієнт перевищення потужності окремих нагрівачів над потужністю нагрівача, що створює мінімальну температуру у своїй зоні під час експериментального визначення коефіцієнтів $k_{11} \dots k_{mm}$.

В свою чергу додаткові коефіцієнти $k_1^p \dots k_n^p$ можна визначити як

$$k_i^p = \frac{\Delta T_i}{\Delta T_{MIN}}, \quad (3)$$

де ΔT_{MIN} – мінімальна зміна температури зони своїм нагрівачем під час визначення коефіцієнтів $k_{11} \dots k_{mm}$; ΔT_i – зміна температури зони своїм i -тим нагрівачем.

Результати експериментальних досліджень процесу встановлення профілю температурного поля для методу, що базується на рішенні системи лінійних рівнянь (1), представлено на рис. 6. Одиницями часу на осі абсцис є відносні одиниці, значення яких відповідає подвійній постійній часу ТП з КПТП. Як видно з рис. 6, відхилення температури зон ТП з КПТП від заданих поступово зменшуються. Однак тривалість процесу встановлення профілю температурного поля є великою. Навіть при невеликих відхиленнях (на рис. 6 – не більше 2,5°C) необхідно не менше трьох ітерацій.

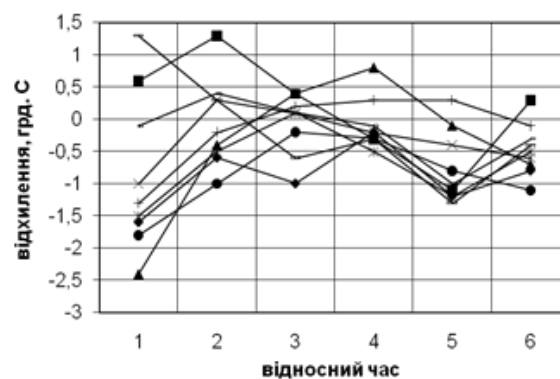


Рис. 6. Процес встановлення профілю температурного поля при керуванні за методом, що базується на рішенні системи лінійних рівнянь

На рис. 7 представлено аналогічні графіки для нейромережевого методу керування. Як видно з рис. 7, для встановлення заданого профілю температурного поля достатньо двох постійних часу (одного

ітераційного циклу). Це стосується також великих (до 20°C) відхилень профілю температурного поля від заданого.

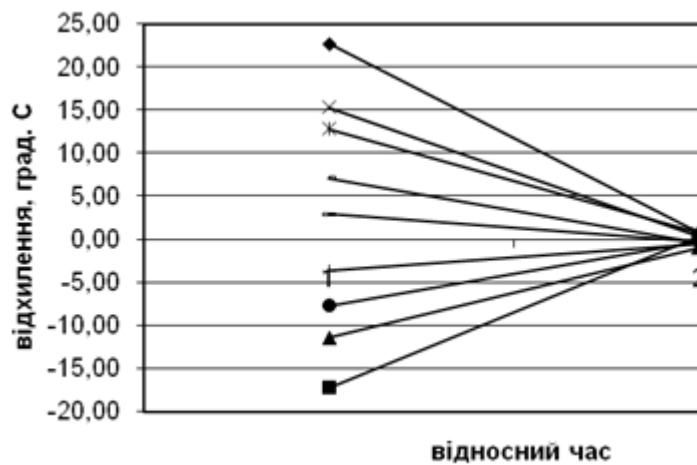


Рис. 7. Процес встановлення профілю температурного поля при керуванні нейромережевим методом

Висновки

Як видно із результатів досліджень, метод зменшення впливу набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності ТП на похибку результату вимірювання температури шляхом стабілізації профілю температурного поля вздовж її електродів є дуже ефективним. Стабілізація профілю температурного поля практично повністю виключає вплив змін профілю температурного поля об'єкта на термо-е.р.с. ТП, що вимірює його температуру. При цьому запропоноване технічне рішення дає можливість підвищення точності вимірювання температури існуючими ТП. Разом із відомими методами корекції похибок від початкового

ФП ТП від номінальної та від дрейфу її ФП можна забезпечити високу точність та метрологічну надійність вимірювання температури при тривалій експлуатації ТЕП при високих температурах.

Слід відзначити, що запропоновані методи керування профілем температурного поля мають невисоку обчислювальну складність. Хоча процес навчання НМ вимагає великих обчислювальних ресурсів, він проводиться лише при налаштуванні вимірювального каналу. У цей час необхідна підтримка персонального комп'ютера. А у подальшому, під час експлуатації, процес обчислення необхідних приростів потужності нагрівачів можуть виконувати прості 8-ми бітні мікроконтролери.

Список літератури

1. Arroyo Lazo M. A., Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. Ginebra : World Economic Forum, 2016. 172 p.
2. Кочан Р. В. Вдосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем : дис. здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, ФМІ імені Карпенка НАН України, Львів, 2005.
3. Webster J. G. The measurement, instrumentation and sensors handbook. CRC press, 1998.
4. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення : ДСТУ 2837-94. [Чинний від 1986-04-01], Київ, 1994.
5. Bojkovski J., Fischer J., Machin G., Pavese F., Peruzzi A., Renaot E., Tegeler E. A roadmap for thermal metrology. *International Journal of Thermophysics*. 2009. No. 30 (1). P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-008-0454-5>
6. Machin G., Bojkovski J., del Campo D., Dogan, et al. A European roadmap for thermometry. *International Journal of Thermophysics*. 2014. No. 35 (3–4). P. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-013-1554-4>
7. Wang T. P., Bediones D. P., Henrikson H. J., Janhunee E. J., Bachalo K., Swirla P. Stabilized metal sheathed type K and E thermocouples improve turbine efficiency. *In ISA TECH/EXPO Technology Update*. 1997. No. 1 (5). P. 439–448.
8. NI PXI E4353. URL : <http://www.ni.com/pdf/manuals/375508c.pdf>
9. NETDAQ 2640. URL : https://www.axitest.com/images/store/files/203321_FLUKENETDAQ2640A.pdf
10. NETDAQ 2645. URL : <http://www.manualsdir.com/manuals/104116/fluke-netdaq-2645a-netdaq-2640a.html>
11. Самсонов Г. В., Киц А. И., Кюздени О. А. Датчики для измерения температуры в промышленности. Киев: Наукова думка, 1972.
12. Кочан О. В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2008. № 13 (2). С. 102–108.
13. Jun S., Kochan O. The mechanism of the occurrence of acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples and its effect on the result of temperature measurement. *Measurement Techniques*. 2015. No. 57 (10). P. 1160–1166. DOI: 10.1007/s11018-015-0596-3.

14. Jun S., Kochan O., Kochan V., Wang C. Development and investigation of the method for compensating thermoelectric inhomogeneity error. *International Journal of Thermophysics*. 2016. No. 37 (1). Article No. 10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-015-2025-x>
15. Jun S., Kochan O. V., Jotsov V. S. Thermal measurements methods of reducing the effect of the acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples on temperature measurement error. *Measurement Techniques*. 2015. No. 58 (3). P. 327–331. DOI: 10.1007/s11018-015-0709-z
16. Kochan O., Kochan R., Bojko O., Chyrka M. Temperature measurement system based on thermocouple with controlled temperature field. In *Proceedings of the 2007 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 2007. P. 47–50. DOI: 10.1109/IDAACS.2007.4488370
17. Саченко А. А. Повышение точности измерения электрическими методами высоких температур в промышленных условиях : дис. на соискание степени кандидата технических наук, ФМИ имени Карпенка АН УССР, Львов, 1978.
18. Саченко А. А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий : дис. на соискание степени доктора технических наук, ЛЭТИ, Ленинград, 1988.
19. Sloneker K. C. Thermocouple inhomogeneity. *Ceramic Industry*. 2009. No. 159 (4). P. 13–18.
20. Киренков И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности. Исследование в области температурных измерений : Сборник трудов, Москва: ВНИИМ. 1976. С. 11–15.
21. Кочан О. В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.11.04 – прилади і методи вимірювання теплових величин. Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2011. 20 с.
22. Кочан О. В., Кочан Р. В. Мікроконтролерний метод керування профілем температурного поля. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі*. 2008. С. 67–75.
23. Vasyukiv N., Kochan O., Kochan R., Chyrka M. The control system of the profile of temperature field. In *Proceedings of the 2009 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. 2009. P. 201–206. DOI: 10.1109/IDAACS.2009.5342994
24. Кочан О. В. Нейромережевий метод керування для термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2012. № 2 (21). С. 35–45.
25. Kochan O., Sapojnyk H., Kochan R. Temperature field control method based on neural network. In *Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. 2013. Vol. 1. P. 21–24. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662632.

References

1. Arroyo Lazo, M. A., Schwab, K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution*, Ginebra : World Economic Forum, 172 p.
2. Kochan, R. V. (2005), "Improving the components of precision distributed information and measurement systems", ["Vdoskonalennya komponentiv pretsyziynykh rozpodilennykh informatsiyno-vymiryuval'nykh system"], PhD Thesis on specialty 05.13.05 – Computer Systems and Components, Karpenko Physical and Mechanical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.
3. Webster, J. G. (1998), *The measurement, instrumentation and sensors handbook*, CRC press.
4. Thermoelectric converters. Nominal static characteristics of the transformation [Peretvoryuvachi termoelektrychni. Nominal'ni statychni kharakterystyky peretvorenniya] (1994), State Standard of Ukraine 2837-94. [Actual from 1986-04-01], Kyiv.
5. Bojkovski, J., Fischer, J., Machin, G., Pavese, F., Peruzzi, A., Renaot, E., Tegeler, E. (2009), "A roadmap for thermal metrology", *International Journal of Thermophysics*, No. 30 (1), P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-008-0454-5>
6. Machin, G., Bojkovski, J., del Campo, D., Dogan, et al. (2014), "A European roadmap for thermometry", *International Journal of Thermophysics*, No. 35 (3-4), P. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-013-1554-4>
7. Wang, T. P., Bediones, D. P., Henrikson, H. J., Janhunen, E. J., Bachalo, K., Swirla, P. (1997), "Stabilized metal sheathed type K and E thermocouples improve turbine efficiency", *In ISA TECH/EXPO Technology Update*, No. 1 (5), P. 439–448.
8. NI PXI E4353, available at : <http://www.ni.com/pdf/manuals/375508c.pdf>
9. NETDAQ 2640, available at : https://www.axitest.com/images/store/files/203321_FLUKENETDAQ2640A.pdf
10. NETDAQ 2645, available at : <http://www.manualsdir.com/manuals/104116/fluke-netdaq-2645a-netdaq-2640a.html>
11. Samsonov, G. V., Kits, A. I., Kuzdeni, O. A. (1972), *Industrial temperature sensors [Datchiki dlya izmereniya temperatury v promyshlennosti]*, Kyiv : Naukova Dumka.
12. Kochan, O. V. (2008), "Thermoelectric converter with controlled temperature field profile" ["Termoelektrychnyy peretvoryuvach z kerovanyim profilem temperaturnoho polya"], *Bulletin of Ternopil State Technical University*, No. 13 (2), P. 102–108.
13. Jun, S., Kochan, O. (2015), "The mechanism of the occurrence of acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples and its effect on the result of temperature measurement", *Measurement Techniques*, No. 57 (10), P. 1160–1166. DOI: 10.1007/s11018-015-0596-3
14. Jun, S., Kochan, O., Kochan, V., Wang, C. (2016), "Development and investigation of the method for compensating thermoelectric inhomogeneity error", *International Journal of Thermophysics*, No. 37 (1), Article No. 10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10765-015-2025-x>
15. Jun, S., Kochan, O. V., Jotsov, V. S. (2015), "Thermal measurements methods of reducing the effect of the acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples on temperature measurement error", *Measurement Techniques*, No. 58 (3), P. 327–331. DOI: 10.1007/s11018-015-0709-z
16. Kochan, O., Kochan, R., Bojko, O., Chyrka, M. (2007), "Temperature measurement system based on thermocouple with controlled temperature field", *In Proceedings of the 2007 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, P. 47–50. DOI: 10.1109/IDAACS.2007.4488370
17. Sаченко, А. А. (1978), Improving the accuracy of measurement of high temperatures by electrical methods in industrial conditions [Povysheniye tochnosti izmereniya elektricheskimi metodami vysokikh temperatur v promyshlennykh usloviyakh], PhD Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences, Karpenko Physical and Mechanical Institute, Academy of Sciences of USSR, Lviv.

18. Sachenko, A. A. (1988), Development of methods for improving accuracy and creation of precision temperature measurement systems for industrial technologies [Razrabotka metodov povysheniya tochnosti i sozdaniye sistem pretsizionnogo izmereniya temperatury dlya promyshlennykh tekhnologiy], Doctoral Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, LETI, Leningrad.
19. Sloneker, K. C. (2009), "Thermocouple inhomogeneity", *Ceramic industry*, No. 159 (4), P. 13–18.
20. Kirenkov, I. (1976), "Some laws of thermoelectric inhomogeneity", ["Nekotoryye zakony termoelektricheskoy neodnorodnosti"], *Research in the field of temperature measurements : Proceedings*, Moscow : VNIIM, P. 11–15.
21. Kochan, O. V. (2011), Thermoelectric converter with controlled temperature field profile ["Termoelektrychnyy peretvoryuvach z kerovanyim profilem temperaturnoho polya"], PhD Thesis for the degree of candidate of technical sciences: 05.11.04 – devices and methods of measurement of thermal quantities. Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2011, 20 p.
22. Kochan, O. V., Kochan, R. V. (2008), "Microcontroller method of temperature field profile control" ["Mikrokontrolernyy metod keruvannya profilem temperaturnoho polya"], *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Computer Systems and Networks*, P. 67–75.
23. Vasylykiv, N., Kochan, O., Kochan, R., Chyrka, M. (2009), "The control system of the profile of temperature field", *In Proceedings of the 2009 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, P. 201–206. DOI: 10.1109/IDAACS.2009.5342994
24. Kochan, O. V. (2012), "Neural network control method for thermoelectric converter with controlled temperature field profile", ["Neyromerezhevyy metod keruvannya dlya termoelektrychnoho peretvoryuvacha z kerovanyim profilem temperaturnoho polya"], *Adaptive Automatic Control Systems*, No. 2 (21), P. 35–45.
25. Kochan, O., Sapojnyk, H., Kochan, R. (2013), "Temperature field control method based on neural network", *In Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, Vol. 1, P. 21–24. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662632.

Надійшла (Received) 12.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кочан Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Науково-дослідний інститут Інтелектуальних комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету, професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, Харків, Україна; email: orestvk@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8376-4660>.

Кочан Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Научно-исследовательский институт Интеллектуальных компьютерных систем Западноукраинского национального университета, профессор кафедры информационно-вычислительных систем и управления, Харьков, Украина.

Kochan Volodymyr – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Research Institute for Intelligent Computer Systems of West Ukrainian National University, Professor of the Department of Information-Computing Systems and Control, Kharkiv, Ukraine.

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ТЕРМОПАР НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Предметом исследования в статье являются высокоточные измерения температуры термодарами, электроды которых деградировали из-за длительного воздействия высокой температуры при эксплуатации. Скорость деградации приблизительно пропорциональна температуре и времени эксплуатации участков электродов термодар. Деградация приводит к двум видам погрешности – из-за дрейфа функции преобразования (ее постепенного изменения в течении времени эксплуатации) и из-за приобретенной термоэлектрической неоднородности электродов термодар (проявляет себя как изменение функции преобразования термодара при изменении профиля температурного поля даже при постоянных температурах рабочего и свободных концов). **Цель** статьи – исследование метода повышения точности измерения температуры термодарами, имеющими большую, приобретенную в процессе эксплуатации, термоэлектрическую неоднородность. Цель достигается путем стабилизации профиля температурного поля вдоль электродов термодар, тогда погрешность от их приобретенной термоэлектрической неоднородности не может себя проявить. **Задания:** оценка погрешности измерения температуры с помощью термодар, разработка метода повышения точности измерения температуры неоднородными термодарами, устройства стабилизации профиля температурного поля, методов управления профилем температурного поля и экспериментальные исследования предложенных методов управления. Используются общеизвестные **методы:** конструирование оборудования с заданными параметрами и ограничениями, вычисления путем решения системы линейных уравнений, формирование необходимой функциональной зависимости при помощи нейронной сети, экспериментальные исследования. Получено следующие **результаты.** Стабилизация профиля температурного поля позволяет уменьшить влияние приобретенной термоэлектрической неоднородности термодар, которая, за данными литературы, может достигать 11°C, до уровня 1,3°C. Показано, что разработанное устройство стабилизации профиля температурного поля – многозонная трубчатая печь – из-за тесной тепловой связи между зонами, требует многоканального регулятора, не склонного к самовозбуждению. Предложено два метода управления профилем температурного поля – на базе решения системы линейных уравнений и нейросетевой метод, где нейронная сеть обучается непосредственно на многозонной печи. **Выводы.** Как показали проведенные экспериментальные исследования, предложенные методы не дают возможности погрешности из-за приобретенной термоэлектрической неоднородности термодар проявить себя, что обеспечивает возможность повышения точности и метрологической надежности измерения температуры существующими типами термодар.

Ключевые слова: термодара; погрешность; термоэлектрическая неоднородность термодар; многозонный объект; управление температурой.

DECREASING OF THERMOCOUPLE INHOMOGENEITY IMPACT ON TEMPERATURE MEASUREMENT ERROR

The **subject** of research is accurate temperature measurements by thermocouples whose legs undergone degradation during long term operation at high temperatures. The degradation rate is approximately proportional to the temperature of constant operation of the sections of thermocouple legs and time of operation. Degradation causes two types of errors – due to drift of the conversion characteristic (its gradual change during operation) and due to the acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouple legs (manifests itself as a change in thermocouple conversion characteristic when changing the temperature field even at constant temperatures of the measuring and reference junctions). The **aim** of the article is to study the method of increasing the accuracy of temperature measurement by thermocouples that have significant thermoelectric inhomogeneity acquired during operation. The aim is achieved by stabilizing the temperature field along the thermocouple legs, so error due to acquired thermoelectric inhomogeneity cannot manifest itself. The **tasks** of the paper are to estimate the error of temperature measurement using the thermocouple, develop the method for increasing accuracy of temperature measurements by inhomogeneous thermocouples, means of stabilization of the temperature field, methods of control of the temperature field, and experimental study the proposed control methods. There are well-known **methods** used such as the design of equipment with given parameters and limitations, calculations by solving a system of linear equations, the formation of the necessary functional dependence using a neural network, experimental studies. The obtained **results** are as follows: stabilization of the temperature field makes it possible to reduce the influence of acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples, which, according to the literature, can reach 11°C to 1,3°C. It is shown that the developed multi-zone tubular furnace for stabilizing the temperature field due to a close thermal connection between the zones, requires a multi-channel controller that is not prone to self-excitation. There are two methods of control of the temperature field are proposed. One based on the solution of a system of linear equations. The second method is based on the neural network, in which the neural network is trained directly on a multizone furnace. **Conclusions.** As shown by experimental studies, the proposed methods do not allow the error of the acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples to manifest itself, which provides an opportunity to increase the accuracy and metrological reliability of temperature measurements by existing types of thermocouples.

Keywords: thermocouple; error; thermoelectric inhomogeneity of thermocouple; multizone object; temperature control.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Кочан В. В. Зменшення впливу неоднорідності термопар на результат вимірювання температури. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.129>.

Kochan, V. (2020), "Decreasing of thermocouple inhomogeneity impact on temperature measurement error", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P.129–137. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.129>.

I. BONDARENKO, H. BENDEBERYA, O. GRITSUNOV, O. MAKOVSKAYA

INCREASING THE LEVEL OF PHOTO BIOLOGICAL SAFETY OF THE EMISSION SPECTRUM OF AN LED LIGHT SOURCE

The **subject** of research is the emission spectra of light sources based on LED structures. The **purpose** of the work is to formulate proposals to improve the photo biological safety of LED lighting systems. The article solves the following tasks: analyzing the situation in the field of photo biological safety of light sources based on LED structures, proposing a concept for improving it in sources based on LED modules with a two-component phosphor. **Methods** such as comparative analysis, spectrometric method are used. The following **results** were obtained. A brief analysis of the factors affecting the photo biological safety of artificial light sources based on LED modules and a review of modern technological developments aimed at improving it is carried out. Since the implementation of these developments has a limited volume in the structure of the production of LED modules and a high cost, the concept of increasing the photo biological safety of light sources using cheap white light modules with a two-component phosphor and additional color modules to fill the gap in the spectral characteristic of white light has been proposed. A simple criterion is proposed for calculating the required ratio of white and color modules based on their spectral characteristics to activate the natural mechanism of eye protection due to pupil constriction. The work investigated color modules at wavelengths 480 nm, 492 nm and 503 nm. It has been shown that color modules with a shorter peak wavelength are needed less in relation to the number of whites to create a safe emission spectrum. The paper also estimated the fraction of the emission power with a wavelength of less than 450 nm in the emission spectra of the three investigated variants of combinations of white and color modules and four SunLike modules with different color temperatures. The share of the blue part of the spectrum in the emission power distribution of SunLike LED modules turned out to be higher than in traditional modules with a two-component phosphor at similar color temperatures. **Conclusions.** The proposed method increases the photo biological safety of the spectrum of LED light sources to the level of natural illumination due to adequate regulation of the pupil diameter and does not increase the total fraction of the emission power in the region $\lambda \leq 450$ nm, which is dangerous for vision. This fraction is even less than in SunLike modules at close values of color temperature, since their emission spectrum is expanded to the region of shorter wavelengths and starts from $\lambda \approx 370$ nm). Considering that the CVC characteristics of color and white LEDs are close, but not identical, their series connection leads to a redistribution of the emission power. In addition, LEDs from different manufacturers differ in energy efficiency and electrical parameters, therefore calculations in practice need to be adjusted in each specific case.

Keywords: Emission spectrum; photo biological safety; wavelength; LED; module; energy efficiency; colorful temperature; color rendering; illuminator; design; CVC.

Introduction

As you know, the protective functions of the retina are adapted to the conditions of sunlight and the main defense mechanism is the constriction of the pupil, which reacts to the intensity at the maximum of the sun's emission spectrum in the region of 480 nm [1].

The emission spectrum of white light LEDs, based on the luminescence of the LED crystal, has a characteristic blue peak (445 to 460 nm), the so-called "Blue peak" and a blue-green notch (480 nm). A dip at 480 nm, which is absent in the solar spectrum, leads to an inadequate response of the pupil to illumination: an increase in the area of the pupil, and hence the "photo biological" danger from excess power in the blue part of the spectrum [2, 3, 4].

Emission in the blue part of the spectrum with a wavelength shorter than 450 nm has a destructive effect on the cells of the elements of the optical system of the eye and especially the retina in the long term 25–30 years, and the effect is cumulative [2]. In addition, one of the factors on which the quality of vision depends is the proportion of blue in the spectrum, since blue is scattered in the optical environment more significantly than yellow or red light. In the optical system of the eye, blue light is scattered more strongly and this is perceived as a decrease in visual acuity [1, 2].

There is an international Eye Safety certification based on spectrum analysis. It is defined in the international standard CIE S 009: 2002 and takes into

account the factors of exposure to the eyes and skin described in the IEC/EN 62471 standard. The highest No Risk level corresponds to sources that do not pose a "photo biological" hazard to humans. An RG1 (Low Risk) level means there is no risk in normal daily use. An RG2 (Intermediate Risk) level means there is no risk but may feel uncomfortable due to bright light or heat. The RG3 (High Risk) level indicates that the light source is dangerous even with short-term exposure [6].

According to the features of the emission spectrum noted above, the LED lighting modules belong to the RG3 level. The smaller the dip in the spectrum at 480 nm in relation to the peak in the blue region, the longer you can stay in the light environment formed by artificial sources with such a spectrum.

In [5], based on the analysis of the IEC/EN 62471 standard, recommendations are given for choosing a less hazardous LED illuminator, where it is indicated that it is advisable to use LED lamps with a spectrum in which the emission intensity in the dip is at least 40% of the intensity of the short-wave peak (a situation when spectral characteristic corresponds to a color temperature from 2700K to 3000K). However, it should be noted that as the color temperature decreases, the energy efficiency of the light source decreases.

Undoubtedly, in the general trend of increasing the energy efficiency of light sources for the formation of luminous fluxes in a wide power range, there is no alternative to universal LED-based illuminators, therefore, leading manufacturers are engaged in the technological

implementation of modern concepts of organizing the structure of LED modules to eliminate the shortcomings of the spectral characteristics.

Analysis of the latest achievements and publications

Analyzing the situation in the LED market, Seoul Semiconductor concluded that the race for cheap and efficient lumen makes no further sense, since the small benefit from LEDs on the scale of the entire luminaire is small. At the same time, the quality of light and safety suffer noticeably [7].

Seoul Semiconductor, together with Toshiba Materials, has developed fundamentally new products using TRI-R technology - SunLike LED modules with an

emission spectrum close to the sun to create a safe light environment. Their mass production was launched in early 2017.

This technology allows you to use light that is comfortable for the eyes with correct color reproduction, which is characterized by clarity and absence of glare. Since the blue part of the spectrum negatively affects the perception of light and human health, the new technology makes it possible to eliminate the intense peak in the blue part of the spectrum. This technology uses LED structures with an emission peak in the violet zone, which is converted into full-spectrum emission with red, green and blue components of the spectrum by a three-component phosphor [8, 9, 10] (fig. 1).

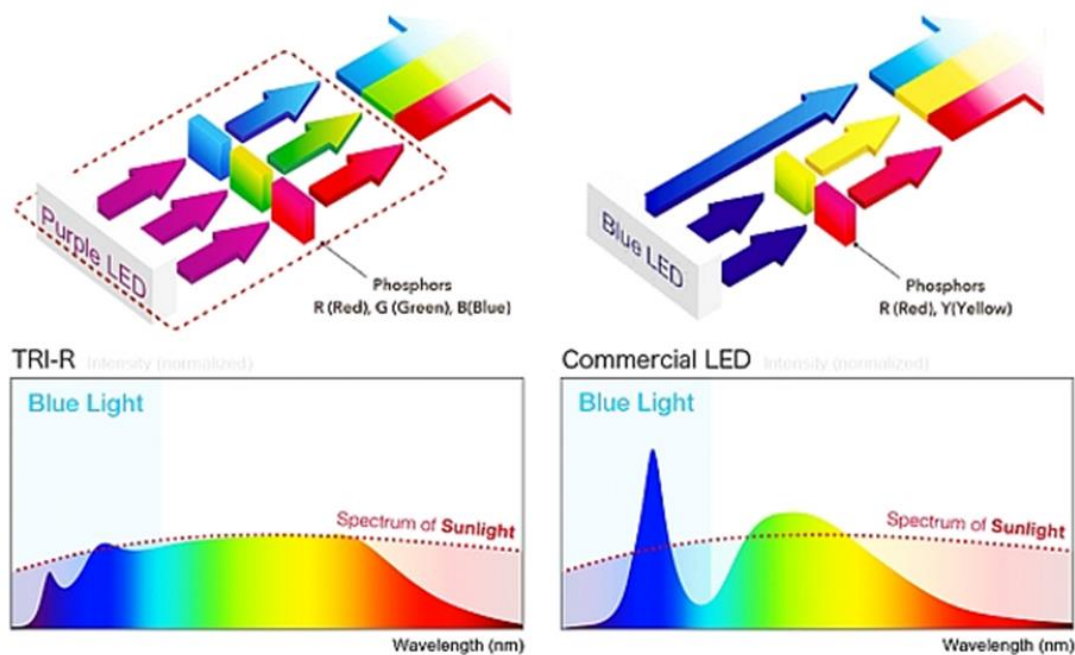


Fig. 1. The structure of SunLike LEDs and traditional lighting LEDs, as well as their corresponding emission spectra [10]

Unlike traditional LEDs that form a white light stream, with a CRI (70-85) units, SunLike LEDs have a high CRI (98). Lighting with a high color rendering index is used in the work of personnel and industries associated

with the correct color rendering, where until recently halogen lamps were used [8].

In addition, SunLike LEDs allow you to create illuminators with a changing color temperature in the range of 2700–6500K (fig. 2) [8, 9, 11, 12, 13].

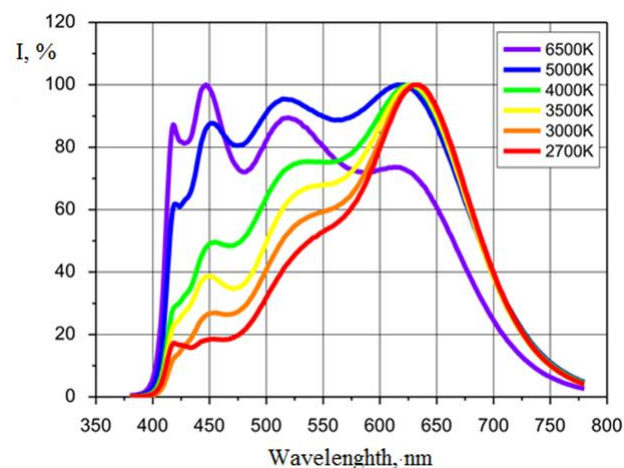


Fig. 2. Emission spectra of SunLike LEDs with different color temperatures [8]

It should be noted that the SunLike lighting LED, whose spectrum is closest to the spectrum of sunlight, has received the RG1 Eye Safety certification. This is the highest level of safety among 25 W COB LED modules [9].

Currently, the production volume of SunLike products accounts for a small share of the total LED production volume. While this is an expensive product, its share is constantly growing; in 2020, Seoul Semiconductor planned to increase the market share of SunLike products to 10–15%. This technology is just developing, so lamps based on it are still an order of magnitude more expensive than traditional lamps with a two-component phosphor [7, 9].

Seoul Semiconductor is not the only company to launch the next generation of LEDs. Chinese Yuji LED also began to produce modules with violet LEDs and RGB phosphor, giving light with CRI 97, but the violet peak in the spectrum is much larger and the efficiency of the modules is less - 65-85 lm/W versus 85-105 lm/W for SunLike [6].

Based on the foregoing, it is clear that in the coming years, a significant change in the balance of produced lighting LEDs in favor of modules with an RGB phosphor with a safe emission spectrum is not expected due to the complexity and high cost of the technology.

Proposed solution to the problem. Objective of the work

There are two ways to increase the photo biological safety of the light environment created by artificial light sources. One involves the use of filtering the emission of the lighting system to reduce the proportion of the blue part of the spectrum and is implemented as a means of personal protection in the form of glasses with glasses such as BlueBlocker [15]. Another way is related to the alignment of the spectral characteristics for the natural functioning of the pupil, as in SunLike modules.

The article proposes a low-budget way to increase the photo biological safety of light sources based on traditional LED modules, in which additional modules with an emission spectrum that partially fill the gap are used to reduce the gap in their spectral characteristic. Although such a solution seems obvious, the criteria for calculating the required ratio of the number of white and additional color modules are unclear. In addition, the proposed method is justified, according to the authors, for the following reasons.

First, in terms of design and operating conditions. The use in mass production of designs of LED lighting lamps with standard bases E27, E14, GU10 and others is a transitional option for combining new light sources with traditional lighting equipment. The desire to reduce the cost of production forces developers to place a substrate with modules, a modest-sized cooling radiator and a power driver within the size and shape of incandescent lamps from the appropriate form factor. At the same time, the modules overheat due to the insufficient area of the radiator, which reduces their light output during the operation period, moreover, the driver functions in a

difficult temperature regime. In general, such a general standard design does not provide a long service life of a lamp with stable light characteristics, although the service life of the modules themselves under recommended conditions is guaranteed by their manufacturers for at least 50 thousand hours.

At the same time, the market of components for LED lighting products allows, using a wide range of heat-conducting substrates, LED modules of various powers and sizes, drivers, to calculate and design LED custom lighting devices of any power and with an arbitrary emission spectrum. This is a modern practice of creating a light environment in rooms for various purposes, and it is used to solve the problem posed in the article.

Second, although the color rendering index of an LED illuminator with complementary LED modules varies, it can be used in situations where safety for vision is preferable to accurate color rendering. An example is long-term work with printed documents or the creation of a background light environment in a room where people are constantly staying.

The modern energy-saving approach to the organization of artificial lighting in premises assumes the presence of local lighting in the workplace, which forms an adequate color picture, and general background lighting for confident movement. Energy-efficient LED lamps and strips on white LED modules with a high color temperature (from 4500K to 6000K) or RGB LED lamps and strips are used as background lighting to regulate the overall emission spectrum. In any of these background illumination options, there is a gap in the spectral response between the blue peak and the right side of the spectrum, which leads to visual impairment.

The immediate goal of the work is to determine the required ratio of the number of additional color LED modules and white modules with a color temperature of 3200K to increase the photo biological safety of the emission spectrum of LED lighting modules.

Concept and solution methods

As a criterion for the required ratio of the number of color and white modules, it is proposed to use the intensity ratio at $\lambda = 445$ nm (the wavelength of the maximum emission of the white module in the blue part of the spectrum) and at $\lambda = 480$ nm in the resulting spectrum of the illuminator, which is characteristic of the solar emission spectrum, and namely, approximately 0.7 to 1.0, i.e.:

$$\frac{I_{col}(445) + N \cdot I_{WH}(445)}{I_{col}(480) + N \cdot I_{WH}(480)} = 0,7, \quad (1)$$

where $I_{col}(445)$ – emission intensity of the additional color module at a wavelength of 445 nm; $I_{col}(480)$ – emission intensity of the additional color module at a wavelength of 480 nm; $I_{WH}(445)$ – emission intensity of the additional module at a wavelength of 445 nm ("Blue peak"); $I_{WH}(480)$ – emission intensity of the additional

module at a wavelength of 480 nm (dip); N – the number of white modules per color.

Then:

$$N = \frac{0,7 \cdot I_{col}(480) - I_{col}(445)}{I_{WH}(445) - 0,7 \cdot I_{WH}(480)}. \quad (2)$$

By measuring the emission intensity $I_{col}(480)$ of the additional color module at $\lambda = 480$ nm and the spectrum of the white module under the same conditions, we can calculate the required ratio.

Various manufacturers in the range of produced modules offer LEDs with emission wavelengths in the dip region from 460 nm to 505 nm, which can be selected as additional ones. To fill the gap in the spectrum of a white LED, it is reasonable to use an LED with λ_{MAX} , located to the right of the λ_{MIN} dip, so as not to increase the fraction

of emission at wavelengths less than 450 nm due to the left tail of the emission spectrum of the additional LED.

Modern commercial LED lighting lamps contain from 3 to 18 on the board, and LED strips contain several dozen white emitting modules, depending on the power. Some of them can be replaced by modules that complement the spectrum. We used additional modules of the same power and standard size as the white glow modules. This makes it possible to include them in the serial switching circuit of a standard board for mounting modules and to evenly distribute the input power between the modules. The forward voltage drops across additional LEDs with a spread of the nominal value, according to the technical specifications, approximately corresponds to the forward voltage drop across the white light module at the same forward currents. Some of the measured optical and electrical characteristics of the white and optional modules are presented in table 1.

Table 1. Emission intensity at the extrema of the spectral characteristics of LEDs

No.	λ_{MAX} , nm	Peak intensity, rel. units	Dip intensity, rel. units	Intensity in green-red reg., rel. units	ΔU at $I=300$ mA, V
1	White	1355 at 446 nm	623 at 480,23 nm	2900 at 594 nm	2,98
2	480,76	14563	–	–	3,05
3	492,24	14410	–	–	3,01
4	503,6	14164	–	–	2,95

The emission spectra of the modules were measured using an LR1 USB spectrophotometer designed for measurements in the wavelength range from 300 nm to 1050 nm. An optical attenuator was used to match its sensitivity with the emission intensity of 1W LED module samples [16].

Research results and their discussion

Fig. 3 shows the spectral characteristics of emitters containing additional modules with different λ_{MAX} (tab. 1), constructed from the results of measurements and calculations.

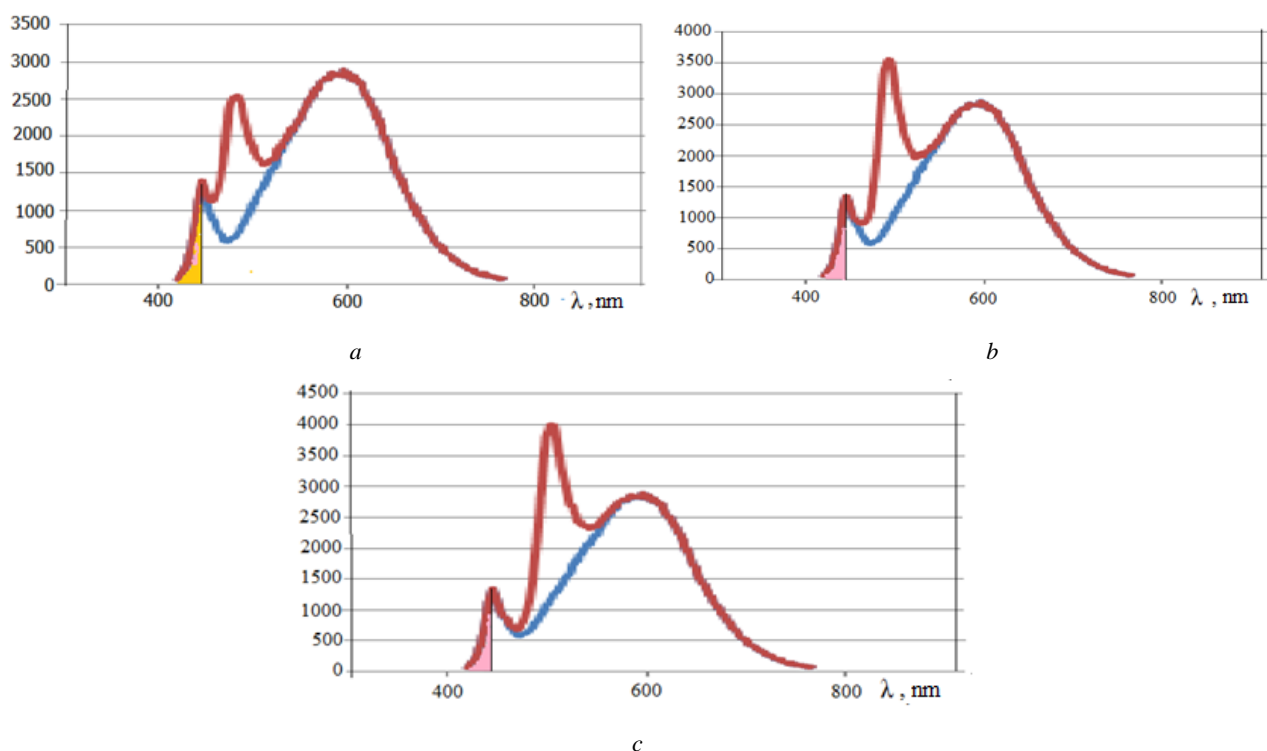


Fig. 3. Spectral characteristics of light sources with additional modules with different λ_{MAX} against the background of the emission spectrum of white modules in relative units: a) $\lambda_{MAX} = 480.76$ nm; b) $\lambda_{MAX} = 492.24$ nm; c) $\lambda_{MAX} = 503.6$ nm

Table 2 shows the results of the measurements and the calculated ratios of the required number of additional color modules to the number of white ones based on them.

Obviously, the closer the wavelength of the maximum emission of the color module is to the wavelength of the minimum dip in the spectrum of the white module, the less additional color modules are required to fulfill relation (1).

Table 2. Measurement results and calculated ratios of the number of white LEDs to the number of colored LED modules

No.	λ_{MAX} , nm	I λ (480) measured, rel.units	I λ (445) measured, rel.units	I λ (480) calculated, rel.units	Color LED/White LED Ratio
1	White	623	1355	-	-
2	480,76	14560	408	1895	1/7,7 or \approx 2/15
3	492,24	7520	52	1387	1/5,4 or \approx 2/11
4	503,60	1795	22	1344	1/1,3 or \approx 3/4

Table 3. Results of calculating the power fraction of the short-wavelength part with $\lambda < 450$ nm in the full spectrum of the studied light sources

Emitter type	White with one-component luminophor 3200 K	2:15 (480nm)	2:11 (492nm)	3:4 (503nm)	SunLike 3000 K	SunLike 3500 K	SunLike 4000 K	SunLike 6500 K
Emission power fraction with $\lambda < 450$ nm, %	4,21	3,92	3,55	2,15	\sim 4,3	\sim 6,0	\sim 7,1	\sim 15,7

The share of the blue part of the spectrum in the emission power distribution of the SunLike LED modules turned out to be higher than in traditional modules with a single-component phosphor at similar color temperatures. Their photo biological safety is ensured by the form of the spectral characteristic that triggers the natural mechanism of eye protection due to constriction of the pupil, at least up to a color temperature of 4000K (fig. 2).

Conclusions

Based on the results of the measurements and calculations, the following conclusions can be drawn.

The proposed method increases the photo biological safety of the spectrum of LED illuminators to the level of natural illumination due to adequate regulation of the pupil diameter and does not increase the total fraction of the emission power in the region $\lambda \leq 450$ nm, which is

The paper also estimated the fraction of emission power with a wavelength of less than 450 nm in the emission spectra for the three investigated variants of combinations of white and color modules. Similar calculations were carried out for the spectral characteristics of four SunLike modules with color temperatures of 3000K, 3500K, 4000K and 6500K. The calculation results are summarized in table 3.

dangerous for vision (shaded area in fig. 3). This fraction is even less than in SunLike modules (table 3) at close values of color temperature, since their emission spectrum is expanded to the region of shorter wavelengths and starts from $\lambda \approx 370$ nm).

The article deliberately does not indicate the specific types of the studied modules. The method is implemented with additional modules of different λ_{MAX} to the right of $\lambda = 480$ nm within the dip; the closer λ_{MAX} is to 480nm, the fewer modules complementary to the spectrum are needed.

Considering that CVCs of color and white LEDs are close, but not identical, their series connection leads to a redistribution of the emission power. In addition, LEDs from different manufacturers differ in energy efficiency and electrical parameters, therefore, the calculated ratios from table 2 in practice need to be adjusted in each specific case.

References

- Bartosh, A. (2020), "Why LED lamps are dangerous for human health and the environment" ["Chem opasny svetodiodnyye lampy dlya zdorov'ya cheloveka i okruzhayushchey sredy"], available at : <https://samelectrik.ru/chem-opasny-svetodiodnyye-lampy.html> (last accessed 28.07.2020)
- Zak, P. P., Ostrovsky, M. A. (2012), "Potential danger of illumination by LEDs for the eyes of children and adolescents" ["Potentsial'naya opasnost' osveshcheniya svetodiodami dlya glaz detey i podrostkov"], *Svetotekhnika*, No. 3, P. 4–5.
- Deinogo, V. N. (2016), "Increased dose of blue light in the spectrum of artificial light sources" ["Povyshennaya doza sinego sveta v spektre iskusstvennykh istochnikov sveta"], *Electric*, No. 1-2, P. 22–28.
- Aladov A.V., Zakgeim A.L., Mizerov M.N., Chernyakov A.E. (2012), "On the biological equivalent of radiation from LED and traditional light sources with a color temperature of 1800–10000 K" ["O biologicheskom ekvivalente izlucheniya svetodiodnykh i traditsionnykh istochnikov sveta s tsvetovoy temperaturoy 1800–10000 K"], *Svetotekhnika*, No. 3, P. 7–10.
- Jordan, V., Halbritter, V., Horak, V. (2009), "Metrological requirements for determining the characteristics of photobiological hazards of lamps and LEDs" ["Metrologicheskiye trebovaniya k opredeleniyu kharakteristik fotobiologicheskikh opasnostey lamp i svetodiodov"], *Svetotekhnika*, No. 5, P. 50–57.

6. "Seoul Semiconductor SunLike is the first lighting LED to achieve RG 1 safety certification" ["Seoul Semiconductor SunLike — pervyyu osvitetel'nyy svetodiod, poluchivshiy sertifikat bezopasnosti RG 1"], available at : <https://www.ixbt.com/news/2017/11/22/seoul-semiconductor-sunlike-rg-1.html> (last accessed 28.07.2020)
7. "Sources of light. SunLike: sunlight technology for a happy life" ["Sources of light. SunLike: sunlight technology for a happy life"], available at : [http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/14\(5\).pdf](http://www.lightingmedia.ru/netcat_files/File/14(5).pdf) (last accessed 28.07.2020)
8. "New products from South Korean LED manufacturer Seoul Semiconductor" ["Novyye produkty ot yuzhnokoreyskogo proizvoditelya svetodiodov Seoul Semiconductor"], available at : <https://storage.sea.com.ua/uploads/files/LED/SSC-LED-Progress-Kiev-12092018.pdf> (last accessed 28.07.2020)
9. "GROWBYLEDS sunlike LED bulbs review" ["Obzor svetodiodnykh lamp sunlike ot GROWBYLEDS"]. available at : <http://led-obzor.ru/obzor-svetodiodnykh-lamp-sunlike-ot-growbyleds> (last accessed 28.07.2020)
10. "Innovative SunLike Natural Spectrum LEDs by Seoul Semiconductor", available at : <https://www.ledrise.eu/blog/innovative-sunlike-natural-spectrum-leds-by-seoul-semiconductor/> (last accessed 28.07.2020)
11. Rocheva, V. (2020), "Natural spectrum of LED lighting for a healthy indoor environment ["Yestestvennyy spektr svetodiodnogo osvshcheniya dlya zdorovoy sredy vnutri pomeshcheniy"]", *CHIP NEWS Ukraine*, No. 6 (196), P. 14–17.
12. Kleimenov, M. (2020), "Human-centered lighting" ["Chelovekoooriyentirovannoye osvshcheniye"], *CHIP NEWS Ukraine*, No. 6 (196), P. 12-13.
13. "The world's first serial lamps with a solar spectrum" ["Pervyye v mire seriynnye lampy s solnechnym spektrom"], available at : <https://habr.com/ru/company/lampstest/blog/488278/> (last accessed 28.07.2020)
14. Bendeberya, G. N., Bondarenko, I. N., Makovskaya, E. G. (2018), "Correction of the radiation spectrum of artificial light sources" ["Korrektsiya spektra yzlucheniya yskusstvennykh ystochnykov sveta"], *XVII International Scientific and Technical Conference "Instrument Making: Status and Prospects". Coll. Abstracts*, Kyiv : NTU KPI, P. 35–36.
15. Bendeberya, G. M., Makovskaya, O. G. (2019), "Protective coatings to increase the photobiological safety of artificial light sources" ["Zakhysni pokryttya dlya pidvyshchennya fotobiologichnoyi bezpeky shtuchnykh dzherel svitla"], *XVIII International Scientific and Technical Conference "Instrument Making: Status and Prospects". Coll. Abstracts*, Kyiv : NTU KPI, P. 32–33.
16. Bendeberya, G. N., Bondarenko, I. N., Makovskaya, E. G. (2015), "Optical unit for measuring the radiation characteristics of high-power LEDs under real operating conditions" ["Opticheskiy blok dlya izmereniya kharakteristik izlucheniya moshchnykh svetodiodov v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii"], *8th International Conference "Functional Base of Nanoelectronics" September 28 - October 2, 2015*, P. 192–195.

Received 19.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бондаренко Ігор Миколайович – доктор фізико-математичних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри МЕЕПП, Харків, Україна; email: ihor.bondarenko@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3907-6785>.

Бондаренко Ігорь Николаевич – доктор фізико-математических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой МЭПУ, Харьков, Украина.

Bondarenko Igor – Doctor of Sciences (Physical and Mathematical), Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of MEDA, Kharkiv, Ukraine.

Бендеберя Геннадій Миколайович – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри МЕЕПП, Харків, Україна; email: hennadii.bendeberya@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0070-4927>.

Бендеберя Геннадий Николаевич – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры МЭПУ, Харьков, Украина.

Bendeberya Hennadii – Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer of the Department of MEDA, Kharkiv, Ukraine.

Грицунів Олександр Валентинович – доктор фізико-математичних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри МЕЕПП, Харків, Україна; email: alexander.gritsunov@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2258-4006>.

Грицунів Александр Валентинович – доктор фізико-математических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры МЭПУ, Харьков, Украина.

Gritsunov Olexsandr – Doctor of Sciences (Physical and Mathematical), Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of MEDA, Kharkiv, Ukraine.

Маковська Олена Григорівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри МЕЕПП, Харків, Україна; email: elena1makovskaya@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4177-2229>.

Маковская Елена Григорьевна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры МЭПУ, Харьков, Украина.

Makovskaya Olena – Kharkiv National University of Radio Electronics, Graduate Student of the Department of MEDA, Kharkiv, Ukraine.

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ФОТОБІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СПЕКТРА ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОДІОДНОГО ДЖЕРЕЛА ОСВІТЛЕННЯ

Предметом дослідження є спектри випромінювання джерел світла на основі LED структур. **Мета** роботи – формування пропозицій з підвищення фотобіологічної безпеки світлодіодних освітлювальних систем. У статті вирішуються наступні **завдання**: аналіз ситуацій у сфері фотобіологічної безпеки джерел світла на основі світлодіодних структур, пропозиція

концепції щодо її підвищення в джерелах на основі LED модулів з двокомпонентним люмінофором. Використовуються такі методи, як порівняльний аналіз, спектрометричний метод. Отримані наступні **результати**. Проведений короткий аналіз факторів, що впливають на фотобіологічну безпеку штучних джерел світла на основі LED модулів та огляд сучасних технологічних розробок, спрямованих на її підвищення. Оскільки реалізація цих розробок має обмежений обсяг у структурі виробництва LED модулів та високу вартість, запропонована концепція підвищення фотобіологічної безпеки джерел світла, що використовує дешеві модулі білого світла з двокомпонентним люмінофором та додаткові кольорові модулі для заповнення провалу спектральної характеристики білого. Запропонований простий критерій розрахунку необхідного співвідношення білих та кольорових модулів за їх спеціальними характеристиками для активації природного механізму захисту очей за рахунок звуження зони. В роботі досліджувались кольорові модулі на довжину хвиль 480 нм, 492 нм і 503 нм. Показано, що кольорові модулі з меншою піковою довжиною хвилі потребують меншої кількості по відношенню до кількості білих для створення безпечного спектра випромінювання. Доля синьої частини спектра у розподілі потужності випромінювання LED модулів SunLike виявилася вище, ніж у традиційних модулів з двокомпонентним люмінофором при близьких температурах колірності. **Висновки**. Представлений спосіб підвищує фотобіологічну безпеку спектра LED джерел світла до рівня природного освітлення за рахунок адекватного регулювання діаметра зони та не збільшує сумарну долю потужності випромінювання в області $\lambda \leq 450$ нм, що є небезпечною для зору. Ця доля навіть менше, ніж у модулях SunLike при близьких значеннях температури колірності, оскільки їх спектр випромінювання розширюється в область більш коротких хвиль і починається з $\lambda \approx 370$ нм. Враховуючи, що ВАХ кольорових та білих світлодіодів близькі, але не ідентичні, їх послідовне з'єднання призводить до перерозподілу потужностей випромінювання. Крім цього, LED різних виробників відрізняються енергоефективністю і електричними параметрами, тому на практиці розрахунки потребують корегування в кожному конкретному випадку.

Ключові слова: спектр випромінювання; фотобіологічна безпека; довжина хвилі; LED; модуль; енергоефективність; температура колірності; передача кольору; освітлювач; конструкція; ВАХ.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ФОТОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА ОСВЕЩЕНИЯ

Предметом исследования являются спектры излучения источников света на основе LED структур. **Цель** работы – формирование предложений по повышению фотобіологіческой безопасности светодиодных осветительных систем. В статье решаются следующие **задачи**: анализ ситуации в сфере фотобіологіческой безопасности источников света на основе светодиодных структур, предложение концепции по ее повышению в источниках на основе LED модулей с двухкомпонентным люминофором. Используются такие методы, как сравнительный анализ, спектрометрический метод. Получены следующие **результаты**. Проведен краткий анализ факторов, влияющих на фотобіологіческую безопасность искусственных источников света на основе LED модулей и обзор современных технологических разработок, направленных на ее повышение. Поскольку реализация этих разработок имеет ограниченный объем в структуре производства LED модулей и высокую стоимость, предложена концепция повышения фотобіологіческой безопасности источников света, использующих дешевые модули белого света с двухкомпонентным люминофором и дополнительные цветные модули для заполнения провала спектральной характеристики белого. Предложен простой критерий расчета необходимого соотношения белых и цветных модулей по их спектральным характеристикам для активации естественного механизма защиты глаз за счет сужения зрачков. В работе исследовались цветные модули на длины волн 480 нм, 492 нм и 503 нм. Показано, что цветных модулей с меньшей пиковой длиной волны необходимо меньше по отношению к количеству белых для создания безопасного спектра излучения. В работе также была проведена оценка доли мощности излучения с длиной волны короче 450 нм в спектрах излучения трех исследованных вариантов комбинаций белых и цветных модулей и четырех модулей типа SunLike с различными цветовыми температурами. Доля синей части спектра в распределении мощности излучения светодиодных модулей SunLike оказалась выше, чем в традиционных модулях с двухкомпонентным люминофором при близких цветовых температурах. **Выводы**. Предложенный способ повышает фотобіологіческую безопасность спектра LED источников света до уровня естественного освещения за счет адекватного регулирования диаметра зрачка и не увеличивает суммарную долю мощности излучения в области $\lambda \leq 450$ нм, опасную для зрения. Эта доля даже меньше, чем в модулях SunLike при близких значениях цветовой температуры, поскольку их спектр излучения расширен в область более коротких длин волн и начинается с $\lambda \approx 370$ нм). Учитывая, что ВАХ цветных и белых светодиодов близки, но не идентичны, их последовательное соединение приводит к перераспределению мощности излучения. Кроме этого, LED разных производителей отличаются по энергоэффективности и электрическим параметрам, поэтому расчеты на практике нуждаются в корректировке в каждом конкретном случае.

Ключевые слова: спектр излучения; фотобіологіческая безопасность; длина волны; LED; модуль; энергоэффективность; цветовая температура; цветопередача; осветитель; конструкция; ВАХ.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Бондаренко І. М., Бендебєра Г. М., Грицунов О. В., Маковська О. Г. Підвищення рівня фотобіологічної безпеки спектра випромінювання світлодіодного джерела освітлення. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 138–144. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.138>.

Bondarenko, I., Bendebeyra, H., Gritsunov, O., Makovskaya, O. (2020), "Increasing the level of photo biological safety of the emission spectrum of an LED light source", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 138–144. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.138>.

О. Б. ЗАЙЧЕНКО, Н. Я. ЗАЙЧЕНКО

БАГАТОЗОНДОВИЙ МІКРОХВИЛЬОВИЙ МУЛЬТИМЕТР З ОБРОБКОЮ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ ФІЛЬТРОМ КАЛМАНА

Предметом дослідження в статті є процес вимірювання параметрів сигналів і трактів надвисоких частот (НВЧ). **Мета** роботи – реалізація на ПЛІС багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів з підвищенням точності за рахунок оптимальної обробки інформації, отриманої з датчиків. У статті вирішуються наступні **завдання**: створення моделі багатозондового мікрохвильового мультиметра з надмірною кількістю датчиків використання фільтрації Калмана у методі багатозондових мікрохвильових вимірювань і його реалізація на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС). Використовуються такі методи: лінійна алгебра при визначенні проміжних змінних зі зворотної матриці системи рівнянь, що описують багатозондову систему при побудові алгоритму обробки сигналів датчиків при непрямому вимірюванні потужності і коефіцієнта відбиття сигналів датчиків, теорія оцінювання при фільтрації проміжних змінних, як цільова функція при цьому виступає сума елементів головної діагоналі матриці дисперсії і коваріації (чим менше ця сума, тим менше похибка) за аналогією з методом найменших квадратів, де при D-оптимальному плануванні експерименту мінімізують добуток елементів головної діагоналі матриці дисперсії і коваріації, тому що добуток елементів головної діагоналі вносить основний вклад в обчислення визначника при зневажливо малих внедіагональних елементах матриці дисперсії і коваріації, в свою чергу визначник матриці дисперсії і коваріації візуалізується еліпсоїдом розсіювання, чим менше який, тим точніше вимірювання. Отримані наступні **результати**: удосконалена математична модель багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів НВЧ, яка ґрунтується на перетворенні сигналів датчиків, розташованих вздовж напрямку передачі потужності у тракті у падаючу, відбиту та ту, що проходить, потужності і комплексний коефіцієнт відбиття навантаження, яка відрізняється фільтрацією проміжних змінних, що дозволило збільшити точність, запропоновано кінцевий автомат з такими станами, як прогнозування і оновлення алгоритму фільтра Калмана та його моделювання за допомогою ПЛІС. **Висновки** удосконалення обробки сигналів датчиків багатозондового мікрохвильового мультиметра дозволили збільшити точність вимірювань.

Ключові слова: багатозондовий мікрохвильовий мультиметр; фільтр Калмана; кінцевий автомат; ПЛІС; алгоритм обробки; надмірність.

Вступ

Технічний стан НВЧ-апаратури для зв'язку, супутникового телебачення, радіолокації визначають шляхом вимірювань параметрів електромагнітних коливань і параметрів передавальних трактів, серед яких основними є потужність і комплексний коефіцієнт відбиття навантаження.

Особливістю вбудованого контролю є неможливість безпосередньої участі оператора в процесі вимірювань, а також експлуатація вимірювальних засобів в жорстких кліматичних і механічних умовах під впливом широкого діапазону температур, вібрацій, ударів і інших чинників. У цих умовах використання відомих методів побудови автоматизованих вимірювальних приладів ускладнене, оскільки вони не забезпечують при малих габаритах перетворювачів збереження метрологічних характеристик протягом довгого часу в заданих межах, що призводить до зниження надійності та достовірності контролю.

З вбудованих засобів вимірювання і методів, на яких вони засновані, найбільш універсальним, і тому перспективним, є багатозондовий метод. Цей метод здатний забезпечити одночасне вимірювання як імпедансних характеристик тракту, так і енергетичних характеристик сигналу. На відміну від методу спрямованого відгалужувачі, він здатний працювати в трактах з великим розузгодженням, менш чутливий до позасмугових складових сигналу генератора. Однак цей метод вимагає підвищення точності. Підвищення точності за рахунок апаратних засобів, таких як

розробка нових датчиків, досягло межі. Залишився шлях підвищення точності багатозондового методу за рахунок дослідження маловивчених джерел похибок і їх усунення обробкою сигналів датчиків за оптимальними алгоритмами.

Застосування більш точних засобів вимірювання, принцип дії яких заснований на багатозондовому методі, доцільно і актуально, оскільки забезпечить економію енергоносіїв при експлуатації обладнання НВЧ, особливо при великих рівнях потужності за рахунок узгодження тракту, яке виконується за результатами вимірювань, а також в критичних ситуаціях сприятиме попередженню виходу з ладу генераторного обладнання.

Аналіз стану та перспектив багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів НВЧ

У книзі [1] на сучасному рівні викладено практичне використання дванадцятиполюсників для мікрохвильових вимірювань, бездротових мереж і ін. Дванадцятиполюсні рефлектометри з'явилися в 70-х роках минулого століття і були розроблені Г.Ф. Енгеном. Одночасно у вітчизняній літературі опубліковані відомості про прилади з аналогічним принципом дії із різними назвами, такими як ватметри, багатозондові вимірювальні лінії, аналізатори кіл, рефлектометри, серед яких виділяється назва мультиметр, тому що вимірюється одночасно кілька параметрів: потужність, яка характеризує генератор і коефіцієнт відображення,

який характеризує навантаження. Таку назву як мультиметр введено А.І. Механніковим, авторитетним російським вченим з ВНДІФТРВ. Мультиметр, розроблений у ВНДІФТРВ, використовується в еталоні потужності, тобто його відрізняє висока точність. Визначення багатозондового відноситься до багатозондового методу вимірювань, а мікрохвильовий підкреслює, що цей радіовимірювальний прилад відноситься до діапазону надвисоких частот. Таким чином, багатозондовий мікрохвильовий мультиметр за міжнародною класифікацією відноситься до дванадцятиполюсних рефлектометрів і аналізаторів кіл, останні із згаданих пристроїв визначають матрицю розсіювання

тестованих пристроїв, оскільки, як відомо, з параметрами відбиття пов'язані параметри матриці розсіювання.

Багатозондовий мікрохвильовий мультиметр може одночасно вимірювати параметри сигналу, такі як відбита, падаюча і прохідна потужність, і параметр тракту, такі як модуль і фаза коефіцієнта відбиття навантаження, де навантаженням виступає тестований пристрій (DUT) [1-3]. Багатозондовий мікрохвильовий мультиметр має такий склад: два вхідних порти і чотири вихідних порти (рис. 1), сигнали чотирьох вихідних портів є чотирма різними лінійними комбінаціями хвиль, присутніх на його входах.

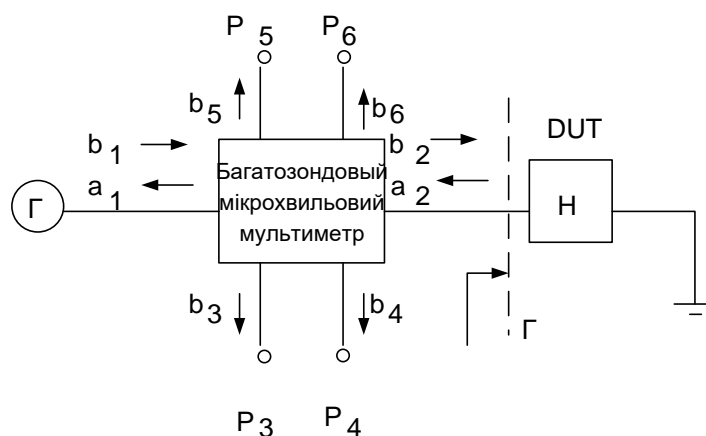


Рис. 1. Багатозондовий мікрохвильовий мультиметр (Г–генератор, Н–навантаження)

За більш ніж п'ятидесятирічну історію дванадцятиполюсні рефлектометри переживали і популярність і забуття, проте стабільно є об'єктом уваги, оскільки набагато дешевше векторних аналізаторів кіл, за рахунок більш простих датчиків, з сигналів яких шляхом обчислень отримують векторні величини комплексного коефіцієнта відбиття. Сучасні публікації в основному зосереджені на практичних додатках. Велика частина з них присвячена радарам на базі дванадцятиполюсних рефлектометрів, починаючи від [3], до сучасних [14–15], в тому числі медичні додатки [2]. Практичні напрямки більш привабливі тим, що в них отримання результатів відбувається швидше, ніж у теоретичних. Це пояснюється тим, дванадцятиполюсники в цілому і мультиметри зокрема характеризуються розвиненим і усталеним математичним апаратом, що включає графоаналітичне подання рішень у вигляді перетину кіл на площині комплексного коефіцієнта відбиття, введено Г.Ф. Енгеном і яке згодом стало візитною карткою даного методу вимірювань. Поряд з графоаналітичним поданням моделі існує також і аналітичне подання, що полягає в описі системи за допомогою лінійної алгебри. Приблизно тоді ж на початку 70-х Г.Ф. Енгеним опублікована перша робота про застосування методу найменших квадратів в обробці сигналів датчиків у припущенні про їх надмірну кількість, тобто, якщо в класичному дванадцятиполюснику чотири датчика, то збільшення кількості датчиків може підвищити точність

результатів, причому незначно ускладнюючи і збільшуючи вартість пристрою. Метод найменших квадратів наразі розвивається представниками саратовської школи під керівництвом А.А.Львова [4, 12, 13], де отримано ряд цікавих наукових і прикладних результатів в вимірюванні параметрів діелектриків, інтернеті речей та ін. в прикладному плані, а також калібрування і розглядання в метрологічному сенсі математичної моделі і алгоритму з точки зору D-оптимального планування експерименту, заснованого на методі найменших квадратів з рядом цікавих висновків в теоретичному плані. Наш інтерес до даної теми [5, 7, 11] пояснюється історичними передумовами у вигляді існування харківської школи мікрохвильових вимірювань на базі ХНУРЕ, і в зазначених публікаціях [5, 7, 11] показаний перехід від методу найменших квадратів до фільтру Калмана [6] і процедури Робінса-Монро, а також проведено порівняння точності при обробці даними методами. Проведене моделювання і його результати призвели до наступного етапу – реалізації. Причому вибрано для реалізації обладнання не найпростіше з точки зору чисельних методів – ПЛІС [10].

Метою роботи є реалізація на ПЛІС багатозондового методу вимірювання параметрів сигналів і трактів з підвищенням точності за рахунок оптимальної обробки інформації, отриманої з датчиків.

Математична модель багатозондового мікрохвильового мультиметра з надмірною кількістю датчиків, обробкою фільтром Калмана і отримані алгоритми

Фізична модель для багатозондового методу – це довільне кількість датчиків, встановлених на рівній відстані уздовж мікрохвильового тракту. Сигнали датчиків різні через те що пропорційні різній фазовій відстань від навантаження, що визначається їх розташуванням вздовж тракту. Математична модель багатозондового методу – система лінійних рівнянь. Система лінійних рівнянь пов'язує сигнали датчиків P_1, P_2, P_3 з невідомою падаючої потужністю P_{nao} і комплексним коефіцієнтом відбиття навантаження Γ, ϕ .

Зв'язок між ними здійснюється через проміжні змінні b_0, b_1, b_2 .

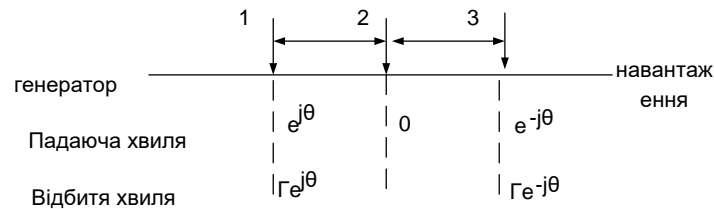


Рис. 2. Розташування трьох датчиків в вимірювальній секції

Після тригонометричного перетворення система лінійних рівнянь (1) в матричній формі має вигляд

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos \theta & \sin \theta \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cos \theta & -\sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{nao}(1+\Gamma^2) \\ P_{nao}\Gamma \cos \phi \\ P_{nao}\Gamma \sin \phi \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Введемо проміжні змінні на основі виразу (2) і позначимо її

$$b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{nao}(1+\Gamma^2) \\ P_{nao}\Gamma \cos(\phi) \\ P_{nao}\Gamma \sin(\phi) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Матриця системи рівнянь A

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cos \theta & \sin \theta \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & \cos \theta & -\sin \theta \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матриця сигналів датчиків

$$P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Математична модель мікрохвильового рефлектометра з трьома датчиками в матричному вигляді

$$[P] = [A][b]. \quad (6)$$

Математична модель дванадцятиполюсного пристрою являє собою систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Для вирішення системи рівнянь використовується апарат лінійної алгебри.

Модель для вимірювальної секції з трьома датчиками

$$\begin{cases} P_1 = P_{nao}(1+\Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\phi - \theta)) \\ P_2 = P_{nao}(1+\Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\phi)) \\ P_3 = P_{nao}(1+\Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\phi + \theta)) \end{cases}, \quad (1)$$

де Γ – модуль коефіцієнта відбиття, ϕ – фаза коефіцієнта відбиття, θ – фазова відстань між сусідніми датчиками, P_{nao} – падаюча потужність. Розташування трьох датчиків в вимірювальній секції показано на рис. 2.

Вона має рішення в матричному вигляді

$$[b] = [A]^{-1} \cdot [P], \quad (7)$$

де 1 – знак інверсії.

Рішення для проміжних змінних як функцій сигналів датчиків з виразу (7) має вигляд

$$b_0 = P_{nao}(1+\Gamma^2) = \frac{-P_1 + 2P_2 \cos \theta - P_3}{2(\cos \theta - 1)}, \quad (8)$$

$$b_1 = P_{nao}\Gamma \cos \phi = \frac{P_1 - 2P_2 + P_3}{2(\cos \theta - 1)}, \quad (9)$$

$$b_2 = P_{nao}\Gamma \sin \phi = \frac{P_1 - P_3}{2 \sin \theta}. \quad (10)$$

З проміжних змінних невідома передана потужність розраховується відповідно до її визначення

$$P_{prox} = \sqrt{b_0^2 - b_1^2 - b_2^2}. \quad (11)$$

Для фіксованої частоти і фазової відстані між сусідніми датчиками $\pi/2$

$$P_{prox} = \sqrt{(b_0 - b_2)(b_0 + b_2) - b_1^2}, \quad (12)$$

тоді

$$P_{prox} = \sqrt{P_1 \cdot P_3 - (2 \cdot P_2 - P_1 - P_3)^2}, \quad (13)$$

або для

$$P_{\text{пox}} = \sqrt{(b_0 - b_1)(b_0 - b_1) - b_2^2}, \quad (14)$$

тоді

$$P_{\text{пox}} = \sqrt{P_2 \cdot (2 \cdot P_2 - P_1 - P_3) - \left(\frac{P_1 - P_3}{2}\right)^2}. \quad (15)$$

У сигналах реальних датчиків через радіоперешкоди присутні випадкові похибки. Це означає, що наведена вище модель потребує вдосконалення, щоб залишатися точною. Точність може бути поліпшена шляхом усереднення і компенсації випадкових похибок. Умовою застосування такого підходу є надмірна кількість датчиків. Сигнали надлишкового числа датчиків обробляються алгоритмом фільтрації Калмана, який добре відомий в теорії управління [6]. Це покрокове уточнення оцінки шляхом обробки сигналів додаткових датчиків. Важливим моментом є те, що датчики в мікрохвильовому дванадцятиполюсному рефлектометрі просторово дискретні уздовж хвилевідного тракту, в той час як в класичній моделі фільтрації Калмана ці сигнали дискретні в часі.

Рівняння фільтрації

$$b(k+1) = b(k) + K(k)[P(k) - A(k)b(k)], \quad (16)$$

де $K(k)$ – коефіцієнт посилення, який забезпечує збіжність процедури

$$K(k) = \left(M^{-1} + A(k)^T R(k)^{-1} A(k)\right)^{-1} A(k)^T R(k)^{-1} = D(k)A(k)^T R(k)^{-1}, \quad (17)$$

де $D(k)$ – апостериорна дисперсія, для першого кроку ітерації вона дорівнює

$$D(k) = \left(D(k-1)^{-1} + A(k)^T R(k)^{-1} A(k)\right)^{-1}, \quad (18)$$

$b(k+1)$ – проміжна змінна на $k+1$ кроці, $b(k)$ – проміжна змінна на попередньому кроці, матриця R визначає похибку поточного вимірювання сигналів датчиків, матриця визначає стандартну девіацію проміжних змінних на даному етапі, T – знак транспонування матриці,

$$A(k) = \begin{bmatrix} 1 & \cos \theta & \sin \theta \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos \theta & -\sin \theta \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos k\theta & -\sin k\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos \theta & \sin \theta \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos \theta & -\sin \theta \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(i-1)\theta & -\sin(i-1)\theta \end{bmatrix},$$

де i кількість датчиків, $i=1,2,\dots,8$. Крок $k=1$ відповідає $i=3$ датчикам, $k=2$ відповідає $i=4$ датчиків и та ін.

Перша ітерація для проміжних змінних обчислюється з виразів (8)–(10). Ці самі вирази служать для обчислення матриці M діагональних елементів. Діагональні елементи M є середньоквадратичними відхиленнями (8)–(10), за

умови, що сигнали датчиків мають однакове стандартне відхилення і некорельовані

$$M = \sigma^2 \begin{bmatrix} \frac{2 \cos^2 \theta + 1}{2(\cos \theta - 1)^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2(\cos \theta - 1)^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2 \sin^2 \theta} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

де σ – стандартне відхилення.

Рівняння фільтрації Калмана (17) може бути надано структурною схемою (рис. 3), фізичний зміст якої полягає в тому, що вимірювані сигнали датчика надходять на вхід, проміжні змінні формуються на виході. Проміжні змінні, які отримані з виходу зберігаються в пристрої зберігання і, в той же час, помножені на $A(k)$, стають обчисленим сигналом датчика, який подається на другий вхід. Цей розрахований сигнал і вимірний сигнал віднімаються. Результуюча різниця множиться на коефіцієнт посилення $K(k)$. Добуток додається до вимірюваного сигналу. Це уточнена оцінка. У той же час він зберігається для наступного кроку і є вихідним сигналом. Процес ітеративний.

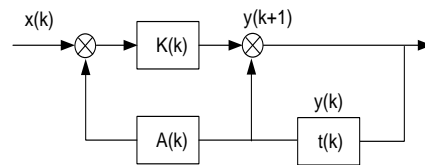
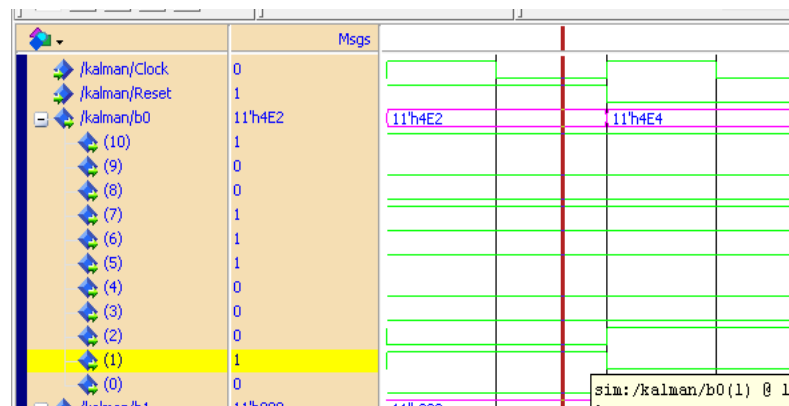
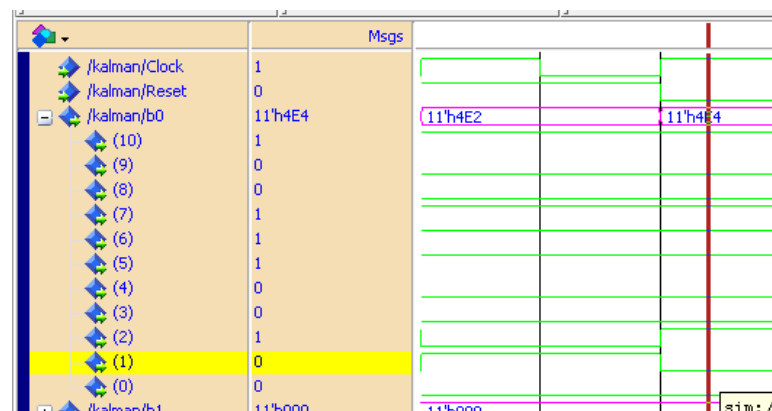


Рис. 3. Структура ітеративного алгоритму фільтра Калмана

Результати моделювання багатозондового мікрохвильового мультиметра з надмірною кількістю датчиків, обробкою фільтром Калмана та їх обговорення

Розглянемо застосування описаної процедури обробки сигналів датчиків дванадцятиполюсного рефлектометра за допомогою програмованої вентиляльної матриці (FPGA). Завдання цього підрозділу – використовувати FPGA при моделюванні та валідації запропонованого алгоритму для сигналу датчиків з обробкою за допомогою фільтра Калмана. Був обраний поведінковий підхід в програмуванні ПЛІС, тому що структурний підхід громіздкий [7–8].

При проектуванні цифрових пристроїв модель кінцевого автомата (FSM) широко поширена. Розглянемо можливість застосування FSM з фільтром Калмана. Було запропоновано чергувати в фільтрі Калмана стани "Припущення", "Оновлення", "Припущення1", "Оновлення1", "Припущення2" і так далі. Чергування відбувається по передньому фронту сигналу Clock. Був використаний VHDL для реалізації кінцевого автомата (FSM). Код VHDL складається з трьох процесів: STATE MEMORY, NEXT STATE LOGIC и OUTPUT LOGIC [11].

Рис. 4. Результати моделювання для проміжної змінної b_0 на першому кроці ітерації (три датчика)Рис. 5. Результати моделювання для проміжної змінної b_0 на другому кроці ітерації (чотири датчика)

Вихідними даними для моделювання є матриці системи $A(k)$, матриця вхідних сигналів $P(k)$, матриці M , $R(k)$ обчислені заздалегідь для k кроків, тобто для трьох, чотирьох, п'яти і т.д. датчиків. Вихід - це матриця проміжних змінних $b(k)$.

Для моделювання був використаний Modelsim-SE-64 10.5. Рис. 4 і 5 демонструє результати моделювання. На рис. 4 показано значення змінної b_0 на першому кроці ітеративного процесу, на рис. 5 показано значення змінної b_0 на другому кроці ітеративного процесу. Змінна b_0 по фронту сигналу Clock отримує наступне значення, яке наближується до істинного значення.

В даний час ПЛІС дуже популярні, оскільки мають низку переваг [3]. Але як показала спроба реалізації алгоритмів мультиметра на ПЛІС зустрічається багато труднощів при спробі реалізації методів обчислювальної математики, які включають в себе ітеративний метод розрахунку системи лінійних алгебраїчних рівнянь на VHDL. Наприклад, реальний тип даних не належить до синтезованого набору мови VHDL, що означає, що арифметичні операції не визначені для таких даних, змінні цього типу не призначаються. Ця проблема була частково вирішена шляхом перетворення типів даних. Знання предметної області дозволило нам перейти від змінних типу real до цілочисельних змінних. Для такого переходу стовпець матриці сигналів датчиків виражається в

мілівольтах, а матриця системи, що складається з синусів і косинусів фазових відстаней, була перетворена в такий спосіб. Ми вибрали фазову відстань між сусідніми датчиками 90 градусів. В цьому випадку були отримані синуси і косинуси як цілочисельні значення. Така програма може бути змодельована і синтезована в VHDL. В даний час виникають проблеми з точністю таких і подібних розрахунків. Перш за все, на рівні алгоритму існує проблема його збіжності до точного рішення. Крім того, ітеративний процес має умову зупинки при досягненні бажаної точності, але це також є джерелом помилки. І, нарешті, можливості обчислювального апарату. Коли перемножуються 16-розрядні числа, виходять 32-розрядні числа і так далі. Тому в подальшому необхідно оцінювати невизначеність результату.

Висновки

Точність може бути поліпшена при усередненні при обробці сигналів датчика рефлектометра з шістьма портами. Найкраща оцінка потужності і коефіцієнта відображення може бути отримана за допомогою фільтрації Калмана. Наведено приклад першої і другої ітерації для обробки на основі трьох сигналів датчиків, а потім додаванні сигналу четвертого датчика. Було доведено, що точність буде поліпшена, якщо додати наступний п'ятий датчик, і так далі.

Була обрана реалізація запропонованого методу на ПЛІС за допомогою VHDL. Часова діаграма (рис. 4, 5) містить вхідні сигнали, такі як Clock, Reset і вихідний сигнал b_0 , поточний стан і наступний стан.

Було показано зміна вихідних даних b_0 на 0 і 2 бітах, що збігаються з очікуванням.

Практична значимість отриманих результатів полягає в розробці методик синтезу та верифікації фільтра Калмана для мікрохвильових вимірювань.

Також зроблено висновок, що обчислення зворотних матриць під час використання алгоритму фільтрації Калмана слід уникати, так як це займає більше часу, ніж інші розрахунки.

Список літератури

- Ghannouchi F. M., Mohammadi A. The six-port technique with microwave and wireless applications, Artech House, 2009, 231 p.
- Vinci G., Lindner S., Barbon F., Mann S., Hofmann M., Duda A., Koelpin A., Six-port radar sensor for remote respiration rate and heartbeat vital-sign monitoring. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2013, № 61 (5), 2093–2100. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2247055>
- Li J., Bosisio R. G., Wu K. A collision avoidance radar using six-port phase/frequency discriminator (SPFD). 1994 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, May 1994, P. 1553–1556. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1994.335278>
- L'vov A. A., Geranin R. V., Semezhev N., L'vov P. A. Statistical approach to measurements with microwave multi-port reflectometer and optimization of its construction. 2015 Conference on Microwave Techniques (COMITE), P. 1–4, April 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMITE.2015.7120229>
- Zaichenko O. B., Klyuchnik I. I., Miroshnik M. A., Tzekhmistro R. I. The comparative analysis of a multiprobe microwave multimeter with involvement of processing by Kalman filter and the least-squares methods with regard for re-reflection of probes. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2015, No. 74(1), P. 79–86. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v74.i1.70
- Gelb A. Applied optimal estimation, MIT press, 1974, 316 p.
- Zaichenko O., Miroshnyk M., Galkin P. Model and Algorithms for Microwave Mutiport Receiver, Problems of Infocommunications. Science and Technologies. PICST. P. 183–186, October 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061275>
- Lima J. A. Multi-Port Receivers System Analysis and Modeling. Doctoral dissertation, Carleton University, 2017, 203 p.
- Spirov R., Grancharova N., FPGA Kalman Filter for Intelligent Heating Technology System, XXIX International Scientific Symposium. Metrology and Metrology Assurance. P. 123–127, September 2019.
- LaMeres B. J. Introduction to Logic Circuits and Logic Design with VHDL. Springer, 2019, 503 p.
- Zaichenko O., Galkin P., Zaichenko N., Miroshnyk M. (2020, February). Six-port Reflectometer with Kalman Filter Processing of Sensor Signals. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2020, P. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061275>
- Semezhev N., L'vov A., Askarova A., Ivzhenko S., Vagarina N., Umnova E., Mathematical Modeling and Calibration Procedure of Combined Multiport Correlator. Conference on Information Technologies. Springer, Cham. P. 705–719. February, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_57
- L'vov A. A., Geranin R. V., Semezhev N. V., Solopekina A. A., L'vov P. A. A novel parameter estimation technique for software defined radio system based on broadband multi-port receiver. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). P. 1–5. May, 2015.
- Moldovan E. A., Tatu S., Gaman T., Bosisio R. New 94-GHz Six-Port Collision-Avoidance Radar Sensor. *IEEE Transaction on Microwave Theory and Technique*, Vol. 52. № 3. P. 751–759. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.823533>
- Lindner S., Barbon F., Linz S., Mann S., Weigel R., Koelpin A. Distance measurements based on guided wave 24GHz dual tone six-port radar. In 2014 11th European Radar Conference, P. 57–60. October, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/EuRAD.2014.6991206>

References

- Ghannouchi, F. M., Mohammadi, A. (2009), *The six-port technique with microwave and wireless applications*, Artech House, 231 p.
- Vinci, G., Lindner, S., Barbon, F., Mann, S., Hofmann, M., Duda, A., Koelpin, A. (2013), "Six-port radar sensor for remote respiration rate and heartbeat vital-sign monitoring", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, No. 61 (5), P. 2093–2100. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2247055>
- Li, J., Bosisio, R. G., Wu, K. (1994), "A collision avoidance radar using six-port phase/frequency discriminator (SPFD)", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, May 1994*, P. 1553–1556. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSYM.1994.335278>
- L'vov, A. A., Geranin, R. V., Semezhev, N., L'vov, P. A. (2015), "Statistical approach to measurements with microwave multi-port reflectometer and optimization of its construction," *2015 Conference on Microwave Techniques (COMITE)*, P. 1–4, DOI: <https://doi.org/10.1109/COMITE.2015.7120229>
- Zaichenko, O. B., Klyuchnik, I. I., Miroshnik, M. A., Tzekhmistro, R. I., (2015) "The comparative analysis of a multiprobe microwave multimeter with involvement of processing by Kalman filter and the least-squares methods with regard for re-reflection of probes", *Telecommunications and Radio Engineering*, No. 74 (1), P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v74.i1.70>
- Gelb, A., (1974), *Applied optimal estimation*, MIT press, 316 p.
- Zaichenko, O., Miroshnyk, M., Galkin, P. (2019), "Model and Algorithms for Microwave Mutiport Receiver," *Problems of Infocommunications, Science and Technologies, PICST*, P. 183–186. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061275>
- Lima, J. A. (2017), *Multi-Port Receivers System Analysis and Modeling*, Doctoral dissertation, Carleton University, 203 p.
- Spirov, R., Grancharova, N. (2019), "FPGA Kalman Filter for Intelligent Heating Technology System," *XXIX International Scientific Symposium, Metrology and Metrology Assurance, September 2019*, P. 123–127.
- LaMeres, B. J. (2019), *Introduction to Logic Circuits and Logic Design with VHDL*, Springer, 503 p.

11. Zaichenko, O., Galkin, P., Zaichenko, N., Miroshnyk, M. (2020), "Six-port Reflectometer with Kalman Filter Processing of Sensor Signals," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, P. 55–58. DOI: <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061275>
12. Semezhev, N., L'vov, A., Askarova, A., Ivzhenko, S., Vagarina, N., Umnova, E. (2019), "Mathematical Modeling and Calibration Procedure of Combined Multiport Correlator," *Conference on Information Technologies*, Springer, Cham., P. 705–719. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_57
13. L'vov, A. A., Geranin, R. V., Semezhev, N. V., Solopekina, A. A., L'vov, P. A. (2015), "A novel parameter estimation technique for software defined radio system based on broadband multi-port receiver", *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) May, 2015*, P. 1–5.
14. Moldovan, E. A., Tatu, S., Gaman, T., Bosiso, R. (2004), "New 94-GHz Six-Port Collision-Avoidance Radar Sensor," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Technique*, Vol. 52, No. 3, P. 751–759. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.823533>
15. Lindner, S., Barbon, F., Linz, S., Mann, S., Weigel, R., Koelpin, A. (2014), "Distance measurements based on guided wave 24GHz dual tone six-port radar," *In 2014 11th European Radar Conference*, P. 57–60. DOI: <https://doi.org/10.1109/EuRAD.2014.6991206>.

Надійшла (Received) 11.08.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Зайченко Ольга Борисівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів, Харків, Україна; email: olha.zaichenko@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4936-2785>.

Зайченко Ольга Борисовна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры проектирования и эксплуатации электронных аппаратов, Харьков, Украина.

Zaichenko Olga – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Design and Operation of Electronic Devices, Kharkiv, Ukraine.

Зайченко Наталія Ярославівна – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв, Харків, Україна; email: nataliia.zaichenko@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9798-7136>.

Зайченко Наталия Ярославовна – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств, Харьков, Украина.

Zaichenko Nataliia – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduated Student of the Department of Microelectronics, Electronic Devices and Appliances, Kharkiv, Ukraine.

МНОГОЗОНДОВИЙ МИКРОВОЛНОВИЙ МУЛЬТИМЕТР С ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА

Предметом исследования в статье является процесс измерения параметров сигналов и трактов сверхвысоких частот (СВЧ). **Цель** работы – реализация на ПЛИС многозондового метода измерения параметров сигналов и трактов с повышением точности за счет оптимальной обработки информации полученной с датчиков. В статье решаются следующие **задачи**: создание модели многозондового микроволнового мультиметра с избыточным количеством датчиков применения фильтрации Калмана в методе многозондового микроволнового измерений и его реализация на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Используются такие **методы**: линейная алгебра при определении промежуточных переменных из обратной матрицы системы уравнений, описывающей многозондовую систему при построении алгоритма обработки сигналов датчиков при косвенном измерении мощности и коэффициента отражения сигналов датчиков, теория оценивания при фильтрации промежуточных переменных, как целевую функцию при этом используют сумму элементов на главной диагонали матрицы дисперсий и ковариаций, чем меньше эта сумма, тем меньше погрешность, по аналогии с методом наименьших квадратов, где при D-оптимальном планировании эксперимента минимизируют произведение элементов главной диагонали матрицы дисперсий и ковариаций, потому что произведение элементов главной диагонали вносит основной вклад в вычисление определителя при пренебрежимо малых внедиагональных элементах матрицы дисперсий и ковариаций, в свою очередь определитель матрицы дисперсий и ковариаций визуализируется эллипсоидом рассеяния, чем меньше который, тем точнее измерение. Получены такие **результаты**: усовершенствована математическая модель многозондового метода измерения параметров сигналов и трактов СВЧ, основанная преобразования сигналов датчиков, расположенных вдоль направления передачи мощности в тракте, в падающую, отраженную и проходящую мощности и комплексный коэффициент отражения нагрузки, которая отличается фильтрацией промежуточных переменных, что позволило повысить точность, предложен конечный автомат (FSM) с такими состояниями, как прогнозирование и обновление алгоритма фильтра Калмана и его моделирование с помощью ПЛИС. **Выводы**: усовершенствование обработки сигналов датчиков многозондового микроволнового мультиметра позволило повысить точность измерений.

Ключевые слова: многозондовый микроволновый мультиметр; фильтр Калмана; конечный автомат; ПЛИС; алгоритм обработки; избыточность.

MULTIPROBE MICROWAVE MULTIMETER WITH PROCESSING OF SENSORS SIGNALS WITH KALMAN FILTER

The **subject** matter of article is the process of measuring the parameters of microwave signals and tracts. The **goal** of work is implementation on FPGA of a multi-robe method for measuring parameters of signals and tracts with an increasing of accuracy due to optimal processing of information received from sensors. The following **tasks** have been solved in the article: creation of a model of a multiprobe microwave multimeter with an redundant number of sensors using Kalman filtering in the method of multiprobe microwave measurements and its implementation on field-programmable gate array (FPGA). The following **methods** were used: linear algebra when defining intermediate variables from the inverse matrix of the system of equations describing a multiprobe system when creating a sensor signal processing algorithm for indirect measuring the power and reflection coefficient from sensor signals, estimation theory when filtering intermediate variables, where the sum main diagonal elements of the variance and covariance matrix is used as an objective function, the smaller this sum, the smaller the error, by analogy with the least squares method, where the D-optimal experiment design minimizes the product of the elements of the main diagonal of the variance and covariance matrix, because the product of the elements of the main diagonal introduces the main contribution to the calculation of the determinant for negligible off-diagonal elements of the variance and covariance matrix, in turn, the determinant of the variance and covariance matrix is visualized by the scattering ellipsoid, the smaller which is, the more accurate the measurement. The following **results** were obtained a mathematical model of a multiprobe method for measuring parameters of signals and microwave tracts, based on the conversion of signals from sensors located along the direction of power transmission in the tract into incident, reflected and passing power and a complex reflection coefficient of the termination, which differs by filtering intermediate variables, which made it possible to improve accuracy; a finite state machine (FSM) was proposed with states such as forecasting and updating the Kalman filter algorithm and its modeling using FPGA. **Conclusions:** improvement of signal processing of multiprobe microwave multimeter sensors has improved the measurement accuracy.

Keywords: multiprobe microwave multimeter; Kalman filter; state machine; FPGA; processing algorithm; redundancy.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Зайченко О. Б., Зайченко Н. Я. Багатозондовий мікрохвильовий мультиметр з обробкою сигналів датчиків фільтром Калмана. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2020. № 3 (13). С. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.145>.

Zaichenko, O., Zaichenko, N. (2020), "Multiprobe microwave multimeter with processing of sensors signals with Kalman filter", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (13), P. 145–152. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.145>.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абрамова Г. А.	115
Аврунін О.Г.	115
Бендеберя Г. М.	138
Бондар А.В.	6
Бондаренко І. М.	138
Бронніков А.І.	58
Гаєвський С. В.	14
Гребенюк Д. С.	25
Грицунов О. В.	138
Давидов В. В.	25
Демченко А. В.	34
Зайченко Н. Я.	145
Зайченко О. Б.	145
Золотухін О. В.	65
Іванюк О. І.	43
Коломійцев О. В.	122
Кочан В. В.	129
Краївська І. А.	86
Кулаков І. П.	14
Маковська О. Г.	138
Малеєва О.В.	34
Малеєва Ю.А.	34
Мартовицький В. О.	43
Мелешко Є.В.	52
Момот Д.Т.	95
Мордик О. О.	58
Невлюдов І.Ш.	58
Овчелупова О. М.	106
Павленко В. М.	14
Піддубна Л. В.	34
Пустоваров В. В.	122
Семенець В.В.	65
Тімочко О. О.	14
Філатов В.О.	65
Цимбал О.М.	58
Шаповалов О. В.	14
Шаповалова С. І.	77

ALPHABETICAL INDEX

Abramova Hanna	115
Avrunin Oleg	115
Bendeberya Hennadii	138
Bondar Alla	6
Bondarenko Igor	138
Bronnikov Artem	58
Haievskiy Serhii	14
Hrebenuk Daryna	25
Gritsunov Oleksandr	138
Davydov Viacheslav	25
Demchenko Anatolii	34
Zaichenko Nataliia	145
Zaichenko Olga	145
Zolotukhin Oleg	65
Ivaniuk Oleksandr	43
Kolomiitsev Oleksii	122
Kochan Volodymyr	129
Kraivska Inna	86
Kulakov Igor	14
Makovskaya Olena	138
Malyeyeva Olga	34
Malieieva Julia	34
Martovytskyi Vitalii	43
Meleshko Yelyzaveta	52
Momot Daryna	95
Mordyk Olexandr	58
Nevliudov Igor	58
Ovchelupova Olga	106
Pavlenko Vladislava	14
Piddubna Lidiia	34
Pustovarov Volodymyr	122
Semenets Valerii	65
Timochko Oleksander	14
Filatov Valentin	65
Tsymbal Oleksandr	58
Shapovalov Oleksandr	14
Shapovalova Svitlana	77

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

Щоквартальний науковий журнал

№ 3 (13), 2020

Відповідальний секретар журналу *І. Г. Перова*
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. 17,33. 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