

Харківський національний  
університет радіоелектроніки

Kharkov National  
University of Radio Electronics

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

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

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

**INNOVATIVE  
TECHNOLOGIES  
AND  
SCIENTIFIC SOLUTIONS  
FOR INDUSTRIES**

№ 1 (1) 2017

No. 1 (1) 2017

*Щоквартальний  
науковий  
журнал*

*Quarterly  
scientific  
journal*

Харків  
2017

Kharkiv  
2017

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Головний редактор**  
Семенець Валерій Васильович, д-р. техн. наук, професор

**Заступник головного редактора**  
Рубан Ігор Вікторович, д-р. техн. наук, професор

**Заступник головного редактора**  
Момот Тетяна Валеріївна, д-р. екон. наук, професор

**Відповідальний секретар**  
Коваленко Андрій Анатолійович, канд. техн. наук,  
доцент

### Члени редколегії:

**Артиух Роман Володимирович**, канд. техн. наук;  
**Ахмстов Бахиджан Сражатдінович**, д-р. техн. наук,  
професор (Казахстан);  
**Байрамов Азад Агалар огли**, д-р. фіз.-мат. наук, професор  
(Азербайджан);  
**Безкоровайний Володимир Валентинович**, д-р. техн. наук,  
професор;  
**Зайцева Єлена**, д-р. техн. наук, професор  
(Словаччина);  
**Карпінські Миколай**, доктор наук, професор (Польща)  
**Кононенко Ігор Володимирович**, д-р. техн. наук,  
професор;  
**Косенко Віктор Васильович**, канд. техн. наук, доцент;  
**Костін Юрій Дмитрович**, д-р. екон. наук, професор;  
**Кучук Георгій Анатолійович**, д-р. техн. наук, професор;  
**Лепейко Тетяна Іванівна**, д-р. екон. наук, професор;  
**Малєєва Ольга Володимирівна**, д-р. техн. наук, професор;  
**Назарова Галина Валентинівна**, д-р. екон. наук, професор;  
**Невліудов Ігор Шакирович**, д-р. техн. наук, професор;  
**Пушкар Олександр Іванович**, д-р. екон. наук, професор;  
**Рамазанов Султанахмед Курбанович**, д-р. техн. наук,  
д-р. екон. наук, професор;  
**Савченко Ольга Олександрівна**, канд. філос. наук, доцент;  
**Соколова Людмила Василівна**, д-р. екон. наук, професор;  
**Тімофєєв Володимир Олександрович**, д-р. техн. наук,  
професор;  
**Тодоров Кирил**, д-р. екон. наук, професор (Болгарія);  
**Чумаченко Ігор Володимирович**, д-р. техн. наук,  
професор;  
**Чухрай Наталія Іванівна**, д-р. екон. наук, професор;  
**Ястремська Олена Миколаївна**, д-р. екон. наук, професор.

### ЗАСНОВНИКИ

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

### АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

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

## EDITORIAL BOARD

**Editor in Chief**  
Semenets Valery, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Ukraine

**Deputy Editor in Chief**  
Ruban Igor, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Ukraine

**Deputy Editor in Chief**  
Momot Tetiana, Dr. Sc. (Economics), Professor, Ukraine

**Assistant Editor**  
Kovalenko Andrey, Ph. D. (Engineering Sciences), Associate  
Professor, Ukraine

### Editorial Board Members:

**Artiukh Roman**, Ph. D. (Engineering Sciences) (Ukraine);  
**Akhmetov Bahidzhan Srazhatdinovich**, Dr. Sc. (Engineering),  
Professor (Kazakhstan);  
**Bayramov Azad oglu Agalar**, Dr. Sc. (Physical and  
Mathematical), Professor (Azerbaijan);  
**Bezkorovainyi Volodymyr**, Dr. Sc. (Engineering), Professor  
(Ukraine);  
**Zaitseva Elena**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Slovak  
Republic);  
**Karpinski Nicholas**, Dr. Sc., Professor (Poland);  
**Kononenko Igor**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Kosenko Viktor**, Ph. D. (Engineering Sciences), Associate  
Professor (Ukraine);  
**Kostin Yuri**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Kuchuk Heorhii**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Lepeyko Tetyana**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Malyeyeva Olga**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Nazarova Galina**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Nevliudov Igor**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Pushkar Olexandr**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Ramazanov Sultan**, Dr. Sc. (Engineering), Dr. Sc. (Economics),  
Professor (Ukraine);  
**Savchenko Olga**, Ph. D. (Philosophic Sciences), Associate  
Professor (Ukraine);  
**Sokolova Lyudmila**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Timofeyev Volodymyr**, Dr. Sc. (Engineering), Professor  
(Ukraine);  
**Todorov Kiril**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Bulgaria);  
**Chumachenko Igor**, Dr. Sc. (Engineering), Professor (Ukraine);  
**Chukhray Nataliya**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine);  
**Iastremaska Olena**, Dr. Sc. (Economics), Professor (Ukraine).

### ESTABLISHERS

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

### EDITORIAL OFFICE ADDRESS:

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

Затверджений до друку Вченою Радою Харківського національного університету радіоелектроніки  
(Протокол № 13 від 01 вересня 2017 р.).

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

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

## ЗМІСТ

5 **Семенець В. В.** Вступне слово

### Технічні науки

6 **Бабенко В. О., Алісейко О. В., Кочуєва З. А.**

Задача мінімаксного адаптивного управління інноваційними процесами на підприємстві з урахуванням ризиків (eng.)

14 **Безкоровайний В. В., Березовський Г. В.**

Оцінка властивостей технологічних систем із використанням нечітких множин (eng.)

21 **Гурин В. М., Персіянова О. Ю.**

Загальні принципи побудови моделі формування і функціонування неоднорідних команд для управління проектами (eng.)

28 **Діденко Є. В.**

Модель оцінки ризиків виробничого травматизму

36 **Ковалев В. Д., Шелковой А. Н., Клочко А. А.**

Технологические решения стационарной задачи рабочих жидкостей повышения долговечности зубчатых колес главных приводов тяжелых токарных станков

46 **Косенко В. В.**

Принципы і структура методології ризик-адаптивного управління параметрами інформаційно-телекомунікаційних мереж систем критичного застосування (eng.)

53 **Косенко Н. В., Кадикова І. М., Артюх Р. В.**

Формалізація завдання формування команди проекту на основі теорії корисності (eng.)

58 **Мартиненко О. С., Гусєва Ю. Ю., Чумаченко І. В.**

Метод освоєних вимог для моніторингу виконання проекту (eng.)

64 **Носова Я. В., Аврунїн О. Г., Семенець В. В.**

Біотехнічна система для комплексної ольфактометричної діагностики (eng.)

69 **Парфененко Ю. В.**

Модель підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача (eng.)

75 **Рубан І. В., Куцук Г. А., Коваленко А. А.**

Перерозподіл навантаження базових станцій в мобільних мережах зв'язку (eng.)

82 **Стародубцев Н. Г., Фомовский Ф. В., Невлюдова В. В., Малая И. А., Демская Н. П.**

Математическое моделирование выбора информативных признаков для анализа состояния процессов жизненного цикла радиоэлектронных средств

90 **Шулима О. В.**

Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії

### Економічні науки

98 **Аванесова Н. Е., Чупрін Є. С.**

Економічна безпека підприємства: сутнісна характеристика поняття (eng.)

103 **Момот Т. В., Чжан Хаоюй, Момот Д. Т.**

Забезпечення кадрової безпеки підприємств промисловості в умовах конфліктного середовища (eng.)

110 **Руженцев И. В., Луцкий С. В.**

Мера информации в экономических задачах

117 **Солодовник О. О., Докуніна К. І.**

Економічний механізм енергозбереження на підприємствах комунального господарства (eng.)

124 **Чех Н. О., Вінник І. Ю.**

Регуляторне середовище в діяльності підприємницьких структур України (eng.)

130 **Шаповал Г. М., Ващенко О. М.**

Вартісно-орієнтований підхід до управління оборотними активами корпоративних будівельних підприємств (eng.)

135 **Алфавітний показчик**

## CONTENTS

5 *Semenetz V.* Introduction

### Technical sciences

6 *Babenko V., Alisejko E., Kochuyeva Z.*

The task of minimax adaptive management of innovative processes at an enterprise with risk assessment

14 *Beskorovainyi V., Berezovskiy G.*

Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets

21 *Gurin V., Persiyanova E.*

General principles of building the model of development and operation of heterogeneous teams for project management

28 *Didenko E.*

The model of estimating the risks of work-related fatalities, injuries, and illnesses

36 *Kovalev V., Shelkovoy A., Klochko A.*

Technological solutions of the stationary task of working liquids for increasing the durability of main drive gears of high-power lathes

46 *Kosenko V.*

Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems

53 *Kosenko N., Kadykova I., Artiukh R.*

Formalizing the problem of a project team building based on the utility theory

58 *Martynenko O., Husieva Yu., Chumachenko I.*

The method of earned requirements for project monitoring

64 *Nosova Y., Avrunin O., Semenets V.*

Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics

69 *Parfenenko Yu.*

The model of decision support in centralized heating management on the consumer side

75 *Ruban I., Kuchuk H., Kovalenko A.*

Redistribution of base stations load in mobile communication networks

82 *Starodubtsev N., Fomovsky F., Nevliudova V., Malaia I., Demska N.*

Mathematical modelling of selecting informative features for analyzing the life cycle processes of radio-electronic means

90 *Shulyma O.*

Information technology of planning power supply of buildings with renewable energy sources

### Economic sciences

98 *Avanesova N., Chuprin Y.*

Enterprise economic security: essential characteristics of the concept

103 *Momot T., Zhang Haoyuy, Momot D.*

Ensuring personnel security of industrial enterprises under conditions of environmental conflicts

110 *Ruzhentsev I., Lutsky S.*

Information measure in economic tasks

117 *Solodovnik O., Dokunina K.*

Economic mechanism of energy saving at public utility companies

124 *Chekh N., Vinnyk I.*

Regulatory environment of business activities in Ukraine

130 *Shapoval G., Vashenko O.*

Value-based approach to managing current assets of corporate construction companies

135 **Alphabetical index**

## Шановні друзі!

У сучасному світі значення промисловості складно переоцінити, адже саме цей сектор виробництва визначає рівень і якість життя людей. Промисловість становить невід'ємну частину світової та національної економіки, оскільки це сила, здатна привести в рух технологічні дослідження різного ступеня складності. Саме в цю сферу людської діяльності в першу чергу впроваджуються всі нові розробки і досягнення науково-технічного прогресу. Інноваційний розвиток все в більшій мірі перетворюється в найважливішу складову процесу розвитку виробництва, інновації перетворилися на визначальний фактор ефективного розвитку промисловості, а стійке економічне зростання і створення нових конкурентних переваг стає можливим тільки за умови переходу на інноваційну модель економічного розвитку. Специфіка і унікальність нинішнього етапу економічного розвитку полягає в тому, що промисловість дає напрямки і орієнтири для теоретичних досліджень і, навпаки, теоретичні дослідження інтегруються в промисловість. Таким чином, теоретичне знання виступає важливим чинником розвитку прикладної науки і подальшого впровадження її досягнень у виробництво. Тому сьогодні як ніколи важливим і цікавим стає обмін думками, обговорення оригінальних ідей та нетрадиційних підходів до вирішення теоретичних і практичних проблем. Саме цьому і присвячене нове наукове видання – науковий журнал "Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості". Спілкування на сторінках журналу дозволить науковцям та виробничникам різних напрямів обмінятися результатами досліджень, сприятиме успішному виконанню наукових робіт та зближенню науки та виробництва.

Закликаю представників виробництва та науковців, що працюють як у технічній сфері, так й в галузі економіки, до активної участі в роботі нашого журналу та сподіваюсь на плідну співпрацю і бажаю успіхів, наснаги та творчої взаємодії.



Головний редактор журналу,  
доктор технічних наук,  
професор  
Семенець Валерій Васильович

Valery Semenetz  
Chief Editor, Doctor of  
Engineering, Professor

## Dear colleague!

In the modern world, it is impossible to overstress the importance of industry, because this sector of production determines the level and quality of human life. Industry is an integral part of the world and national economy because this is the power that can drive various technological researches. This is the sphere of human activity where all new developments and achievements of scientific and technological progress are implemented. Innovation development is increasingly becoming an important component of the process of production development, innovation has become a determining factor in the efficient development of industry, whilst sustainable economic growth and creation of new competitive advantages becomes possible only if the innovative model of economic development is actualized. The specific and unique feature of the current stage of economic development is emphasized by the fact that industry provides directions and benchmarks for theoretical studies, and vice versa, theoretical studies are integrated into industry. Thus, theoretical knowledge is an essential factor for the development of applied science and for the further introduction of its achievements in production. Therefore, interchanging views, discussing original ideas and non-traditional approaches to solving theoretical and practical problems are becoming significant and interesting as never before. And these are the issues the scientific journal "Innovative technologies and scientific solution for industries" focuses on. Scientific discussions on the pages of the journal will allow scientists and practitioners working in various branches of science to exchange the results of their studies, promote successful research work and convergence of science and production.

I call scientists and practitioners engaged both in engineering and economics for participation in the work of our journal and hope for effective cooperation and wish success, inspiration, and creative interaction.



V. BABENKO, E. ALISEJKO, Z. KOCHUYEVA

## THE TASK OF MINIMAX ADAPTIVE MANAGEMENT OF INNOVATIVE PROCESSES AT AN ENTERPRISE WITH RISK ASSESSMENT

The **subject** matter of the article is a discrete dynamic system that consists of an object whose dynamics is described by a vector linear discrete recurrent relation and is affected by control parameters (managements) and uncontrolled parameters (the vector of risks or interference). It is supposed that the phase conditions of the object, management actions and the vector of risks of the considered dynamic system at any moment of time are constrained by given finite or convex polyhedral sets in corresponding finite-dimensional vector spaces. The **objective** of the article is to model a task of adaptive management of an enterprise innovative processes (EIP) under risks, which requires to complete the following **tasks**: to develop a software model of managing EIP under risks; to formalize the task of optimizing the EIP adaptive management and general paradigm of its solving as a guaranteed result based on minimax (optimizing a guaranteed result at a given final moment of time considering risks). In such a case, risks in the system of EIP management are thought of as factors that negatively or even catastrophically affect the results of the processes considered in it. In view of this, it is suggested to use the deterministic approach based of the **methods** of the theory of optimal management and dynamic optimization. The **result** of the research is a recurrent algorithm which reduces the initial multi-step task to the implementation of finite sequence of tasks of minimax software management of EIP. In turn, the implementation of each task is reduced to the implementation of finite sequence of only one-step optimizing operations as the tasks of linear convex mathematical and discrete optimization. The following **conclusions** are made: the suggested method makes it possible to work out efficient numerical procedures that enable computer modelling the dynamics of the target task, developing adaptive minimax management of EIP and obtaining an optimal guaranteed result. The results demonstrated in the work can be used for economic and mathematical modelling and solving other tasks of optimizing processes of data prediction and management under the lack of information and under risks as well as for developing corresponding software and hardware complexes to support efficient managerial decisions in practice.

**Keywords:** innovative process, economic and mathematical model, risks, dynamical model, optimization, process of management, minimax adaptive management, guaranteed result.

### Introduction

To achieve the set tasks under increasing competition among Ukrainian enterprises leads to an increase in the amount and complexity of production processes, analysis, planning, management, internal and external relations with suppliers, intermediaries, etc. Effective implementation of tasks linked with these processes is impossible without the appropriate economic and mathematical modelling of managing an enterprise innovative processes (EIP) as a computer information system.

However, innovative activity in the process of dynamic development of production relations cannot be considered fully justified and adapted without using modern approaches of economic and mathematical modelling as an effective tool for theoretical processing and practical generalization of mechanisms and tools for managing the innovative activity of an enterprise that is a complex, open, capable to self-organization and self-development economic system with dynamically changing nondeterministic and conflicting characteristics.

Modelling in EIP management provides for the solution of tasks of software and adaptive control. The result of the EIP software management is forecast values for a certain prospective period of time. But when an innovation process is introduced in each period of time, the model parameters can change (technological processes are compromised, financial indicators, types and suppliers of raw materials change and so on). In addition, in order to obtain a guaranteed result, the task of optimizing the EIP software management under risks takes into account risks that can lead to maximum losses. But risks that lead to a maximum damage can affect a real process. In this case, in order to take into account changes in the economic environment and the current state of an innovation

process, the procedure for adapting the model to the current conditions should be specified on the basis of the results of the EIP software management. Thus, in order to take into account the instability of the innovation process, which is characterized by various "disturbances" as changes in the current state of the production process and the economic environment, an adaptive control model should be developed, which enables correcting and considering the dynamics of the main production characteristics within the innovation process

It should be noted that the problem of economic and mathematical modelling of the EIP adaptive management under uncertainty and risks at enterprises have not been solved yet by scientific researches that deal with the problems of enterprise management, by various economic and mathematical models and techniques for finding out optimal solutions as well as by methods of business process modelling; so this problem remains a burning topic for researching.

### Analysis of literature sources

A number of reputed Ukrainian and foreign scientists deal with the problems of economic and mathematical modelling of production and financial processes, among them are: N.N. Krasovsky [1], A.F. Shorikov [2], A.V. Lotov [3], A.I. Propoy [4], A.V. Ter-Krikorov [5] and others. However, some issues require further elaboration. So, at this stage, there are practically no economic and mathematical models that consider the specificity of production process dynamics, and take into account the impact of risks while managing innovative processes at enterprises and optimizing these processes.

Research and solving the task of the EIP managing requires the development of a dynamic economic and

mathematical model that takes into account control actions, uncontrolled parameters (risks, modelling errors, etc.) and the lack of information. At the same time, available approaches to solving similar problems are based mainly on static models and stochastic modelling apparatus to use which it is necessary to know the probabilistic characteristics of the model main parameters and special conditions for performing the process under consideration. It should be noted that very severe conditions, which usually are unachievable beforehand, are necessary for using the stochastic modelling apparatus.

Economic and mathematical models of such problems are presented, for example, in [6–8]. This article continues the studies presented in [9], the concepts and notation that are introduced in it are used in this paper without additional explanations.

### Developing a generalized EIP management model under risks

Let a multi-step dynamic system be considered for a given integer time,  $\overline{0, T} = \{0, 1, \dots, T\}$  ( $T > 0$ ); this system consists of one controlled object –  $I$  (the subject of management as it is managed by player  $P$ ), whose motion is described by a linear discrete recurrent vector equation:

$$\begin{aligned} \bar{x}(t+1) &= A(t)\bar{x}(t) + B(t)\bar{u}(t) + c(t)\bar{w}(t) + D(t)\bar{v}(t), \\ \bar{x}(0) &= \bar{x}_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Here  $t \in \overline{0, T-1}$ ,  $\bar{x} \in \mathbf{R}^{\bar{n}}$  is the phase vector of object  $I$ , which consists of  $\bar{n} = n + m + 2$  coordinates for the model of the EIP management [2], that is  $\bar{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t), Z(t), k(t))' \in \mathbf{R}^{\bar{n}}$ , where, according to the notions in [2],  $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))' \in \mathbf{R}^n$  is the vector of amounts of production residues stored at the warehouses of the enterprise over the period of time  $t$ ;  $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t))' \in \mathbf{R}^m$  is the vector of amounts of residues of production resources stored at the warehouses of the enterprise over the period of time  $t$ ;  $Z(t)$  is the enterprise total costs over the period of time  $t$ ;  $k(t)$  is the amount of available financial resources accumulated before the beginning of period  $t$ ;  $n, m \in \mathbf{N}$ ;  $\mathbf{N}$  is the set of all natural numbers; for  $k \in \mathbf{N}$ ,  $\mathbf{R}^k$  is  $K$ -dimensional Euclidean vector space of column vectors, even if they are written as a string for saving the space);  $\bar{u}(t) = (\bar{u}_1(t), \bar{u}_2(t), \dots, \bar{u}_n(t))' \in \mathbf{R}^{\bar{n}}$  is the vector of innovative management of the intensity of production over the period of time  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), where each  $j$ -th coordinate  $u_j(t)$  is the value of the  $j$ -th production amount ( $j \in \overline{1, n}$ ) constrained by the given restriction:

$$\bar{u}(t) \in U_1(t) = U_{N_t}(t) \subset \mathbf{R}^{\bar{p}} \quad (\bar{p} \in \mathbf{N}: \bar{p} = n), \quad (2)$$

$U_{N_t}(t)$  is the finite set of vectors for each  $t \in \overline{0, T-1}$ , i.e. the finite set consisting of  $N_t$  ( $N_t \in \mathbf{N}$ ) of vectors in  $\mathbf{R}^n$ , defining all possible implementations of different management scenarios at the moment of time  $t$ ;  $\bar{w}(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_m(t))' \in \mathbf{R}^m$  ( $\bar{m} = m$ ) is the vector of intensity of replenishment of storage resources over the period of time  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ), which depends on the permissible implementation of management  $\bar{u}(t) \in U_1(t)$  and must meet the following specified limit:

$$\bar{w}(t) \in W_1(\bar{u}(t)) = W_{M_t}(\bar{u}(t)) \subset \mathbf{R}^{\bar{m}} \quad (\bar{m} \in \mathbf{N}: \bar{m} = m); \quad (3)$$

$W_{M_t}(\bar{u}(t))$  is the finite set of vectors for every moment of time  $t \in \overline{0, T-1}$  and management  $\bar{u}(t) \in U_{N_t}(t)$ , i.e. the finite set consisting of  $M_t(i)$  ( $M_t(i) \in \mathbf{N}$ ,  $i \in \overline{1, N_t}$ ) vectors in space  $\mathbf{R}^{\bar{m}}$ , defining all possible realizations of various scenarios of replenishment of the warehouse resources at the moment of time  $t$ .

It is also assumed that for every  $t \in \overline{0, T-1}$ , each permissible realization of the phase vector  $\bar{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t), Z(t), k(t)) \in \mathbf{R}^{\bar{n}}$ , meets the following phase constraint

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t), Z(t), k(t)) \in X_1(t) = \\ = \begin{cases} x_j(t) \geq 0, & x_j(0) = 0, & j \in \overline{1, n}; \\ y_i(t) \geq 0, & y_i(0) = b_i, & i \in \overline{1, m}; \\ k(t) \geq 0, & k(0) = G + G_0 \geq 0; \\ Z(t) \geq 0, & Z(0) = 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

where  $G$  is the amount of financial resources of a bank loan intended for investments to the expansion of production within the initial period of management (when  $t = 0$ );  $G_0$  is the amount of own financial resources, deducted from net profit and directed to the expansion of production (when  $t = 0$ );  $\bar{v}(t) = (v(t), v'(t), v''(t))' \in \mathbf{R}^q \times \mathbf{R}^l \times \mathbf{R}^r$  is the generalized vector of risks ( $v(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_q(t))' \in \mathbf{R}^q$  is the vector of risks describing possible unfavorable implementations of the vector of priori indefinite factors or the vector combining the modeling error of the considered process, affecting the release of a product unit over the period of time  $t$ ;  $v'(t) = (v'_1(t), v'_2(t), \dots, v'_l(t))' \in \mathbf{R}^l$  is the vector of risks that affects the state of a unit of available resources over the period of time  $t$ ;  $v''(t) = (v''_1(t), v''_2(t), \dots, v''_r(t))' \in \mathbf{R}^r$  is the vector of financial risks affecting a unit of total costs of the enterprise over the period of time  $t$ ;  $q, l, r \in \mathbf{N}$ ) which depends on the permissible implementation of the management  $\bar{u}(t) \in U_1(t)$  during the EIP management over the period of time  $t$  ( $t \in \overline{0, T-1}$ ) and must meet the following specified limit:

$$\bar{v}(t) \in V_1(\bar{u}(t)) \subset \mathbf{R}^{\bar{q}} \quad (\bar{q} \in \mathbf{N}: \bar{q} = q + l + r). \quad (5)$$

Matrices  $\bar{A}(t)$ ,  $\bar{B}(t)$ ,  $\bar{C}(t)$  and  $\bar{D}(t)$  in the vector equation (1) for the economic and mathematical model describing the dynamics of the EIP management are real matrices of orders  $(\bar{n} \times \bar{n})$ ,  $(\bar{n} \times \bar{p})$ ,  $(\bar{n} \times \bar{m})$  and  $(\bar{n} \times \bar{q})$  respectively, and such ones that for all  $t \in \overline{0, T-1}$  matrix

$$\bar{A}(t) = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22}(t) & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{mm}(t) & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & r_{11}(t) & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & r_{22}(t) & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & r_{mm}(t) & 0 & 0 \\ z_1(t) & z_2(t) & \dots & z_n(t) & p_1(t) & p_2(t) & \dots & p_m(t) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\bar{B}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ -b_{11} & -b_{12} & \dots & -b_{(1,(n-1))} & -b_{1n} \\ -b_{21} & -b_{22} & \dots & -b_{(2,(n-1))} & -b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -b_{m1} & -b_{m2} & \dots & -b_{(m,(n-1))} & -b_{mn} \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \bar{C}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\bar{D}(t) = \begin{pmatrix} -c_{11} & -c_{12} & \dots & -c_{1q} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -c_{11} & -c_{12} & \dots & -c_{1q} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -c_{n1} & -c_{n2} & \dots & -c_{nq} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -c'_{11} & -c'_{12} & \dots & -c'_{1l} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -c'_{21} & -c'_{22} & \dots & -c'_{2l} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -c'_{m1} & -c'_{m2} & \dots & -c'_{ml} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -c''_1 & -c''_2 & \dots & -c''_r \end{pmatrix}.$$

It should be pointed out that for all  $t \in \overline{0, T-1}$  set  $U_1(t)$  in the restriction (2) is not empty and is the finite set consisting of  $N_t$  ( $N_t \in \mathbf{N}$ ) vectors of space  $\mathbf{R}^{\bar{p}}$ ; for all  $t \in \overline{0, T-1}$  and vectors  $\bar{u}(t) \in U_1(t)$ , set  $W_1(\bar{u}(t))$  in the restriction (3) is not empty and is the finite set consisting of  $M_t(i)$  ( $M_t(i) \in \mathbf{N}$ ,  $i \in \overline{1, N_t}$ ) vectors of space  $\mathbf{R}^{\bar{m}}$ ; set  $X_1(t)$ , according to its definition (4) is not empty and is a convex, closed and bounded polyhedron (with the finite number of vertices) in space  $\mathbf{R}^{\bar{n}}$ ; it is assumed that set  $V_1(\bar{u}(t))$  in the restriction (5) is not

$\bar{A}(t)$  is nondegenerate, i.e. there exists an inverse matrix  $\bar{A}^{-1}(t)$  corresponding to it, and the rank of matrix  $\bar{B}(t)$  equals  $\bar{p}$  (the dimension of vector  $\bar{u}(t)$ ).

For the considered EIP management process [2], these matrices have the following specific form:

empty and is a convex, closed, and bounded polyhedron (with the finite number of vertices) in space  $\mathbf{R}^{\bar{q}}$ .

Let us describe the information capabilities of player  $P$  in the process of minimax adaptive (according to the feedback principle) management of EIP for a discrete dynamical system (1) – (5).

It is assumed that while managing EIP for any moment of time  $\tau \in \overline{1, T}$  and the corresponding integer time interval  $\overline{0, \tau} \subseteq \overline{0, T}$  ( $0 < \tau$ ) up to the moment of time  $\tau$  player  $P$  has measured and stored the following values:  $\bar{x}(0) = \bar{x}_0$ , i.e. the initial phase state of object I;  $\bar{u}(\cdot) = \{\bar{u}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ , i.e. the history of the implementation



of player  $P$  management over the period  $\overline{0, \tau}$ ;  $\bar{w}(\cdot) = \{\bar{w}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ , i.e. the history of implementation of the vector of the intensity of replenishment of the warehouse resources over the period of time  $\overline{0, \tau}$ ;  $\bar{v}(\cdot) = \{\bar{v}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ , i.e. the history of the implementation of the vector of risks over the period of time  $\overline{0, \tau}$ . Equation (1) and constraints for it (2) – (5) are also known.

The considered process of the EIP management is estimated by the value of the convex functional  $\tilde{F} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$  defined at possible implementations of the phase vector  $\bar{x}(T) \in \mathbf{R}^n$  of the system (1) – (5) at the final moment of time  $T$ .

Then, for system (1) – (5) from the point of view of player  $P$  the goal of optimal adaptive management can be formulated as follows: for a given time interval  $\overline{0, T}$  player  $P$  should organize management  $\bar{u}(\cdot) = \{\bar{u}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (for all  $t \in \overline{0, T-1}$ :  $\bar{u}(t) \in U_1(t)$ ) according to the feedback principle (as the implementation of the minimax adaptive strategy [1], [3], [4] from the selected class of admissible adaptive strategies), using all the available information about this process in such a way that possible maximum value of the functional  $\tilde{F}$  defined on vector  $\bar{x}(T) \in \mathbf{R}^n$  (where  $\bar{x}(T)$  is the implementation of the phase vector of object  $I$  at the moment of time  $T$  which corresponds to management  $\bar{u}(\cdot)$ ) was minimal.

In this case it is assumed that the worst (largest) values of functional  $\tilde{F}$  can be implemented with respect to possible unfavorable realizations  $\bar{v}(\cdot) = \{\bar{v}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (for all  $t \in \overline{0, T-1}$ :  $\bar{v}(t) \in V_1(\bar{u}(t))$  of generalized risk vector; while the implementations  $\bar{w}(\cdot) = \{\bar{w}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (for all  $t \in \overline{0, T-1}$ :  $\bar{w}(t) \in W_1(\bar{u}(t))$ ) of the vector of the intensity of the replenishment of the warehouse resources further  $P$  player's goals, i.e. their selection (according to player  $P$ ) is aimed at minimizing the functional  $\tilde{F}$  according to the strategy he has selected.

### Formalizing the task of optimization of the EIP adaptive management

It should be noted that definitions and notations which were introduced in work [2] are straightly used in this section while formalizing and solving the task of the EIP minimax software management since the considered dynamic model (1) – (5) coincides with the model for this task in [2].

To assess the quality of the EIP management by player  $P$  under adaptive management in the dynamic system (1) – (5) over a time interval, a vector terminal functional (the process quality index)  $F_{\tau, T} = (F_{\tau, T}^{(1)}, F_{\tau, T}^{(2)}, \dots, F_{\tau, T}^{(r)})$  is introduced  $\tau, T \subseteq \overline{0, T}$  similarly to the formalization described in work [2]. This functional is a collection

of  $r$  convex functionals of  $F_{\tau, T}^{(k)} :$

$$\begin{aligned} & \hat{G}(\tau) \times U(\tau, T) \times W(\tau, T; \bar{u}(\cdot)) \times V(\tau, T; \bar{v}(\cdot)) \rightarrow \mathbf{R}^1 \\ & (k \in \overline{1, r}) \text{ such as. to implement the set} \\ & (g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) \in \hat{G}(\tau) \times U(\tau, T) \times W(\tau, T; \bar{u}(\cdot)) \times \\ & \times V(\tau, T; \bar{v}(\cdot)), \text{ where } g(\tau) = \{\tau, \bar{x}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau), \text{ their} \\ & \text{values are determined by the following relation:} \\ & F_{\tau, T}^{(k)}(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) = F_{\tau, T}^{(k)}(\bar{x}_{\tau, T}(T; \bar{x}(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))) = \\ & = F_{\tau, T}^{(k)}(\bar{x}(T)), \quad k \in \overline{1, r}, \end{aligned} \quad (6)$$

where  $F_{\tau, T}^{(k)} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^1$  is the convex functional for each  $k \in \overline{1, r}$ ;  $\bar{x}(T) = \bar{x}_{\tau, T}(T; \bar{x}(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))$ .

On the basis of the vector functional  $F_{\tau, T} = (F_{\tau, T}^{(1)}, F_{\tau, T}^{(2)}, \dots, F_{\tau, T}^{(r)})$  introduced by relation (6), to assess the quality of the process of optimizing the considered EIP management, the scalar objective function  $F_{\tau, T}(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))$  is introduced; its values for all admissible implementations of  $(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) \in \hat{G}(\tau) \times U(\tau, T) \times W(\tau, T; \bar{u}(\cdot)) \times V(\tau, T; \bar{v}(\cdot))$  over the time interval  $\tau, T$ , where  $g(\tau) = \{\tau, \bar{x}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$ ,  $\bar{u}(\cdot) = \{\bar{u}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$ ,  $\bar{w}(\cdot) = \{\bar{w}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in W(\tau, T; \bar{u}(\cdot))$ ,  $\bar{v}(\cdot) = \{\bar{v}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in V(\overline{0, T}; \bar{u}(\cdot))$ , are determined according to the following relation:

$$\begin{aligned} F_{\tau, T}(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) &= \sum_{k=1}^r \mu_k \cdot F_{\tau, T}^{(k)}(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) = \\ &= \sum_{k=1}^r \mu_k \cdot F_{\tau, T}^{(k)}(\bar{x}_{\tau, T}(T; \bar{x}(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))) = \\ &= \sum_{k=1}^r \mu_k \cdot F_{\tau, T}^{(i)}(\bar{x}(T)) = \tilde{F}(\bar{x}(T)). \\ &\forall k \in \overline{1, r}: \mu_k \geq 0, \sum_{k=1}^r \mu_k = 1, \end{aligned} \quad (7)$$

where  $\bar{x}(T) = \bar{x}_{\tau, T}(T; \bar{x}(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))$ , and  $\tilde{F}$  is the convex functional introduced earlier.

The objective function (functional)  $F_{\tau, T}(g(\tau), \bar{u}(\cdot), \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot))$  is a convex scalar convolution of the vector functional  $F_{\tau, T} = (F_{\tau, T}^{(1)}, F_{\tau, T}^{(2)}, \dots, F_{\tau, T}^{(r)})$ , i.e. it is formed according to the method of scalarization of vector objective functions (e.g. [6]), with nonnegative weighting factors  $\mu_k$ ,  $k \in \overline{1, r}$ , which can be determined, for example, by expertise or on the basis of statistical information on the history of the implementation of the main parameters of the considered EIP management.

Assume that player  $P$  having selected management  $\bar{u}(t) \in \bar{U}_1(t)$ ,  $t \in \overline{0, T-1}$  in the dynamic system (1) – (5) for a given period of time  $\overline{0, T}$  ( $T > 0$ ) is under agreed awareness conditions. Then, on the basis of stated above, from the position of player  $P$  his goal in the task of the

EIP minimax adaptive management for the dynamic system (1) – (5) can be formulated as follows.

Player P over the period of time  $\overline{0, T}$  is supposed to arrange the selection of his management  $\bar{u}(\cdot) = \{\bar{u}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$  (for all  $x \ t \in \overline{0, T-1}$ :  $u(t) \in \hat{U}_1(t)$ ) of object I in the adaptive mode (according to the feedback principle) knowing his  $\tau$  – position  $g(t) = \{t, \bar{x}(t)\} \in \hat{G}(t)$  at every moment of time  $t \in \overline{0, T-1}$  so that functional  $F_{\overline{0, T}}$ , determined by relation (7) when  $\tau = 0$  has the smallest possible value when the implementation of the EIP management is completed. It should be taken into consideration that the worst values of the vector function  $\bar{v}(\cdot) \in V(\overline{0, T}; \bar{u}(\cdot))$  can be realized, i.e. maximizing the given functional, and the realization of the vector function  $\bar{w}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}(\cdot))$  furthers player's P goal.

Then, using the above arguments and similarly to [3], [4] the achievement of this goal of player P can be formalized in the following way.

The permissible strategy of the EIP adaptive management  $U_a$  of player P for a discrete dynamical system (1) – (5) over the time interval  $\overline{0, T}$  can be mapping  $U_a: \hat{G}(\tau) \rightarrow U_1(\tau)$  that assigns set  $U_a(g(\tau)) \subseteq U_1(\tau)$  of  $\bar{u}(\tau) \in U_1(\tau)$  management of player P to each moment of time  $\tau \in \overline{0, T-1}$  and to possible realization of  $\tau$  – position  $g(\tau) = \{\tau, \bar{x}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$  ( $g(0) = g_0$ ). The set of all admissible management strategies for player P for the process considered through  $U_a^*$  is denoted.

Further, the group of motions of object I over the time interval  $\overline{0, T}$ , corresponding to the equation of motion (1), the initial position P  $g_0 = \{0, \bar{x}_0\} \in \hat{G}_0$  of player P, the permissible strategy  $U_a = U_a(g^*(t)) \in U_a^*$ ,  $t \in \overline{0, T-1}$ ,  $g^*(t) = \{t, \bar{x}^*(t)\} \in \hat{G}(t)$ , and the admissible software implementation of the intensity of the replenishment of the warehouse resources  $\bar{w}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}_a(\cdot))$ , where  $\bar{u}_a(\cdot) = \{\bar{u}_a(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$  any admissible management of player P over the time interval  $\overline{0, T}$  generated by strategy  $U_a$  will be called as follows:

$$\begin{aligned} X(\cdot; \overline{0, T}, g_0, U_a, \bar{w}(\cdot)) &= \{\bar{x}^*(\cdot): \bar{x}^*(\cdot) \in S_n(\overline{0, T}), \exists \bar{u}^*(\cdot) \in U(\overline{0, T}), \\ &\quad \exists \bar{v}^*(\cdot) \in V(\overline{0, T}; \bar{u}^*(\cdot)), \\ &\quad \forall t \in \overline{0, T}, \bar{x}^*(t) = \bar{x}_{\overline{0, T}}(t; \bar{x}_0, \bar{u}_t^*(\cdot), \bar{w}_t^*(\cdot), \bar{v}_t^*(\cdot)), \\ g^*(t) &= \{t, \bar{x}^*(t)\} \in G(0, g_0, t, \bar{u}_t^*(\cdot), \bar{w}_t^*(\cdot)) \subseteq \hat{G}(t), \quad g^*(0) = g_0, \\ \bar{u}_t^*(\cdot) &= \{\bar{u}(\tau)\}_{\tau \in \overline{0, t-1}}, \quad \forall t \in \overline{0, T-1}, \quad \bar{u}^*(t) \in U_a(g^*(t)), \\ \bar{w}_t^*(\cdot) &= \{\bar{w}(\tau)\}_{\tau \in \overline{0, t-1}}, \quad \bar{v}_t^*(\cdot) = \{\bar{v}(\tau)\}_{\tau \in \overline{0, t-1}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Then the following nonlinear multi-step problem of the EIP minimax adaptive management for the dynamical system (1) – (5) can be formulated.

Task 1. For the given time interval  $\overline{0, T}$  ( $T > 0$ ) and initial position  $g_0 = \{0, \bar{x}_0\} \in \hat{G}_0$  of player P in the discrete dynamical system (1) – (5), the strategy of the EIP minimax adaptive management  $U_a^{(e)} = U_a^{(e)}(g(t)) \in U_a^*$ ,  $g(t) = \{t, \bar{x}(t)\} \in \hat{G}(t)$ ,  $t \in \overline{0, T-1}$ , ( $g(0) = g_0$ ), should be found, which meets the relation

$$\begin{aligned} F_{\overline{0, T}}^{(e,a)} &= \min_{\bar{w}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))} \max_{\bar{v}(\cdot) \in V(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))} F_{\overline{0, T}}(g_0, U_a^{(e)}, \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) = \\ &= \min_{U_a \in U_a^*} \min_{\bar{w}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; U_a(\cdot))} \max_{\bar{v}(\cdot) \in V(\overline{0, T}; U_a(\cdot))} F_{\overline{0, T}}(g_0, U_a, \bar{w}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) = \\ &= \min_{U_a \in U_a^*} \min_{\bar{w}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; U_a(\cdot))} \max_{\bar{x}(T) \in X(T; \overline{0, T}, g_0, U_a, \bar{w}(\cdot))} \tilde{F}(\bar{x}(T)) = \\ &= \max_{\bar{x}(T) \in X(T; \overline{0, T}, g_0, U_a^{(e)}, \bar{w}^{(e)}(\cdot))} \tilde{F}(\bar{x}(T)) = c_F^{(e,a)}(\overline{0, T}, g_0), \end{aligned} \quad (9)$$

as the realization of the finite sequence of only one-step operations.

Here functional  $F_{\overline{0, T}}$  is determined according to the relation (7);  $\bar{u}_a(\cdot) = \{\bar{u}_a(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$  is any admissible management of player P over the time interval  $\overline{0, T}$  generated by strategy  $U_a$ ;  $\bar{u}_a^{(e)}(\cdot) = \{\bar{u}_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$  is any admissible management of player P over the time interval  $\overline{0, T}$  generated by the strategy  $U_a^{(e)}$ .

The number  $c_F^{(e,a)}(\overline{0, T}, g_0) = F_{\overline{0, T}}^{(e,a)}$  will be called the optimal guaranteed (minimax) result of the minimax adaptive management of P player's EIP over the time interval  $\overline{0, T}$  for the discrete dynamical system (1) – (5) concerning its initial position  $g_0$  and functional  $F_{\overline{0, T}}$ .

It should be noted that the above conditions for the parameters of the system (1) – (5) and the results of works [3], [4] demonstrate that there is the solution for this task.

Further, for any realizations of management  $\bar{u}_a^{(e)}(\cdot) = \{\bar{u}_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}}$ ,  $\forall t \in \overline{0, T-1}$ :  $\bar{u}_a^{(e)}(t) \in U_a^{(e)}(g^{(e)}(t))$  of player P generated by strategy  $U_a^{(e)} \in U_a^*$ , for vector functions  $\bar{w}_a^{(e)}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))$  and  $\bar{v}_a(\cdot) \in V(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))$ , for the group of motions  $\bar{x}^{(e)}(\cdot) = \bar{x}_{\overline{0, T}}(\cdot; \bar{x}_0, \bar{u}_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), \bar{v}_a(\cdot)) \in$

$X(\cdot; \overline{0, T}, g_0, U_a, \bar{w}_a^{(e)}(\cdot))$  corresponding to it, on the basis of relations (6) – (9), it is not difficult to show the validity of the following equation:

$$\begin{aligned} &F_{\overline{0, T}}(g_0, u_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), \bar{v}_a(\cdot)) = \\ &= \tilde{F}(\bar{x}_{\overline{0, T}}(T; \bar{x}_0, u_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), \bar{v}_a(\cdot)) = \tilde{F}(\bar{x}^{(e)}(T)) \leq \\ &\leq c_F^{(e,a)}(\overline{0, T}, g_0) = F_{\overline{0, T}}^{(e,a)} \leq F_{\overline{0, T}}^{(e)} = c_F^{(e)}(\overline{0, T}, g_0), \end{aligned} \quad (10)$$

where  $g_0 = \{0, \bar{x}_0\} \in \hat{G}_0$ ;  $c_F^{(e)}(\overline{0, T}, g_0)$  is the optimal guaranteed (minimax) result of solving the problem of the EIP minimax software management.

It should be noted that the relations (6) demonstrate that the result of solving task 1 can only improve the result of solving the task of the EIP minimax software management, i.e. the EIP minimax adaptive management is more promising in comparison with the minimax software management for the considered process.

Thus, in this section we formalize the task of the EIP minimax adaptive management for the dynamical system (1) – (5).

It should be noted that task 1 is the main one in this chapter, but its formalization and solution are based on the task of the EIP minimax software management [2].

### General pattern for solving task 1

The general pattern for solving task 1 on the basis of the results of [2] – [4] is suggested.

Using the solution of the task of the EIP minimax software management considered in the previous chapter, for all the moments of time  $\tau \in \overline{0, T-1}$  and all  $\tau$ -positions  $g^{(e)}(\tau) = \{\tau, \bar{x}^{(e)}(\tau)\} \in \hat{G}(\tau)$  ( $g^{(e)}(0) = g_0 = \{0, \bar{x}_0\} \in \hat{G}_0$ ) of player  $P$ , where  $\bar{x}^{(e)}(\tau) = \bar{x}_{0, \tau}(\tau; \bar{x}_0, \bar{u}^{(e)}(\cdot), \bar{w}^{(e)}(\cdot), \bar{v}(\cdot))$ ,  $\bar{u}^{(e)}(\cdot) \in U_F^{(e)}(\overline{0, T}, g^{(e)}(0))$ ,  $\bar{w}^{(e)}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}^{(e)}(\cdot))$  the following sets can be developed:

$$\tilde{U}^{(e)}(g^{(e)}(\tau)) = \{\tilde{u}^{(e)}(\tau): \tilde{u}^{(e)}(\tau) \in U_1(\tau), \tilde{u}^{(e)}(\tau) = \bar{u}^{(e)}(\tau), \bar{u}^{(e)}(\cdot) \in U_F^{(e)}(\overline{\tau, T}, g^{(e)}(\tau)), \tau \in \overline{0, T-1}\}, \quad (11)$$

where  $U_F^{(e)}(\overline{\tau, T}, g^{(e)}(\tau))$  is the set of minimax software managements developed from the solution of the corresponding task of the EIP minimax software management considered in the previous chapter.

Then the management strategy  $\tilde{U}_a^{(e)} = \tilde{U}_a^{(e)}(g(\tau)) \in U_a^*$ ,  $\tau \in \overline{0, T-1}$ ,

$$\begin{aligned} \tilde{c}_F^{(e,a)}(\overline{0, T}, g_0) &= F_{\overline{0, T}}(g_0, \bar{u}_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), \bar{v}(\cdot)) = \\ &= F_{\overline{T-1, T}}(g_a^{(e)}(T-1), \bar{u}_a^{(e)}(T-1), \bar{w}_a^{(e)}(T-1), \bar{v}(T-1)) \leq \\ &\leq F_{\overline{T-1, T}}(g_a^{(e)}(T-1), \bar{u}_a^{(e)}(T-1), \bar{w}_a^{(e)}(T-1), \bar{v}^{(e)}(T-1)) = \\ &= \max_{\bar{v}(T-1) \in V(\overline{T-1, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))} F_{\overline{T-1, T}}(g_a^{(e)}(T-1), \bar{u}_a^{(e)}(T-1), \bar{w}_a^{(e)}(T-1), \bar{v}(T-1)) \leq \\ &\leq \max_{v(\cdot) \in V(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))} F_{\overline{0, T}}(g_0, \bar{u}_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), v(\cdot)) \leq c_F^{(e,a)}(\overline{0, T}, g_0) \leq c_F^{(e)}(\overline{0, T}, g_0). \end{aligned} \quad (14)$$

On the basis of the results of [2] – [4] and relations (11) – (14), the following statement, which is the main result of this paper, can be justified.

Statement 1. For the given initial position  $g(0) = g_0 = \{0, \bar{x}_0\} \in \hat{G}_0$  of player  $P$  in the discrete dynamical system (1) – (5) the strategy of the EIP management  $\tilde{U}_a^{(e)} \in U_a^*$  over the period of time  $\overline{0, T}$  which is determined by relations (11) – (13), is the minimax adaptive management strategy for task 1, i.e.

$g(\tau) \in \hat{G}(\tau)$  ( $g(0) = g_0$ ) of player  $P$  for the considered EIP minimax adaptive management in a discrete dynamical system over the time interval  $\overline{0, T}$  from all admissible management strategies  $U_a^*$  is determined; it is formally described by the following relations:

For all  $\tau \in \overline{0, T-1}$  and  $\tau$ -positions

$$g^{(e)}(\tau) = \{\tau, \bar{x}^{(e)}(\tau)\} \in G(0, g_0, \tau, \bar{u}_\tau^{(e)}(\cdot), \bar{w}_\tau^{(e)}(\cdot))$$

( $g^{(e)}(0) = g_0$ ) assume that

$$\tilde{U}_a^{(e)}(g^{(e)}(\tau)) = \tilde{U}^{(e)}(g^{(e)}(\tau)) \subseteq U_1(\tau). \quad (12)$$

For all  $\tau \in \overline{0, T-1}$  and  $\tau$ -positions

$$g^*(\tau) = \{\tau, x^*(\tau)\} \in$$

$$\in \{\hat{G}(\tau) \setminus G(0, g_0, \tau, \bar{u}_\tau^{(e)}(\cdot), \bar{w}_\tau^{(e)}(\cdot))\} \quad (g^*(0) \neq g_0) \text{ assume}$$

$$\text{that } \tilde{U}_a^{(e)}(g^*(\tau)) = U_1(\tau), \quad (13)$$

where  $\bar{u}_\tau^{(e)}(\cdot) = \{\bar{u}^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ ,  $\bar{u}^{(e)}(\cdot) \in U_F^{(e)}(\overline{0, T}, g_0)$ ;  $\bar{w}_\tau^{(e)}(\cdot) = \{\bar{w}^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, \tau-1}}$ ,  $\bar{w}^{(e)}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}^{(e)}(\cdot))$ .

Let  $\bar{u}_a^{(e)}(\cdot) = \{\bar{u}_a^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0, T-1}} \in U(\overline{0, T})$  be the realization of the management of player  $P$  over the time interval  $\overline{0, T}$ , which is developed as a result of using strategy  $\tilde{U}_a^{(e)} \in U_a^*$  over this interval of time, and the realization of vector functions  $\bar{w}_a^{(e)}(\cdot) \in W(\overline{0, T}; \bar{u}_a^{(e)}(\cdot))$  and  $\bar{v}(\cdot) \in V(\overline{0, T})$ . Then, for  $(T-1)$ -position  $g_a^{(e)}(T-1) = \{T-1, \bar{x}_a^{(e)}(T-1)\} \in \hat{G}(T-1)$  of player  $P$  (here  $\bar{x}_a^{(e)}(T-1) = \bar{x}_{0, T-1}(\cdot; \bar{x}_0, \bar{u}_a^{(e)}(\cdot), \bar{w}_a^{(e)}(\cdot), \bar{v}_a(\cdot))$ ), which corresponds to these realizations, the following relations are true

selected class of admissible adaptive management strategies, the recurrent algorithm that reduces the initial multistage problem to the realization of the finite sequence of tasks of the EIP minimax software management is suggested.

In turn, the solution of each of these tasks is reduced to the realization of the finite sequence of only one-step

optimization operations as solving the tasks of linear and convex mathematical programming, as well as discrete optimization (e.g. [3], [4]). Then it can be stated that the solution of the considered task 1 is reduced to the solution of the finite sequence of tasks of linear convex mathematical programming and discrete optimization.

## References

1. Krasovskiy, N. (1968), *Theory of motion control [Teoriya upravleniya dvizheniem]*, Moscow, Nauka, 476 p.
2. Shorikov, A. (2005), "Algorithm for solving the problem of optimal terminal control in linear discrete dynamical systems" ["Algoritm resheniya zadachi optimal'nogo terminal'nogo upravleniya v lineynih diskretnykh dinamicheskikh sistemah"], *Information Technologies in Economics: Theory, Models and Methods: a collection of scientific works*, Publishing house Ural State University of Economics, Ekaterinburg, pp. 119-138.
3. Lotov, A. (1984), *Introduction to economic and mathematical modeling [Vvedenie v jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie]*, Nauka, Home Edition of Physical and Mathematical Literature, Moscow, 332 p.
4. Propoy, A. (1973), *Elements of the theory of optimal discrete processes [Jelementy teorii optimal'nykh diskretnykh processov]*, Science, Home Edition of Physical and Mathematical Literature, Moscow, 368 p.
5. Ter-Krikorov, A. (1977), *Optimal control and mathematical economics [Optimal'noe upravlenie i matematicheskaja jekonomika]*, Nauka, Moscow, 216 p.
6. Babenko, V. (2014), *Management of innovation processes of processing enterprises of agrarian and industrial complex (mathematical modeling and information technologies): monograph [Upravlinnya innovatsionnyimi protsesami pererobnykh pidpryemstv APK (matematychni modelyuvannya ta informatsiyini tekhnolohiyi): monohrafiya]*, V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University, Machulin, 380 p.
7. Babenko V. O. (2013), Formation of an economic-mathematical model of dynamics of process of management by innovative technologies at the enterprises of AIC [Formirovaniye ekonomiko-matematicheskoy modeli dinamiki protsessa upravleniya innovatsionnyimi tekhnologiyami na predpriyatiyakh APK], *Scientific Economic Journal "Actual Problems of Economics"*, No. 1 (139), University "National Academy of Management", Kyiv, pp. 182-186. EID: 2-s2.0-84929991982
8. Babenko V. O. (2017), Modelling of factors affecting innovational agricultural activity of enterprises AIC in Ukraine, *Scientific bulletin Polesie*, No. 1 (9), pp. 115-121. DOI: 10.25140/2410-9576-2017-2-2(10)
9. Shorikov, A. F., Babenko V. A. (2014), Optimization of the guaranteed result in the dynamic control model of innovative process on the enterprise, *Scientific Information and Analytical Economic Journal "The Economy of the Region"* ["Optimizatsiya garantirovannogo rezul'tata v dinamicheskoy modeli upravleniya innovatsionnym protsessom na predpriyatii"], Nauchnyy informatsionno-analiticheskyy ekonomicheskyy zhurnal "Ekonomika regiona", No. 1 (37). Institute of Economics, Ural Branch of RAS, pp. 196–202. EID: 2-s2.0-84979807246
10. Johnson, M. (2010), Seizing the white space, *Business Model Innovation for growth and renewal*, Harvard Business Press: Boston, Massachusetts.

Receive 02.06.2017

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

**Бабенко Віталіна Олексіївна** – доктор економічних наук, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, професор кафедри міжнародного бізнесу та економічної теорії, м. Харків, Україна; e-mail: vitalinababenko@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4816-4579.

**Бабенко Виталина Алексеевна** – доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, профессор кафедры международного бизнеса и экономической теории, г. Харьков, Украина; e-mail: vitalinababenko@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4816-4579.

**Babenko Vitalina** – Doctor of Sciences (Economics), PhD. (Engineering Sciences), Associate professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Professor of the Department of International Business and Economic Theory, Kharkiv, Ukraine; e-mail: vitalinababenko@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4816-4579.

**Алісейко Олена Вячеславівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету, доцент кафедри вищої математики та інформатики, м. Харків, Україна; e-mail: alisejkoev@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6917-164X.

**Алисейко Елена Вячеславовна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, Харьковский торгово-экономический институт Киевского национального торгово-экономического университета, доцент кафедры высшей математики и информатики, г. Харьков, Украина; e-mail: alisejkoev@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6917-164X.

**Alisejko Elena** – Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Kharkiv Trade and Economic Institute of Kyiv National Trade and Economic University, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Informatics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: alisejkoev@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6917-164X.

**Кочуєва Зоя Анатоліївна** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем, м. Харків, Україна; e-mail: kochueva@kochuev.com; ORCID: 0000-0002-4300-3370.

**Кочуева Зоя Анатольевна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры интеллектуальных компьютерных систем, г. Харьков, Украина; e-mail: kochueva@kochuev.com; ORCID: 0000-0002-4300-3370.

**Kochuyeva Zoya** – Ph. D. (Engineering Sciences), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Intellectual Computer Systems, Kharkiv, Ukraine; e-mail: kochueva@kochuev.com; ORCID: 0000-0002-4300-3370.



## ЗАДАЧА МІНІМАКСНОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ

**Предметом** дослідження статті є дискретна динамічна система, що складається з об'єкта, динаміка якого описується векторним лінійним дискретним рекурентним співвідношенням і схильна до впливу керованих параметрів (управлінь) і неконтрольованого параметра (вектору ризиків або перешкоди). Передбачається, що фазові стани об'єкта, керуючі впливи та вектор ризиків динамічної системи, що розглядається, в кожен момент часу обмежені заданими кінцевими або опуклими багатограними множинами в відповідних скінченновимірних векторних просторах. **Ціллю** статті є моделювання адаптивного управління інноваційними процесами підприємства (ІПП) при наявності ризиків що вимагає виконання наступних **завдань**: формування моделі програмного управління ІПП при наявності ризиків; формалізація задачі оптимізації адаптивного управління ІПП та загальної схеми її вирішення у вигляді гарантованого результату на основі мінімакса (оптимізації гарантованого результату) на заданий фінальний момент часу з урахуванням наявності ризиків. При цьому під ризиками в системі управління ІПП будемо розуміти фактори, які впливають негативно або катастрофічно на результати розглянутих в ній процесів. З цією метою пропонується використовувати детермінований підхід на основі **методів** теорії оптимального управління та динамічної оптимізації. **Результатом** дослідження є рекурентний алгоритм, який зводить вихідне багатокрокове завдання до реалізації кінцевої послідовності завдань мінімаксного програмного управління ІПП. У свою чергу, рішення кожного з таких завдань зводиться до реалізації кінцевої послідовності тільки однокрокових оптимізаційних операцій в формі вирішення завдань лінійного опуклого математичного програмування та дискретної оптимізації. **Висновки**: запропонований метод дає можливість розробляти ефективні чисельні процедури, що дозволяють реалізувати комп'ютерне моделювання динаміки розглянутої задачі, сформувані адаптивне мінімаксне управління ІПП та отримати оптимальний гарантований результат. Представлені в роботі результати можуть бути використані для економіко-математичного моделювання та вирішення інших завдань оптимізації процесів прогнозування даних і управління в умовах дефіциту інформації та наявності ризиків, а також для розробки відповідних програмно-технічних комплексів для підтримки прийняття ефективних управлінських рішень на практиці.

**Ключові слова**: інноваційний процес, економіко-математична модель, ризики, динамічна модель, оптимізація, процес управління, мінімаксний адаптивний менеджмент, гарантований результат.

## ЗАДАЧА МИНИМАКСНОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ С УЧЕТОМ РИСКОВ

**Предметом** исследования статьи является дискретная динамическая система, состоящая из объекта, динамика которого описывается векторным линейным дискретным рекуррентным соотношением и подвержена влиянию управляемых параметров (управлений) и неконтролируемого параметра (вектора рисков или помехи). Предполагается, что фазовые состояния объекта, управляющие воздействия и вектор рисков рассматриваемой динамической системы в каждый момент времени стеснены заданными конечными или выпуклыми многогранными множествами в соответствующих конечномерных векторных пространствах. **Целью** статьи является моделирование задачи адаптивного управления инновационными процессами предприятия (ИПП) при наличии рисков, что требует выполнение следующих **задач**: формирование модели програмного управления ИПП при наличии рисков; формализация задачи оптимизации адаптивного управления ИПП и общей схемы ее решения в виде гарантированного результата на основе минимакса (оптимизации гарантированного результата на заданный финальный момент времени с учетом наличия рисков. При этом под рисками в системе управления ИПП будем понимать факторы, которые влияют негативно или катастрофически на результаты рассматриваемых в ней процессов. С этой целью предлагается использовать детерминированный подход на основе **методов** теории оптимального управления и динамической оптимизации. **Результатом** исследования является рекуррентный алгоритм, который сводит исходную многошаговую задачу к реализации конечной последовательности задач минимаксного програмного управления ИПП. В свою очередь, решение каждой из таких задач сводится к реализации конечной последовательности только одношаговых оптимизационных операций в форме решения задач линейного выпуклого математического программирования и дискретной оптимизации. **Выводы**: предлагаемый метод дает возможность разрабатывать эффективные численные процедуры, позволяющие реализовать компьютерное моделирование динамики рассматриваемой задачи, сформировать адаптивное минимаксное управление ИПП и получить оптимальный гарантированный результат. Представленные в работе результаты могут быть использованы для экономико-математического моделирования и решения других задач оптимизации процессов прогнозирования данных и управления в условиях дефицита информации и наличия рисков, а также для разработки соответствующих программно-технических комплексов для поддержки принятия эффективных управленческих решений на практике.

**Ключевые слова**: инновационный процесс, экономико-математическая модель, риски, динамическая модель, оптимизация, процесс управления, минимаксное адаптивное управление, гарантированный результат.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Бабенко В. О., Алисейко О. В., Кочуева З. А. Задача мінімаксного адаптивного управління інноваційними процесами на підприємстві з урахуванням ризиків. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 6–13.

Бабенко В. А., Алисейко Е. В., Кочуева З. А. Задача минимаксного адаптивного управления инновационными процессами на предприятии с учетом рисков. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 6–13.

Babenko V., Alisejko E., Kochuyeva Z. The task of minimax adaptive management of innovative processes at an enterprise with risk assessment. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 6–13.



UDC 004.9

V. BESKOROVAINYI, G. BEREZOVSKIY

## ESTIMATING THE PROPERTIES OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS BASED ON FUZZY SETS

The subject of the research in the article is the process of evaluating the properties of technological systems at the stages of their design and reengineering. The **goal** – to improve the efficiency of procedures for multi-criteria evaluation of options for constructing technological systems using the apparatus of fuzzy sets. **Objectives:** to search for new or modification of known functions of belonging to fuzzy sets "the best variant of building a technological system" by particular criteria in the direction of reducing the complexity of procedures for calculating their values; perform a comparative analysis of the temporal complexity and accuracy of approximation of the preferences of the decision maker with the help of monotonic membership functions; give recommendations on the practical use of monotonous membership functions in decision support systems. Common scientific **methods** are used, such as: decision making, utility theory, fuzzy sets and identification. The following results are obtained. The article presents the model of preferences of the decision-maker developed by the authors for evaluating individual properties of technological systems using the membership function of fuzzy sets, which allows to realize both linear and nonlinear (convex, concave, S-shaped and Z-shaped) criteria. The carried out experimental research has revealed its advantages in terms of accuracy and time complexity in comparison with the functions of Gauss, Harrington, logistic function, gluing of power functions and their modifications. Methods are proposed that reduce the time complexity of procedures for calculating the values of membership functions. **Conclusions.** As a result of the analysis of known membership functions for fuzzy sets, it has been established that they do not adequately reflect the preferences of the decision-maker for the characteristics of systems close to extreme values and have a relatively high computational complexity. The proposed membership function and its calculation method make it possible to increase the adequacy of multifactorial estimation models and significantly reduce the time complexity of procedures for calculating its values. Practical use of the proposed membership function in the support systems for the adoption of design and management solutions will make it possible to obtain solutions of the problems of multifactor estimation and choice of a much larger dimension or with less expenditure of computing resources practically without loss of accuracy.

**Keywords:** technological system, quality criteria, multicriteria optimization, fuzzy set, membership function.

### Introduction

Modern technological systems are difficult complexes of functionally interconnected means of technological equipment, items of production and actors for conducting specified technological processes or operations under regulated production conditions. Their efficiency is largely determined by decisions made in the process of their designing or reengineering [1].

Processes of designing and reengineering of technological systems assume the solution of a set of interrelated problems of structural, topological and parametric optimization. These tasks belong to the NP-complex class and are solved in conditions of incomplete information according to a set of functional and cost indicators (particular criteria of efficiency). The best solution from a set of efficient ones can be selected by a decision-maker only in the simplest situations [2]. Otherwise, to automate the procedures for estimating project solutions, additional information about the utility of different values of formalized properties of decisions is necessary (particular criteria) [3].

### Analysis of the current state of the problem

The methodology of solving tasks of optimization of technological systems as well other anthropogenic systems is based on the theory of multicriteria optimization [4–6]. It is based on mathematical models and methods of utility theory. Two main approaches to estimating the quality of system variants are used, that is the ordinal and cardinal ones.

Within the ordinal approach a decision-maker establishes the procedure "better-worse" on the subset

$X = \{x\}$  of admissible  $X \subseteq X^*$  or efficient variants  $X \subseteq X^c$  for developing the system; for example, a decision maker can determine the binary relations of strict preference  $R_S(X)$ , the preference-indifference relation  $R_{NS}(X)$  or equivalence  $R_E(X)$ :

$$R_S(X) = \{ \langle x_i, x_j \rangle : x_i, x_j \in X, x_i \succ x_j \};$$

$$R_S^O(X) : x_k \succ x_l \succ \dots \succ x_n; \quad (1)$$

$$R_{NS}(X) = \{ \langle x_i, x_j \rangle : x_i, x_j \in X, x_i \sim x_j \};$$

$$R_{NS}^O(X) : x_k \sim x_l \sim \dots \sim x_n; \quad (2)$$

$$R_E(X) = \{ \langle x_i, x_j \rangle : x_i, x_j \in X, x_i \sim x_j \};$$

$$R_E^O(X) : x_k \sim x_l \sim \dots \sim x_n. \quad (3)$$

Within the cardinal approach, preferences are determined by attributing some value  $P(x)$ , that is interpreted as its utility or value, to each of the alternatives  $x \in X$ . The utility function that is common according to a set of indicators  $P(x)$  determines the appropriate order (preferences of a decision maker)  $R(X)$  (1), (2) or (3). The value of the argument  $x^o \in X$ , corresponding to the maximum of general utility function  $P(x)$ , corresponds to the best variant of the technological system development.

The pattern for solving the task of multicriteria selection within the cardinal approach is presented as:

$$S \rightarrow A \rightarrow Opt G \rightarrow x^o, \quad (4)$$

where  $S$  is the situation of multicriteria selection;  $A$  is the axiomatics of multicriteria selection, which is a set of axioms that determine the pattern of compromise (the principle of ordering solutions);  $Opt G$  is compromise pattern  $P(x)$ ;  $x^0$  is the best variant for developing a technological system [3].

A decision-maker or a group of experts determine the principle of ordering decisions  $A$  grounding on heuristic considerations. Currently, the apparatus of fuzzy sets theory is used to develop a scalar estimation on a set of partial criteria  $k_i(x)$ ,  $i = \overline{1, m}$  (where  $m$  is a number of partial criteria), representing the most important properties of the technological system [3, 7]. In this case, the fuzzy set adjective "the best variant of developing a technological system" is used as the general utility function  $P(x)$ .

The fuzzy set adjective "the best variant of developing a technological system" can be represented as a set of ordered pairs:

$$\text{"The best variant of developing a technological system"} = \{ \langle x, P(x) \rangle \},$$

where  $x \in X$  is a variant of system development;  $P(x)$  is a degree of the fuzzy set adjective "the best variant of developing a technological system".

The most universal function among the ones for multifactor estimation is the function developed on the basis of the Kolmogorov-Gabor polynomial [3]:

$$P(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(x) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \xi_i(x) \xi_j(x) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^m \lambda_{ijl} \xi_i(x) \xi_j(x) \xi_l(x) + \dots, \quad (5)$$

where  $\lambda_i, \lambda_{ij}, \lambda_{ijl}$  – weight coefficients of partial criteria and their products;  $\xi_i(x), \xi_j(x), \xi_l(x)$  – utility functions of partial criteria  $k_i(x), k_j(x), \dots, k_l(x)$ .

The utility functions of partial criteria  $\xi_i(x), \xi_j(x), \xi_l(x)$  in this case are considered as the fuzzy set adjective "the best variant of developing a technological system" according to particular criteria  $k_i(x), k_j(x), \dots, k_l(x)$ . They map  $\xi_i : k_i(x) \rightarrow E^1$ ,  $i = \overline{1, m}$ , and should be universal and well-adapted to considering the peculiarities of specific situations of multicriteria selection [3]: they should be monotonous and dimensionless; have a common change interval (from 0 to 1); be invariant to the extremum of a particular criterion (min or max); enable implementing both linear and non-linear dependencies on the characteristics of options for developing systems.

In the practice of multicriteria optimization the mostly wide-spread functions are membership functions [3, 8–10]:

$$\xi_i(x) \equiv \xi_i(k_i(x)) = \left( \frac{k_i(x) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\alpha_i}, \quad (6)$$

where  $k_i(x), k_i^+, k_i^-$  is the value of the  $i$ -th partial criterion for the variant  $x$ , the best and worst values of the  $i$ -th criterion,  $i = \overline{1, m}$ ;  $\alpha_i$  is a parameter determining the variant of the dependence ( $\alpha_i = 1$  is linear,  $0 < \alpha_i < 1$  is concave,  $\alpha_i > 1$  is convex).

The disadvantage of the function (6) is the impossibility of implementing  $S$ - and  $Z$ -shaped dependencies on the values of the particular criterion, which more adequately represent the situations of making project optimization solutions. In particular, power functions sewing from [7] and [11], the Gaussian function, the Harrington function, the logistic function, and their modifications do not have such drawback [12].

The experimental study of the utility functions of particular criteria used in practice [12] showed that: the procedures for selecting their parameters have a linear or quadratic time complexity with respect to a number of approximation nodes and take from several hundredths to tens of seconds; power functions sewing from [11] has several times greater accuracy of approximation of a decision maker's estimations than other functions.

The main disadvantage of these functions is a various degree of approximation of their values to the boundary values (0 and 1) with the approximation of the normalized values of the particular criterion to the extremal values  $k_i^+ = 1, k_i^- = 0, i = \overline{1, m}$ . This reduces their capability to differentiate the utility of different values of the particular criterion. To avoid this disadvantage the ordinates  $k_i(x), i = \overline{1, m}$  should be scaled, which, in turn, increases the computation time of the membership function  $\xi_i(x), i = \overline{1, m}$ .

The conducted analysis and the review of literature sources on the topic of the study [1–12] showed that nowadays there remain some unexplored problems of evaluating the time complexity of procedures for calculating the values of utility functions of partial criteria. Their preliminary analysis shows that the computation time basing on them can differ by several times. Taking into account the fact that the tasks of structural, topological and parametric optimization of technological systems suggest, in the worst case, the analysis of the variants of the  $2^n$  order (where  $n$  is a variable that determines a number of structural elements, variants of topologies or parameters of the technological system), the search for new functions or the modification of available ones are required in order to reduce the complexity of calculating their values.

### The goal and objectives of the study

The goal of the research is to increase the efficiency of multicriteria estimation of the properties of technological systems at the stages of their designing and reengineering using the apparatus of fuzzy sets.

To achieve this goal, it is necessary:

- to search new monotonous fuzzy set adjectives "the best variant of developing a technological system" or their

modification according to particular criteria for reducing the complexity of their values calculation;

- to make a comparative analysis of time complexity and accuracy of approximation of a decision maker's preferences for available and suggested monotonous membership functions;

- to give recommendations about the practical use of monotonous fuzzy set adjectives "the best variant of developing a technological system" according to private criteria.

### Study materials

Dependencies representing the change in the utility of the values of certain technological properties, like other anthropogenic systems, on the values of their criterion estimates are monotonous: S-shaped for particular criteria  $k_i(x) \rightarrow \max$  and Z-shaped for particular criteria  $k_j(x) \rightarrow \min$ ,  $i, j \in [1, \dots, m]$  (where  $m$  is a number of partial criteria). In this case, by normalizing the values of particular criteria (regardless their type), all membership functions can be reduced to S-type [3]:

$$\bar{k}(x) = \frac{k(x) - k^-}{k^+ - k^-}, i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

where  $k(x)$ ,  $k^+$ ,  $k^-$  – the value of the particular criterion for the variant  $x$ , the best and worst values of the criterion  $k(x)$ .

Power functions sewing from [7] and functions (6) [11], the Gaussian function, the Harrington functions, logistic function, and their modifications belong to the utility functions of partial criteria (as a fuzzy set adjective "the best variant"), that describe a decision-maker's estimations in the most accurate way and are widely accepted in practice [12].

Let us represent the listed functions using the normalization of the form (6):

- the Gaussian function [12]:

$$\xi(x) = \exp\left[-\frac{(\bar{k}(x) - 1)^2}{c}\right], \quad (8)$$

where  $c > 0$  is the parameter, defining specific type of dependencies;

- the logistics function [12]:

$$\xi(x) = \frac{1}{1 + \exp\left[-\frac{(\bar{k}(x) - a)}{b}\right]}, \quad (9)$$

$$\xi(x) = \begin{cases} \bar{a} \cdot (b_1 + 1) \cdot \left(1 - \left(b_1 / \left(b_1 + \frac{\bar{k}(x)}{\bar{k}_a}\right)\right)\right), & 0 \leq \bar{k}(x) \leq \bar{k}_a; \\ \bar{a} + (1 - \bar{a}) \cdot (b_2 + 1) \cdot \left(1 - \left(b_2 / \left(b_2 + \frac{\bar{k}(x) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a}\right)\right)\right), & \bar{k}_a < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (14)$$

where  $b_1, b_2$  are the coefficients that determine the form of the dependence on the initial and final segments of the function.

where  $a$  is the abscissa of the inflection point;  $b$  is the parameter, defining the type of dependencies;

- the Harrington function [12]:

$$\xi(x) = \exp\left\{-\exp\left[(g \cdot \bar{k}(x) - a)\right]\right\}, \quad (10)$$

where  $g$  is the parameter of nonlinearity;  $a/g$  determines the inflection point;

- the modified Gaussian function [12]:

$$\xi(x) = \exp\left[-\frac{(\bar{k}(x) - 1)^{2\alpha}}{c}\right], \quad (11)$$

where  $c > 0$  is the parameter defining the form of dependence;  $\alpha$  is the parameter determining the type of nonlinearity;

- power functions sewing [11]:

$$\xi(x) = \begin{cases} \bar{a} \cdot \left(\frac{\bar{k}(x)}{\bar{k}_a}\right)^{\alpha_1}, & 0 \leq \bar{k}(x) \leq \bar{k}_a; \\ \bar{a} + (1 - \bar{a}) \cdot \left(\frac{\bar{k}(x) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a}\right)^{\alpha_2}, & \bar{k}_a < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (12)$$

where  $\bar{k}_a, \bar{a}$  – are normalized values of the coordinates of the point of sewing function,  $0 \leq \bar{k}_a \leq 1$ ,  $0 \leq \bar{a} \leq 1$ ;  $\alpha_1, \alpha_2$  – are the coefficients that determine the form of the dependence on the initial and final segments of the function;

- power functions sewing based on the function [7]:

$$\xi(x) = \begin{cases} 2^{p-1} \cdot [\bar{k}(x)]^p, & 0 \leq \bar{k}(x) \leq 0.5; \\ 1 - 2^{p-1} \cdot \left[\frac{0.5 - \bar{k}(x)}{0.5}\right]^p, & 0.5 < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (13)$$

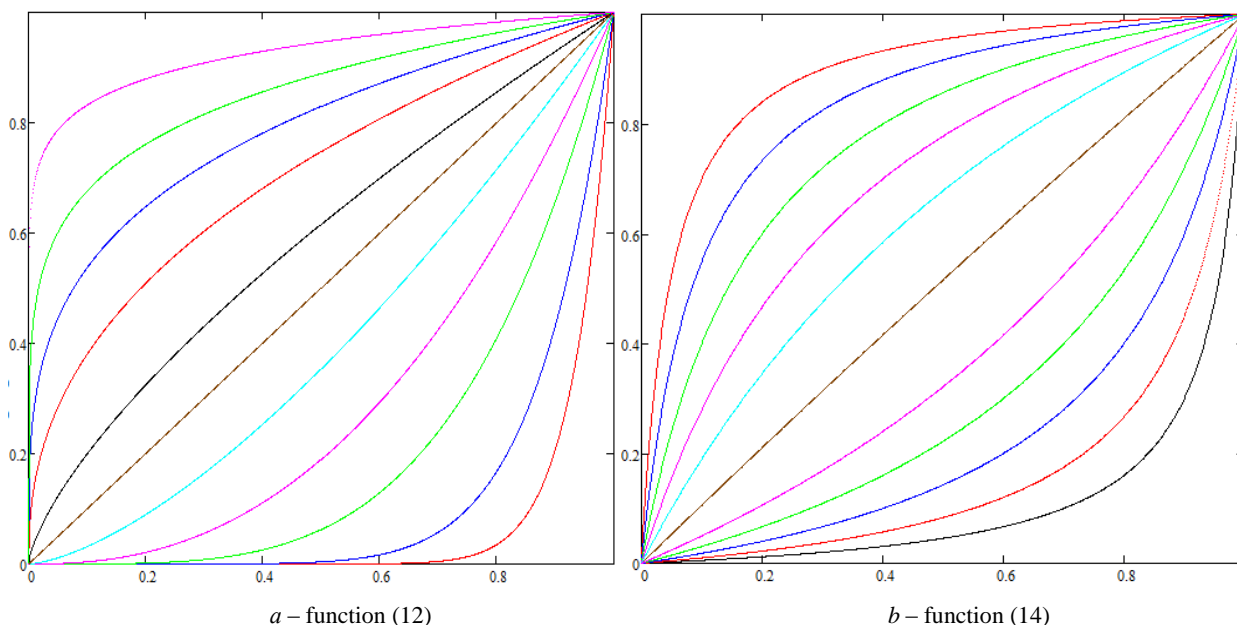
where  $p$  is the parameter defining the form of dependence.

Functions (8)–(13) greatly change their values at the entrance to the dead bands (when the partial characteristics of the system approach to the worst and best values, i.e.,  $\bar{k}(x) \rightarrow 0$  and  $\bar{k}(x) \rightarrow 1$ ). This can lead to significant errors in determining the properties of technological systems according to specific criteria and have a significant effect on the error in calculating the quality of options for their development as a whole  $P(x)$  (5).

To overcome these drawbacks, sewing function (12) should be modified by using fractional-linear functions instead of power functions:

The suggested modification of sewing function (14) substantially reduces the dead band of membership

function, thereby widening the region of the estimation model adequacy (fig. 1).



**Fig. 1.** The components of sewing the utility functions of particular criteria for different values of  $\alpha_1, \alpha_2$  and  $b_1, b_2$  parameters

To reduce a number of operations that are required while calculating the values of function  $\xi(x)$ , it is suggested to use a single preliminary calculation of their parts that do not change when the values of the particular criterion change  $\bar{k}(x)$ .

The values of the functions (8) - (14) transformed to reduce the computation time are represented as:

- the Gaussian function (8):

$$\xi(x) = \exp\left[z \cdot (\bar{k}(x) - 1)^2\right], \quad (16)$$

where  $z = -1/c$ ;

- the logistics function (9):

$$\xi(x) = \frac{1}{1 + \exp\left[z_1 - z_2 \cdot \bar{k}(x)\right]}, \quad (17)$$

where  $z_1 = a/b$ ;  $z_2 = 1/b$ ;

- the Harrington function (10):

$$\xi(x) = \exp\left\{-\exp\left[(a - g \cdot \bar{k}(x))\right]\right\}, \quad (18)$$

where  $g$  - is the nonlinearity parameter;  $a/g$  - determines the inflection point;

- the modified Gaussian function (11):

$$\xi(x) = \exp\left[z_1 (\bar{k}(x) - 1)^{z_2}\right], \quad (19)$$

where  $z = -1/c$ ;  $z_2 = 2 \cdot \alpha$ ;

- power functions sewing (12):

$$\xi(x) = \begin{cases} z_1 \cdot [\bar{k}(x)]^{\alpha_1}, & 0 \leq \bar{k}(x) \leq \bar{k}_a; \\ \bar{a} + z_2 \cdot [\bar{k}(x) - \bar{k}_a]^{\alpha_2}, & \bar{k}_a < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (20)$$

where  $z_1 = \bar{a} \cdot \left(\frac{1}{k_a}\right)^{\alpha_1}$ ,  $z_2 = (1 - \bar{a}) \cdot \left(\frac{1}{1 - k_a}\right)^{\alpha_2}$ ;

- power functions sewing (13) based on the function [7]:

$$\xi(x) = \begin{cases} z \cdot [\bar{k}(x)]^p, & 0 \leq \bar{k}(x) \leq 0.5; \\ 1 - z \cdot \left[\frac{0.5 - \bar{k}(x)}{0.5}\right]^p, & 0.5 < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (21)$$

where  $z = 2^{p-1}$ ;

- the suggested modification of sewing function (14):

$$\xi(x) = \begin{cases} z_{11} - \frac{z_{12}}{z_{13} + \bar{k}(x)}, & 0 \leq \bar{k}(x) \leq \bar{k}_a; \\ z_{21} - \frac{z_{22}}{z_{23} + \bar{k}(x)}, & \bar{k}_a < \bar{k}(x) \leq 1, \end{cases} \quad (22)$$

where  $z_{11} = a \cdot (b_1 + 1)$ ;  $z_{12} = b_1 \cdot z_{11} \cdot \bar{k}_a$ ;  $z_{13} = b_1 \cdot \bar{k}_a$ ;  
 $z_{21} = b_2 \cdot (1 - \bar{a}) + 1$ ;  $z_{22} = (z_{21} - 1) \cdot (b_2 + 1) \cdot (1 - \bar{k}_a)$ ;  
 $z_{23} = b_2 \cdot (1 - \bar{k}_a) - \bar{k}_a$ .

### The results of the study

The software was developed and the series of experiments were carried out for a comparative analysis of the accuracy of approximation of a decision maker's preferences and the time complexity of calculating the values of utility functions of particular criteria  $\xi(x)$  (8) - (14).

The values of the particular criterion  $\bar{k}(x_i)$  and the corresponding values of their significance  $\tilde{\xi}(x_i)$ ,  $i=1,20$  were developed while simulating the work of experts using a random number generator. The selection of the best values of the parameters of the functions  $q$  was carried out by the method of the golden section according to the criterion of the least squares:

$$K = \sum_{i=1}^{20} [\xi(x_i, q) - \tilde{\xi}(x_i)]^2 \rightarrow \min_{q \in Q}, \quad (15)$$

Table 1. Results of the experimental study of functions

Function type	$t_{1c}, N_s$	$t_{2c}, N_s$	$K_c$	$K_{max}$
Gauss (8)	2.523	2.23	1.83101	0.34394
Logistic (9)	2.471	2.361	0.08763	0.02251
Harrington (10)	4.658	4.611	0.07969	0.01285
Modified Gaussian (11)	7.74	7.501	0.40765	0.09471
Gluing (12)	5.739	5.431	0.03707	0.00655
Gluing (13)	0.876	0.722	1.02613	0.25744
Proposed function (14)	0.786	0.624	0.04151	0.01131

The results of the experiments justified that the accuracy of approximating a decision maker's preferences using sewing function (12) and the suggested modification (14) is several times higher than with the help of other functions. At the same time, all functions except for the Gaussian function (8) and power functions sewing (13) have an error of approximation of preferences according to the maximum error  $K_{max}$ , that is satisfactory for practice.

A much shorter time for calculating the values is required for the suggested modification of sewing function (14) and power functions sewing (13). At the same time, according to this indicator, they are 1.15–12.02 times higher than all other membership functions.

The suggested method for simplifying the algorithms for calculating the functions (8) – (14) made it possible to reduce the time for estimating by 1.01–25.96% more.

A number of compromises according to the accuracy of approximation of a decision maker's preferences the calculation time include sewing function (12) and the suggested modifications (14). The suggested modification of sewing function (14) is the most efficient function according to the complex parameter "accuracy – computational complexity".

## Conclusions

The analysis of the problem of estimating the properties of technological systems in the process of their multicriteria optimization resulted in the study of available monotonous fuzzy set adjectives "the best variant".

It was established experimentally that power functions sewing (12) has much higher accuracy of approximation of expert estimates in comparison with the Gaussian function, the Harrington function, the logistic function and sewing function from (13) among the

where  $Q$  – set of admissible values of the parameters of the functions (8) – (14).

The average time for calculating the value of the original functions was estimated (8) – (14)  $t_{1c}$ ; as well as the average time for calculating the value of the transformed functions (16) – (22) the average error in approximating a decision maker's preferences  $K_c$  (15); the maximum error of one decision maker's estimation, the value  $K_{max}$  according to the series of experiments (tab. 1).

functions that are used in decision making support systems and enable implementing S (Z)-like dependencies on the values of particular criteria.

In this case, the available membership functions greatly change their values when the system's partial characteristics approach to the worst and best values, which can lead to significant errors in determining the properties of technological systems according to specific indicators and, consequently, to the error of their complex multicriteria estimation. To use the methods of solving combinatorial tasks of structural, topological, and parametric optimization of technological systems, membership functions with little time complexity are required.

To overcome the mentioned drawbacks, the modification (14) of sewing function (12) is suggested by using fractional-linear functions instead of power functions. The suggested modification of the membership function significantly reduces the dead band practically without any loss of accuracy, thereby increasing the adequacy of the model of multifactor estimation and the selection of design solutions. In this case, the time for calculating the values of the suggested modification of the function is 8.7 times less than for the basic sewing function.

Its practical use in decision making support systems of design and management solutions enables solving multifactor estimation tasks practically without any loss of accuracy and selecting solutions of much larger dimension with less computational resources.

Directions for further research in this area can be the development of mathematical models, methods and software tools for selecting the parameters of the fuzzy set adjective "the best variant of developing a technological system" according both to specific indicators and to a set of quality indicators simultaneously.



## References

1. Averchenkov, V. I., Kazakov, Yu. M. (2011), *Automation of the design of technological processes*, FLINTA, Moscow, 229 p.
2. Kryuchkovsky, V., Petrov, E., Sokolova, N., Khodakov, V., Petrova, E. (ed.) (2011), *Introspective analysis. Methods and means of expert evaluation*, Grin DS, Kherson, 168 p.
3. Ovezgeldyev O., Petrov E., Petrov K. (2002), *Synthesis and identification of models of multifactor estimation and optimization*, Naukova Dumka, Kyiv, 161 p.
4. Greco, S., Ehrgott, M., Figueira, J. (2016), *Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art Surveys*, Springer, New York, 1346 p.
5. Kaliszewski, I., Miroforidis, I., Podkopaev, D. (2016), *Multiple Criteria Decision Making by Multiobjective Optimization - A Toolbox*, Springer, New York, 142 p.
6. Kaliszewski, I., Kiczowski, T., Miroforidis, J. (2016), "Mechanical design, Multiple Criteria Decision Making and Pareto optimality gap", *Engineering Computations*, Vol. 33 (3), pp. 876-895.
7. Ruskin, L. G., Gray, O. V. (2008), *Fuzzy Mathematics. Fundamentals of the theory. Applications*, Parus, Kharkov, 352 p.
8. Petrov, K. E., Kryuchkovsky, V. V. (2009), *Comparative structural-parametric identification of models of scalar multivariate estimation*, Oldi-plus, Kherson, 294 p.
9. Kryuchkovsky, V., Petrov, E., Sokolova, N., Khodakov, V. (2013), *Introduction to the normative theory of decision-making*, Grin DS, Kherson, 284 p.
10. Petrov, E., Brynza, N., Kolesnik, L., Pisklakova, O. (2014), *Methods and models of decision-making under conditions of multi-criteria and uncertainty*, Grin DS, Kherson, 192 p.
11. Petrov, E. G., Beskorovainy, V., Pisklakova, V. (1997), "Formation of utility functions of particular criteria in multicriteria estimation problems", *Radioelectronics and Informatics*, No. 1, pp. 71-73.
12. Beskorovainy, V. V., Soboleva, E. V. (2010), "Identification of the partial utility of multifactorial alternatives using S-shaped functions", *Bionics of Intellect*, No. 10, pp. 50-54.
13. Beskorovainy, V. V., Trofimenko, I. V. (2006), "Structural-parametric identification of models of the bug-factoring estimation", *Armament systems and military equipment*, No. 3 (7), pp. 56-59.

Receive 05.06.2017

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

**Безкоровайний Володимир Валентинович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри системотехніки, м. Харків, Україна; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7930-3984.

**Безкоровайний Володимир Валентинович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры системотехники, г. Харьков, Украина; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7930-3984.

**Beskorovainyi Vladimir** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Professor of the Department of System Engineering, Kharkiv, Ukraine; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7930-3984.

**Березовський Георгій Вячеславович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, студент кафедри штучного інтелекту, м. Харків, Україна; e-mail: heorhii.berezovskyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7277-1531.

**Березовский Георгий Вячеславович** – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, студент кафедры искусственного интеллекта, г. Харьков, Украина; e-mail: heorhii.berezovskyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7277-1531.

**Berezovskyi Heorhii** – Kharkiv National University of Radioelectronics, Student of the Department of Artificial Intelligence, Kharkiv, Ukraine; e-mail: heorhii.berezovskyi@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7277-1531.

## ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

**Предметом** дослідження в статті є процес оцінки властивостей технологічних систем на етапах їхнього проектування та реінжинірингу. **Мета** – підвищення ефективності процедур багатокритеріальної оцінки варіантів побудови технологічних систем з використанням апарату нечітких множин. **Завдання:** провести пошук нових чи внесення змін до відомих функцій приналежності нечітких множин «кращий варіант побудови технологічної системи» за частковими критеріями в напрямку зниження складності процедур обчислення їх значень; виконати порівняльний аналіз часової складності та точності апроксимації переваг особи, що приймає рішення, за допомогою монотонних функцій приналежності; дати рекомендації щодо практичного використання монотонних функцій приналежності в системах підтримки прийняття рішень. Використовуються загальнонаукові **методи:** прийняття рішень, теорії корисності, нечітких множин, ідентифікації. Отримані такі **результати.** У статті подана розроблена авторами модель переваг особи, що приймає рішення, для оцінки окремих властивостей технологічних систем з використанням функцій приналежності нечітким множинам, що дозволяє реалізувати як лінійні, так і нелінійні (опуклі, увігнуті, S-образні і Z-образні) залежно від значень часткових критеріїв. Проведене експериментальне дослідження виявило її переваги за показниками точності та часової складності в порівнянні з функціями Гауса, Харрінгтона, логістичною функцією, склейками ступеневих функцій і їх модифікаціями. Запропоновано прийоми, що знижують часову складність процедур обчислення значень функцій приналежності. **Висновки.** У результаті аналізу відомих функцій приналежності нечітких множин встановлено, що вони недостатньо адекватно відображають переваги особи, що приймає рішення, для характеристик систем близьких до екстремальних значень і мають відносно високу обчислювальну складність. Запропонована функція приналежності та спосіб її обчислення дозволяють підвищити адекватність моделей багаточинного оцінювання та суттєво знизити часову складність процедур обчислення її значень. Практичне

використання запропонованої функції приналежності в системах підтримки прийняття проектних і управлінських рішень дозволить практично без втрати точності отримувати розв'язки задач багатофакторного оцінювання та вибору набагато більшої розмірності або з меншими витратами обчислювальних ресурсів.

**Ключові слова:** технологічна система, критерії якості, багатокритеріальна оптимізація, нечітка множина, функція приналежності.

## ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

**Предметом** исследования в статье является процесс оценки свойств технологических систем на этапах их проектирования и реинжиниринга. **Цель** – повышение эффективности процедур многокритериальной оценки вариантов построения технологических систем с использованием аппарата нечетких множеств. **Задачи:** провести поиск новых или модификацию известных функций принадлежности нечетким множествам «лучший вариант построения технологической системы» по частным критериям в направлении снижения сложности процедур вычисления их значений; выполнить сравнительный анализ временной сложности и точности аппроксимации предпочтений лица, принимающего решения, с помощью монотонных функций принадлежности; дать рекомендации по практическому использованию монотонных функций принадлежности в системах поддержки принятия решений. Используются общенаучные **методы:** принятия решений, теории полезности, нечетких множеств, идентификации. Получены следующие **результаты.** В статье представлена разработанная авторами модель предпочтений лица, принимающего решения, для оценки отдельных свойств технологических систем с использованием функции принадлежности нечетким множествам, позволяющая реализовать как линейные, так и нелинейные (выпуклые, вогнутые, S-образные и Z-образные) зависимости от значений частных критериев. Проведенное экспериментальное исследование выявило ее преимущества по показателям точности и временной сложности в сравнении с функциями Гаусса, Харрингтона, логистической функцией, склейками степенных функций и их модификациями. Предложены приемы, снижающие временную сложность процедур вычисления значений функций принадлежности. **Выводы.** В результате анализа известных функций принадлежности нечетким множествам установлено, что они недостаточно адекватно отображают предпочтения лица, принимающего решения, для характеристик систем близких к экстремальным значениям и имеют относительно высокую вычислительную сложность. Предложенная функция принадлежности и способ ее вычисления позволяют повысить адекватность моделей многофакторного оценивания и существенно снизить временную сложность процедур вычисления ее значений. Практическое использование предложенной функции принадлежности в системах поддержки принятия проектных и управленческих решений позволит практически без потери точности получать решения задач многофакторного оценивания и выбора гораздо большей размерности или с меньшими затратами вычислительных ресурсов.

**Ключевые слова:** технологическая система, критерии качества, многокритериальная оптимизация, нечеткое множество, функция принадлежности.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Безкорвайний В. В., Березовський Г. В.** Оцінка властивостей технологічних систем із використанням нечітких множин. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 14–20.

**Безкорвайний В. В., Березовский Г. В.** Оценка свойств технологических систем с использованием нечетких множеств. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 14–20.

**Beskorovainyi V., Berezovskyi H.** Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 14–20.

V. GURIN, E. PERSIYANOVA

## GENERAL PRINCIPLES OF BUILDING THE MODEL OF DEVELOPMENT AND OPERATION OF HETEROGENEOUS TEAMS FOR PROJECT MANAGEMENT

**The subject** of the research is the basic principles of making the model of managing the production of software and models of development and operation of heterogeneous teams for project management. **The objective of the research** is to develop the mathematical model representing the operation of heterogeneous teams for project management. The sociometry is used for psychodiagnostic procedures in the course of social and psychological analysis of group relations. This method is directed at determining the structure of interpersonal relations by identifying mutual feelings of friendliness and unfriendliness among the members of groups. The mathematical methods of processing data and information obtained during the sociometric survey lie in calculating mathematical indicators which can be subdivided into group and individual indexes. In the course of the research the following **tasks were solved**: the requirements for team building and development of models for software implementation were analyzed; the method for analyzing the cohesion of team members was selected; the options for developing the mathematical model representing the principles of building the team which works on the project were considered. Groups different in structure were compared with the help of mathematical processing of statistical data; and correlation procedures were conducted. Individual indexes were defined; among them are: the index of sociometric status which indicates the advantage of any member of the group over other participants; the indexes of positive and negative emotional expansivity; the index of group cohesion; the index of sociometric coherence. **The methods used are**: statistical and correlation analysis, sociological, Hungarian, mathematical. **As a result** of the conducted researches the basic principles of making the model of managing software development are shown, mathematical methods of development and operation of heterogeneous teams for project management are suggested. Thus, the goals and objectives of the research are carried out.

**Keywords**: software, the model of management, sociometry, individual indexes, Hungarian method.

### Introduction

The key object of studying software engineering is the process of software development. However, nowadays, there is no universal software development process, that is a set of techniques, rules and regulations that are suitable for any software, for any company, for teams of any nationality. Each current development process, carried out by any team within a particular project, has a large number of features and individualities. Before starting a project, it would make sense to create a process template, for example, as in the Microsoft Visual Team System that is created or adapted (if a standard one is used) before developing. In VSTS, there are workpieces for specific processes based on CMMI, Scrum, and others.

These features of software development process require a model that would enable managing this process.

### Problem analysis and task setting

Generally, the development of a model is considered as a process of purposeful "creation" of a special way of interaction among the people in a group (called team), which makes it possible to realize their professional, intellectual and creative potential efficiently according to the strategic objectives of this model of management (team). The model in this case is defined as a group of people who are mutually reinforcing and interchanging one another in the course of achieving the goals [1].

Nominally, four types of models (groups) that are often formed in the course of practical activities of enterprises and are classified in terms of their work can be determined.

1. Teams that create something new for the organization or do work that has been done earlier. Project teams fall into this group. They are temporary in nature, as the content of a project is determined as a temporary

specific organizational form for achieving goals and solving unique tasks.

2. Teams (groups) that deal with problems, goals and tasks of the enterprise using analysis, control and recommendations, e.g. auditing and controlling teams, quality assessment teams.

3. Teams (groups) that are not special, but a permanent part of the organizational structure and which carry out the process of production and performance of repetitive work, e.g. production teams (groups), sales teams and service teams (brigades, groups).

4. Teams that are of multifunctional executive management nature. These teams are usually formed at higher levels of enterprise management and act as executive committees, management teams or top managers of the enterprise.

The following conditions determine the efficient work of a team:

- each member of a team should clearly understand their role, which enables performing their tasks without disturbing the work of others;

- project specification and schedule of work should be coordinated with all the members of a team;

- all the team members should interact with one another and respect the professional qualities of one another;

- all members of a team should clearly see the model of the process that is used during the project implementation;

- each member of a team should know all the aspects of the project plan.

The type and amount of work that should be done determine a number of model members; significant impact of the external environment is also very important.

There are common features that should be taken into account when determining the size of a team:

- the larger the group, the more invisible the pressure which leads to conformism of team members;

- the structure of the model affects the behaviour of its members – the more powerful the structure, the lower its tolerance towards employees who have special views, the more acute antagonism against any deviations from the norm;

- a great number of team members can leave any person without a conscious role and diminish the importance of a personality.

Typically, the literary sources suggest the following classification of teams in the context of team members: a) small teams (less than 4 people); b) medium-sized teams (from 5 to 9 people); c) large teams (more than 10 people).

In the full-scale project of the ERP implementation of the Microsoft system there are specialists with different functional responsibilities. The following characteristic roles can be distinguished [2, 3].

The director (general manager) of the project who ensures making strategic decisions and interacting with the top management of the enterprise of a customer and / or a partner.

The project manager (manager) is the main responsible for its successful completion.

The project coordinator, who is appointed when the project manager is not a customer employee, and whose responsibility is to manage the resources and represent the interests of the customer while discussing project issues.

The architect of business solutions is primary responsible person for making business management decisions in large and complex projects.

The business analyst (consultant) is very important for ensuring the efficiency of solutions within the ERP system. Their responsibilities include: inspecting the enterprise, designing and optimizing business processes with the help of the system which is introduced.

The system (functional) analyst (consultant) is responsible for designing technical tasks within the selected ERP system of Microsoft Axapta or Microsoft Navision and whose main task is to implement business automation solutions into software design.

In practice, the roles of business and functional analysts are often combined, which is, in principle, quite feasible for small projects.

The development manager is responsible for the coordination and quality of work performed by a group of programmers. As a rule, they are experienced professional programmers with managerial skills and ability to manage resources.

The programmer (software designer) needs no introductions. It is only necessary to keep in mind that end customers might describe all IT specialists engaged in the project as "programmers".

The system administrator (DB), at the stage of introduction, is responsible for technical deployment of the solution on the server architecture and for the working efficiency of a client part at customers' computers. Initially, it is reasonable to assign this task to a customer specialist, since it will subsequently proceed from the the stage of implementation to the stage of technology operation of the ERP system.

The testor, whose responsibilities include: preparing a test plan, verifying the compliance of software design development as well as error checking in accordance with the plan of testing; they also carry out initial code testing.

The instructor (teacher) mainly teaches the users of future solution of a new functionality.

The technical editor prepares online help system for users.

The project administrator is a project assistant, whose routine responsibilities are carried out by the manager of a small project.

The expert plays a sporadic, but nevertheless, a very important role in a project. Experts are experienced managers and just key customer employees; they know the business of the enterprise at which they work. These people, especially at the stage of conceptual design, conduct formal or informal expert evaluation.

The key user is an experienced customer specialist, who is an agent distributing the future solution among other users.

Of course, one role can be performed by several specialists. But, on the other hand, one and the same man can combine different roles. There are some recommendations for possible and undesirable combinations in the context of performing different roles by one and the same person [4, 5, 6].

The development of a model begins at the early stages of a project from the moment of its start and can actively continue until its completion. This happens due to the fact that at different stages the necessity in different specialists varies. Due to the temporary nature, it is more efficiently to build the skeleton of a team grounding on the resources of the partner, as it is rather difficult to put a professional and cohesive team together at the customer side for a short period of time.

The model for developing a software product is a model that comprises the team of employees who are directly involved in the implementation of the project and are responsible to the project manager. This is the main element of its structure, because the correct construction of the model ensures the realization of the idea of the project.

The management model is an independent subject of activity, which can be considered in terms of properties, processes, parameters that are specific for a social group.

In order to develop a model of management, there exists a whole process of its development that comprises a task that requires high managerial competence. In the course of its implementation not only properly selected high-skilled professionals are necessary, but also people who want to work together within a team.

M. Bir and other authors singled out four approaches for developing a management model, they are goal-oriented, interpersonal, role-playing and the approach of management grid; all of them are detailed in [7, 8]. He considered the first three approaches to be the main ways of developing a management model.

When developing a management model, it should be taken in account that the efficient team can not be created "in general" for a project. The management model that is most appropriate for each specific project should be developed.



In order to manage any projects the models of development and operation of heterogeneous teams are of a great interest; these teams are the ones where all the members of the team perform various functions, and each member of the management model efficiently performs certain functions.

In [9], the following numerical indicators of a model are used: professional skills of an applicant, the professionalism of a team, average team qualification according to each function the team is carrying out, the heterogeneity of applicants' qualification, the heterogeneity of the team, "specialization" of the team.

Depending on the modelling apparatus used, several areas of researching are identified:

a) "assignment task" which uses the optimization apparatus in order to solve the problems of team development, the distribution of roles and work amount;

b) theoretic and gaming models that use the game theory for describing and studying the processes of team development and operation. Nowadays it is the most advanced direction of formal research of teams which includes such "branches" as:

- 1) Marshak – Radner model and its development;
- 2) the model of group stimulation;
- 3) models of reputation and norms of activity;

The term "assignment task" is conditional and comprises a wide class of optimization tasks, including the task of a model development, the task of assigning functions in heterogeneous teams, and the task of assigning the amount of work.

These three types of tasks are interrelated and solved as a "cycle". In this regard, let us successively consider the problem of assigning the amount of work, the problem of assigning functions and the problem of building the team which is developing a software product with the help of mathematical methods.

Assume that a fixed number of team members is a set of homogeneous (according to functions, which means that team members perform the same type of functions) applicants  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ , the total amount of work that should be done is known –  $R$ , and the types of employees are given –  $\{r\}$  (characteristics that represent the efficiency of their activities). It is necessary to assign the amount of work to the applicants.

This task setting is too general and requires detailing. There may exist different options. First, it is necessary to distinguish discrete and continuous tasks.

In a discrete task, the amount of work  $d_i \geq 0$ , which may be performed by the  $i$ -th applicant, is fixed. If the type of an employee is interpreted as the cost of carrying out a unit of work, the discrete task of assigning the amount of work  $R$  to the applicants in order to minimize total expenditures is obtained:

$$\sum d_i r_i x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N} d_i x_i \geq R, \quad (2)$$

where  $x_i$  equals 0 if the  $i$ -th applicant does not work and equals 1 if the applicant works;

Tasks (1) and (2) belong to the class of rucksack problems [10, 11], and can be solved if:

$$\sum_{i \in N} d_i \geq R, \quad (3)$$

that is, when the total amount of work does not exceed the "production capacity" of all applicants.

The general "disadvantage" of discrete tasks is that only a small part of them has effective (polynomial complexity) methods of solving. For NP-complex problems with their small dimension it is possible to use the method of full selection, and when their dimension is increasing, various heuristic or other methods of solution can be used [12].

Assume now that the  $i$ -th applicant can perform any amount of work that does not exceed  $d_i$ . Then, denoting  $x_i$  as the amount of work performed by the  $i$ -th applicant, a continuous task is obtained:

$$\sum_{i \in N} r_i x_i \rightarrow \min_{x_i \in [0; d_i]}, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} x_i \geq R, \quad (5)$$

which has a simple solution under the condition (1): it is necessary to arrange all the employees in the order of cost increasing  $r_i$  and consistently load them up to the maximum capacity until the total amount of work  $R$  is assigned.

Summarizing the model, assume that the known functions of the costs of agents  $c_i(r_i, x_i)$  depend on the amount and the types of work.

The task of minimizing total costs is a typical task of conditional optimization under restriction (5) [13]:

$$\sum_{i \in N} c_i(r_i, x_i) \rightarrow \min_{x_i \in [0; d_i]}, \quad (6)$$

where  $c_i$  – is the function of agents (employees);

$r_i$  – is the amount of work performed by an agent;

$x_i$  – the type of work of the  $i$ -th agent.

Currently, the study of operations has accumulated considerable experience in formulating and solving various tasks of resource assignment, which should be used in analyzing the processes of efficient development and operation of the management model [14].

Assume that the solution of the task of assigning the amount of work is known, that is, if all working functions are assigned to all the members of the team, the amount of optimal "load" can be found out. Then the problem of function assigning can be considered.

The task of group building is formally set. Formally, to solve the task of building a team means to determine a number of its members  $N^*$  which would have the maximum efficiency:

$$N^* = \arg \max_{N \subseteq N_0} F(N). \quad (7)$$



where  $N_0$  – is a number of employees who apply for work in the team,  $|N_0| = N_0$ ;

$N$  – is the number of team members (a variant of solving the task of team building),  $|N| = N \leq N_0$ ;

$F(N)$  – is the functional of efficiency that matches each possible number of team members  $N \subseteq N_0$  to a real number.

Task (10) is a task of discrete optimization. The requirements of mandatory integration of different applicants into the team as well as prohibition of such integration can be imposed on building the team.

From a theoretical point of view, the task of determining the optimal model of management is reduced to searching all possible models.

However, this general task may have no solution, or its search can be extremely laborious. Such problems are typical for the tasks of developing a model and structure of organizational systems.

Thus, the "assignment tasks" take into account such characteristics of the model as: the identity of purpose, joint activity, specialization and complementarity of roles. On the other hand, this class of models almost does not take into account such properties of a team as: the consistency of the interests of its members and the autonomy of the team, which can be considered with the help of sociometry.

Sociometry is one of the most frequently used psychodiagnostic procedures in the social and psychological analysis of group relationships. This method is aimed at revealing the structure of interpersonal relationships by identifying mutual feelings of friendliness and unfriendliness among the members of groups [15–17].

Sociometric cards are often used to collect information in a sociometric survey, they are given to all the members of a group to be filled in. The sociometric card comprises questions to respondents (some space for their answers is left). Written application is placed on the card, but it can be given orally.

The sociometric matrix enables calculating selections, and immediately suggests an idea as for ranking the members of a group according to their advantages and disadvantages. Considering the results of sociometry, microgroups can be identified.

Sociometric matrix data determine certain status positions of group members, such as: stars, desirable for employment, accepted for employment, isolated ones.

The task of status determination can be solved according to the following formula. First, the number  $m$  (the average number of selections) should be determined:

$$m = \frac{R}{N'}, \quad (8)$$

where  $R$  – is the total number of positive selections made;

$N$  – is a number of group members;

$m$  – is the average number of selections.

A particular group is formed on the basis of sociometric matrix. The sociometric status (St) in this case corresponds to the number of selections received.

Mathematical methods of data processing comprise the calculation of mathematical indicators, which can be subdivided into group and individual indices. The most widely used indicators are the index of sociometric status and the index of group cohesion.

Mathematical processing enables comparing different groups according to a number of their members, conducting correlation procedures, carrying out the statistical analysis of data. Let us consider the individual indexes.

The index of sociometric status is an indicator of the advantage of any member of the group over the other members of the group. The position of a subject in the system of interpersonal relations which defines their rights, duties and privileges is referred to as status in social psychology.

The index of sociometric status of the  $i$ -th member of the group is determined by the formula:

$$S_i^+ = \frac{\sum(R_i^+)}{N-1}, \quad (9)$$

where  $R_i^+$  is positive selections received by the  $i$ -th member of the group,  $\Sigma$  is the sign of the algebraic summation of the number of selections received by the  $i$ -th member of the group, and  $N$  is a number of members of the group.

The index of rejection of the  $i$ -th member of the group is determined by the formula:

$$S_i^- = \frac{\sum(R_i^-)}{N-1}, \quad (10)$$

where  $R_i^-$  is all negative selections received by the  $i$ -th member of the group.

There is also the following option for calculating the index of sociometric status, it takes into account both positive and negative selections.

$$S_i = \frac{\sum(R_i^+ - R_i^-)}{N-1}, \quad (11)$$

If sociometry does not take into account the selections ranking, their exact calculation, sociometric status varies from zero (no selections) to one (all members of the group give their preferences to the applicant).

Another type of personal indexes is emotional expansiveness, which is expressed in a number of all selections done by any subject of the group, both positive and negative. From the psychological point of view, the indicator of expansiveness explains if a person needs communication, however, this index loses its diagnostic value in case of the parametric procedure of sociometric study.

The index of positive emotional expansiveness is calculated by the formula:

$$E_i^+ = \frac{\sum(x_i^+)}{N-1}, \quad (12)$$

where  $x_i^+$  – is a number of positive selections done.

The index of negative emotional expansiveness is calculated by the formula:

$$E_i^- = \frac{\sum(x_i^-)}{N-1}, \quad (13)$$

where  $x_i^-$  – is a number of negative selections done.

The index of group cohesion expresses the degree of interconnection among the group members, the strength of their emotional bonds. The psychological content of this index lies in the presence or absence of reciprocity during the selection process in the group. The more mutuality in the group while selecting, the greater the quantity of group members who like one another, the higher its cohesion.

The index of group cohesion (psychological reciprocity) is calculated by the following formula:

$$I_{gr} = \left[ \frac{(PS - NS)}{(N \cdot (N - 1))} \right], \quad (14)$$

where  $PS$  – is a number of mutually positive selections in the group;

$NS$  – is a number of mutually negative selections in the group;

$N$  – is a number of group members who participated in the survey.

Group cohesion is high when there are 1-0,76 points (the team is united, everyone appreciates and respects the identity of each member of the group, individuals do not only carry out active significant activities within the group, but also have a positive impact on the others).

Group cohesion is on the average level when there are 0,75–0,46 points (the group is not united, there are only some groups with mutual likes and interests).

Group cohesion is low when there are 0,45-0,30 points (group members are separated, there are only individual leaders who suppress the personality of others, group events are held from time to time and have no significant impact on the members of the group as well as on those around).

The critical level of group cohesion is below 0.30 points (the work is unorganized and almost unmanageable, there are no leaders among the group members and the management have no real authority).

The analysis of the level of group cohesion according to the selected criterion should be made using the sociometric coherence index. This index can be calculated as the ratio of a number of given (or received) selections to the total number of all possible selections:

$$I_{coh} = K_o \text{ (or } K_n) / (N \cdot (N - 1)), \quad (15)$$

where  $K_o$  – is the number of selections given by the members of the group;

$K_n$  – is the number of selections received by the members of the group.

The cohesion of the group can be calculated using the reciprocal index ( $I_r$ ). The cohesion of the group

manifests itself, first of all, as a number of mutual positive relations, therefore the cohesion index is calculated by the formula:

$$I_r = PS / (N \cdot (N - 1)). \quad (16)$$

Sociometric indices are a powerful tool for analyzing the information collected, since they enable using the quantitative methods of mathematical statistics for information processing, however, these endecses should be interpreted very carefully as in the process of calculation the illusion of getting accurate objective knowledge might occur.

The task of assigning functions can be solved with the help of the Hungarian method. According to the Hungarian method the matrix reduction process continues until all the units subjected to assigning come in a graph of zero value [18]. This means that the final value of the given target function is zero.

Sociometric method can identify interpersonal relations in the group, namely:

- the index of sociometric status;
- the index of emotional expansiveness;
- the index of group cohesion.

The sociometric status is selected as a constraint on the selection of applicants in the group; the group cohesion index enables determining the efficiency of group members work.

The suggested method, based on mathematical models, enables determining a number of group members and assigning functional roles to the applicants.

Practical verification of the suggested method of calculation while developing a software product for LTD "Ukraine" enabled solving the problem of team building according to the criterion of maximum competence. For several sets of applicants, the task of building a team according to the criterion of maximum competence under different constraints has been solved. The analysis of the results justified their validity.

## Conclusions

The conducted research work showed the basic principles of developing the model of management of software production, mathematical methods of processing experimental data in the process of development and operation of heterogeneous teams for project management are suggested. The described procedure was tested when building a team to develop a software product for LTD "Ukraine" and showed its efficiency.

The results of the work can be used in any sphere where it is necessary to build the most efficient group for solving project problems.

The use of criteria of maximum competence, minimum time spent by an employee to do work, minimum financial expenses are the prospects for further researching.

## References

1. Belbin, R. (1996), *Roles in the team. Trans. from Eng.*, 200 p.

2. Mintsberg, G., Kapturevsky, N. N. (ed.) (2004), *The structure in the fist: the creation of an effective organization. Trans. from Eng., Peter Silt* (Series "Business bestseller"), St. Petersburg, 512 p.
3. Belbin, R. (2003), *Types of roles in teams of managers. Transl. from Eng., Hippo*, Moscow, 216 p. ISBN 978-5-9900887-5-7.
4. Bazarova, T. Yu. (ed.), Eremina, B. L. (ed.) (2002), *Personnel Management: Textbook for high schools, 2nd ed., UNITY*, Moscow, 560 p. ISBN 5-238-00290-4.
5. Barker, A. (2002), *How it is even better to manage people*, FAIR Press, Moscow, 126 p.
6. Volkova, Yu. G. (ed.) (2003), *Sociology: Textbook, 2nd ed., Gardariki*, Moscow, 200 p.
7. Mazur, I. I., Shapiro, V. D., Olderogge, N. G. (2004), *Project management: textbook allowance*, Omega-L Kiev, 405 p.
8. Gubko, M. V., Novikov, D. A. (2002), *Theory of games in the management of organizational systems*, Sinteg, Moscow, 227 p.
9. Haritovnov, V. N. (2008), "Formation of the project team for the reconstruction of the system of thermal expansion", *Vesnik Engineering Academy of Ukraine*, No. 3-4, pp. 263.
10. Burkov, V. N., Novikov, D. A. (1997), *How to manage projects*, Synteg, Moscow, 230 p.
11. Ryko, A. S. (2005), *Models and methods of system analysis: decision making and optimization*, MISIS, Moscow, 139 p.
12. Novikov, D. A., Chkhartishvili, A. (2003), *Reflective games*, Sinteg, Moscow, 190 p.
13. Novikov, D. A. (2007), *Project Management: Organizational Mechanisms*, PMSOFT, Moscow, 125 p.
14. Venttsel, E. (1972), *Investigation of operations*, Soviet radio, Moscow, 370 p.
15. Markovskaya, I. M. (1999), *Sociometric Methods in Psychologists: Textbook*, Publishing House of South Ural State University, Chelyabinsk, 46 p.
16. Moreno, Ya. L. (1958), *Sociometry*, The World, Moscow, 98 p.
17. Raygorodsky, D. Ya. (1998), *Practical psychodiagnosics. Methods and tests: Textbook*, Publishing House "Bakhrakh", Samara, 672 p. ISBN 5-89570-005-5.
18. "Hungarian method of solving tasks about assignments", available at: <https://math.semestr.ru/nazn/venger.php>.

Receive 05.06.2017

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

**Гурин Валерій Миколайович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою, м. Харків, Україна; e-mail: gurvanik@gmail.com, ORCID: 0000-0002-27186445.

**Гурин Валерій Николаевич** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью, г. Харьков, Украина; e-mail: gurvanik@gmail.com, ORCID: 0000-0002-27186445.

**Gurin Valeriy** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Professor of the Department of Economic Cybernetics and Economic Security Management, Kharkiv, Ukraine; e-mail: gurvanik@gmail.com, ORCID: 0000-0002-27186445.

**Персіянова Олена Юрїївна** – ДП "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", інженер, м. Харків, Україна; e-mail: persikqw@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3578-4653.

**Персіянова Елена Юрьевна** – ГП "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", инженер, г. Харьков, Украина; e-mail: persikqw@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3578-4653.

**Persyanova Elena** – SE "Southern National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Engineer, Kharkiv, Ukraine; e-mail: persikqw@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3578-4653.

## ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ КОМАНД ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

**Предметом** дослідження є основні принципи формування моделі управління виробництвом програмного продукту і моделі формування і функціонування неоднорідних команд для управління проектами. **Метою** дослідження є побудова математичної моделі, що відбиває функціонування неоднорідних команд для управління проектами. З цією метою для психодіагностичних процедур в соціально-психологічному аналізі групових відносин використовується соціометрія. Це - метод, спрямований на виявлення структури міжособистісних відносин шляхом фіксації взаємних почуттів симпатії і неприязні серед членів груп. Наступні математичні методи обробки даних, отриманої інформації при соціометричному опитуванні, полягають в підрахунку математичних показників, які можна розділити на індекси групові та індивідуальні. У процесі дослідження **вирішено такі завдання**: проведено аналіз вимог до формування команд і моделей для реалізації програмного продукту; обраний метод аналізу сумісності членів команди; розглянуті варіанти побудови математичної моделі, що відбиває принципи формування команди, яка працює над проектом. Порівняння різних за складом груп шляхом математичної обробки статистичних даних і проведення кореляційних процедур. Визначено індивідуальні індекси: індекс соціометричного статусу, який є показником переваги будь-якого члена групи з боку інших її учасників; індекси - позитивної і негативної емоційної експансивності; індекс групової згуртованості; індекс соціометричного когерентності. У роботі використані **методи**: статистичний аналіз, кореляційний аналіз, соціологічний, угорський, математичний. В **результаті** проведених досліджень показано основні принципи формування моделі управління виробництвом програмного продукту, запропоновані математичні методи формування і функціонування неоднорідних команд для управління проектами. Таким чином, виконані поставлені завдання і мета дослідницької роботи.

**Ключові слова**: програмне забезпечення, модель управління, соціометрія, індивідуальні індекси, угорський метод.

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ КОМАНД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

**Предметом** исследования являются основные принципы формирования модели управления созданием программного продукта и модели формирования и функционирования неоднородных команд для управления проектами. **Целью** исследования является построение математической модели, отражающей функционирование неоднородных команд для управления проектами. С этой целью для психодиагностических процедур в социально-психологическом анализе групповых отношений используется социометрия. Это – метод, направленный на выявление структуры межличностных отношений путем фиксации взаимных чувств симпатии и неприязни среди членов групп. Последующие математические методы обработки данных, полученной информации при социометрическом опросе, заключаются в подсчете математических показателей, которые можно разделить на индексы групповые и индивидуальные. В процессе исследования **решены следующие задачи:** проведен анализ требований к формированию команд и моделей для реализации программного продукта; выбран метод анализа совместимости членов команды; рассмотрены варианты построения математической модели, отражающей принципы формирования команды, работающей над проектом. Сравнение различных по составу групп путем математической обработки статистических данных и проведение корреляционных процедур. Определены индивидуальные индексы: индекс социометрического статуса, который является показателем преимущества какого-либо члена группы со стороны других ее участников; индексы – положительной и негативной эмоциональной экспансивности; индекс групповой сплоченности; индекс социометрической когерентности. В работе использованы **методы:** статистический и корреляционный анализ, социологический, венгерский, математический. В **результате** проведенных исследований показаны основные принципы формирования модели управления созданием программного продукта, предложены математические методы формирования и функционирования неоднородных команд для управления проектами. Таким образом, выполнены поставленные задачи и цель исследовательской работы.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, модель управления, социометрия, индивидуальные индексы, венгерский метод.

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Гурин В. М., Персіянова О. Ю. Загальні принципи побудови моделі формування і функціонування неоднорідних команд для управління проектами. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 21–27.

Гурин В. Н., Персиянова Е. Ю. Общие принципы построения модели формирования и функционирования неоднородных команд для управления проектами. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 21–27.

Gurin V., Persiyanova E. General principles of building the model of development and operation of heterogeneous teams for project management. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 21–27.



УДК 331.102.1

Є. В. ДІДЕНКО

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

**Предметом** дослідження в статті є створення моделі оцінки ризиків виробничого травматизму як фактору безпосереднього впливу на стан та характер відносин між роботодавцем та найманим працівником. **Мета** – побудова моделі оцінки ризиків виробничого травматизму в підсистемі кадрового управління системи прийняття рішень з організації діяльності промислового підприємства. **Завдання:** розробити економіко-математичну модель, яка дозволяє дослідити розподіл ризиків виробничого травматизму всередині дії трудового договору. Використовуються загальнонаукові методи системного, структурного аналізу і специфічні методи прийняття рішень в умовах ризику та невизначеності. Отримано такі **результати**. У статті надана концептуальна модель прийняття рішення щодо управління ризиками виробничого травматизму особи, яка відповідальна за кількісне обґрунтування еквівалентності фінансових відносин між адміністрацією промислового підприємства, як стороною трудового договору, та робітником в частині мінімізації наслідків виробничого травматизму. Виокремлено ключові фактори впливу на процес та характер цих відносин з точки зору рухливості рівня травматизму на протязі дії трудового договору. Запропоновано врахування ризиків виникнення нестандартних виробничих ситуацій в калькуляції собівартості робіт (послуг) в розрізі визначених факторів впливу та у часі, яке дозволяє запобігати використанню випадкових подій в якості інструменту непередбачених витрат невиробничого характеру, а також утримання відповідальності підприємства в межах грошового фонду, відповідного до взятих на себе за трудовим договором зобов'язань. **Висновки.** При проведенні аналізу і побудові моделі, яка дозволяє здійснювати чисельну оцінку розподілення ризиків виробничого травматизму всередині трудового договору, на базі власної статистики підприємства по виробничому травматизму виявлений ряд показників, які мають істотний вплив на прийняття рішень щодо організації виробничої діяльності підприємства в частині мінімізації наслідків виробничого травматизму. Надані рекомендації щодо використання отриманих результатів для більш точної оцінки і прогнозування руху основних виробничих процесів на протязі року. Отримані результати можуть бути використані для більш точного визначення зобов'язань роботодавця за трудовим договором в частині відшкодувань, які обумовлюються об'єктивно існуючим рівнем виробничого травматизму.

**Ключові слова:** підприємство, виробничая травма, працівник, модель.

### Вступ

Керівники підприємств в умовах швидких технологічних змін сучасного стану виробництва при визначенні оцінки вартості виконання робіт за трудовими договорами як правило не в повній мірі враховують витрати, пов'язані з відшкодуванням вартості відновлення працездатності робітників, втраченої внаслідок виробничого травматизму. До певної міри це пов'язано з ймовірнісною природою виробничого травматизму та відсутністю інформації про наявність закономірностей його розподілу, але з досвідом роботи більшість з них схильється до необхідності врахування (непередбачених в калькуляціях на виконання робіт (надання послуг) витрат по врегулюванню наслідків виробничого травматизму працівників, так як не всі підрядники за умов загального погіршення стану охорони праці погоджуються працювати у ринковій системі трудових відносин на підприємстві, а відшкодування отримувати в державній системі охорони праці. В умовах зростаючої питомої ваги витрат на оплату праці у порівнянні до матеріальних витрат питання розподілу ризиків виробничого травматизму на протязі дії трудового договору стає актуальним з точки зору своєчасності та якості заходів, необхідних для безперервного руху виробничого процесу і потребує дослідження та моделювання.

### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В цей час існує значна кількість моделей і методів аналізу виробничого травматизму [10, 12, 13, 16]. До найбільш поширених з них відносять ймовірнісно-статистичні та детерміністичні групи

методів. Вивчення існуючих підходів [2, 3, 9, 15] дозволяє стверджувати, що універсального методу дослідження проблем виробничого травматизму не існує, але використання системного підходу та поєднання різних методів дозволяє покращити планування діяльності підприємства в частині запобігання та якнайшвидшого усунування наслідків виробничого травматизму. Об'єктивність висновків, їх зв'язок з економічними оцінками ризиків значною мірою залежить від докладності звітів про охорону праці та травматизм на виробництві щодо причин виробничого травматизму [5, 6, 10, 16]. Науково-теоретичну базу дослідження складають праці вітчизняних і зарубіжних вчених, а саме: Кропивницького В.С., Рубан О.О., Березуцького В.В., Костенко О.М., Венедіктова В.С., Гогіташвілі Г.Г., Лисюка М.О., Мирослава Келемена, Девисилова В.А. та інших. Більшість авторів вказує на необхідність модельного опрацювання проблем виробничого травматизму та їх впливу на характер взаємовідносин між працівником та роботодавцем. Проблема полягає у тому, що пошук та знаходження закономірностей зміни ключових показників впливу на стан виробничого травматизму всередині дії трудового договору є джерелом компромісу, який повинні отримати сторони трудового договору на засадах еквівалентності прав та обов'язків кожної з зацікавлених сторін. При прийнятті рішення про укладання трудового договору Роботодавець повинен враховувати економічну складову впливу фактору виробничого травматизму на рівень взятих за договором зобов'язань. В силу специфіки товару робоча сила прями експерименти у реалізації цього напрямку діяльності неможливі, тому в світі

склалась практика застосування моделювання як засобу пошуку оптимальних рішень.

### Цілі та завдання дослідження

Детальний аналіз та моделювання ситуації вимагають вивчення закономірностей поточного розподілу ризиків, які розглянемо за допомогою дискретної моделі з помісячною розбивкою: нехай трудовий договір розпочинається першого числа будь-якого місяця та діє на протязі року, тобто рівно дванадцять місяців. Постановка питання про справедливість припущення про нерівномірність ризиків виробничого травматизму для різних періодів проходження трудового договору є обґрунтованою. Слід також дослідити питання про розподіл ризику всередині дії трудового договору у випадку нерівномірності його розподілу. Припустимо, що ризик виробничого травматизму в кожен конкретний місяць дії трудового договору залежить від двох факторів: від віддаленості поточного місяця від початку дії трудового договору та від пори року. Прийmemo, що сумарний вплив обраних факторів дорівнює 100%. Тоді залежність ризику від віддаленості поточного місяця назвемо розподілом

ризиків за договорами, а залежність ризику від пори року – календарним корективом.

Модель припускає, що розподіл ризику для кожного трудового договору в кожен конкретний період дії договору формується як сума інтегрованого впливу означених факторів. Наприклад, якщо трудовий договір починався з 1 лютого, то ризик виробничого травматизму в січні є сумою показника розподілом ризику за договорами та календарного корективу. Введемо позначення показників договірного розподілу для кожного періоду дії трудового договору  $a_1, a_2, \dots, a_{12}$  – показники розподілу ризику за договорами ( $\sum a_i = 1$ ),  $b_{\text{січ}}, b_{\text{лют}}, \dots, b_{\text{груд}}$  – показники календарного корективу ( $\sum b_i = 0$ ). Тобто, для трудового договору з 1 лютого січень наступного року стає дванадцятим місяцем дії договору, а ризик виробничого травматизму дорівнює  $a_1 + b_{\text{січ}}$ . Модель розподілу ризику наведемо у вигляді таблиці, де по головній діагоналі матриці розташовані ризики виробничого травматизму всередині першого місяця дії трудового договору, по зміщеній на одну клітинку діагоналі матриці – ризики другого місяця дії договору і так далі, див. табл. 1.

Таблиця 1. Розподіл ризиків виробничого травматизму

Позначення		Місяць дії трудового договору				
		січень	лютий	березень	...	грудень
Початок трудового договору	1 січня	$a_1 + b_{\text{січ}}$	$a_2 + b_{\text{лют}}$	$a_3 + b_{\text{бер}}$	...	$a_{12} + b_{\text{груд}}$
	1 лютого	$a_{12} + b_{\text{січ}}$	$a_1 + b_{\text{лют}}$	$a_2 + b_{\text{бер}}$	...	$a_{11} + b_{\text{груд}}$
	1 березня	$a_{11} + b_{\text{січ}}$	$a_{12} + b_{\text{лют}}$	$a_1 + b_{\text{бер}}$	...	$a_{10} + b_{\text{груд}}$
	...	...	...	...	...	...
	1 грудня	$a_2 + b_{\text{січ}}$	$a_3 + b_{\text{лют}}$	$a_4 + b_{\text{бер}}$	...	$a_1 + b_{\text{груд}}$

Окремий випадок рівномірного розподілу ризику окреслюється показниками:  $a_1 = a_2 = \dots = a_{12} = \frac{1}{12}$ ;  $b_{\text{січ}}, b_{\text{лют}}, \dots, b_{\text{груд}}$  – довільні поправки з умовою  $\sum b_i = 0$ , які визначають корективи для кожного місяця року.

### Матеріали та методи досліджень

У зв'язку з тим, що реальні трудові договори укладаються всередині року безперервно, в обраній моделі поєднаємо їх в групи за критерієм середини місяця: договори, які укладено з середини січня по середину лютого вважаємо в середньому укладеними з першого січня; з середини лютого по середину березня вважаємо в середньому укладеними з першого лютого і т.д., тобто формуємо 12 груп договорів, які умовно починаються з першого числа місяця. По кожній з цих груп розраховується ризик як сума збитків, які мали місце в перший місяць начала дії

договору, в другий місяць і т. д. Ризик оцінюється на основі наявної у підприємства статистики виробничого травматизму. З метою отримання достовірних результатів, договори, укладені пізніше, ніж за рік до дати розрахунку, з розгляду виключаються, так як інакше необхідно було б додатково вирішувати завдання оцінки ризиків нещасних випадків, які мали місце, але не були заявлені.

Вихідні дані практичного розрахунку взяті для типового промислового підприємства в умовних одиницях (млн., тис. грн. і т.д.). Таблиця вихідних даних показує, що за договорами, які розпочалися в першому місяці дії (січні) відбулися випадки виробничого травматизму, оцінені в 53 умовні одиниці, в другому місяці дії (лютий) відбулися випадки, оцінені в 49 умовних одиниць і т.д. За договорами, які розпочалися з 1 лютого відбулися випадки на 40 умовних одиниць в першому місяці дії (лютому), на 29 умовних одиниць в другому місяці дії (березні), на 20 умовних одиниць в останньому місяці дії (грудні), див. табл. 2.

Таблиця 2. Вихідні дані моделі поточного розподілення ризику

Позначення		Місяць дії трудового договору											Всього	
		Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.		Груд.
Початок трудового договору	1 січ.	53	49	39	34	33	35	34	34	37	35	33	35	451
	1 лют.	20	40	29	24	23	24	24	22	24	22	22	22	296
	1 бер.	19	16	30	24	22	22	22	22	22	22	19	20	260
	1 квіт.	28	25	18	39	35	35	34	34	35	33	29	30	375
	1 трав.	25	23	17	15	38	35	35	34	35	32	28	29	346
	1 черв.	28	24	18	16	16	42	37	37	37	34	31	30	350
	1 лип.	29	25	20	17	17	18	45	39	39	35	32	33	349
	1 серп.	33	29	22	20	20	21	22	51	45	41	37	38	379
	1 вер.	32	28	20	18	18	20	19	18	48	40	36	35	332
	1 жовт.	32	29	23	19	19	20	19	20	21	46	37	37	322
	1 лист.	36	31	23	21	20	20	21	20	20	20	44	39	315
	1 груд.	37	33	24	21	21	21	21	21	21	21	20	46	307

З метою оцінки показників моделі доцільно перейти від абсолютних обсягів ризику до його розподілу всередині договору у припущенні, що сумарний ризик за договором в цілому дорівнює одиниці (100 %). Результати обчислень наведено в табл. 3.

В якості методу оцінки показників моделі  $a_1, a_2, \dots, a_{12}$  та  $b_{\text{січ}}, b_{\text{лют}}, \dots, b_{\text{груд}}$  оберемо метод найменших квадратів. Цільова функція мінімізації

квадратів відхилень теоретичного розподілу ризику від досліджуваного:

$$Z = \sum_{i,j=1}^{12} (a_i + b_j - p_{ij})^2 \rightarrow \min,$$

де  $p_{ij}$  – значення досліджуваного розподілу ризику.

Таблиця 3. Відсотковий розподіл ризику за договорами по вихідним даним

Позначення		Місяць дії трудового договору											Всього	
		Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.		Груд.
Початок трудового договору	1 січ.	12%	11%	9%	7%	7%	8%	7%	8%	8%	8%	7%	8%	100%
	1 лют.	7%	14%	10%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	7%	7%	7%	100%
	1 бер.	7%	6%	12%	9%	8%	8%	8%	9%	9%	8%	7%	8%	100%
	1 квіт.	7%	7%	5%	10%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	8%	8%	100%
	1 трав.	7%	7%	5%	4%	11%	10%	10%	10%	10%	9%	8%	9%	100%
	1 черв.	8%	7%	5%	5%	5%	12%	11%	11%	10%	10%	9%	9%	100%
	1 лип.	8%	7%	6%	5%	5%	5%	13%	11%	11%	10%	9%	10%	100%
	1 серп.	9%	8%	6%	5%	5%	5%	6%	14%	12%	11%	10%	10%	100%
	1 вер.	10%	9%	6%	5%	5%	6%	6%	6%	14%	12%	11%	11%	100%
	1 жовт.	10%	9%	7%	6%	6%	6%	6%	6%	7%	14%	11%	11%	100%
	1 лист.	11%	10%	7%	7%	6%	6%	7%	6%	6%	6%	14%	13%	100%
	1 груд.	12%	11%	8%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	6%	15%	100%

Дорівнюючи нулю часткові похідні по показникам  $a$  та  $b$ , отримуємо наступну систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} Z'_{a_i} = 2 \times \sum_{j=1}^{12} (a_i + b_j - p_{ij}) = 0 \\ Z'_{b_j} = 2 \times \sum_{i=1}^{12} (a_i + b_j - p_{ij}) = 0 \end{cases}$$

Цю систему з двадцятичотирьох лінійних рівнянь перепишемо у вигляді:

$$\begin{cases} 12a_i + \sum_{j=1}^{12} b_j - \sum_{j=1}^{12} p_{ij} = 0 \\ 12b_j + \sum_{i=1}^{12} a_i - \sum_{i=1}^{12} p_{ij} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} p_{ij} \\ b_j = -\frac{1}{12} + \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} p_{ij} \end{cases}$$

Система рівнянь є лінійно залежною (сума перших 12-ти рівнянь мінус сума других 12-ти рівнянь дають тотожність), та має нескінчену множину рішень. Для вирішення цієї проблеми введемо обмеження  $\sum b_j = 0$ . З урахуванням того факту, що за всією таблицею  $\sum p_{ij} = 12$  отримаємо рішення у вигляді:

### Результати досліджень

Результати оцінки показників моделі  $a_1, a_2, \dots, a_{12}$  та  $b_{\text{січ}}, b_{\text{лют.}}, \dots, b_{\text{груд}}$  у вигляді відсоткових оцінок наведено на рис. 1.

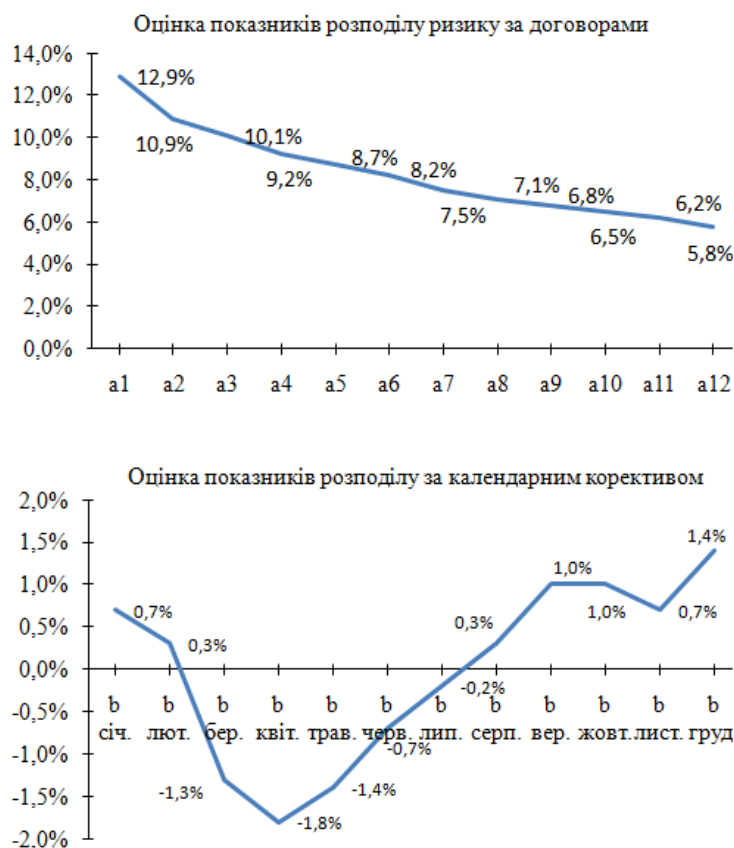


Рис. 1. Відсоткові оцінки показників моделі

В таблиці 4 наведемо теоретичний розподіл ризику всередині трудового договору, який побудовано на підставі отриманих показників моделі. Нормоване середньоквадратичне відхилення теоретичного розподілу ризику від фактичного  $\left(\frac{S}{144}\right)$ , нормування за кількістю спостережних, складає менше 0,003. Це говорить про те, що обрана модель відповідає вихідним даним.

Розподіл ризиків за договорами об'єктивно не є рівномірним, навпаки він вказує на існування чітко

означеного регресного тренду. Це вказує на той факт, що в розглянутому прикладі ризик є помітно зміщеним до початку дії договору. Зокрема, для конкретної моделі половина ризику припадає трохи менше, ніж на п'ять місяців дії договору, а не на шість місяців, як можливо визначити за методом виробничих випадків, які не відбулися. Отриманий розподіл ризиків апроксимується степеневою функцією у вигляді  $y = \alpha \cdot x^{-\beta}$  з коефіцієнтом детермінації  $R^2 \approx 0,96$



Таблиця 4. Відсотковий розподіл ризику за договорами по модельному розрахунку

Позначення		Місяць дії трудового договору											Всього	
		Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.		Груд.
Початок трудового договору	1 січ.	14%	11%	9%	7%	7%	8%	7%	7%	8%	7%	7%	7%	100%
	1 лют.	7%	13%	10%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	7%	8%	100%
	1 бер.	7%	6%	12%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	8%	7%	8%	100%
	1 квіт.	7%	6%	6%	11%	9%	9%	9%	9%	9%	8%	8%	8%	100%
	1 трав.	7%	7%	5%	4%	11%	10%	10%	10%	10%	9%	8%	9%	100%
	1 черв.	8%	7%	5%	4%	4%	12%	11%	10%	10%	10%	9%	9%	100%
	1 лип.	8%	7%	6%	5%	5%	5%	13%	11%	11%	10%	9%	9%	100%
	1 серп.	9%	8%	6%	5%	5%	5%	6%	13%	12%	11%	10%	10%	100%
	1 вер.	9%	9%	6%	5%	5%	6%	6%	6%	14%	12%	11%	11%	100%
	1 жовт.	10%	9%	7%	6%	6%	6%	6%	6%	7%	14%	12%	12%	100%
	1 лист.	11%	10%	7%	6%	6%	6%	7%	7%	7%	7%	14%	12%	100%
1 груд.	12%	10%	8%	7%	7%	7%	7%	7%	8%	7%	7%	14%	100%	

Далі розглянемо результати розподілу ризиків за календарним корективом. Календарний коректив показує, які місяці всередині року виявляються гіршими, а які кращими з точки зору виробничого травматизму, незалежно від того на який місяць від дати початку дії договору припадає ризик. Підсумки спостереження інтуїтивно є дуже зрозумілими і пояснюються впливом обраного показника впливу: найбільший ризик припадає на зимові місяці (листопад-січень), а з початку весни спостерігається падіння до мінімуму в квітні, та з травня по жовтень – зворотно повільне зростання. Для підприємства з частиною виробничих потужностей, специфікою наявності робіт, що виконуються, не у закритих виробничих приміщеннях, це можливо пояснити збільшенням відносної долі малокваліфікованих спеціалістів, які залучаються згідно до зростаючої долі заказів. Локальне зниження ризиків пов'язано з дією офіційних свят, коли ведення виробничої діяльності призупиняється. Вочевидь для промислових підприємств, виробничий цикл яких не залежить від дії природних умов в якості факторів аналізу слід обирати інші найбільш впливові фактори. Для конкретної моделі на перше півріччя (січень-червень) припадає 46%, на друге – 54% ризику виробничого травматизму

З огляду на те, що конкретна числова модель побудована за наявними даними виробничого травматизму типового виробничого підприємства, зрозуміло, що обрання показників моделі значною мірою залежить від того, який тип ризику розглядається. Зокрема, основними ризиками є ризики виникнення нестандартної виробничої ситуації, яка спричинила виробничий випадок, ризики виникнення нестандартних виробничих ситуацій внаслідок протиправних дій третіх осіб (ризики навмисних дій третіх осіб з нашого розгляду вилучено). Опрацьована модель відноситься до

моделей ризику виникнення нестандартних виробничих ситуацій (першого типу) так як збитки настають внаслідок отриманих на виробництві травм. Якщо розглянути ризики пошкодження засобів виробництва внаслідок нестандартних виробничих ситуацій, то якісно результати залишаються співставними. А ось з ризиками виникнення нестандартних виробничих ситуацій внаслідок протиправних дій третіх осіб ситуація інша. Не наводячи докладних розрахунків, обмежимося лише ілюстраціями результуючих оцінок показників моделей, див. рис. 2.

Аналіз наведених на рисунку 2 залежностей вказує на те, що маємо дещо іншу ситуацію: розподіл ризиків за договорами має зростаючий тренд з різким викидом в останні два місяці, а календарний коректив говорить про те, що найгіршими є весняно-літні місяці. Вочевидь, ситуація пов'язана з мотивованим бажанням "виявляти" дрібні травми к кінцю дії трудового договору, коли зрозуміло, що більше таких травм найімовірніше не буде, і настав час заявляти наявні з формулюванням "сьогодні відбулось", чим і пояснюється їх викид в останні місяці дії трудового договору як ефект економії на масштабах витрат по вчасній заявці дрібних травм, так як к кінцю є можливість їх "зібрати" дуже багато.

### Обговорення результатів

Резюмуючи вищезазначене ми доходимо до наступних висновків:

1. Ризик виникнення збитку внаслідок виробничого травматизму:

- має зміщення до початку дій трудового договору у відповідності до визначеної ступеневої залежності;

- є мінімальним у весняні (з березня по травень) та максимальним в зимові (з жовтня по січень) місяці.

2. Ризик виникнення збитку внаслідок виробничого травматизму внаслідок протиправних дій третіх осіб:

- має зміщення к кінцю дії трудового договору з різким збільшенням в останні один, два місяці;

- є мінімальним в осінньо-зимові місяці (з жовтня по лютий) та максимальним весняні (з березня по травень) місяці.

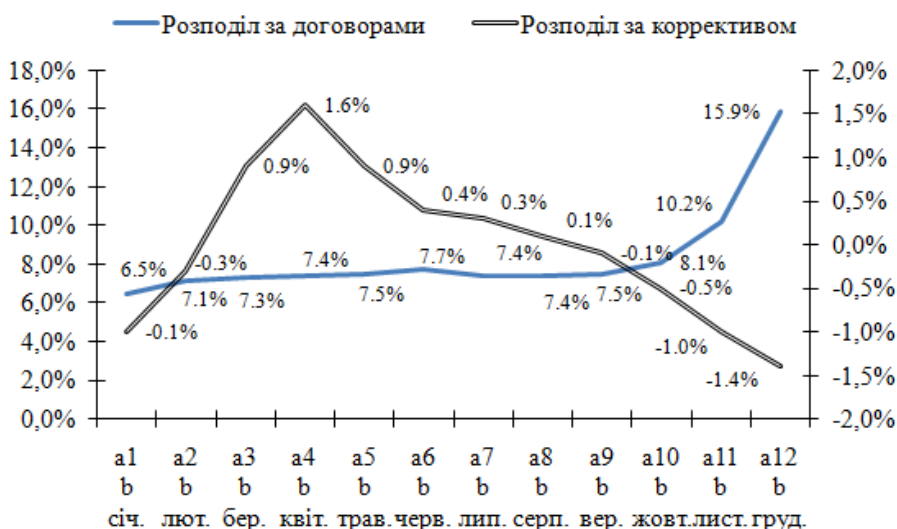


Рис. 2. Оцінки показників розподілу ризиків за умови впливу третіх осіб

### Висновки

В матеріалах цієї статті запропоновано принципову модель, яка дозволяє здійснювати чисельну оцінку розподілення ризиків виробничого травматизму всередині трудового договору, на базі власної статистики підприємства по виробничому травматизму. Запропонована модель може бути використана для більш точної оцінки і прогнозування

результатів проходження основних виробничих процесів на протязі року (одного виробничого циклу у випадках перебільшення терміну один рік), а також може бути використана для більш точного визначення зобов'язань роботодавця за трудовим договором в частині відшкодувань, які обумовлюються об'єктивно існуючим рівнем виробничого травматизму.

### Список літератури

- Chandler A. D., Chandler Jr. Scale and scope: the dynamics of industrial capitalism / with the assistance of Tasashi Hikino. First Harvard University Press paperback edition, 1990. 260 p.
- Heinrich H. W. Industrial accident prevention: a scientific approach / assisted by E. Granniss. New York : McGraw-Hill, 1959. 480 p.
- Ткачук К. Н., Кружилко О. Є. Прогнозування виробничого травматизму: монографія. Київ : Основа, 2014. 345 с.
- Мельник П. В. Випадковий травматизм на виробництві в контексті боротьби з професійними ризиками // Науковий вісник НАВС : електрон. версія журн. 2011. № 1. С. 114-123. URL : <http://pravoznavec.com.ua/period/article/44281/%CC>
- Костенко О. М. Удосконалення методів і засобів з комплексного аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму у сільськогосподарському виробництві: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: [спец.] 05.26.01 "Охорона праці". Київ, 2002. 24 с.
- Лактіонов С. О., Серіков Я. О. Виробничий травматизм і професійна захворюваність як проблема сучасності: аспекти, причини, шляхи запобігання // Міжнародна конференція: Безпека людини у сучасних умовах. НТУ "ХП", 2015. С. 219-224. URL : <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Conferences/Безпека людини в сучасних умовах/2015/VII-ї міжнародна науково-методична конференція/ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ І ПРОФЕСІЙНА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ ЯК.pdf>
- Гордійчук Л. М. Аспекти виробничого травматизму та професійна захворюваність // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2017. № 19 (76). С. 136-138.
- Репін М. В. Удосконалення методів планування профілактичних заходів щодо промислової безпеки та охорони праці // Проблеми охорони праці в Україні. 2012. № 24. С. 84-90.
- Зеленський І. Приховування нещасних випадків як засіб поліпшення статистики // Охорона праці. 2011. № 6. С. 34-35. URL: <http://ohoronapraci.kiev.ua/ru/arhiv-zhurnala/>
- Таїрова Т. М., Малихін О. В. Закордонний досвід державного нагляду з промислової безпеки та охорони праці // Інформаційний бюлетень з охорони праці. Київ: ДУ "ННДІПБОП", 2015. № 2 (73). С. 59-68.
- Телічко О. А. Процес адаптації трудового законодавства України в сфері охорони праці до європейських стандартів // Юридична наука і практика. 2011. № 1. С. 24-30.
- Ткачук К. Н., Таїрова Т. М. Математична модель прогнозування стану безпеки праці // Вісник національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. Рівне, 2013. № 1 (61). С. 273-279.

13. Альтернативна доповідь про виконання Україною Європейської соціальної хартії (переглянутої) / Автухов К., Муканова А., Сорокін О., Яковець І. // Українська Гельсінська спілка з прав людини. 2016. URL : [https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/Alternative-Report-ESCR-19.12\\_ukr.pdf](https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/Alternative-Report-ESCR-19.12_ukr.pdf)
14. Аналіз, прогнозування та профілактика травматизму з важкими наслідками / Пахомов Р. І., Гасій Г. М., Білоус І. О., Лаврут Т. В. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2015. № 2 (43). С. 139-144.
15. Ткаченко І. В., Шпарка І. І. Виробничий травматизм – проблема сучасності: актуальні аспекти, причини та шляхи запобігання // Охорона праці на підприємствах. 2013 URL : [http://chtei-knteu.cv.ua/herald/content/download/archive/2013/v2/NV-2013-V2\\_69.pdf](http://chtei-knteu.cv.ua/herald/content/download/archive/2013/v2/NV-2013-V2_69.pdf)
16. Третяков О. В., Харченко І. П., Піхота Я. С. Підвищення достовірності показників статистичного методу оцінки виробничого травматизму // Науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст". 2015. № 120 (1). С. 69-74.

## References

1. Alfred, D. Chandler, Jr. (1990), *Scale and scope: the dynamics of industrial capitalism*, with the assistance of Tasashi Hikino, First Harvard University Press paperback edition, 260 p.
2. Heinrich, H. (1959), *Industrial accident prevention: a scientific approach*, assisted by Granniss, E. R, McGraw-Hill, New York, 480 p.
3. Tkachuk, K., Kruzhilko, O. (2014), *Forecasting of Occupational Injuries: Monograph [Prohnozuvannya vyrobnychoho travmatyzmu: Monohrafiya]*, Basis, Kyiv, 345 p.
4. Miller, P. (2011), "Random injuries in the workplace in the context of combating occupational risks", *Scientific herald of EAS* ["Vypadkovyy travmatyzm na vyrobnytstvi v konteksti borot'by z profesiynymy ryzykamy", *Scientific herald of EAS*], No. 1, pp. 114-123, available at: <http://pravoznavec.com.ua/period/article/44281/%CC>
5. Kostenko, O. (2002), *Improvement of methods and means for complex analysis, forecast and prevention of occupational injuries in agricultural production: author's abstract*, Kyiv, 24 p.
6. Laktionov, S., Serikov, Ya. (2015), "Occupational Injuries and Occupational Disease as a Problem of the Present: Aspects, Causes, Ways of Prevention", *International conferences: Human security in modern conditions. NTU "KhPI"*, pp. 219-224, available at: <http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Conferences/Безпека людини в сучасних умовах/2015/VII-ї міжнародна науково-методична конференція/ВИРОБНИЧИЙ ТРАВМАТИЗМ І ПРОФЕСІЙНА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ ЯК.pdf>
7. Gordiychuk, L. (2017), "Aspects of Occupational Injury and Occupational Disease" ["Aspekty vyrobnychoho travmatyzmu ta profesiynna zakhvoryuvanist'"], *Scientific herald of LNUWMBT named after S.Z. Gzhytsky*, No. 19 (76), pp. 136-138.
8. Repin, M. (2012), "Improvement of Planning Methods for Preventive Measures on Industrial Safety and Labor Protection" ["Udoskonalennya metodiv planuvannya profilaktychnykh zakhodiv shchodo promyslovoyi bezpeky ta okhorony pratsi"], *Problems of labor protection in Ukraine*, No. 24, pp. 84-90.
9. Zelensky, I. (2011), "Hiding Accidents as a Means to Improve Statistics" ["Prykhovuvannya neshchasnykh vypadkiv yak zasib polipshennya statystyky"]. *Labor Protection*, No. 6, pp. 34-35, available at: <http://ohoronapraci.kiev.ua/ru/arhiv-zhurnala/>
10. Tayirova, T., Malikhin, O. (2015), "Foreign experience of state supervision of industrial safety and labor protection" ["Zakordonnuy dosvid derzhavnoho nahlyadu z promyslovoyi bezpeky ta okhorony pratsi"]. *Information bulletin on labor protection, Kyiv: State Enterprise "NNIPBOP"*, No. 2 (73), pp. 59-68.
11. Telichko, O. (2011), "The process of adaptation of labor legislation of Ukraine in the field of labor protection to European standards" ["Protse adaptatsiyi trudovoho zakonodavstva Ukrayiny v sferi okhorony pratsi do yevropeys'kykh standartiv"], *Legal science and practice*, No. 1, pp. 24-30.
12. Tkachuk, K., Tayirova, T. (2013), "Mathematical model of forecasting the state of safety of work" ["Matematychna model' prohnozuvannya stanu bezpeky pratsi"], *Bulletin of the National University of Water Management and Natural Resources: Sb. Sciences Works*, Rivne, No. 1 (61), pp. 273-279.
13. Autukhov, K., Mukanova, A., Sorokin, A., Yakovets, I. (2017), "An alternative report on Ukraine's implementation of the European Social Charter (revised)", *Ukrainian Helsinki Human Rights Union*, available at: [https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/Alternative-Report-ESCR-19.12\\_ukr.pdf](https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/Alternative-Report-ESCR-19.12_ukr.pdf)
14. Pakhomov, R., Gasy, G., Bilous, I., Lavrut, T. (2015), "Analysis, prediction and prevention of injuries with severe consequences", *Collection of scientific works of Kharkiv University of Air Forces*, Issue 2 (43), pp. 139-144.
15. Tkachenko, I., Shparka, I. (2013), "Occupational injury is a problem of the present: the actual aspects, causes and ways of prevention", *Labor protection at enterprises*, available at: [http://chtei-knteu.cv.ua/herald/content/download/archive/2013/v2/NV-2013-V2\\_69.pdf](http://chtei-knteu.cv.ua/herald/content/download/archive/2013/v2/NV-2013-V2_69.pdf)
16. Tretiyakov, O., Kharchenko, I., Pihota, Ya. (2015), "Increasing the reliability of indicators of statistical method for assessing occupational injuries" ["Pidvyshchennya dostovirnosti pokaznykiv statystychnoho metodu otsinky vyrobnychoho travmatyzmu"], *Scientific and Technical Collection "Urban Economy of Cities"*, Issue 120 (1), pp. 69-74.

Надійшла 08.06.2017

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

**Діденко Євген Віталійович** – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри економічної кібернетики та управління фінансово-економічною безпекою, м. Харків, Україна; e-mail: [Yevhen.didenko@nure.ua](mailto:Yevhen.didenko@nure.ua); ORCID: 0000-0002-5555-8429.

**Діденко Евгений Витальевич** – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры экономической кибернетики и управления финансово-экономической безопасностью, г. Харьков, Украина; e-mail: [Yevhen.didenko@nure.ua](mailto:Yevhen.didenko@nure.ua); ORCID: 0000-0002-5555-8429.

**Didenko Evgen** – Candidate of Science (Economics), Docent, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics and Financial and Economic Security Management, Kharkiv, Ukraine; E-mail: [Yevhen.didenko@nure.ua](mailto:Yevhen.didenko@nure.ua); ORCID: 0000-0002-5555-8429.

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

**Предметом** исследования в статье является создание модели оценки рисков производственного травматизма как фактора непосредственного влияния на состояние и характер отношений между работодателем и наемным работником. **Цель** - построение модели оценки рисков производственного травматизма в подсистеме кадрового управления системы принятия решений по организации деятельности промышленного предприятия. **Задачи:** разработать экономико-математическую модель, которая позволяет исследовать распределение рисков производственного травматизма во время действия трудового договора. Используются общенаучные методы системного, структурного анализа и специфические методы принятия решения в условиях риска и неопределенности. Получены следующие **результаты**. В статье предоставлена концептуальная модель принятия решения по управлению рисками производственного травматизма лицу, ответственному за количественное обоснование эквивалентности финансовых отношений между администрацией промышленного предприятия, как стороной трудового договора, и рабочим в части минимизации последствий производственного травматизма. Выделены ключевые факторы влияния на процесс и характер этих отношений с точки зрения изменчивости уровня травматизма в течение действия трудового договора. Предложен учет рисков возникновения нестандартных производственных ситуаций в калькуляции себестоимости работ (услуг) в разрезе определенных факторов влияния и во времени, которое позволяет предотвращать использование случайных событий в качестве инструмента непредвиденных расходов непроизводственного характера, а также удержания ответственности предприятия в пределах денежного фонда, соответствующего взятых на себя по трудовому договору обязательствам. **Выводы.** При проведении анализа и построении модели, которая позволяет осуществлять численную оценку распределения рисков производственного травматизма внутри трудового договора, на базе собственной статистики предприятия по производственному травматизму выявлен ряд показателей, которые оказывают существенное влияние на принятие решения по организации производственной деятельности предприятия в части минимизации последствий производственного травматизма. Даны рекомендации по использованию полученных результатов для более точной оценки и прогнозирования движения основных производственных процессов в течение года. Полученные результаты могут быть использованы для более точного определения обязательств работодателя по трудовому договору в части возмещения, которые оговариваются объективно существующим уровнем производственного травматизма.

**Ключевые слова:** предприятие, производственная травма, работник, модель.

## THE MODEL OF ESTIMATING THE RISKS OF WORK-RELATED FATALITIES, INJURIES, AND ILLNESSES

The **subject** of research of the article is the creation of model assessing the risks of occupational injuries as a factor of direct influence on the state and nature of the relationship between the employer and the employee. The **goal** – to build a model for assessing the risks of occupational traumatism in the subsystem of personnel management of the decision-making system for organizing the activities of industrial enterprise. **Objectives:** to develop an economic and mathematical model that allows to investigate the distribution of risks of occupational injuries during the operation of the employment contract. The general scientific methods of system, structural analysis and specific methods of decision-making are used in the conditions of risk and uncertainty. The following **results** are obtained. The article provides a conceptual model for making a decision on managing the risks of occupational injuries to a person responsible for the quantitative justification of the equivalence of financial relations between the administration of an industrial enterprise as a party to an employment contract and workers in minimizing the consequences of occupational injuries. Key factors of influence on the process and nature of these relations are highlighted in terms of the variability of the level of injuries during the employment contract. It is proposed to take into account the risks of occurrence of non-standard production situations in the calculation of the cost of works (services) in the context of certain factors of influence and in time, which makes it possible to prevent the use of accidental events as a tool for unforeseen non-production expenditures, as well as keeping the enterprise's responsibility within the monetary fund corresponding to those taken on themselves under the employment contract. **Conclusions.** When analyzing and constructing a model that allows for a numerical assessment of the distribution of occupational injury risks within an employment contract, a number of indicators have been identified on the basis of the company's own statistics on occupational injuries, which have a significant impact on the decision to organize the production activity of the enterprise in minimizing the consequences of occupational injuries. The recommendations are given on the use of the results obtained for more accurate assessment and forecasting of the movement of the main production processes during the year. The obtained results can be used to more accurately determine the employer's obligations under the employment contract in terms of compensation, which are stipulated by the objectively existing level of industrial injuries.

**Keywords:** enterprise, industrial injury, employee, model

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Діденко Є. В. Модель оцінки ризиків виробничого травматизму. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 28–35.

Диденко Е. В. Модель оценки рисков производственного травматизма. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). – С. 28–35.

Didenko E. The model of estimating the risks of work-related fatalities, injuries, and illnesses. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 28–35.



УДК 621.923

В. Д. КОВАЛЕВ, А. Н. ШЕЛКОВОЙ, А. А. КЛОЧКО

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

**Предметом** исследования в статье являются вопросы, связанные с уточненными решениями изотермической стационарной задачи для смазывающей охлаждающей жидкости находящейся в ньютоновском состоянии с учетом усилий, действующих в зацеплении цилиндрических зубчатых колес и сил трения, возникающих на активных поверхностях зубьев в зоне контактирования эвольвентных поверхностей и толщины масляного слоя с учетом гидродинамических характеристик смазывающей жидкости. **Цель** – построение модели контактно-гидродинамического расчета зубчатой передачи. **Задачи:** рассмотреть установление величины толщины смазочного слоя при заданной внешней нагрузке, скорости движения для определения наличия или отсутствия жидкостного трения, с получением исходных данных для определения работоспособности и долговечности сопрягаемых тяжело нагруженных и ответственных зубчатых колес тяжелых токарных станков. Получены следующие **результаты**. В статье представлена разработанная авторами модель для получения соответствия приближенных и уточненных решений при установлении связи между максимальным контактно-гидродинамическим давлением и максимальным герцевским давлением. Анализ показал, что при любых рабочих параметрах максимальное контактно-гидродинамическое давление должно быть меньше или равно максимальному герцевскому давлению. При гидродинамическом (жидкостном) или граничном (полужидкостном) режимах трения масляный слой не только существенно влияет на состояние износа зубьев, потери мощности и температуру в контакте, но и исполняет роль упругой среды, демпфирующей удары и изменяющей распределение нагрузок по длине контактных линий. Так, для закрытых эвольвентных передач с поверхностно-упрочненными химико-термической обработкой зубьями наиболее актуальным является предотвращение глубинных (подслойных) повреждений, обусловленных концентрацией нагрузки в зацеплении. **Выводы.** Основные физико-механические и химические характеристики масляной пленки в условиях нагруженного контакта элементов зацепления, а именно толщина масляного слоя и коэффициент трения являются важнейшими комплексными критериальными показателями, определяющими начало и протекание процесса контактирования скоростных тяжело нагруженных зубчатых передач главных приводов тяжелых токарных станков с ЧПУ.

**Ключевые слова:** цилиндрические зубчатые колеса, изотермическая стационарная задача, смазывающая жидкость, толщина масляного слоя, гидродинамическая теория смазки.

### Введение

Для исследования вопросов, связанных с уточненными решениями изотермической стационарной задачи для смазывающей охлаждающей жидкости находящейся в ньютоновском состоянии рассмотрены усилия, действующие в зацеплении цилиндрических зубчатых колес с учетом сил трения, возникающих на активных поверхностях зубьев в зоне контактирования эвольвентных поверхностей и толщины масляного слоя с учетом гидродинамических характеристик смазывающей жидкости.

Формулы для определения усилий, действующих в передаче прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес аппроксимируют длину контактирования по линии трения и учитывают в качестве исходного приближения результаты приближенного решения при постоянной и переменной вязкости масла.

### Основная часть

Для получения соответствия приближенных и уточненных решений была установлена связь между максимальным контактно-гидродинамическим давлением  $k_{0\max}$  и максимальным герцевским давлением  $\sigma_{\text{Герц}}$ . Анализ показал, что при любых рабочих параметрах максимальное контактно-

гидродинамическое давление должно быть меньше или равно максимальному герцевскому давлению.

Целью контактно-гидродинамического расчета зубчатой передачи является установление величины толщины смазочного слоя при заданной внешней нагрузке, скорости движения для определения наличия или отсутствия жидкостного трения, с получением исходных данных для определения работоспособности и долговечности сопрягаемых тяжело нагруженных и ответственных зубчатых колес тяжелых токарных станков.

Перемещения поверхностей трения эвольвентных сопрягаемых поверхностей зубчатых колес определяются методами теории упругости. При этом параллельно рассматриваем решения при вязкости смазочного масла постоянным и когда учитывается влияние давления на вязкость [1, 2].

При расчете принимались следующие условные обозначения:  $x$  – координата вдоль направления движения поверхностей, направленная в сторону, обратную движению, м;  $\alpha, \beta$  – размерные координаты конца и начала области трения, м;  $U_a, U_b$  – скорости движения трущихся поверхностей, м/с;  $\lambda_a, \lambda_b$  – кривизны поверхностей в точке контакта до деформации, 1/м;  $h$  – толщина смазочного слоя в данной точке  $x$  с учетом деформации поверхности, м;  $h_1$  – расстояние между поверхностями в данной точке  $x$  двух недеформированных окружностей, м;  $h_m$  – наименьшая толщина смазочного слоя с учетом деформации, м;  $h_{m1}$  – наименьшее расстояние между

двумя недеформированными окружностями,  $m$ ;  $h_0$  – толщина смазочного слоя в точке, где градиент давления равен нулю (в точке максимума давления и в точке обрыва смазочной пленки) с учетом деформации,  $m$ ;  $k_0$  – гидродинамическое давление в данной точке  $x$  с учетом зависимости вязкости масла от давления,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ ;  $\rho_0$  – гидродинамическое давление в исследуемой точке без учета зависимости вязкости масла от давления,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ ;  $K_0$  – гидродинамическая грузоподъемность единицы длины контакта зубчатого колеса с учетом зависимости вязкости масла от давления,  $\text{кгс}/\text{м}$ ;  $P_0$  – гидродинамическая грузоподъемность единицы длины контакта зубчатого колеса без учета зависимости вязкости масла от давления,  $\text{кгс}/\text{м}$ ;  $\mu$  – абсолютная вязкость масла при давлении  $k_0$ ,  $(\text{кгс}\cdot\text{с})/\text{м}^2$ ;  $\mu_0$  – абсолютная вязкость масла при атмосферном давлении,  $(\text{кгс}\cdot\text{с})/\text{м}^2$ ;  $\nu$  – пьезокoeffициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{кгс}$ ;  $E$  – приведенный или эффективный модуль упругости трущихся поверхностей,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ ,  $\frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right]$ ;

$v_1$  – суммарный прогиб двух трущихся поверхностей,  $m$ ;  $A'$  – коэффициент пропорциональности между прогибом поверхности и отношением гидродинамического давления к модулю упругости,  $m$ .

Суммарные перемещения противоположных элементов двух эвольвентных поверхностей под действием нормальных давлений в смазочном слое, где постоянные определяются относительным смещением поверхностей, определим по Штаерману в виде

$$v_1(x) = -\frac{4}{\pi E} (1-m^2) \int_a^\beta k_0(\varepsilon) \ln|\varepsilon-x| d\varepsilon + const; \quad (1)$$

$$v_1(x) = -\frac{4}{\pi E} (1-m^2) \int_a^\beta p_0(\varepsilon) \ln|\varepsilon-x| d\varepsilon + const, \quad (2)$$

где  $m$  – коэффициент Пуассона,  $h(x) = h_1(x) + v_1(x) - \Delta$ .

Переходя от размерных координат и параметров к безразмерным и учитывая, что  $H(a) = 1$ , найдем

$$H(z) = 1 - a^2 + z^2 + D \int_a^b k(t) \ln \frac{t-a}{|t-z|} dt \quad (3)$$

$$H(z) = 1 - a^2 + z^2 + D \int_a^b p(t) \ln \frac{t-a}{|t-z|} dt. \quad (4)$$

Здесь новый безразмерный коэффициент деформации

$$D = \frac{48\mu_0(U_a + U_b)(1-m^2)}{\pi E h_0^2(\lambda_a \pm \lambda_b)}. \quad (5)$$

Подставив (3) в (4), получим одно нелинейное сингулярное интегродифференциальное уравнение

для функции  $k(z)$  или  $p(z)$ . Решение этого уравнения связано со значительными трудностями, так как очень мало работ посвящено решению нелинейных интегродифференциальных уравнений.

Для упрощения рассмотрим более простой случай постоянной вязкости масла, уравнение (4). Для его решения приводится нелинейное сингулярное интегродифференциальное уравнение к регулярному нелинейному интегральному уравнению типа Гаммерштейна.

$$p(t) = \int_a^t \frac{1-H(z)}{H^3(z)} dz. \quad (6)$$

Подставляя это выражение в (4) и изменяя порядок интегрирования или применяя интегрирование по частям, а также учитывая, что  $p(a) = 0$ ;  $p(b) = 0$ , найдем

$$H(z) = 1 - a^2 + z^2 + D \int_a^b M(t, z) \frac{1-H(t)}{H^3(t)} dt, \quad (7)$$

где ядро

$$M(t, z) = \ln \frac{|t-z|^{t-z}}{(t-u)^{t-a}}. \quad (8)$$

Это уравнение можно отнести к нелинейным интегральным уравнениям типа уравнений Гаммерштейна с несимметричным ядром.

Единственными попытками разработать алгоритм приближенного численного решения интегральных уравнений были работы В. П. Ветчинкина и Д. Ю. Панова. В работах [5, 8] были разработаны теории приближенных методов.

Основными задачами теории приближенных методов решения являются:

- построение эффективных универсальных алгоритмов; определение сходимости процесса решения; исследование быстроты сходимости; выяснение устойчивости процесса вычислений; оценка погрешности;

- определение существования и единственности решения.

Существование и единственность решения уравнения (7) при его вариации по  $H$ :

$$\delta H(z) = D \int_a^b M(t, z) \frac{2H(t)-3}{H^4(t)} \delta H dt, \quad (9)$$

где  $H_s(z)$  – безразмерная толщина смазочного слоя в точке  $z$  при  $s$ -м приближении;

$H_{s+1}(z)$  – безразмерная толщина смазочного слоя в точке  $z$  при  $(s+1)$ -м приближении.

Переходя от вариаций к конечным разностям для соответствующих приближений, получим

$$H_{(s+1)}(z) - H_s(z) = D \int_a^b M(t, z) \frac{2H_s(t)-3}{H_s^4(t)} [H_{(s+1)}(t) - H_s(t)] dt.$$

Введем обозначения

$$\eta_s(z) = H_s(z) - D \int_a^b M(t, z) \frac{2H_s(t) - 3}{H_s^3(t)} dt;$$

$$M_s(t, z) = M(t, z) \frac{2H_s(t) - 3}{H_s^4(t)}.$$

Тогда окончательно

$$H_{s+1}(z) = \eta_s(z) + D \int_a^b M_s(t, z) H_{s+1}(t) dt. \quad (10)$$

Следовательно, вместо нелинейного интегрального уравнения (7) получили ряд последовательно решаемых линейных интегральных уравнений Фредгольма 2-го рода относительно неизвестной функции  $H_{s+1}$  при известной  $H_s$ . Уравнение (10) решается многими известными численными методами. Фактически произведенный переход от (7) к (10) представляет собой своеобразное применение известного метода Ньютона.

Недостатком описанного метода является необходимость задаваться вначале для каждого  $D$  своим значением  $a$ , проводить указанным путем решения и в конце проверять правильность выбора  $a$  по условию  $p(b) \approx 0$ .

При несоответствующем выборе величины  $a - p(b) \neq 0$  следует изменить нужным образом величину  $a$  и повторить сначала все решение.

Для ускорения решения предложен видоизмененный метод, пригодный в случае как постоянной, так и переменной вязкости масла. Основное уравнение при переменной вязкости получим из (3) и произведем интегрирование по частям:

$$H(z) = 1 - a^2 + z^2 + D \int_a^b M(t, z) \frac{1 - H(t)}{H^3(t)} e^{Bnk(t)} dt, \quad (11)$$

где – ядро  $M(t, z)$  определяется по формуле (8).

Пользуясь связью между  $k_0(t)$  и  $p_0(t)$  и переходя от размерных давлений к безразмерным,

получим  $k(t) = -\frac{\ln[1 - Bnp(t)]}{Bn}$ , откуда

$$e^{Bnk(t)} = \frac{1}{1 - Bnp(t)}.$$

В результате

$$H(z) = 1 - a^2 + z^2 + D \int_a^b M(t, z) \frac{1 - H(t)}{H^3(t)} \frac{1}{1 - Bnp(t)} dt, \quad (12)$$

где

$$p(t) = \int_a^t \frac{1 - H(z)}{H^3(z)} dz. \quad (13)$$

При  $B_n = 0$  получим уравнение для постоянной вязкости. Сущность используемого метода заключается в рассмотрении интегралов выражений

(12) и (13) как конечные суммы после применения метода механических квадратур. Задаваясь различными значениями для узловых точек интегрирования, получаем систему нелинейных алгебраических уравнений относительно  $H_i$  и  $a$ , которую решим методом Ньютона. Таким образом, сразу находим все неизвестные.

Последний метод весьма близок к предыдущему и также является своеобразным видоизменением метода Ньютона. Можно показать, что результаты расчета, полученные обоими способами, практически совпадают так как сразу определяются не только все  $H_i$ , но и  $a$ . Для правильного выбора приема интегрирования, а также количества и расположения узловых точек следует предварительно определить, какая получится форма зазора при контактировании эвольвентных поверхностей зубчатых колес, т.к. в конце области трения имеется "запорный язык" – редан, в окрестности которого необходимо иметь весьма малый шаг интегрирования.

Вычислять интегралы необходимо по наиболее точным формулам – Маркова (формулы интегрирования замкнутого типа). Однако применять эти формулы можно только в случае постоянной вязкости, так как при расчетах по формуле (12) необходимо определять  $p(t)$  в каждой узловой точке интегралов уравнений (12) и (13).

При переменной вязкости масла целесообразно вычислять интегралы по Симпсону, тогда одни и те же точки могут быть использованы несколько раз для вычисления различных  $p(t)$ .

Разделим всю длину области трения по высоте зуба на три диапазона, в каждом из которых принимаем постоянный шаг интегрирования. Всего область трения разобьем на  $i$  участков, следовательно, получим  $i$  неизвестных значений  $H$  в соответствующих узловых точках. В первой – нулевой точке  $H(a) = 1$ . Кроме того, неизвестным является  $a$ . Таким образом, всего имеем  $(i+1)$  неизвестных.

Придавая  $z$  в выражении (12) соответственно  $i$  различных значений, соответствующих узловым точкам, и рассматривая интеграл как сумму по Симпсону, получим  $i$  нелинейных алгебраических уравнений с  $(i+1)$  неизвестными.

Для получения замкнутой системы необходимо добавить еще одно уравнение.

Таким уравнением является  $p(b) = 0$ , где  $p(b)$  берется по (13) с ранее выбранными узловыми значениями для  $z$ . Переносим все члены в выражении (12) в одну сторону и вводим дополнительные обозначения:

$$H(t_i) = H_i;$$

$$\psi(t_q, z_i) = \frac{1 - H(t_q)}{H^3(t_q)} \frac{1}{1 - Bnp(t_q)} \ln \frac{|t_q - z_i|^{t_q - z_i}}{(t_q - a)^{t_q - a}}, \quad (14)$$

где  $q = i$ .

В результате получим, что

$$F_i [H_1, H_2, \dots, H_i, a] = -H_i + 1 - a^2 + z_i^2 +$$

$$\begin{aligned}
& +D \left\{ \frac{\Delta t_1}{3} \left[ \psi(t_{10}, z_1) + 4 \sum_{s=1}^5 \psi(t_{2s-1}, z_1) + 2 \sum_{s=1}^4 \psi(t_{2s}, z_1) \right] + \right. \\
& + \frac{\Delta t_2}{3} \left[ \psi(t_{10}, z_1) + \psi(t_{2s-1}, z_1) + 4 \sum_{s=6}^8 \psi(t_{2s-1}, z_1) + 2 \sum_{s=6}^7 \psi(t_{2s}, z_1) \right] + \\
& \left. + \frac{\Delta t_3}{3} [\psi(t_{16}, z_1) + \psi(t_{38}, z_1) + 4 \sum_{s=9}^{19} \psi(t_{2s}, z_1) + 2] \right\}. \quad (15)
\end{aligned}$$

Полученную систему  $(i+1)$  нелинейных алгебраических уравнений с  $(i+1)$  неизвестными ( $H_i$  и  $a$ ) решим методом Ньютона, применяя в качестве исходного приближения результаты приближенного решения при переменной вязкости.

Метод Ньютона заключается в том, что вместо решения (15) решают следующую систему линейных алгебраических уравнений для поправок:

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_1}{\partial H_2} \Delta H_2 + \dots + \frac{\partial F_1}{\partial H_{38}} \Delta H_{38} + \frac{\partial F_1}{\partial a} \Delta a = -F_1; \quad (16)$$

$$\frac{\partial F_{i+19}}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_{i+1}}{\partial H_2} \Delta H_2 + \dots + \frac{\partial F_{i+1}}{\partial H_{i+1}} \Delta H_{i+1} + \frac{\partial F_{i+1}}{\partial a} \Delta a = -F_{i+1}.$$

При этом все  $F_t$  и  $\frac{\partial F_t}{\partial H_j}$  вычисляются по  $H_i$ ,

принятым на основе исходного приближения либо результатов уточненного расчета при постоянной вязкости и меньшем значении  $D$ .

Для решения принимается, что  $b-a = \text{const}$ . Поэтому при переходе от исходного приближения к первому изменяются  $a_1$ ,  $b$  и все другие абсциссы узловых точек. В этом случае разность координат любых узловых точек не изменяется.

Отсюда следует, что  $\frac{\partial F_t}{\partial a} = 2(z_1 - a)$ . После нахождения поправок  $\Delta H_i$  и  $\Delta a$  определяем

$$H_{i \text{ НОВ}} = H_{i \text{ см}} + \Delta H_i; a_{\text{НОВ}} = a_{\text{см}} + \Delta a.$$

Рассматриваемый метод пригоден для малых величин  $B_n$  и  $B_n = 0$ , так как при больших  $B_n$  в некоторой области аргумента  $z$  произведение  $B_{np}$  приближается к единице. Здесь малые погрешности, допускаемые при вычислении  $p$ , приводят к большим погрешностям в определении  $H$ , так как в знаменателе выражения (12) входит в разность  $1 - B_{np}$ .

Для больших коэффициентов  $B_n$  непосредственно определяются только эпюры давления. При этом интеграл уравнения (3) вычисляется для увеличения точности с использованием особенностей формы ядра уравнения [3, 4]:

$$k(z) = \int_a^z \frac{1-H(t)}{H^3(t)} e^{Bnk(t)} dt. \quad (17)$$

Подставляя (17) в выражение (3), получаем нелинейное сингулярное интегральное уравнение

$$k(z) = \int_a^z \frac{\left[ a^2 - t^2 - D \int_a^b k(z) \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz \right] e^{Bnk(t)}}{\left[ 1 - a^2 + t^2 + D \int_a^b k(z) \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz \right]^3} dt. \quad (18)$$

Разделим всю область трения по высоте зуба на  $i$  участков (допускается переменный шаг) и на каждом участке примем, что эпюра давления описывается отрезком прямой. Пусть на участке  $i$

$$k(z) = a_i + b_i z \quad (19)$$

В дальнейшем будем обозначать давление в точке  $z_i$  через  $k_i = k(z_i)$ . Тогда из системы двух уравнений  $k_i = a_i + b_i z_i$ ;  $k_{i-1} = a_i + b_i z_{i-1}$  найдем

$$a_i = \frac{k_{i-1} z_i - k_i z_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}; b_i = \frac{k_i - k_{i-1}}{z_i - z_{i-1}}. \quad (20)$$

При этом интеграл выражения (3) представим в виде суммы интегралов, в каждый из которых подставим свое значение  $k(z)$  по формуле (19).

В результате получим

$$\begin{aligned}
& \int_a^b k(z) \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz = \\
& = \sum_{i=1}^i \left\{ \frac{k_{i-1} z_i - k_i z_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \int_{z_{i-1}}^{z_i} \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz + \frac{k_i - k_{i-1}}{z_i - z_{i-1}} \int_{z_{i-1}}^{z_i} z \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz \right\}. \quad (21)
\end{aligned}$$

Несобственные интегралы в последнем выражении легко определяются в смысле главного значения интеграла Коши. Так как условие Хельдера здесь выполняется, то

$$\int_{z_{i-1}}^{z_i} \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz = \ln \frac{(z_i - a)^{(z_i - a)} |z_{i-1} - t|^{(z_{i-1} - t)}}{(z_{i-1} - a)^{(z_{i-1} - a)} |z_i - t|^{(z_i - t)}};$$

$$\int_{z_{i-1}}^{z_i} z \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz =$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \ln \frac{(z_i - a)^{(z_i^2 - a^2)} |z_{i-1} - t|^{(z_{i-1}^2 - t^2)}}{(z_{i-1} - a)^{(z_{i-1}^2 - a^2)} |z_i - t|^{(z_i^2 - t^2)}} + (z_i - z_{i-1})(t - a) \right\}. \quad (22)$$

Переноса в выражении (18)  $k(z)$  в правую часть и придавая  $z$  последовательно все узловые значения, получим

$$\begin{aligned}
F_s &= F[k(z_s)] = \\
& = -k_s + \int_a^{z_s} \frac{\left[ a^2 - t^2 - D \int_a^b k(z) \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz \right] e^{Bnk(t)}}{\left[ 1 - a^2 + t^2 + D \int_a^b k(z) \ln \frac{z-a}{|z-t|} dz \right]^3} dt, \quad (23)
\end{aligned}$$



где  $s = 1, 2, \dots, l-1$ .

Принимая  $k = 0$ , найдем

$$F_1 = \int_a^b \frac{\left[ a^2 - t^2 - D \int_a^b k(z) \ln \left| \frac{z-a}{z-t} \right| dz \right] e^{Bnk(t)}}{\left[ 1 - a^2 + t^2 + D \int_a^b k(z) \ln \left| \frac{z-a}{z-t} \right| dz \right]^3} dt. \quad (24)$$

Подставляя сюда (21) и (22), преобразуем (24) в систему  $l$  нелинейных (трансцендентных) уравнений с  $(l-1)$  неизвестными  $k_i$  (где  $i=1, 2, \dots, l-1$ ) и  $a$ .

Эту систему решаем по методу Ньютона, как и ранее. При этом получаем систему уравнений для поправок  $\Delta k_i$  и  $\Delta a$ .

$$\frac{\partial F_1}{\partial k_1} \Delta k_1 + \frac{\partial F_1}{\partial k_2} \Delta k_2 + \dots + \frac{\partial F_1}{\partial k_{l-1}} \Delta k_{l-1} + \frac{\partial F_1}{\partial a} \Delta a = -F_1; \quad (25)$$

$$\frac{\partial F_i}{\partial k_1} \Delta k_1 + \frac{\partial F_i}{\partial k_2} \Delta k_2 + \dots + \frac{\partial F_i}{\partial k_{l-1}} \Delta k_{l-1} + \frac{\partial F_i}{\partial a} \Delta a = -F_i.$$

Откуда находим  $k_{i \text{ НОВ}} = k_{i \text{ см}} + \Delta k_i$ ;  $a_{\text{НОВ}} = a_{\text{см}} + \Delta a$ . Указанный процесс повторяем до сходимости результатов. После чего по формуле (3) отыскиваем  $H(\tau)$ .

В результате проведенных расчетов получены формы зазоров и эпюры распределения давления для ряда соотношений параметров при постоянной и переменной вязкостях масла.

На рис. 1–3 приведены эпюры распределения давления для ряда соотношений параметров при постоянной и переменной вязкостях масла. На рис. 1 и рис. 2 сравниваются формы зазоров и эпюры давлений, полученные при приближенном и уточненном решении контактно-гидродинамической задачи. Таким образом, в инженерной практике при расчете нагрузочной способности цилиндрических зубчатых колес рекомендуется пользоваться результатами приближенного решения.

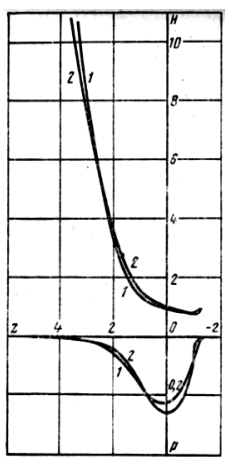


Рис. 1. Графики для сравнения приближенного и уточненного решений при  $B_n = 0$ ;  $C = 8$ ;  $D = 2,71$   
1 – приближенное решение; 2 – уточненное решение

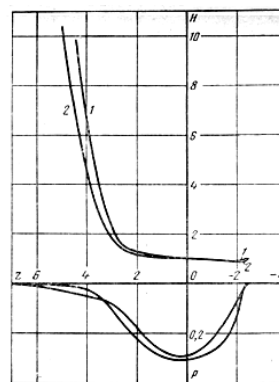


Рис. 2. Графики сравнения приближенного и уточненного решений при  $B_n = 0$ ;  $C = 25$ ;  $D = 5,42$

1 – приближенное решение; 2 – уточненное решение

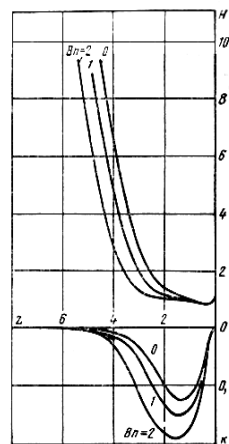


Рис. 3. Графики сравнения результатов для случаев постоянной вязкости и вязкости, зависящей от давления при  $D = 2,71$

Переход от местных давлений к гидродинамической грузоподъемности цилиндрических зубчатых рассмотрен в [2, 3]. На рис. 4 приведен график зависимости безразмерной грузоподъемности от  $D$  и  $B_n$  при уточненном решении. Получены решения для случая  $B_n = 0$  и ряда различных значений  $D$  (уточненный метод) и  $C$  (приближенный метод). Далее были получены такие пары значений  $C$  и  $D$ , которые привели к одинаковой погонной безразмерной несущей способности по длине контактирования зубьев цилиндрических зубчатых колес. В результате получена зависимость, связывающая  $C$  и  $D$  при  $B_n = 0$ :

$$C = 0,613D^2 + 1,29D, \quad (26)$$

и таким образом получена связь между приближенным и уточненным решением при постоянной вязкости масла.

Для сравнения контактных нагрузок при одинаковом  $h_m$  следует иметь одинаковое значение  $KH_m$ , так как

$$KH_m = \frac{K_0 h_m}{BB_1 h_0}. \quad (27)$$

Для получения соответствия приближенных и уточненных решений при больших значениях  $B_n$  была выяснена связь между максимальным контактно-гидродинамическим давлением  $k_{0\max}$  и максимальным герцевским  $\sigma_{\text{герц}}$ . Анализ показывает, что при любых рабочих параметрах максимальное контактно-гидродинамическое давление должно быть меньше или равно максимальному герцевскому

$$\sigma_{\text{герц}} = 0,418\sqrt{K_0 E (\lambda_a \pm \lambda_b)}. \quad (28)$$

Найдем отношение этих давлений

$$\begin{aligned} \frac{k_{0\max}}{\sigma_{\text{герц}}} &= \frac{k_{\max}}{0,418\sqrt{K}} \sqrt{\frac{6\mu_0 (U_a + U_b)}{h_0^2 (\lambda_a \pm \lambda_b) E}} = \\ &= \frac{k_{\max}}{0,418\sqrt{K}} \sqrt{\frac{\pi D}{8E(1-m^2)}}. \end{aligned} \quad (29)$$

Найдя уточненное решение при  $D=2,71$  и  $B_n = 0$ ; 1; 2 и соответствующие значения коэффициента

Таблица 1. Результаты расчета  $\frac{k_{0\max}}{\sigma_{\text{герц}}}$

$D$	$B_n$	$C$	$k_{\max}$	$K$	$\frac{k_{0\max}}{\sigma_{\text{герц}}}$
2,71	0	8	0,255	0,554	0,89
2,71	1	8,5	0,308	0,715	0,95
2,71	2	9,4	0,380	1,023	0,98

Учитывая, что в зубчатых передачах  $B_n \geq 5 \div 6$ , можно с ошибкой менее 3% считать, что максимальные контактно-гидродинамические давления совпадают с герцевскими. При этом эпюра давления почти совпадает с квадратичной параболой и из приближенного решения, где  $H(z) = 1 - a^2 + z^2 + Ck(z)$  следует, что  $k \approx \frac{a^2 - z^2}{c}$ ;

$$k_{\max} \approx \frac{a^2}{C} \text{ и}$$

$$C = \frac{a^2}{k_{\max}}. \quad (30)$$

Так как отклонение эпюры давления от квадратичной параболы имеется только в зоне малых давлений, очевидно, что контактная нагрузка эпюры давления (имеющей вид квадратичной параболы) будет  $K = \frac{4}{3}ak_{\max}$ , откуда  $a = \frac{3}{4} \frac{k}{k_{\max}}$ .

Подставляя выражение в (30), после перехода к размерным величинам и подстановки  $k_{0\max} = \sigma_{\text{герц}}$  получим выражение для  $C$ :

$$C = \frac{32,7\mu_0 (U_a + U_b) \sqrt{K_0}}{h_0^2 E \sqrt{h_0 E} (\lambda_a \pm \lambda_b)}. \quad (31)$$

деформации  $C$  приближенного решения, определим  $\frac{k_{0\max}}{\sigma_{\text{герц}}}$ .

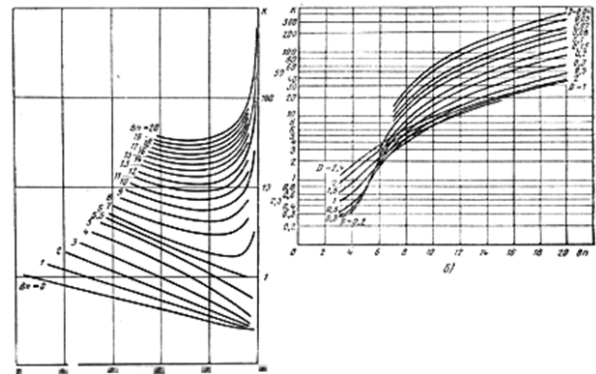


Рис. 4. График зависимости безразмерной грузоподъемности при уточненном решении от  $D$  и  $B_n$

Результаты расчета  $\frac{k_{0\max}}{\sigma_{\text{герц}}}$  приведены в табл. 1.

Решая совместно (31) с (5), получаем зависимость коэффициентов деформации при приближенном  $C$  и уточненном  $D$  решениях для разных  $B_n$  (рис. 5).

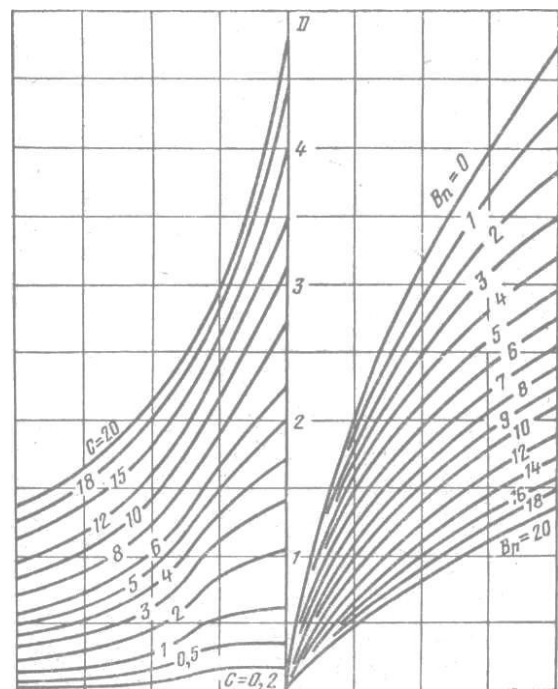


Рис. 5. Соотношение между коэффициентами деформации приближенного и уточненного решений

Эта связь была использована при получении уточненного решения для определения исходного приближения и возможности моделирования процесса контактирования зубьев с определением толщины смазочного слоя  $h_0$  и учетом связи безразмерной контактной нагрузки  $K$  с основными безразмерными параметрами  $C$  и  $B_n$  для определения толщины смазочного слоя

$$h_0 = \frac{3,17 [\mu_0 (U_a + U_b)]^{0,75} n^{0,6}}{K_0^{0,15} (\lambda_a \pm \lambda_b)^{0,4}} \quad (32)$$

и коэффициента трения при контактировании эвольвентных поверхностей зубчатых колес. При гидродинамическом (жидкостном) или граничном (полужидкостном) режимах трения масляный слой не только существенно влияет на состояние зубьев, потери мощности и температуру в контакте, но и исполняет роль упругой среды, демпфирующей удары и изменяющей распределение нагрузок по длине контактных линий. Так, для закрытых эвольвентных передач с поверхностно-упрочненными химико-термической обработкой зубьями наиболее актуальным является предотвращение глубинных (подслойных) повреждений, обусловленных концентрацией нагрузки в зацеплении, критериальным показателем которой является коэффициент  $K_L = f(C, h_0)$ .

Основные физико-механические и химические характеристики масляной пленки в условиях нагруженного контакта элементов зацепления, а именно толщина масляного слоя  $h_0$ , и коэффициент трения  $f$  являются важнейшими комплексными критериальными показателями, определяющими начало и протекание процесса контактирования скоростных тяжело нагруженных зубчатых передач тяжелых токарных станков с ЧПУ.

При назначении определенной жидкой смазки принимают во внимание, прежде всего, ее динамическую или кинематическую  $\nu$  вязкость. С увеличением вязкости улучшаются условия создания гидродинамической масляной пленки, разделяющей смазываемые поверхности и предотвращающей их непосредственный металлический контакт, уменьшается вероятность повреждения рабочих поверхностей. На коэффициент трения  $f$  вязкость масла оказывает влияние аналогичное влиянию скорости скольжения: при больших значениях  $\nu$  повышается несущая способность масляного слоя и одновременно увеличиваются силы сопротивления вязкому сдвигу. В итоге коэффициент трения  $f$  уменьшается незначительно. Одна из наиболее распространенных рекомендаций относительно выбора вязкости масла для смазывания тяжело нагруженных зубчатых передач

$$\nu_{50} = (100 \dots 200) / V_{окр}^{0,4} \cdot \quad (33)$$

Внутренние динамические нагрузки в зубчатом зацеплении, несмотря на применяемые

конструктивные и технологические меры по их снижению, остаются источником вибрации и повышенной акустической эмиссии, что существенно понижает конкурентоспособность соответствующих средне – и высокоскоростных передач при сопоставлении с другими современными конструкциями привода, в частности, электрическим, гидравлическим, пневматическим. Это объясняется интенсивным динамическим взаимодействием профилей зубьев в процессе пересопряжения, имеющим стохастический или детерминированный характер (зависит от геометрии зацепления, конструкции зубчатых колес, точности изготовления). Увеличенная толщина масляного слоя эвольвентных передач обеспечивает высокую плавность работы. Одновременно происходит более интенсивное передвижение объемов масла к торцам зубчатых колес и, в результате, повышение уровня акустической эмиссии редукторов.

### Выводы

Рассмотрены вопросы, связанные с уточненными решениями изотермической стационарной задачи для смазывающей охлаждающей жидкости находящейся в ньютоновском состоянии с учетом усилий, действующих в зацеплении цилиндрических зубчатых колес и сил трения, возникающих на активных поверхностях зубьев в зоне контактирования эвольвентных поверхностей и толщины масляного слоя с учетом гидродинамических характеристик смазывающей жидкости.

Для получения соответствия приближенных и уточненных решений была установлена связь между максимальным контактно-гидродинамическим давлением  $k_{0max}$  и максимальным герцевским давлением отгерц. Анализ показал, что при любых рабочих параметрах максимальное контактно-гидродинамическое давление должно быть меньше или равно максимальному герцевскому давлению.

При гидродинамическом (жидкостном) или граничном (полужидкостном) режимах трения масляный слой не только существенно влияет на состояние зубьев, потери мощности и температуру в контакте, но и исполняет роль упругой среды, демпфирующей удары и изменяющей распределение нагрузок по длине контактных линий. Так, для закрытых эвольвентных передач с поверхностно-упрочненными химико-термической обработкой зубьями наиболее актуальным является предотвращение глубинных (подслойных) повреждений, обусловленных концентрацией нагрузки в зацеплении, критериальным показателем которой является коэффициент  $K_L = f(C, h_0)$ .

Основные физико-механические и химические характеристики масляной пленки в условиях нагруженного контакта элементов зацепления, а именно толщина масляного слоя  $h_0$ , и коэффициент трения  $f$  являются важнейшими комплексными

критериальними показателями, определяющими скоростных тяжело нагруженных зубчатых передач начало и протекание процесса контактирования тяжелых токарных станков с ЧПУ.

### Список литературы

1. Цилиндрические зубчатые передачи с неньютоновским состоянием рабочей жидкости / В. Д. Ковалев, А. А. Клочко, Д. А. Кравченко, М. И. Гасанов // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали п'ятнадцятої Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 40.
2. Скоростное зубофрезерование закаленных зубчатых колес / В. Ф. Шаповалов, А. А. Пермяков, А. А. Клочко, А. Н. Лищенко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали п'ятнадцятої Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 96.
3. Трибологические параметры цилиндрических зубчатых передач / А. Н. Шелковой, А. А. Клочко, Д. А. Кравченко, Т. В. Терещенко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали п'ятнадцятої Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 97.
4. Технологическое обеспечение эксплуатационных параметров цилиндрических зубчатых передач при аппроксимативном решении контактно-гидродинамических задач смазки / В. Д. Ковалев, Ю. В. Тимофеев, А. Н. Шелковой [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. № 4 (1113). С. 11-19. ISBN 2079-004X
5. Исследование гидродинамических свойств высокоскоростных тяжело нагруженных зубчатых цилиндрических передач тяжелых токарных станков / В. Д. Ковалев, А. А. Клочко, Д. А. Кравченко, Е. Н. Киреев // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сборник научных трудов. Краматорск: ДГМА, 2012. Вып. 31. С. 79-93.
6. Гидродинамические свойства высокоскоростных зубчатых цилиндрических передач металлорежущих станков / Ю. В. Тимофеев, А. А. Клочко, В. Д. Ковалев [и др.] // Качество, стандартизация, контроль, теория и практика: Материалы 14-й Международной научно-практической конференции. Киев: АТМ Украины, 2014. С. 135-136.
7. Контактно-гидродинамическая проблема высокоскоростных цилиндрических зубчатых передач тяжелых токарных станков / В. Д. Ковалев, А. Н. Шелковой, А. А. Клочко [и др.] // Збірник наукових праць. Прогресивні технології в машинобудуванні: Тези доповідей III-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2015. С. 56.
8. Клочко О. О., Кравченко Д. О., Терещенко Т. В. Технологічні параметри розрахунку товщини шару мастила в косозубих циліндричних зубчастих колесах з гідродинамічними карманами // Наукові нотатки: міжвузовий збірник. Луцьк, 2016. Вип. 53. С. 68-78.
9. Повышение эффективности гидродинамических свойств высокоскоростных тяжело-нагруженных зубчатых цилиндрических передач / В. Д. Ковалев, А. А. Клочко, Д. А. Кравченко, Т. В. Терещенко // Физические и компьютерные технологии. Труды 22-й Международной научно-практической конференции. Днепр: Лира, 2016. С. 49-51. ISBN 978-966-383-795-6.
10. Шелковой А. Н., Клочко А. А., Басова Е. В. Впервые в мировой практике. Зубчатые передачи с эффектом неньютоновского состояния рабочей жидкости // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. №5 (1177). С. 104-109. ISBN 2079-004X

### References

1. Kovalev, V., Klochko, A., Kravchenko, D., Gasanov, M. (2017), "Cylindrical gears with non-Newtonian state of working fluid", *Heavy engineering. Problems and prospects of development: Materials of the 15th International Scientific and Technical Conference*, the DDA, Kramatorsk, p. 40.
2. Shapovalov, V., Permyakov, A., Klochko, A., Lyshenko, A. (2017), "High-speed milling of hardened gears", *Heavy engineering. Problems and prospects of development: Materials of the 15th International Scientific and Technical Conference*, the DDA, Kramatorsk, p. 96.
3. Shelkovoy, A., Klochko, A., Kravchenko, D., Tereshchenko, T. (2017), "Tribological parameters of cylindrical gears", *Heavy engineering. Problems and prospects of development: Materials of the 15th International Scientific and Technical Conference*, the DDA, Kramatorsk, p. 97.
4. Kovalev, V., Timofeev, Y., Shelkovoy, A., Klochko, A., Kravchenko, D. (2015), "Technological maintenance of operating parameters of cylindrical gears in the approximative solution of contact-hydrodynamic problems of lubrication", *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Technology in Mechanical Engineering*, NTU "KhPI", Khakiv, No. 4 (1113), pp. 11-19. ISBN 2079-004X
5. Kovalev, V., Klochko, A., Kravchenko, D., Kireev, E. (2012), "Investigation of the hydrodynamic properties of high-speed heavily-loaded gears for heavy turning machines", *Reliability of the instrument and optimization of technological systems: collection of scientific papers*, DGMA, Kramatorsk, Issue 31, pp. 79-93.
6. Timofeev, Y., Klochko, A., Kovalev, V., Kravchenko, D., Tereshchenko, T. (2014), "Hydrodynamic properties of high-speed toothed cylindrical gears of metal-cutting machine tools", *Quality, standardization, control, Theory and Practice: Materials of the 14th International Scientific and Practical Conference*, ATM of Ukraine, Kyiv, pp. 135-136.
7. Kovalev, V., Shelkovoy, A., Klochko, A., Kravchenko, D., Kravtsov, A. (2015), "Contact-hydrodynamic problem of high speed cylindrical gears of heavy turning machines", *Collection of scientific works. Progressive Technologies in Mechanical Engineering: Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific and Technical Conference*, Lviv Polytechnic National University, Lviv, p. 56.
8. Klochko, A., Kravchenko, D., Tereshchenko, T. (2016), "Technological parameters for calculating the thickness of the lubricant layer in collar-toothed cylindrical gears with hydrodynamic pockets", *Scientific notes: Intercollegiate collection*, Lutsk, Issue 53, pp. 68-78.
9. Kovalev, V., Klochko, A., Kravchenko, D., Tereshchenko, T. (2016), "Increasing the efficiency of the hydrodynamic properties of high-speed heavily-loaded gear cylindrical gears", *Physical and Computer Technologies. Proceedings of the 22nd International Scientific and Practical Conference*, Lira, Dnepr, pp. 49-51. ISBN 978-966-383-795-6.



10. Shelkovoy, A., Klochko, A., Basova, E. (2016), "For the first time in world practice. Gear gears with effect of non-Newtonian state of working fluid", *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Technology in Mechanical Engineering*, NTU "KhPI", Kharkov, No. 5 (1177), pp. 104-109. ISBN 2079-004X

Поступила 12.06.2017

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

**Ковалев Віктор Дмитрівич** – доктор технічних наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія, ректор, м. Краматорськ, Україна; e-mail: kovalov.viktor@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5091-5856.

**Ковалев Виктор Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия, ректор; г. Краматорск, Украина; e-mail: kovalov.viktor@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5091-5856.

**Kovalev Viktor** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Donbas State Machine-Building Academy, rector, Kramatorsk, Ukraine; e-mail: kovalov.viktor@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5091-5856.

**Шелковий Олександр Миколайович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків, Україна; e-mail: perm\_a@i.ua; ORCID: 0000-0002-7414-4854.

**Шелковой Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков, г. Харьков, Украина; e-mail: perm\_a@i.ua; ORCID: 0000-0002-7414-4854.

**Shelkovoy Alexander** - Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Technology of Machine Building and Metal Cutting Machine, Kharkiv, Ukraine; e-mail: perm\_a@i.ua; ORCID: 0000-0002-7414-4854.

**Клочко Олександр Олександрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, м. Харків, Україна; e-mail: klochko21@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

**Клочко Александр Александрович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры технологии машиностроения и металлорежущих станков, г. Харьков, Украина; e-mail: klochko21@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

**Klochko Alexander** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Technology of Machine Building and Metal Cutting Machine, Kharkiv, Ukraine; e-mail: klochko21@rambler.ru; ORCID: 0000-0003-2841-9455.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ СТАЦІОНАРНОЇ ЗАВДАННЯ РОБОЧИХ РІДИН ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗУБЧАТИХ КОЛЕС ГОЛОВНИХ ПРИВОДІВ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ

**Предметом** дослідження в статті є питання пов'язані з уточненими рішеннями ізотермічної стаціонарної задачі для змазує охолоджуючої рідини знаходиться в ньютонівському стані з урахуванням зусиль, що діють в зачепленні циліндричних зубчастих коліс і сил тертя, що виникають на активних поверхнях зубів в зоні контактування евольвентних поверхонь та товщини масляного шару з урахуванням гідродинамічних характеристик змазує рідини. **Мета** - побудова моделі контактної-гідродинамічного розрахунку зубчастої передачі. **Завдання**: розглянути встановлення величини товщини мастильного шару при заданій зовнішньої навантаженні, швидкості руху для визначення наявності або відсутності рідинного тертя, з отриманням вихідних даних для визначення працездатності і довговічності сполучених важко навантажених і відповідальних зубчастих коліс важких токарних верстатів. Отримані наступні **результати**. У статті представлена розроблена авторами модель для отримання відповідності наближених і уточнених рішень при встановленні зв'язку між максимальним контактної-гідродинамічним тиском і максимальним герцевським тиском. Аналіз показав, що при будь-яких робочих параметрах максимальне контактної-гідродинамічний тиск повинен бути менше або дорівнює максимальному герцевському тиску. При гідродинамічному (рідинному) або граничному (напіврідинних) режимах тертя масляний шар не тільки істотно впливає на стан зносу зубів, втрати потужності і температуру в контакті, а й виконує роль пружного середовища, демпфують удари і змінює розподіл навантажень по довжині контактних ліній. Так, для закритих евольвентних передач з поверхнево-зміцненим хіміко-термічною обробкою зубами найбільш актуальним є запобігання глибинних (підшарового) ушкоджень, обумовлених концентрацією навантаження в зачепленні. **Висновки**. Основні фізико-механічні та хімічні характеристики масляної плівки в умовах навантаженого контакту елементів зачеплення, а саме товщина масляного шару і коефіцієнт тертя є найважливішими комплексними критеріальними показниками, що визначають початок і перебіг процесу контактування швидкісних важко навантажених зубчастих передач головних приводів важких токарних верстатів з ЧПУ.

**Ключові слова**: циліндричні зубчасті колеса, ізотермічна стаціонарна завдання, змащуюча рідина, товщина масляного шару, гідродинамічна теорія мастила

## TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF THE STATIONARY TASK OF WORKING LIQUIDS FOR INCREASING THE DURABILITY OF MAIN DRIVE GEARS OF HIGH-POWER LATHES

The **subject** of the research in the article are questions connected with the refined solutions of the isothermal stationary problem for the lubricating cooling liquid in the Newtonian state, taking into account the forces acting in the meshing of the cylindrical gears and

the frictional forces arising on the active surfaces of the teeth in the area of contacting the involute surfaces and the thickness of the oil layer with taking into account the hydrodynamic characteristics of the lubricating fluid. The **goal** is to build a model of contact-hydrodynamic calculation of gear transmission. **Objectives:** to consider setting the thickness of the lubricating layer at a given external load, the speed of motion to determine the presence or absence of fluid friction, with the acquisition of initial data to determine the operability and durability of the coupled heavy loaded and critical gears of heavy lathes. The following **results** are obtained. The article presents a model developed by the authors for obtaining the correspondence of approximate and refined solutions in establishing the connection between the maximum contact-hydrodynamic pressure and the maximum Gertsev pressure. The analysis showed that for any operating parameters the maximum contact-hydrodynamic pressure should be less than or equal to the maximum Gertsev pressure. In the hydrodynamic (liquid) or boundary (semi-liquid) modes of friction, the oil layer not only significantly affects the wear state of the teeth, power loss and contact temperature, but also acts as an elastic medium damping the impact and changing the load distribution along the length of the contact lines. Thus, for closed involute transmissions with surface-hardened chemical-thermal treatment of teeth, the most urgent is to prevent deep (sublayer) damage caused by the concentration of the load in the gearing. **Conclusions.** The main physico-mechanical and chemical characteristics of the oil film under conditions of loaded contact of the engagement elements, namely the thickness of the oil layer and the coefficient of friction are the most important complex criterial parameters determining the beginning and the course of the process of contacting high-speed heavy-duty gears of the main drives of heavy lathes with CNC.

**Keywords:** cylindrical gears, isothermal steady-state problem, the lubricating fluid, the oil film thickness, hydrodynamic theory of lubrication.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Ковалев В. Д., Шелковий О. М., Клочко О. О. Технологічні рішення стаціонарної завдання робочих рідин підвищення довговічності зубчатих колес головних приводів важких токарних верстатах. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 36–45.

Ковалев В. Д., Шелковой А. Н., Клочко А. А. Технологические решения стационарной задачи рабочих жидкостей повышения долговечности зубчатых колес главных приводов тяжелых токарных станков. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 36–45.

Kovalev V., Shelkovoy A., Klochko A. Technological solutions of the stationary task of working liquids for increasing the durability of main drive gears of high-power lathes. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 36–45.

V. KOSENKO

## PRINCIPLES AND STRUCTURE OF THE METHODOLOGY OF RISK-ADAPTIVE MANAGEMENT OF PARAMETERS OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORKS OF CRITICAL APPLICATION SYSTEMS

The **subject matter** of the article is the processes of structural synthesis and parametric analysis of information and telecommunication networks (ITN). The **aim** is to develop the methodological apparatus which will enable obtaining ITN structural and technical parameters in order to ensure the operation of safety-critical systems (SCS), adaptive to external conditions and resistant to risks. The **tasks** to be solved are: to formulate principles and definition of the structure of the risk-adaptive management methodology of ITN SCS parameters; to determine the composition of the methodical apparatus and the applied means of the suggested methodology. General scientific **methods** used are: system analysis, structural and parametric synthesis, methods of decomposition and aggregation, methods of risk-adaptive management. The following **results** are obtained. The diagram of the main stages of ITN analysis is presented. In this case, the elements of the distributed architecture of ITN SCS are defined. The requirements for calculating the characteristics of the information and technical structures of the network are listed. The ways of fixing SCS applications at the functional nodes of the network are considered. The steps that are performed at the stage of solving the task of network setting are defined. The stage of matching task settings and operational management is a part of adaptive control. The above steps of analysis, synthesis and management of ITN are the basis of the structure of the risk-adaptive ITN SCS management methodology, which includes the following elements: principles, models, methods, and applied means. The methodology is based on the principles of decomposition, matching of goals and coordination of management, stream analysis and modeling of processes, adaptive and risk-based management. The composition and peculiarities of models (mathematical and systemic) and methods which are the basis of the methodical apparatus are determined. The applied part of the methodology is implemented by the information technology of adaptive management of distribution of network traffic. On ITN basis, the problem of interaction of technical and software means in the management of traffic distribution and organization of collecting, processing and transmitting information in the management system is solved. Adaptive management is provided by solving the tasks of setting the mode. Risk orientation is represented by two contours of feedback, which involves assessment and risk management at the stages of structural and parametric synthesis and distribution of network traffic. **Conclusions.** The implementation of the suggested methodology for ITN synthesis and management will enable the operation of SCS that is adaptive to external conditions and risk-resistant, which contributes to the improvement of the system safety.

**Keywords:** information-telecommunication network, risks, adaptive management, information structure, parameters, methodology.

### Introduction

The development of high technology results in the enhancement of high-risk facilities that belong to safety-critical systems (SCS), for example, thermal, nuclear and hydroelectric power plants in the energy sector, high-speed ground and air transport as well as defense and space systems.

Safety-critical systems are characterized by high intensity of information streams; the requirements for efficiency management, and timely making decisions and bringing them to actors are rather high. SCS operation is impossible without the use of high-speed multiservice information and telecommunication networks (ITN). However, SCS have very high demands on both network performance and the reliability of service.

The above factors are connected with the task of SCS functional safety. To solve this problem systematic analysis and risk assessment of information and telecommunication networks (ITN) should be conducted for further assessment of the damage and making decisions on risk parry.

Fulfilling these requirements is closely linked with the necessity of generalization of the accumulated global experience in the sphere of information communication and depends on the use of advanced information technologies related to data processing.

### Problem setting

Despite the rapid development of technology of physical and channel level, ITN potential can be fully implemented only with the help of effective management of available network resources amid increasing efficiency requirements for information exchange. These factors determine the necessity of new approaches to determining physical and functional network architecture.

A lot of publications [1–5] are devoted to the problems of ITN analysis and synthesis. However, considering the network structure just as a set of nodes and connections among them do not enable examining data streams.

Classical mathematical models based on the results of using graph theory and queuing theory [2, 3], do not consider the dependence of network structure characteristics on the parameters of applied problems solved in the network environment, which leads to the loss of accuracy of simulation results.

One of the promising areas of ITN development is the service-oriented approach that enables examining the exchange of information among network nodes that are involved in solving various problems and provide various information services. However, formalizing data streams is insufficient in the context of this approach and is limited by specific simulation tasks and aspects of ITN operation [4, 5].

The information safety of telecommunication systems is affected by various threats from viral infection to the legal conflicts. Hence, there are risks that can create a negative impact on the characteristics of ITN operation.

Today the problem of ITN protection is governed by the standards of Information Technical Laboratory (ITL) at the National Institute of Standards and Technology (NIST). Some literature sources deal with the problems of vulnerability analysis and ITN risk assessment, information safety and protection [6]. The classification of network attacks, threats to information safety is carried out and the ways of their detection are determined [7]. The problems of making decisions on the management of networks information safety are considered [8, 9]. However, most scientific researches in the field of the assessment of information risk (IR) have not carried out the systematic consideration of IR causes, factors and interactions with the other types of ITN risks; the classification of the causes and risk factors at the stage of ITN synthesis and analysis as well as while planning network traffic has not been performed.

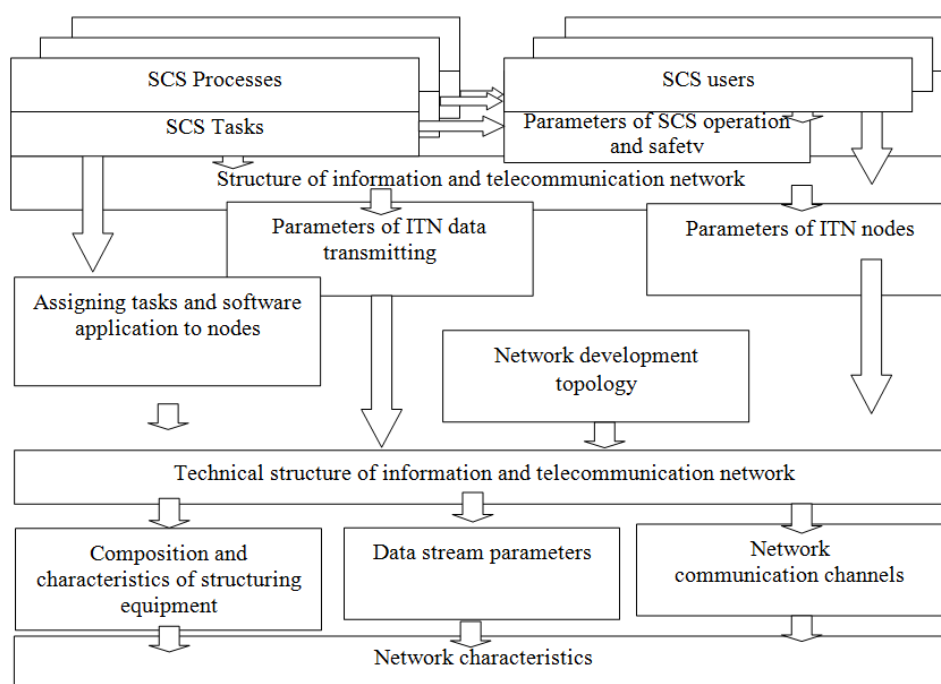
The above aspects and challenges, existing mathematical means of analysis and synthesis in ITN SCS require developing appropriate methodological apparatus, the use of which will enable receiving ITN structural and

technical parameters for the operation of SCS adaptive to external conditions and resistant to risks. Thus, the purpose of this paper is to formulate principles and determine the methodology of risk-adaptive management of ITN SCS parameters.

### Principles and the structure of the methodology of ITN risk - adapted management

Information and technical support of SCS contains a number of hardware, software and other means that are combined structurally and functionally to provide one or more types of information processes. Modern SCS are characterized by hierarchical, functional and resource distribution (servicing, software and hardware, telecommunications), by a great number of interacting components, blocks, subsystems, complex management system. Thus, SCS are complex technical systems that operate amid random factors, in the context of active interaction with the environment, negative impacts and under high cost of consequences of probable failures or errors in the system operation [10].

Let us consider the diagram of ITN SCS analysis (fig. 1) [11].



**Fig. 1.** Diagram of analyzing SCS information and telecommunications network

The first step is to analyze the object, i.e. SCS, where it is necessary to determine:

- the composition and parameters of applied tasks in order to ensure system operation,
- a number of ITN users,
- a set of applications installed in the network and hardware requirements in order to implement applications.

The next stage is to develop ITN structure. Let us consider the basic structural elements of the network.

The elements of the distributed architecture of ITN SCS are:

- data center, which is responsible for storing and processing all the data of the information system and implements a part of software applied logic at the central level,
- backup data center that provides fault tolerance by storing data of the entire system,
- custom (client) software for implementing a part of applied logic, data visualization and users' interaction with the system;
- database server and application servers at the nodes that are responsible for storing, processing all the data at a

particular node and implement a part of software applied logic at the node level, and additionally provide data sharing with other levels.

The necessary elements of ITN centralized architecture are: a telecommunication network, a system of information protection, servers for data exchange.

Both information and technical characteristics should be determined for these elements; to do that it is necessary:

- to analyze the information network structure;
- to determine indicators and quality criteria for solving applied problems;
- to determine the composition of the network parameters that will be used for network management and development of network state space.

ITN structure is the main factor affecting the quality of data exchange among software applications and, consequently, the quality of solving applied tasks. Therefore, the analysis of the structure is a prerequisite in selecting variants of information and telecommunications network development and ITN management.

The main purpose of the structure analysis is to determine the parameters of data streams that pass through the communication network and enter ITN nodes. These data make it possible to assess the load of communication channels and network equipment. Besides, for the network analysis information about the net structure should be supplemented with the information about software applications, their interaction and assignment to the nodes.

In distributed SCS applications can be assigned to functional nodes in different ways:

- one application is broken down into components that are run at several nodes (vertical distribution), while data processing is distributed hierarchically;
- one application is duplicated at several nodes (horizontal distribution);
- different applications are distributed among several nodes.

The results of analysis of ITN parameters are quantitative values of such characteristics, loading at the communication channels and structuring equipment, intensity of data streams and data requests that enter the network nodes. In this case the mentioned characteristics should be calculated taking into account the specific characteristics of the network structure.

When the above procedures are completed the task of traffic distribution management can be solved. At the stage of solving the problem of network settings, the following steps should be made:

- defining specific indicators of quality of network settings;
- developing and calculating parameters of data streams of hierarchical information structure of the network;
- determining the composition of network equipment;
- developing technical structure of the network.

When this stage is over there appears a variant of network structure. The level of ITN operation risk which is necessary for assessment of parameters of SCS safety should be assessed for the obtained structure taking into account the calculated parameters. If the risk level is too

high due to internal factors, the methods of ITN reengineering are used. Otherwise, the next stage is to be completed, that is solving the tasks of operational management of ITN SCS subsystems.

The stage of correcting setting tasks and operational management is a part of adaptive management, it takes place when basic network settings are changed and can hinder reconfiguring the network and developing new approaches to solving problems of operational management. It includes the correction of:

- the composition of network parameters,
- the composition of basic parameters and the parameters of management,
- quality requirements for solving applied problems.

These steps are necessary as a way to parry external risks that affect the network operability and respectively the system safety.

The above steps of analysis, synthesis and ITN management are the basis of the structure of the methodology of risk-adaptive management of ITN SCS.

The general structure of the methodology includes the following elements (Fig. 2):

- principles;
- models;
- methods;
- applied means.

The basis for formulating general principles of the methodology are the features of the object (SCS) and the methods of ITN analysis and management. The methodology is based on the following principles:

- decomposition,
- matching tasks and coordination of management,
- stream analysis and process modeling,
- adaptive management,
- risk-based management.

The principle of decomposition is caused by the distributed structure of SCS and the tasks of traffic distribution, which leads to splitting the system into a number of subnets.

The principle of matching tasks and management coordination is carried out when the distribution of traffic for each subnet is made taking into account the state of other subnets. Besides, it is necessary to match the goals of subnet management, when local goals of traffic distribution management objectives in separate subnets should ensure achieving global goals of network management.

The principles of stream analysis and simulation are fulfilled while solving the tasks of measuring, modeling, traffic parameters description in order to obtain necessary network performance.

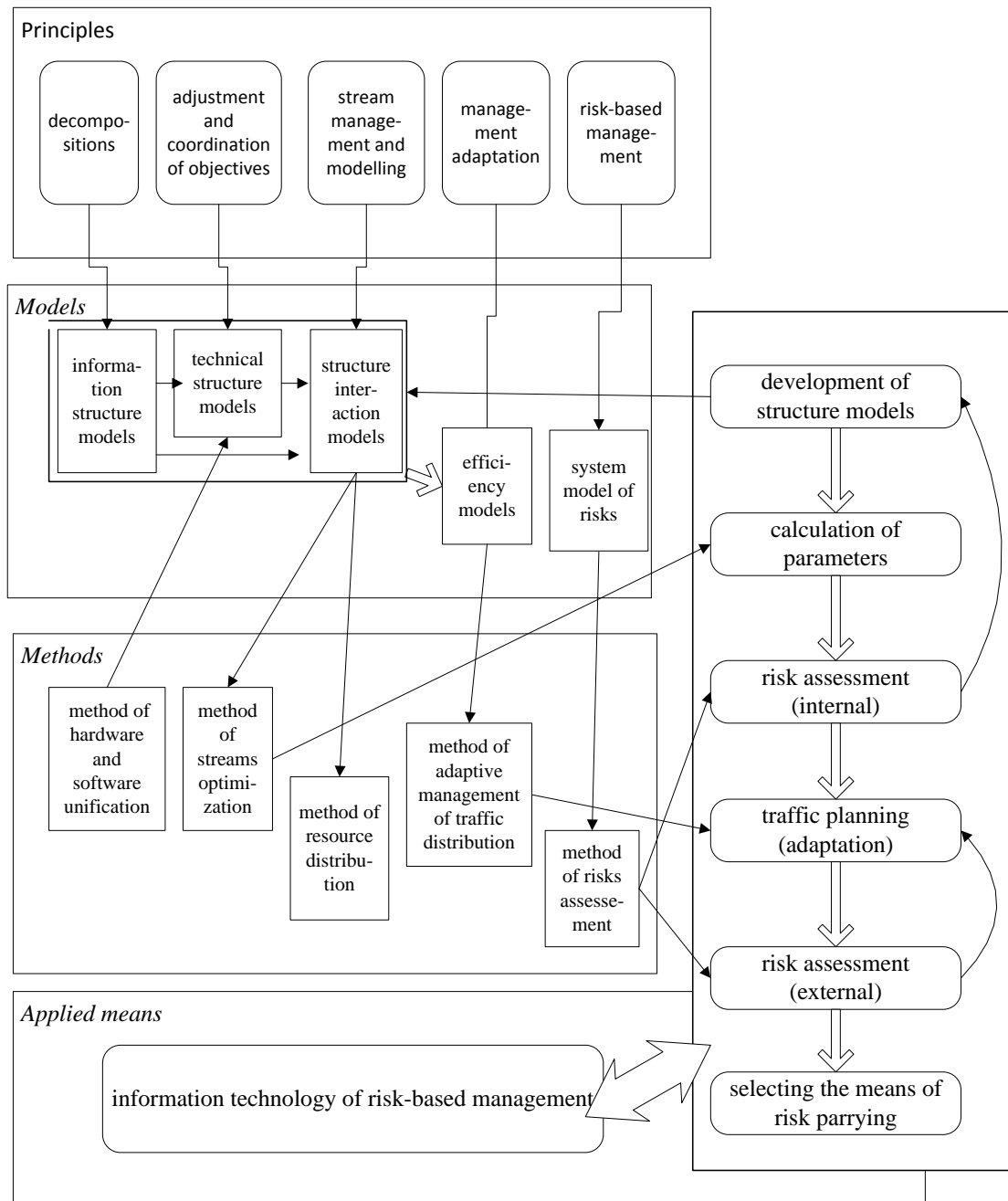
The principle of adaptive management ensures the efficient use of network resources.

To increase the safety of information resources the approach to the development of adaptive safety systems is used, which focuses on the active opposition to safety threats [14, 15]. Implementing this approach requires risk analysis, developing safety policies, using traditional protection means, and implementing counter measures to meet threats, ongoing safety auditing and monitoring the state of the system that should enable quick respond to ITN risks. Therefore, the principle of risk-based



management is used; this principle reflects the problem of analysis and risk assessment in order to make decisions on their parrying (both at the level of structural synthesis and at the level of operational management), thereby increasing the safety of the systems. The main means that

are used to parry risks in adaptive systems of management are active agents: intrusion detection sensors, abnormal behavior recognition algorithms, adaptive algorithms of recovery.



**Fig. 2.** The methodology of ITN risk-based management

The mathematical apparatus for analyzing ITN structure is the complex of models that includes:

- 1) mathematical model of information network structure,
- 2) mathematical model of technical structure of the network in order to determine the parameters of hardware and software components of ITN,
- 3) mathematical model of information interrelations among network elements which takes into account the intensity of requests to system applications; the model

describes the relationship between the informational and technical structures of the network;

- 4) model of the main factors and the criterion of the efficient use of network resources for using in the methods of ITN adaptive management;
- 5) system model of ITN risks.

The methodological apparatus of the suggested technique comprises the following methods:

- 1) the method of unification of software and hardware-based applications which is based on the use of

repetition-free algorithmic structures and is used while technical analysis of the network structure;

2) the method of assessing stream deflection for the alternative procedure of route selection in order to determine optimal streams and the most efficient routes in ITN,

3) the method of distributing the resources of multi-server node of data processing which is based on the model of the network structure and information as for bandwidth distribution among the used channels;

4) the method of adaptive management of traffic distribution, which helps solve the problems of configuration and operational management, management of distributing the communication channel bandwidth, distributing the resources of multi-server node of data processing;

5) the method of assessing ITN risks and their impact on SCS safety performance.

Applied means of the methodology are implemented by the information technology of adaptive management of traffic distribution. On ITN basis the problem of hardware and software interaction while using different methods and algorithms of traffic management and development of the diagram of organizing, collecting, processing and transmitting in the management system is solved. Besides, the assessment of ITN parameters that were obtained with the help of the methods that take into account the features of data streams is carried out. In the information technology algorithmic means of the control of ITN technical state are implemented.

To parry the risks and to ensure SCS safety the following mechanisms should be available [12, 14]:

- the mechanism of monitoring the system state and environmental impact;

- the mechanism of adaptation in the context of little change of conditions for optimization of the system operation according to the defined criteria;

- the mechanism of restoration after failures, faults, errors;

- the mechanism of redistribution of system resources to fulfill the goals of ITN operation in a new environment.

## Conclusions

The diagram of ITN SCS analysis became the basis for developing the structure of the methodology for risk-adaptive management. The main structural elements of ITN are determined, both information and technical characteristics are specified. Different ways of assigning applications to functional network nodes are considered.

The essence of the principles of the suggested methodology is formulated and revealed. The composition of models (mathematical and system) that are the basis of methodological techniques are determined. Management adaptability is provided by solving the problems of network settings. Risk-orientation is displayed by two feedback circuits, where assessment and risk management at the stages of structural and parametric synthesis and distribution of network traffic are provided.

The implementation of the suggested methodology for ITN synthesis and management will enable the operation of SCS, adaptive to the environment and resistant to risk, thereby increasing the system safety.

## References

- Ageev, D. V., Ignatenko, A. A., Kopylev, A. N. (2011), "Method for determining the parameters of streams in different sections of a multiservice telecommunications network, taking into account the self-similarity effect", *Electronic scientific specialized edition - journal "Problems of telecommunications"* ["Metodika opredeleniya parametrov potokov na raznykh uchastkakh mul'tiservisnoy telekommunikatsionnoy seti s uchetom effekta samopodobiya"], Elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie – zhurnal "Problemy telekommunikatsiy", No. 3 (5), pp. 18-37, available at: [http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113\\_ageyev\\_method.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_ageyev_method.pdf)
- Losev, Yu. I., Rukkas, K. M. (2007), "Comparative analysis of mathematical apparatus of modeling of telecommunication networks", *Information processing systems* ["Sravnitel'nyy analiz matematicheskogo apparata modelirovaniya telekommunikatsionnykh setey", *Systemy obrobky informatsiy*], No. 8 (66), pp. 55-60.
- Gelenbe, E., Pujolle, G. (2010), *Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition)*, Advances in Computer Science and Engineering: Texts, Vol. 4, 309 p.
- Poshtarenko, V. M., Andreev, A. Yu., Amal', M. (2013), "Ensuring quality of service at critical sections of a multiservice network", *Bulletin of the National Technical University* ["Obespechenie kachestva obsluzhivaniya na kriticheskikh uchastkakh mul'tiservisnoy seti", *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu*], No. 60, pp. 94-100.
- Shelukhin, O. I. (2012), *Modelirovanie informatsionnykh sistem [Modeling of information systems]*, Moscow, Goryachaya liniya Telekom, 516 p.
- Paulsen, S., Boens J. (2012), *Summary of the Workshop on information and communication technologies supply chain risk management*, National Institute of Standards and Technology, 21 p.
- Boyarchuk, A. V. (2011), "Security of critical infrastructures: mathematical and engineering methods of analysis and provision" ["Bezopasnost' kriticheskikh infrastruktur: matematicheskie i inzhenernye metody analiza i obespecheniya"], Kharkov: NAKU «KhAI», 641 p.
- Sklyar, V. V., Kharchenko, V. S. (ed.) (2011), "Methodology of risk analysis of functional safety of information-control systems", *Safety of critical infrastructures: mathematical and engineering methods of analysis and provision*, National Aerospace University "KhAI", Kharkiv, Section 12, pp. 360-408.
- Kharybin, A. V., Odarushchenko, O. N. (2006), "About the approach to the decision of a problem of a choice of methodology of an estimation of structural reliability and survivability of information networks of critical application", *Radio electronic and computer systems* ["O podkhode k resheniyu zadachi vybora metodologii otsenki strukturnoy nadezhnosti i zhivuchesti informatsionnykh setey kriticheskogo primeneniya", *Radioelektronni i komp'yuterni sistemi*], No. 6, pp. 61-70.
- Dodonov, A. G., Gorbachik, E. S., Kuznetsova, M. G. (2003), "The vitality of information and analytical systems in the aspect of information security", *Collection of scientific works "Information Technologies and Security"* ["Zhivuchest' informatsionno-

- analiticheskikh sistem v aspekte informatsionnoy bezopasnosti", Sb. nauch. tr. «Informatsionnye tekhnologii i bezopasnost'», No. 4, IPRI NANU, Kiev, pp. 27-30.
11. Kosenko, V. V., Lisenko, E. V. (2015), "Analysis and mathematical modeling of the structure of information and telecommunications network", *Monograph "Modeling Processes in Economics and Project Management on the Use of New Information Technologies"* ["Analiz ta matematychni modelyuvannya struktury informatsiyno-telekomunikatsiynoi merezhi", Monografiya "Modelyuvannya protsesiv v ekonomitsi ta upravlinni proektami z vikoristannyam novikh informatsiynikh tekhnologiy"], KhNURE, Kharkov, pp. 215-227.
  12. Levitt, K. N., Rou, D., Balepin, I. V., Mal'tsev, S. V. (2003), "Rapid Response Systems", *Data protection. Confident* ["Sistemy bystrogo reagirovaniya", Zashchita informatsii. Konfident], No. 5, pp. 47-50.
  13. Ellison, R. J., Fisher, D. A., Linger, R. C., Lipson, H. F., et al. "Survivable Network Systems: An Emerging Discipline", available at: <http://www.cert.org/research/97tr013.pdf>
  14. Kuznyetsova, M. H. (2005), "The use of mechanisms to improve survivability in distributed information systems", *Collection of scientific works "Information Technologies and Security"* ["Vykorystannya mekhanizmiv pidvyshchennya zhyvuchosti u rozpodilenykh informatsiynikh systemakh", Sb. nauch. tr. Ynformatsionnye tekhnolohyy y bezopasnost'], YPRY NANU, Kiev, No. 8, pp. 63–65.

Receive 07.06.2017

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

**Косенко Віктор Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, ДП "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування, директор, м. Харків, Україна; e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID: 0000-0002-4905-8508.

**Косенко Віктор Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, ГП "Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения", директор, г. Харьков, Украина; e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID: 0000-0002-4905-8508.

**Kosenko Viktor** – Ph. D. (Engineering Sciences), Docent, SE "Kharkiv Scientific-Research Institute of Mechanical Engineering Technology", Director, Kharkiv, Ukraine; e-mail: kosv.v@ukr.ua; ORCID: 0000-0002-4905-8508.

## ПРИНЦИПИ І СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГІЇ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

**Предметом** дослідження в статті є процеси структурного синтезу та параметричного аналізу інформаційно-телекомунікаційних мереж (ІТМ). **Мета** – розробка методологічного апарату, застосування якого дозволить отримувати структурні та технічні параметри ІТМ для забезпечення функціонування систем критичного призначення (СКП), адаптивного до зовнішніх умов та стійкого до ризиків. **Завдання:** формулювання принципів та визначення структури методології ризик-адаптивного управління параметрами ІТМ СКП; визначення складу методичного апарату та прикладних засобів запропонованої методології. Використовуються загальнонаукові **методи:** системний аналіз, структурно-параметричний синтез, методи декомпозиції та агрегації, методи ризик-адаптованого управління. Отримано такі **результати.** Наведено схему основних етапів проведення аналізу ІТМ. При цьому визначено елементи розподіленої архітектури ІТМ СКП. Перелічено вимоги для розрахунку характеристик інформаційної і технічної структури мережі. Розглянуто способи закріплення додатків СКП за функціональними вузлами мережі. Визначено кроки, які виконуються на етапі вирішення завдання настройки мережі. Етап корекції завдань настройки і оперативного управління є частиною адаптивного управління. Вказані вище кроки аналізу, синтезу та управління ІТМ є основою структури методології ризик-адаптованого управління ІТМ СКП, яка включає такі елементи: принципи, моделі, методи, прикладні засоби. Методологія базується на принципах декомпозиції, узгодження цілей та координації управління, потокового аналізу і моделювання процесів, адаптивного та ризик-орієнтованого управління. Визначено склад та особливості моделей (математичних та системних) і методів, які є основою методичного апарату. Прикладна частина методології реалізована інформаційною технологією адаптивного управління розподілом трафіку мережі. На її основі вирішується питання взаємодії технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіку та організації збору, обробки та передачі інформації в системі управління. Адаптивність управління забезпечується вирішенням завдань настройки мережі. Ризик-орієнтованість відображено двома контурами зворотного зв'язку, в яких передбачається оцінка та управління ризиками на етапах структурно-параметричного синтезу та розподілу трафіку мережі. **Висновки.** Реалізація запропонованої методології для синтезу та управління ІТМ дозволить забезпечити функціонування СКП, адаптивне до зовнішніх умов та стійкого до ризиків, що сприяє підвищенню безпеки системи.

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна мережа, ризики, адаптивне управління, інформаційна структура, параметри, методологія.

## ПРИНЦИПЫ И СТРУКТУРА МЕТОДОЛОГИИ РИСК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**Предметом** исследования в статье являются процессы структурного синтеза и параметрической анализа информационно-телекоммуникационных сетей (ИТМ). **Цель** – разработка методологического аппарата, применение которого позволит получать структурные и технические параметры ИТМ для обеспечения функционирования систем критического назначения (СКН), адаптивного к внешним условиям и устойчивого к рискам. **Задача:** формулирование принципов и определения

структуры методологии риск-адаптивного управления параметрами ИТМ СКН; определение состава методичного аппарата и прикладных средств предлагаемой методологии. Используются общенаучные **методы**: системный анализ, структурно-параметрический синтез, методы декомпозиции и агрегации, методы риск-адаптивного управления. Получены следующие **результаты**. Приведена схема основных этапов проведения анализа ИТМ. При этом определены элементы распределенной архитектуры ИТМ СКН. Перечислены требования для расчета характеристик информационной и технические структур сети. Рассмотрены способы закрепления приложений СКН за функциональными узлами сети. Определены шаги, которые выполняются на этапе решения задачи настройки сети. Этап коррекции задач настройки и оперативного управления является частью адаптивного управления. Вышеуказанные шаги анализа, синтеза и управления ИТМ являются основой структуры методологии риск-адаптивного управления ИТМ СКН, которая включает такие элементы: принципы, модели, методы, прикладные средства. Методология базируется на принципах декомпозиции, согласования целей и координации управления, потокового анализа и моделирования процессов, адаптивного и риск-ориентированного управления. Определен состав и особенности моделей (математических и системных) и методов, которые являются основой методического аппарата. Прикладная часть методологии реализована информационной технологией адаптивного управления распределением трафика сети. На её основе решается вопрос взаимодействия технических и программных средств при управлении распределением трафика и организации сбора, обработки и передачи информации в системе управления. Адаптивность управления обеспечивается решением задач настройки сети. Риск-ориентированность отражена двумя контурами обратной связи, в которых предполагается оценка и управление рисками на этапах структурно-параметрического синтеза и распределения трафика сети. **Выводы**. Реализация предложенной методологии для синтеза и управление ИТМ позволит обеспечить функционирование СКН, адаптивной к внешним условиям и устойчивой к рискам, что способствует повышению безопасности системы.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, риски, адаптивное управление, информационная структура, параметры, методология.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Косенко В. В. Принципи і структура методології ризик-адаптивного управління параметрами інформаційно-телекомунікаційних мереж систем критичного застосування.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 46–52.

**Косенко В. В. Принципы и структура методологии риск-адаптивного управления параметрами информационно-телекоммуникационных сетей систем критического применения.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 46–52.

**Kosenko V. 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.* Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 46–52.

UDC 658.512.032

N. KOSENKO, I. KADYKOVA, R. ARTIUKH

## FORMALIZING THE PROBLEM OF A PROJECT TEAM BUILDING BASED ON THE UTILITY THEORY

The **subject matter** of the article is mathematical models for solving particular problems of sorting out candidates for a project team. The **aim** is to create a region of compromises for a variety of particular criteria for selecting candidates and to develop an integral optimization function as a utility function for selecting preferred alternatives. The **tasks** are: developing the approximate area of compromises for solving single-criterion optimization problems; selecting the utility function of partial criteria; using general principles of utility theory application for solving personnel problems; sorting out the best option on the ground of multi-criteria evaluation and optimization methods; defining the degree of particular criteria importance; analyzing the peculiarities of multi-criteria assessment of problems in human resource management. The **methods** used are: multi-criteria assessment and optimization methods, utility function. The following **results** are obtained. The problem of estimating the relative importance of particular criteria in the utility function is considered. The procedure of determining the approximate region of compromises is described with account of a number of personal and psychological characteristics by successive solving single-criterion optimization problems for each particular criterion. The problem of developing the integral multi-criteria function for selecting preferred alternatives is considered. The peculiarities of using general principles of utility theory for personnel problems solving are analyzed. The function of multi-criteria optimization as a utility model for partial criteria is formulated. The general task of assessing and producing labour force with account of professional, personal and psychological properties of a candidate is formulated. **Conclusions.** The task of building a project team is considered in the article. The stages of team building are considered. The procedure for determining the approximate region of compromises is described with account of a number of personal and psychological characteristics by successive solving single-criterion optimization problems for each particular criterion. The function of multi-criteria optimization is formulated as a utility model for partial criteria. The method for selecting and evaluating personnel for planned projects is suggested on the basis of the procedure for sorting out candidates for a new project team from the workers who were previously involved in similar projects.

**Keywords:** a project team building, utility function, multi-criteria optimization.

### Introduction

Successful completion of a project is greatly determined by the way of its team building [1]. At the same time, the task of a project team building is considered as the most difficult for formalizing, since a variety of personal and psychological factors that are difficult to describe must be taken into account. At the same time, the success of the team's work greatly depends on the personal, business and psychological qualities of each individual employee [2, 3].

Personal and psychological characteristics are listed in each organization individually with account of specifics of its production activities and the nature of work on a newly planned project, the development prospects for the enterprise. A decision in these spheres is made by experts and a person who is responsible for making decisions (a decision maker) [8].

From a formal point of view, a project team building includes the following stages:

Step 1. Developing a variety of options for selecting candidates for the project;

Step 2. Working out the system for assessing the considered options (candidates);

Step 3. Defining the rule for choosing the best option or ordering preferred candidates.

Since each of the variants of the solution is characterized by a set of particular criteria, the system of assessment of the relative importance of particular criteria (the problem of estimating the significance of particular criteria) should be developed [8].

This article deals with the development of mathematical models for solving particular problems of a project team building; in particular with the creating the region of compromises for a number of particular criteria

for selecting candidates and formulating an integral optimization function as a utility function, the aggregating value of a set of partial criteria.

### Creating the region of compromises

Determining the approximate region of compromises  $X^P$  the whole a set of points  $x \in X^C$  is not excluded but only the solutions that determine the boundary of the region [4].

The condition for the correctness of such a procedure is the expression

$$X^C \subset X^P,$$

that is, the complete inclusion of the exact region of compromises into the approximate one.

For determining  $X^P$  the following procedure is used.

In the set of admissible solutions  $X$ ,  $n$  one-criteria optimization problems are consistently solved according to each particular criterion  $k_i(x), i = \overline{1, n}$ :

$$x_i^0 = \arg \max_{x \in X} k_i(x). \quad (1)$$

For every solution  $k_i(x)$  the value of all other partial criteria that is expressed as  $k_j(x_i^0) = k_{ji}, j = \overline{1, n}$  is calculated. The obtained results are recorded in the matrix (2).

The matrix (2) is formed as follows: each line is composed of the values of the  $i$ -th partial criterion at the



extremum points for all the particular criteria. Moreover, the extreme value of the criterion is achieved on the main diagonal.

$k_i(x), i = \overline{1, n}$	$k_1(x)$	$k_2(x)$	...	$k_n(x)$
$k_1(x)$	$k_{11}$	$k_{12}$	...	$k_{1n}$
$k_2(x)$	$k_{21}$	$k_{22}$	...	$k_{2n}$
...	...	...	...	...
$k_n(x)$	$k_{n1}$	$k_{n2}$	...	$k_{nn}$

(2)

For example, the first line contains the criterion values  $k_1(x)$  at points:

$$k_{11} = k_1(x_1^0), k_{12} = k_1(x_2^0), \dots, k_{1n} = k_1(x_n^0),$$

where,  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$  is the solution that is extremal in accordance with 1, 2, ..., n-th criterion.

Thus, each line contains the values of the particular criterion  $k_i(x)$  that varies from extreme  $k_i(x)$  to the worst  $k_{iHx}$ . The sets of these values over all  $i = \overline{1, n}$  are the boundaries of mapping the approximate region of compromises  $X^P$  on the criteria space  $K = \{k_i(x)\}, i = \overline{1, n}$ .

The region  $X^P$  in the space of particular criteria is given by constraints

$$x \in X, \quad k_{iHx} \leq k_i(x) \leq k_{i1}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

The pattern corresponding to the constraints (3) of the approximate region of compromises for a convex region is shown in the figure 1.

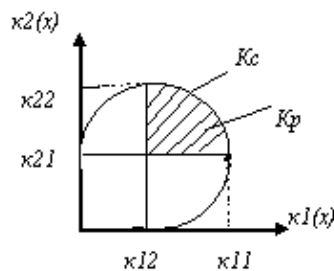


Fig.1. Approximate region of compromises  $X^P$  on the convex set  $X$

Such a basic assessment can be interpreted as the utility function of partial criteria  $p[k_i(x)]$ , in which  $p: k_i(x) \rightarrow R^1, i = \overline{1, n}$ . We can justify the choice of the pattern of the function  $p$ .

### The choice of utility function

It is desirable that the utility function of the partial criteria be universal and well adapted to take into account

the specific features of particular systems, their aims and criteria [5, 6].

To do this, the utility function must meet the following requirements:

- have a single interval of variation [0,1];
- be dimensionless;
- be invariant to the pattern of the extremum of a particular criterion (minimum or maximum).

The latter means that, regardless of the type of extremum, its maximum value in the set must correspond to the maximum value (which is equal to 1), while the minimal value of the utility function (which is equal to 0) – to the worst one. In addition, the utility function of the partial criterion should enable both linear and non-linear non-decreasing convex upward or downward dependencies of the utility in the absolute value of the exponent.

All these conditions are met by the utility model of particular criteria [9].

$$p[k_i^H(x)] = \left[ \frac{k_i(x) - k_i^{HX}}{k_i^{H\wedge} - k_i^{HX}} \right]^{\alpha_i}. \quad (4)$$

The theoretical basis of the engineering practice of developing generalized (complex) scalar estimates can be the utility principle. This principle is based on the assertion that there exists the quantitative estimate of the preference of solutions so that if solutions  $x_1 \succ x_2$ , so  $P(x_1) > P(x_2)$ , where  $P(x_1)$  and  $P(x_2)$  are utility functions, which are a quantitative measure of the preference of the solution  $x_1$  in relation to the decision  $x_2$ .

The peculiarities of using the general principles of application of the utility theory for solving personnel problems can be presented below by the following analysis.

The problem of choosing the best option  $x^0$  can be solved on the basis of methods of multi-criteria estimation and optimization [7]. Then the pattern of the utility function can be represented as:

$$P(x) = F[\lambda_i, k_i(x)], i = \overline{1, n},$$

where  $k_i(x)$  is the  $i$ -th characteristics of a candidate;  $\lambda_i$  is the coefficient of significance of  $k_i$ -th characteristic in a particular situation of choice;  $F$  is a conversion operator (model structure);

The most famous and widely used pattern of representing the utility function is the additive one:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x); i = \overline{1, n}; \quad (5)$$

where  $k_i(x)$  is a set of particular criteria (characteristics), considered candidates (options). In the formula (5)  $\lambda_i$  is an isomorphism coefficient that takes into account the degree of relative importance of the particular criteria and leads to partial estimates  $k_i(x)$  for a single dimension and change interval. Assessing the values of such

coefficients is difficult, therefore in practice the more convenient additive form of the utility function is used:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), \quad (6)$$

where  $a_i$  is relative dimensionless weighted coefficients satisfying conditions:

$$0 \leq a_i \leq 1, \sum_{i=1}^n a_i = 1,$$

$k_i^H(x)$  is normalized values of particular criteria, (reduced to an isomorphic form in the model (4)).

In expression (6), all partial criteria are represented in isomorphic form ( $k_i^H$ ), and the main decision-making issue is a decision-maker's evaluation of the relative importance of the particular criteria and the form of their presentation. We can assume that the required information will be presented as dimensionless coefficients  $a_i, i = \overline{1, n}$ .

Determining the degree of importance of particular criteria is performed by a decision-maker or experts. More often, the information on weight coefficients can be presented in three forms:

- 1) deterministic;
- 2) probabilistic;
- 3) as a diffuse set.

The form of the presentation depends on the opinion of experts or the knowledge of decision-makers, and also to a large extent on the specifics of the considered object, the nature of its parameters, the methods of measuring them, and the time of observation (statistics, forecast).

The analysis of the peculiarities of multi-criterial estimation problems in the problems of human resource management enables focusing on the situations that are the most frequent in building project teams, the deterministic representation of the values of the importance coefficients  $a_i$  of particular criteria  $k_i(x)$ .

For the situation where exact quantitative values of weight coefficients  $a_i$  of particular criteria  $k_i(x)$  are known the generalized utility of the alternative  $x \in X$  can be defined as the additive function:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n a_i = 1; \quad (7)$$

and the optimality principle

$$x^\circ = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (8)$$

In the expressions (7), (8)  $k_i(x)$  is partial criteria for assessing the professional and personal qualities of candidates for the project. The coefficients of significance of particular criteria  $a_i$ , are determined by experts, proceeding from the features of works in the project and corporate traditions of an organization.

Another situation with a deterministic approach is formulated as follows. Coefficients  $a_i$  are given quantitatively, however not exactly but as a certain interval  $[a_i \min, a_i \max]$ .

In this case the condition (7) is not performed, i.e.  $\sum_{i=1}^n a_i \min \neq 1, \sum_{i=1}^n a_i \max \neq 1$ . The preferred solution under these conditions may be obtained in two steps. In the beginning, the range of possible solutions is determined depending on the values  $k_i(x)$  with changes of  $\Delta a_i$ , assuming  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ , and  $n$  optimization problems are solved:

$$x_i^\circ = \arg \max \left[ a_i \max k_i^H(x) + \sum_{j=1}^n a_j P_j[k_j(x)] \right];$$

$$\sum_{j=1}^n a_j = 1 - a_i \max, a_j \in [a_j \min, a_j \max]; j = \overline{1, n}, i = \overline{1, n}, j \neq i,$$

where  $a_i \max$  is the maximum possible value of the  $i$ -th weighting factor.

According to the values  $x_i^\circ, i = \overline{1, n}$  it is possible to calculate

$$k_{iHL} = \max_i k_i(x_i^\circ); k_{iHX} = \min_j k_j(x_j^\circ) j = \overline{1, n}, i \neq j.$$

Thus, the boundaries of the region are established, in which a compromise solution is determined at the second stage. The situation when experts cannot provide information on the coefficients  $a_i$  is quite common in evaluating project personnel, but they can formulate the relative mutual importance of the evaluated criteria in the ranked series:

$$k_1(x) \succ k_2(x) \succ \dots \succ k_n(x).$$

In this situation, the part of applicants who corresponds to the most important criterion is sorted out from the total number of applicants for the project team X and the sequence of single-objective optimization tasks is solved:

$$x_1^\circ = \arg \max_{x \in X} [k_1(x)]; x_2^\circ = \arg \min_{x \in X_1^0} [k_2(x)], \text{ etc.}$$

In other words, if the set consists of several candidates, then the problem of selecting candidates is solved according the second main criterion, etc.

The process of decision making lasts until a single candidate has been identified or the partial criteria have been exhausted.

## Conclusions

The problem of assessing the relative importance of particular criteria in the utility function is considered. The importance of particular criteria is suggested to be

presented as weight coefficients, which are determined by experts or decision-makers.

The procedure for determining the approximate region of compromises is described taking into account a multitude of personal and psychological characteristics by successive solving single-criterion optimization problems for each particular criterion.

The problem of developing an integral multi-criteria function for choosing preferred alternatives is considered. It is shown that the utility function is the most universal

and well adapted for considering the peculiarities of specific systems, their aims and criteria. The features of using general principles of utility theory for the solution of personnel tasks are analyzed.

The function of multi-criteria optimization as the utility model of partial criteria is formulated. To create the integral criterion, the additive convolution is used.

The results of the work can be used to develop the mathematical and software of computerized control systems for the project team.

## References

1. Sidorenko, A. V., Marchenko, E. M. (2016), "Personnel management tasks in the development and implementation of the project", *Economics and management in the XXI century: development trends* ["Zadachi upravlenija personalom pri razrabotke i realizacii proekta"], *Jekonomika i upravlenie v XXI veke: tendencii razvitiija*, No. 27, pp. 99-102.
2. Kosenko, N. V., Artyukh, R. V. (2016), "Automation methods of evaluation, selection and team building project on the basis of characteristics set", *Systems of control, navigation and communication* ["Avtomatyzatsiya metodiv otsinky, vidboru ta formuvannya komandy proektu na pidstavi mnozhyny kharakterystyk"], *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*, No. 2 (38), pp. 104-107.
3. Rozhkov, M., Cheung, B., Tsui, E. (2013), *Project Context and its Effect on Individual Competencies and Project Team Performance*, International Conference on Intellectual Capital and Knowledge Management and Organizational Learning, Academic Conferences International Limited, 602 p.
4. Baykasoglu, A., Dereli, T., Das, S. (2007) "Project team selection using fuzzy optimization approach", *Cybernetics and Systems: An International Journal*, Vol. 38, No. 2, pp. 155-185.
5. Fedorchenko, S. G., Dolgov, Ju. A., Kirsanova, A. V., Mencher, Je. M., Pomjan, S. V., Nizhegorodova, M. V., Andrianova, E. I., Koloskova, E. V., Kolegov, A. V., Bashkatov, A. M. Fedorchenko S.G. (ed.) (2011), *Generalized utility function and its applications*, publishing house of Transnistria University, Tiraspol, 196 p.
6. Horlachuk V., Yenal'yev M. (2013), "The development of the theory of expected utility", *Economist* ["Rozvytok teoriiy ochikuvanoi korisnosti"], *Ekonomist*, No. 3, pp. 49-50.
7. Mikoni, S. V. (2013), "Estimation of utility alternatives as the final stage of their multicriteria optimization" *Proceedings of SPIIRAS* ["Ocenivanie al'ternativ po poleznosti kak zavershajushhij jetap ih mnogokriterial'noj optimizacii"], *Trudy SPIIRAN*, Vol. 8, No. 31, pp. 6-19.
8. Kosenko, N. V. (2012), "Formalized representation of the task of forming a project team", *Systems of control, navigation and communication: scientific research journal Central Scientific - Research Institute of Navigation and management* ["Formalizovannoe predstavlenie zadachi formirovaniya proektnoj komandy"], *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku: zbirnyk naukovykh prats' Tsentral'noho naukovo – doslidnoho instytutu navihatsiyi i upravlinnya*, Kyiv, No. 3 (23), pp. 138-141.
9. Dotsenko, N. V., Kosenko, N. V. (2012), "Comparative identification of the parameters of the multifactorial estimation model", *Systems of control, navigation and communication: scientific research journal Central Scientific - Research Institute of Navigation and management* ["Komparatornaja identifikacija parametrov modeli mnogofaktornogo ocenivaniya"], *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku: zbirnyk naukovykh prats' Tsentral'noho naukovo – doslidnoho instytutu navihatsiyi i upravlinnya*, Kyiv, Vol. 2, No. 1 (21), pp. 140-143.

Receive 08.06.2017

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

**Косенко Наталія Вікторівна** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри управління проектами у міському господарстві і будівництві, м. Харків, Україна; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

**Косенко Наталья Викторовна** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

**Kosenko Nataliia** – PhD (Engineering Sciences), O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Associate Professor at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: kosnatalja@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5942-3150.

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

**Кадыкова Ирина Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: irina.kadikova@kname.edu.ua; ORCID: 0000-0002-3189-7231.

**Kadykova Iryna** – PhD (Economics Sciences), Associate Professor, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Associate Professor at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: irina.kadikova@kname.edu.ua; ORCID: 0000-0002-3189-7231.

**Артюх Роман Владимирович** – кандидат технічних наук, ДП "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", директор, м. Харків, Україна; e-mail: roman.artuyh77@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5129-2221.

**Артюх Роман Владимирович** – кандидат технических наук, ГП "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", директор, г. Харьков, Украина; e-mail: roman.artyuh77@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5129-2221.

**Artiukh Roman** – PhD (Engineering Sciences), SE "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Director, Kharkiv, Ukraine; e-mail: roman.artyuh77@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5129-2221.

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАВДАННЯ ФОРМУВАННЯ КОМАНДИ ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ КОРИСНОСТІ

**Предметом** вивчення в статті є математичні моделі для вирішення окремих завдань підбору кандидатів при формуванні команди проекту. **Мета** – побудова області компромісів для безлічі окремих критеріїв підбору кандидатів та формування інтегральної оптимізаційної функції у вигляді функції корисності, для вибору кращих альтернатив. **Завдання:** побудова наближеної області компромісів для вирішення однокритеріальних оптимізаційних задач; вибір функції корисності часткових критеріїв; використання загальних принципів застосування теорії корисності для вирішення кадрових завдань; вибір найкращого варіанту, на основі методів багатокритеріального оцінювання і оптимізації; визначення ступеня важливості окремих критеріїв; аналіз особливостей завдань багатокритеріального оцінювання в задачах управління людськими ресурсами. Використовуваними методами є методи багатокритеріального оцінювання і оптимізації, функція корисності. Отримані такі **результати**. Розглянуто задачу оцінки відносної важливості окремих критеріїв, що входять до функції корисності. Описана процедура визначення наближеної області компромісів з урахуванням безлічі особистісних і психологічних характеристик шляхом послідовного вирішення однокритеріальних оптимізаційних задач по кожному окремому критерію. Розглянуто задачу формування інтегральної багатокритеріальної функції для вибору кращих альтернатив. Проаналізовано особливості використання загальних принципів теорії корисності для вирішення кадрових задач. Сформульовано функція багатокритеріальної оптимізації у вигляді моделі корисності часткових критеріїв. Сформульована загальна задача оцінювання та формування трудових ресурсів з урахуванням професійних і особистісно-психологічних властивостей кандидата. **Висновки.** У статті розглянуто задачу формування команди проекту. Розглянуто етапи формування команди. Описана процедура визначення наближеної області компромісів із урахуванням безлічі особистісних і психологічних характеристик шляхом послідовного вирішення однокритеріальних оптимізаційних задач за кожним окремих критерієм. Сформульовано функція багатокритеріальної оптимізації у вигляді моделі корисності часткових критеріїв. Запропоновано метод підбору та оцінки кадрів для планованих проектів, в основу якого покладена процедура пошуку кандидатів до складу команди нового проекту зі складу виконавців аналогічних робіт в проектах минулих років.

**Ключові слова:** формування команди проекту, функція корисності, багатокритеріальна оптимізація.

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ

**Предметом** изучения в статье являются математические модели для решения частных задач подбора кандидатов при формировании команды проекта. **Цель** – построение области компромиссов для множества частных критериев подбора кандидатов и формирования интегральной оптимизационной функции в виде функции полезности, для выбора предпочтительных альтернатив. **Задачи:** построение приближенной области компромиссов для решения однокритериальных оптимизационных задач; выбор функции полезности частных критериев; использование общих принципов применения теории полезности для решения кадровых задач; выбор наилучшего варианта, на основе методов многокритериального оценивания и оптимизации; определение степени важности частных критериев; анализ особенностей задач многокритериального оценивания в задачах управления человеческими ресурсами. Используемыми методами являются методы многокритериального оценивания и оптимизации, функция полезности. Получены следующие **результаты**. Рассмотрена задача оценки относительной важности частных критериев, входящих в функцию полезности. Описана процедура определения приближенной области компромиссов с учётом множества личностных и психологических характеристик путём последовательного решения однокритериальных оптимизационных задач по каждому частному критерию. Рассмотрена задача формирования интегральной многокритериальной функции для выбора предпочтительных альтернатив. Проанализированы особенности использования общих принципов теории полезности для решения кадровых задач. Сформулирована функция многокритериальной оптимизации в виде модели полезности частных критериев. Сформулирована общая задача оценивания и формирования трудовых ресурсов с учетом профессиональных и личностно-психологических свойств кандидата. **Выводы.** В статье рассмотрена задача формирования команды проекта. Рассмотрены этапы формирования команды. Описана процедура определения приближенной области компромиссов с учётом множества личностных и психологических характеристик путём последовательного решения однокритериальных оптимизационных задач по каждому частному критерию. Предложен метод подбора и оценки кадров для планируемых проектов, в основу которого положена процедура поиска кандидатов в состав команды нового проекта из состава исполнителей аналогичных работ в проектах прошлых лет.

**Ключевые слова:** формирование команды проекта, функция полезности, многокритериальная оптимизация.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Косенко Н. В., Кадикова І. М., Артюх Р. В. Формалізація завдання формування команди проекту на основі теорії корисності.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 53–57.

**Косенко Н. В., Кадыкова И. Н., Артюх Р. В. Формализация задачи формирования команды проекта на основе теории полезности.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 53–57.

**Kosenko N., Kadykova I., Artiukh R. Formalizing the problem of a project team bulding based on the utility theory.** *Innovative technologies and scientific solutions for industries.* Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 53–57.



O. MARTYNNENKO, YU. HUSIEVA, I. CHUMACHENKO

**THE METHOD OF EARNED REQUIREMENTS FOR PROJECT MONITORING**

The requirements management processes largely determine the success of a project and should ensure its adaptability to changes in the requirements of stakeholders. Today, these processes are not sufficiently formalized, in particular, for traditional project management. Consequently, management and control requirements should be developed and formalized. The **subject matter** of this study is methods that manage the requirements of stakeholders in projects. The **aim** of the article is to increase the effectiveness of monitoring the requirements of the project stakeholders by developing the method of earned requirements and the model that formalizes this method. To achieve the **goal**, the following tasks are completed: integration of the hierarchical structure of requirements and the classical hierarchical structure of the project activities for obtaining the matrix of control points to meet the requirements of stakeholders linking a certain requirement to the activities that should be carried out to execute the project; development of the method of monitoring requirements; development of a functional model of the suggested method. The **methods** used are: the methods of decomposition, functional modeling and the modified method of earned volume. The following **results** were obtained: the method of requirement monitoring was developed; this method enables monitoring carrying out the requirements of project stakeholders in time according to the volume of actually used resources by analogy with the method of earned volume. The approach based on the integration of the hierarchical structure of requirements and the hierarchical structure of the project activities enables supplementing the existing methods of classification of project stakeholders by the indicator of resource requirements. **Conclusions.** The suggested method formalizes the requirements management processes in the project, enables determining the resource load of requirements, adds this factor to the existing model of requirements. This method is practically supported by the functional model in the IDEF0 notation. The areas of project management (according to the PMBOK standard) where the use of the suggested approach is the most effective are identified. In the process of generating output data for this method use, certain constraints should be considered; these constraints are determined by different types of project stakeholders' requirements and the dimension of the sets of "requirements" and "activities".

**Keywords:** project stakeholders, management processes, functional modelling, PMBOK 5.

**Introduction**

All projects face changes that are the results of changes in the requirements of key stakeholders of a project. The project adaptability to changes is ensured by various tools in traditional and "flexible" project management. Traditional project management [1] considers the change management through the process of the integrated change control – the process that continues throughout the whole project and lies in rejecting or approving change requests that are typically generated as monitoring and control outputs. In fact, documenting and controlling changes but not their justification and management are mentioned. Changes complexity and cost in the traditional approach are growing dramatically when the project starts. Agile-methodologies of project management have a greater degree of adaptability due to its iteration, but it is mainly used in IT-projects [2–4]. In turn, Requirements Engineering describes the process of identifying, documenting and fulfilling requirements and is a part of system and computer engineering [5–7]. A characteristic feature of agile methodologies is recording project resources, that is project adaptability to changes is ensured by the changes of the project content (in traditional methodologies the content is fixed).

So there is a motivation to develop more effective methods of managing stakeholder requirements for projects that are executed according to the principles of traditional project management when changes in the project content are undesirable.

The **aim** of this paper is to improve the monitoring requirements of the project stakeholders by means of the development of appropriate methods and models.

**Presenting main material**

The execution of any project is accompanied by fulfilling the requirements of its stakeholders. A certain requirement of project stakeholders can be put into correspondence with project activities that ensure carrying out this requirement.

This can put a request in accordance with the project stakeholders and to ensure compliance with this requirement. The work [8] deals with the results of the integration of the hierarchical structure requirements (Requirement Breakdown Structure, RBS) and classical hierarchical structure of the project (Work Breakdown Structure, WBS). The matrix of stakeholders controlled points obtained by their intersection connects a certain requirement with the activities that should be performed to fulfill the requirement. This approach enables monitoring carrying out the stakeholders' requirements with the set level of detalization, which, in turn, is determined by the level of detalization of WBS and RBS.

Certain resources are used while project planning. So, using the matrix of control points for fulfilling stakeholders' requirements all activities can be grouped according to the matrix of control points or according to individual stakeholders defining their resource intensiveness. This is the procedure of WBS development according to proper principles.

Allocating certain requirements to certain project stakeholders enables monitoring their fulfillment over time according to the actual amount of used resources by analogy with the method of earned value [1, 9].

Earned Value Management (EVM) is the methodology that combines the assessment of the content, schedule and resources to measure the project progress and achievement of its efficiency. Three key factors for each work package are monitored with the help of EVM:

- planned volume (PV) that is the authorized budget allocated to the planned activities;
- earned value (EV) that is the amount of work expressed in terms of the authorized budget;
- actual cost (AC) that is the actual costs spent during a certain period of time.

Let's define key factors for analyzing the earned value requirements of the project stakeholders – the factors of the method of monitoring requirements earned requirements method (ERM).

PR is planned volume of requirements that must be fulfilled for a specified time (estimated figure);

ER is the actual volume of requirements which was performed for a certain period of time (determined by the results of monitoring);

AC is the actual volume of resources in terms of money spent on the project for a certain period of time (determined by the results of monitoring);

SR is the scheduled deviation in terms of the requirements of the project stakeholders ( $SR = ER - PR$ ). Positive values are favorable, negative ones are poor. Zero value indicates the performance of targets;

CR is the value deviation in terms of the requirements of the project stakeholders ( $CR = ER - AC$ ). Positive values are favorable, negative ones are poor. Zero value indicates the performance of targets;

SPIR is the scheduled index in terms of the requirements of the project stakeholders ( $SPIR = ER / PR$ ). The value of the factor greater than 1 is favorable, less than 1 is poor. The indicator of value which is equal to one indicates the performance of targets;

CPIR is the value deviation in terms of the requirements of the project stakeholders ( $CPIR = ER / AC$ ). The value of the indicator greater than 1 is favorable, less than 1 is unfavorable. The indicator of value which is equal to one indicates the performance of targets.

Graphical interpretation of the suggested method is shown in Fig. 1: three curves PR, ER and AC are constructed for a conventional design; the schedule deviation (SR) and value deviation (CR) in terms of the requirements of stakeholders are shown. Outstripping the requirements and saving of the planned volume of the project budget occur while performing the project at the moment of time  $T$ .

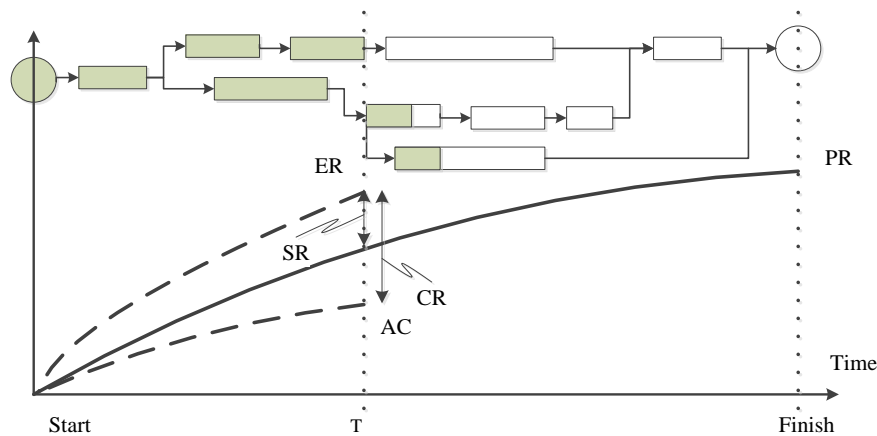


Fig. 1. The analysis of the earned value requirements of project stakeholders

The interpretation of the key indicators of ERM method is shown in Table. 1. It can be noted that the data

shown is the basis not only for monitoring but for the forecast of the project.

Table 1. The interpretation of key factors

The factors of project fulfillment		Requirements		
		SR>0; SPIR>1	SR=0; SPIR=1	SR<0; SPIR<1
Cost	CR>0; CPIR>1	plan outstripping, budget savings	fulfilling the planned requirements, budget savings	lag in fulfilling the requirements, budget savings
	CR=0; CPIR=1	plan outstripping, budgetary compliance	fulfilling the planned requirements, budgetary compliance	lag in fulfilling the requirements, budgetary compliance
	CR<0; CPIR<1	plan outstripping, budget deficit	fulfilling the planned requirements, budget deficit	lag in fulfilling the requirements, budget deficit

Effective implementation of the method of requirements monitoring involves the use of A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) [1]. To determine the role of the suggested method for effective project management the relationships between requirements and methods of monitoring processes and PMBOK 5 knowledge areas was analyzed. The results of the analysis are given

in fig. 2 which shows the spheres of project management, where this method is the most applicable.

The following designations are used: is one or more processes where this method can be conceptually used; is one or more processes for which this method is less important.

Knowledge areas	Project management process groups				
	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring & Controlling Process Group	Closing Process Group
4. Project Integration Management	4.1 Develop Project Charter ↑	4.2 Develop Project Management Plan ↑↑	4.3 Direct and Manage Project Work ↑↑	4.4 Monitor and Control Project Work 4.5 Perform Integrated Change Control ↑↑	4.6 Close Project or Phase ↑
5. Project Scope Management		5.1 Plan Scope Management 5.2 Collect Requirements 5.3 Define Scope 5.4 Create WBS ↑↑		5.5 Validate Scope 5.6 Control Scope ↑↑	
6. Project Time Management		6.1 Plan Schedule Management 6.2 Define Activities 6.3 Sequence Activities 6.4 Estimate Activity Resources 6.5 Estimate Activity Durations 6.6 Develop Schedule ↑↑		6.7 Control Schedule ↑↑	
7. Project Cost Management		7.1 Plan Cost Management 7.2 Estimate Costs 7.3 Determine Budget ↑↑		7.4 Control Costs ↑↑	
8. Project Quality Management		8.1 Plan Quality Management ↑	8.2 Perform Quality Assurance ↑	8.3 Control Quality ↑	
9. Project Human Resource Management		9.1 Plan Human Resource Management ↑	9.2 Acquire Project Team 9.3 Develop Project Team 9.4 Manage Project Team ↑		
10. Project Communications Management		10.1 Plan Communications Management ↑↑	10.2 Manage Communications ↑↑	10.3 Control Communications ↑↑	
11. Project Risk Management		11.1 Plan Risk Management 11.2 Identify Risks 11.3 Perform Qualitative Risk Analysis 11.4 Perform Quantitative Risk Analysis 11.5 Plan Risk Responses ↑↑		11.6 Control Risks ↑↑	
12. Project Procurement Management		12.1 Plan Procurement Management ↑	12.2 Conduct Procurements ↑	12.3 Control Procurements ↑↑	12.4 Close Procurements ↑
13. Project Stakeholder Management	13.1 Identify Stakeholders ↑↑	13.2 Plan Stakeholder Management ↑↑	13.3 Manage Stakeholder Engagement ↑↑	13.3 Control Stakeholder Engagement ↑↑	

Fig. 2. The method of monitoring requirements and PMBOK 5

For practical use of the suggested method the process of its implementation should be described. Within this work it is done using the methodology of functional design and graphic description of IDEF0

processes, which is designed to formalize and describe business processes.

Fig. 3 shows the contextual level of the suggested model.

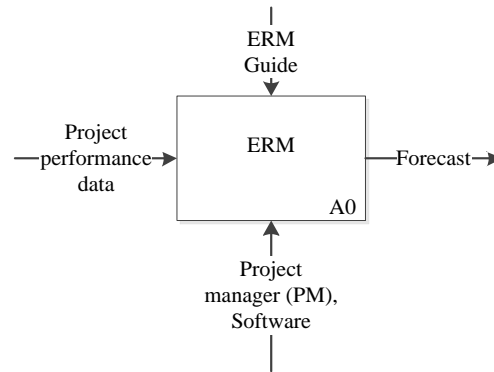


Fig. 3. The contextual model of the suggested method

Fig. 4 shows the decomposition of the process of using the method of monitoring project requirements. The arrows on the model presents inputs, outputs, mechanisms and control for the corresponding process.

Works [10–12] deal with the general approach to such modelling. The process approach to the decomposition of project stakeholders' requirements is also suggested.

The authors compared the hierarchical structure requirements (Requirement Breakdown Structure, RBS) and hierarchical processes (Process Breakdown Structure, PBS). The matrix of control points of fulfilling stakeholders' requirements obtained by their intersection connects a certain requirement with the processes that should be completed for its implementation. This approach enables monitoring the fulfillment the stakeholders' requirements.

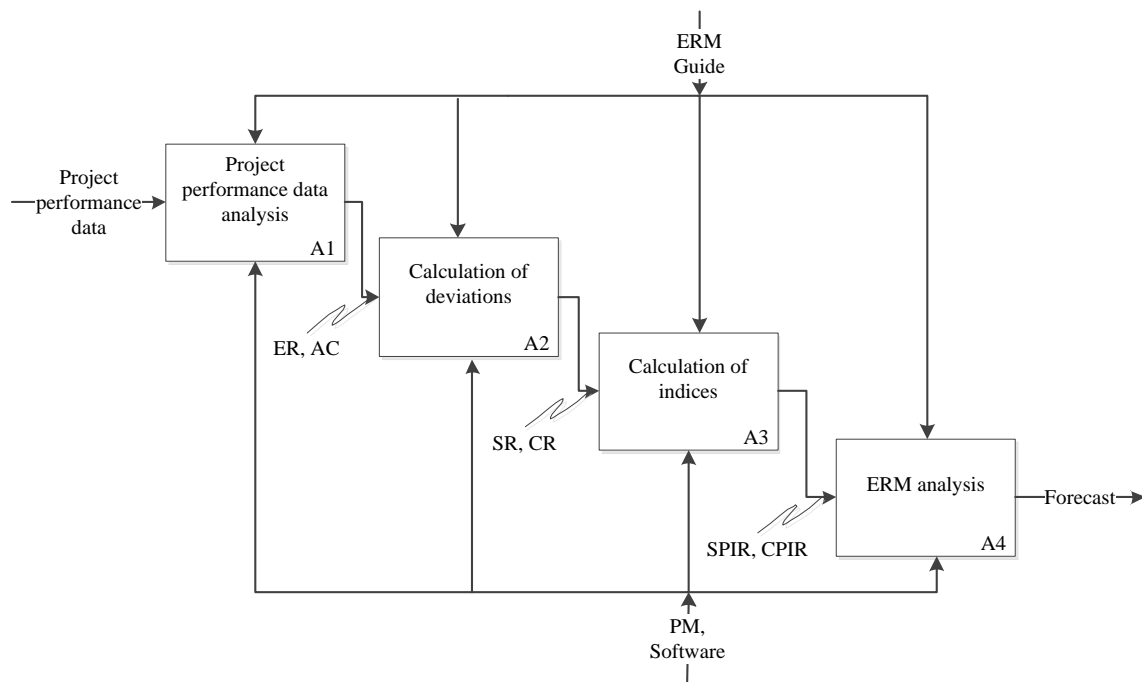


Fig. 4. Decomposition of ERM pattern use

### Conclusions and recommendations for further research

The authors suggested the approach which is based on the integration of the hierarchical structure of requirements and the hierarchical structure of the project and enables adding the factor of resource requirements which can be defined in monetary terms to the existing methods of classifying project stakeholders.

Further, it is necessary to create mechanisms of output data development to use this approach for considering available different types of stakeholder requirements which can be mutually exclusive (two or

more requirements cannot be simultaneously fulfilled within the project); supporting (the fulfillment of one requirement can help through the other one); independent (the fulfillment of a requirement does not affect the fulfillment of the other one); mandatory (requirements that must be met, for example, in accordance with the current legislation) as well as the fact that the ratio of "requirements-activities" looks like  $m \times n$ .

The method of monitoring requirements that enables monitoring the fulfillment of project stakeholders' requirements during proper time according to the actual amount of resources spent by analogy with the method of earned value.



## References

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide). Fifth Edition.* (2013), Newtown Square, Pa.: Project Management Institute, Inc., 614 p.
2. Highsmith, J. (2013), *Adaptive software development: a collaborative approach to managing complex systems*, Addison-Wesley.
3. Horkoff, J., Yu, E. (2014), "Interactive goal model analysis for early requirements engineering", *Requirements Engineering*, No. 21(1), pp. 29-61. Doi: 10.1007/s00766-014-0209-8.
4. Darwish, N. R., Megahed, S. (2016), "Requirements Engineering in Scrum Framework". *Requirements Engineering*, Vol. 149, no. 8, pp. 24-29. Doi: 10.5120/ijca2016911530.
5. Kotonya, G, Sommerville, I. (1998), *Requirements Engineering: Processes and Techniques*, John Wiley & Sons, 294 p.
6. Chemuturi, M. (2013), *Requirements Engineering and Management for Software Development Projects*, 266 p. Doi: 10.1007/978-1-4614-5377-2.
7. Miranda, E. (2011), "Time boxing planning: Buffered Moscow Rules", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, No. 36(6), pp. 1-5. Doi: 0.1145/2047414.2047428.
8. Husieva, Yu. Yu., Chumachenko, I. V., Sydorenko, M. V. (2016), "Managing stakeholder education projects", *Bulletin of the NTU "KhPI". Series: strategic management, portfolio, program and project management* ["Upravlinnya zatsikavlenymy storonamy osvithnikh proektiv", Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy], No 2(1174), pp. 8–12.
9. *Practice Standard for Earned Value Management* (2005), Newtown Square, Pa.: Project Management Institute, Inc., 56 p.
10. Husieva, Yu. Yu., Martynenko, O. S., Chumachenko, I. V. (2016), "Process approach to modeling and monitoring requirements of stakeholders", *Information technology and innovation in economics, project and program management* ["Protsesnyy pidkhyd do modelyuvannya i monitorynhu vymoh zatsikavlenykh storing", Informatsiyni tekhnolohiyi ta innovatsiyi v ekonomitsi, upravlinni proektamy ta prohramamy], pp. 289–296.
11. Husieva, Yu. Yu., Martynenko, O. S., Chumachenko, I. V. (2016), "Decomposition and formalizing the requirements of stakeholders in the process model", *International scientific-practical conference "Mathematical modeling of processes in economics and project and program management"* ["Dekompozysii ta formalizatsiia vymoh ctekkholderiv u protsesnykh modeliakh", Mezhdunarodnaia nauchno-praktycheskaia konferentsiia "Matematycheskoe modelyrovanye protsessov v ekonomyke y upravlenyu proektamy y prohramamy (MMP-2016)"], pp. 43–44.
12. Kadykova, I. M., Larina, S. O. (2016), "The formalization of processes - the basis of the development of information technology and project management software", *Project Management: Innovation, Nonlinearity, Synergetics: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference of Graduate Students, Graduates and Researchers* ["Formalizatsiia procesiv – osnova rozrobky informacijnoyi tekhnologij upravlinnya proektamy ta prohramamy" Upravlinnya proektamy: innovatsiyi, nelineijnist, synergetyka: Materialy VII Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi magistrantiv, aspirantiv ta naukoviciv], pp. 44–47.

Receive 14.06.2017

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

**Мартиненко Олександр Сергійович** – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, аспірант кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, м. Харків, Україна; e-mail: asmartynenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2055-2617.

**Мартыненко Александр Сергеевич** – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, аспирант кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: smartynenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2055-2617.

**Martynenko Oleksandr** – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Postgraduate Student at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: smartynenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2055-2617.

**Гусева Юлія Юрїївна** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, м. Харків, Україна; e-mail: yulia.guseva@kname.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6992-543X.

**Гусева Юлия Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: yulia.guseva@kname.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6992-543X.

**Husieva Yuliia** – PhD. (Engineering Sciences), Associate professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Associate Professor at the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yulia.guseva@kname.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6992-543X.

**Чумаченко Ігор Володимирович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, завідувач кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, м. Харків, Україна; e-mail: ivchumachenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2312-2011.

**Чумаченко Игорь Владимирович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, заведующий кафедрой управления проектами в городском хозяйстве и строительстве, г. Харьков, Украина; e-mail: ivchumachenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2312-2011.

**Chumachenko Igor** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of the Department of Project Management in Urban Economy and Construction, Kharkiv, Ukraine; e-mail: ivchumachenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2312-2011.

## МЕТОД ОСВОЄНИХ ВИМОГ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

Процеси управління вимогами значною мірою визначають успішність проекту і повинні забезпечувати його адаптивність до змін у вимогах зацікавлених сторін. На сьогодні ці процеси є недостатньо формалізованими, зокрема, для традиційного проектного менеджменту. Отже, є необхідність розробки та формалізації методів управління і контролю вимог. **Предметом** даного дослідження є методи управління вимогами стейкхолдерів у проектах. **Мета** статті – підвищення ефективності моніторингу вимог зацікавлених сторін проекту за рахунок розробки методу освоєних вимог та моделі, що формалізує цей метод. Для досягнення мети реалізовано наступні **завдання**: інтеграція ієрархічної структури вимог і класичної ієрархічної структури робіт проекту з отриманням матриці контрольних точок виконання вимог стейкхолдерів, що пов'язує певну вимогу з роботами, які необхідно здійснити для її виконання; розробка методу моніторингу вимог; побудова функціональної моделі запропонованого методу. Використано **методи** декомпозиції, функціонального моделювання, модифікований метод освоєного обсягу. Отримано такі **результати**: розроблено метод моніторингу вимог, який дозволяє відстежувати виконання вимог зацікавлених сторін проекту у часі у відповідності до обсягу фактично витрачених ресурсів за аналогією з методом освоєного обсягу. Підхід, що засновано на інтеграції ієрархічної структури вимог та ієрархічної структури робіт проекту, дозволяє доповнити існуючі методи класифікації зацікавлених сторін проекту показником ресурсомісткості вимог. **Висновки.** Запропонований метод формалізує процеси управління вимогами у проекті, дозволяє визначати ресурсне навантаження вимог, що доповнює існуючі моделі класифікації вимог цим показником. Підтримкою практичної реалізації методу є розроблена функціональна модель у нотації IDEF0. Визначено галузі проектного менеджменту (за стандартом РМВОК), для яких використання запропонованого підходу буде найбільш ефективним. У процесі формування вихідних даних для використання методу слід враховувати існування певних обмежень, які визначаються існуванням різних типів вимог зацікавлених сторін проекту і розмірністю множин "вимоги" та "роботи".

**Ключові слова:** стейкхолдери проекту, процеси управління, функціональне моделювання, РМВОК 5.

## МЕТОД ОСВОЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

Процессы управления требованиями в значительной степени определяют успешность проекта и должны обеспечивать его адаптивность к изменениям требований заинтересованных сторон. На сегодня эти процессы недостаточно формализованы, в частности, для традиционного проектного менеджмента. Следовательно, есть необходимость разработки и формализации методов управления и контроля требований. **Предметом** данного исследования являются методы управления требованиями стейкхолдеров в проектах. **Цель** статьи – повышение эффективности мониторинга требований заинтересованных сторон проекта за счет разработки метода освоённых требований и модели, которая формализует этот метод. Для достижения цели реализованы следующие **задачи**: интеграция иерархической структуры требований и классической иерархической структуры работ проекта с получением матрицы контрольных точек требований стейкхолдеров, связывающей определенное требование с работами, которые необходимо осуществить для его выполнения; разработка метода мониторинга требований; построение функциональной модели предложенного метода. Используются **методы** декомпозиции, функционального моделирования, модифицированный метод освоённого объема. Получены следующие **результаты**: разработан метод мониторинга требований, который позволяет отслеживать выполнение требований заинтересованных сторон проекта во времени в соответствии с объемом фактически израсходованных ресурсов по аналогии с методом освоённого объема. Подход, основанный на интеграции иерархической структуры требований и иерархической структуры работ проекта, позволяет дополнить существующие методы классификации заинтересованных сторон проекта показателем ресурсоемкости требований. **Выводы.** Предложенный метод формализует процессы управления требованиями в проекте, позволяет определять ресурсную нагрузку требований, дополняет существующие модели классификации требований этим показателем. Поддержкой практической реализации метода является разработанная функциональная модель в нотации IDEF0. Определены области проектного менеджмента (по стандарту РМВОК), для которых использование предложенного подхода будет наиболее эффективным. В процессе формирования исходных данных для использования метода следует учитывать существование определенных ограничений, которые определяются существованием различных типов требований заинтересованных сторон проекта и размерностью множеств "требования" и "работы".

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, факторы, риски, последствия, причинно-следственная диаграмма, коэффициенты влияния.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Мартиненко О. С., Гусева Ю. Ю., Чумаченко І. В. Метод освоєних вимог для моніторингу виконання проекту.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 58–63.

**Мартыненко А. С., Гусева Ю. Ю., Чумаченко И. В. Метод освоённых требований для мониторинга выполнения проекта.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 58–63.

**Martynenko O., Husieva Y., Chumachenko I. The method of earned requirements for project monitoring.** *Innovative technologies and scientific solutions for industries.* Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 58–63.

YA. NOSOVA, O. AVRUNIN, V. SEMENETS

**BIOTECHNICAL SYSTEM FOR INTEGRATED OLFACTOMETRY DIAGNOSTICS**

The **subject matter** of the article is the process of olfactometric research of a human olfactory function. The **object** of the study is a biotechnical system which includes a method for increasing the objectivity of olfactometric diagnostics. The **goal** is to develop a biotechnical system for complex olfactometry, which enables increasing the objectivity of olfactometric studies and connecting breathing parameters with olfactory function by placing an odorant carrier in the airway of the rhinomanometer, as well as by using procedures for determining the energy characteristics of respiration. The **methods used** are: methods of digital signal processing, the theory of biotechnical systems. The following results are obtained. A structural diagram of a biotechnical system for olfactometric diagnostics of a human olfactory analyser was developed. As a result of the analysis of the cyclogram of nasal breathing, it is found that by changing the frequency and nature of breathing upon reaching the sensitivity threshold, it is possible to objectify the method of assessing respiratory and olfactory disorders according to the energy criterion of pneumatic power when inhaling appropriate odorivectors, and also to study the olfactory and respiratory function with the capability of estimating respiratory cycles in a dynamic mode. The studies were carried out on the basis of typical inspiration cycles: with a quiet breathing in the normal conditions, in the forceful breathing mode with a stiff nasal valve, with a nasal valve with natural functional mobility which restricts the flow of air, and also a stepped inspiration – a short “sipping” of air, which can be characterized as a kind of “sniffing”. Conclusions. Computer olfactometry is one of the most promising methods for diagnosing olfactory disorders of respiratory genesis. The developed biotechnical system is based on the use of a fundamentally new design, combining a rhinomanometer and an olfactometric nozzle with a container for an odorant. A feature of this system is also the capability to determine the energy characteristics of nasal breathing when the sensitivity threshold of the odorivector is reached. The future direction of the work is to specify the concentrations of odorants for the biotechnical system for olfactometric diagnostics, which enables testing the sensitivity of the olfactory analyser on outpatient basis

**Keywords:** olfactory test, odorivector, rhinomanometer, olfactometry, energy characteristics.

**Introduction****General problem setting and analysis of literature sources.**

Olfactory disorders can be caused by various etiologies. It should be noted that there is no single generally accepted classification of olfactory disorders. However, they can be divided into congenital and acquired ones according to the time of their origination.

Permanent acquired smell impairments can be recognized regarding the complexity of the olfactory analyser structure:

- a) rhinogenic, connected with the pathology of the nasal cavity;
- b) neurosensory, that is peripheral (when neuroepithelial cells are involved in the nasal cavity and olfactory nerves) and central (when the structures in the anterior cranial fossa are affected, e.g. olfactory bulb, tract, triangle, or lesion of the central cortical parts of the olfactory analyser) [1-3].

Rhinogenic dysosmias can be caused by diseases of the nose and nasal tracts, accompanied by a mechanical impediment to the access of odorants to the olfactory area, and change in the pH of the secretion of the Bowman glands, which is a solvent of odorous substances. The olfactory apparatus is affected by atrophic and subatrophic changes in the nasal mucosa and metaplasia of the ciliated epithelium [1].

There are many different methods for studying the olfactory analyser, starting with the visual analogue scale and ending with olfactory scintigraphy [4–8].

Olfactory examinations are divided into subjective and objective ones. Subjective examinations take place when a research subject should consciously respond to a smell, its intensity, quality, pleasantness [9–10].

The objective one happens when the reaction of the

nervous system is recorded. Doty [11] classifies olfactory tests into 3 categories: psychophysical, electrophysiological and psychophysiological ones.

**Theoretical part**

In the context of cooperation between the department of otorhinolaryngology of Kharkiv National Medical University and the Department of Biomedical Engineering of Kharkov National University of Radio Electronics, a biotechnical system for complex olfactometric diagnostics of a human olfactory analyser, based on a computer olfactometer, was developed (fig.1).



**Fig. 1.** General view of the device for complex olfactometric diagnostics

The numerical values of the parameters of measured quantities of the developed biotechnical system are as follows:

- the maximum pressure drop across the nasal meatus can reach the value of up to 40 kPa;
- the maximum air consumption during breathing in the inspiratory cycle according to spirometry is up to

8 l / s;

- the range of measurements of auxiliary sensors, that determine the pressure drop under the oxygen mask during inhalation and exhalation, can be selected on the assumption that the aerodynamic resistance of the supplying breathing equipment (mask and connecting hoses) is an order of magnitude less than the aerodynamic resistance of the respiratory tract, which is confirmed experimentally [12];

- the error of most standard primary converters used in medical equipment for respiratory diagnostics is about 5%, and a quantizing step while digitizing an analogue signal should be 10% less than the measurement error; this should be taken into account when selecting analogue sensors. Therefore, the quantizing step should not exceed 0.5% of the maximum signal value, which corresponds to 256 levels of the 8-bit ADC;

- the sampling frequency of measuring signals of the order of hundreds of Hz should be selected considering the duration of the breathing cycle that can be from 0.5 to 10s [12], as well as the possibility of testing in a dynamic mode while examining the comparatively high-frequency

components (up to tens of Hz) of the air flow signal when diagnosing the function of the nasal valve [13];

- the simplicity of preparatory procedures by medical personnel (sterilization, adjustment, calibration) and, directly, testing itself (selection of measurement modes, data analysis and visualization), which is also one of the basic requirements for wide using the device in clinical practice.

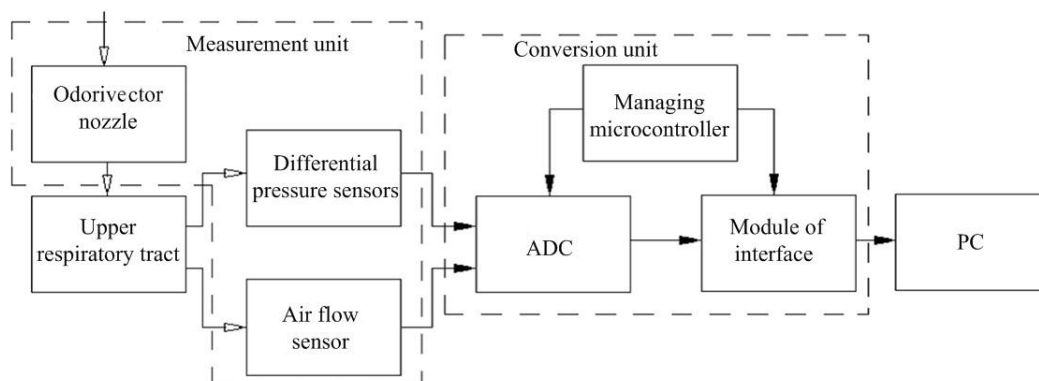
Thus, the biotechnical system for complex olfactometric diagnostics (the structural diagram is shown in fig. 2), includes:

- measuring unit, containing a nozzle with a container of odorant and adjustable air supply;

- pressure and air flow sensors that send signals to the converter unit;

- converter unit in which the output signals of the sensors are digitized by means of the ADC and transmitted through the interface module to the PC.

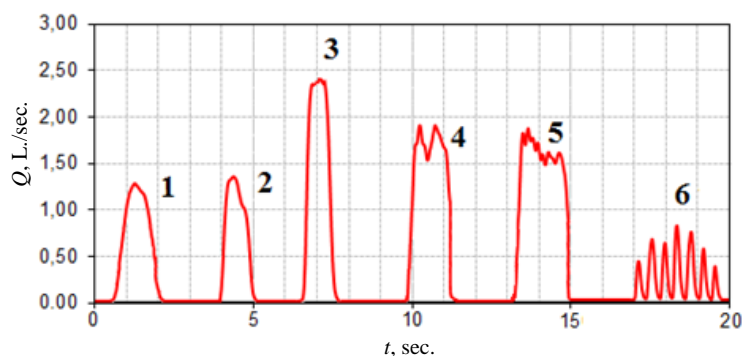
The controlling microcontroller, according to the selected mode, generates the necessary gate pulses. High-level signal processing, visualization, analysis and recording of testing results are performed on the PC with the help of software [13].



**Fig. 2.** Structural diagram of the biotechnical system for complex olfactometric diagnostics

Studies of rhinomanometry data in a dynamic mode (with visualization of the respiratory cycle) [14] create new possibilities for analysing and interpreting the results of nasal breathing testing. Thus, Fig. 3 shows typical inspiration cycles while normal breathing (1 and 2, respectively), while forceful breathing mode with a stiff nasal valve (3), and with a nasal valve with natural

functional mobility that limits the air flow with a characteristic truncated vertex at the cyclogram (4 and 5, respectively), as well as a stepped inspiration (6) that is a short “sipping” of the air, which can be characterized as a kind of “sniffing”, which is illustrated by the high frequency beats of the signal in the diagram of air consumption.



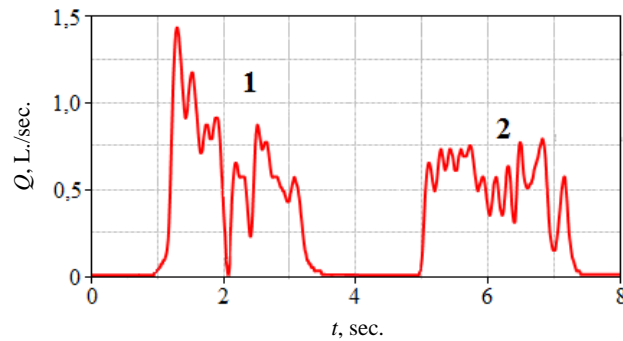
**Fig. 3.** Variants of respiratory cycles

1, 2 – quiet breathing (natural); 3 – forceful breathing (stiff nasal valve); 4, 5 – forceful breathing – stepped inspiration (natural operation mobility of a nasal valve); 6 – stepped inspiration – “sniffing”



In this case, stepped inspiration can be realized in the course of a complete voluntary short-term respiratory arrest or involuntary one (due to the nasal valve mobility, the dynamics of the external nose alae) for a short-term

respiratory arrest (cycles (6) in fig. 4 and cycle (1) in fig. 5), or while simple alternating deceleration and acceleration of inspiration (cycle (2) in fig. 3).

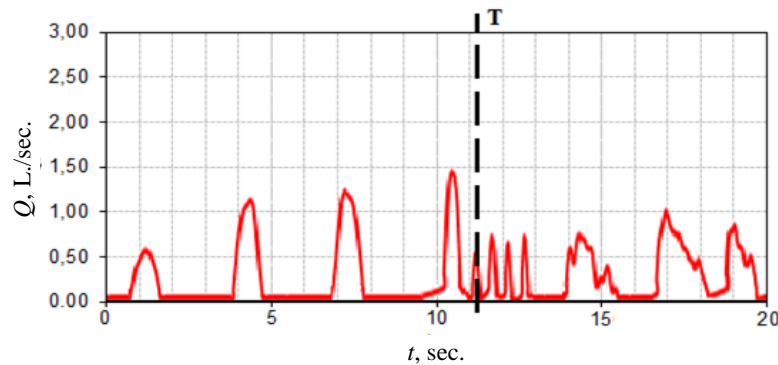


**Fig. 4.** Respiratory cycles with stepped inspiration (1 – in the course of a short-term respiratory arrest, 2 – while simple alternating deceleration and acceleration of inspiration)

In the course of forceful breathing, this cyclogram also indicates the stiffness of the nasal valve with inspiratory flow signals in the form of almost perfect half-periods of the sinusoid.

Normally, when a research subject feels an odorivector, his breathing voluntarily accelerates for a short period of time when approaching the sensitivity threshold

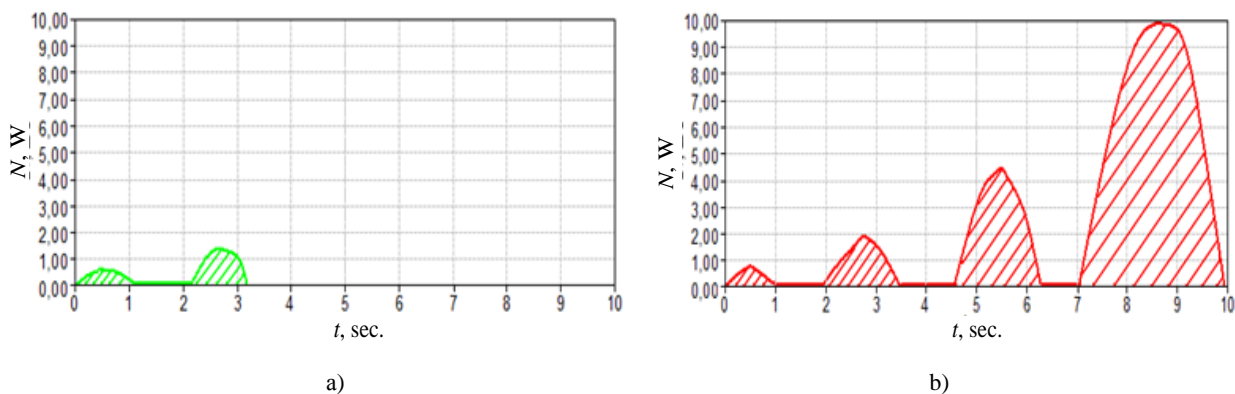
(when the intensity of breathing increases); and when the sensitivity threshold is reached, the breathing cycles turn into “sniffing”, which contributes to deeper air entry into the olfactory area and odour recognition. This moment of time can be characterized as the beginning of the sensitivity threshold of the odorivector – T (see fig. 3 and fig. 5).



**Fig. 5.** Cyclogram of air consumption for nasal breathing (T – sensitivity threshold)

The obtained facts make it possible to use signals in the area of the cyclogram that is located to the left of the sensitivity threshold T (see fig. 5) in order to calculate the energy characteristics of the nasal breathing; and to use the shaded area in the pneumatic breathing power diagram

(fig. 6) in order to determine energy respiratory costs for diagnosing disorders of the olfactory sensitivity in the normal conditions (fig. 6, a) and under nasal meatus obstruction (fig. 6, b) in an automatic mode.



**Fig. 6.** Cyclogram of air consumption for nasal breathing a) for polyposis ethmoiditis, b) physiological fluctuations



### Conclusions

Computer olfactometry is one of the most promising methods for diagnosing olfactory disorders of respiratory genesis. The developed biotechnical system is based on the use of a fundamentally new design that combines a rhinomanometer and an olfactometric nozzle with a container for an odorant. A feature of this system is also the capability to determine the energy characteristics of nasal breathing when the sensitivity threshold of an odorivector is reached. The analysis of the cyclogram of nasal breathing indicated that by changing the frequency and nature of breathing upon reaching the sensitivity

threshold, it is possible to objectify the method of assessing respiratory and olfactory disorders according to the energy criterion of pneumatic power when inhaling appropriate odorivectors, and also to study the olfactory and respiratory function with the capability of estimating respiratory cycles in a dynamic mode. This contributes to detecting respiratory and olfactory disorders. Specific breathing cycles of the stepped inspiration correspond to the odorivector sensation.

The future direction of the work is to specify the concentrations of odorants for the biotechnical system of olfactometric diagnostics, which enables rapid testing of respiratory-olfactory disorders.

### References

1. Alekseeva, N., Ponomareva, T. (2014), "Diagnosis of olfactory impairment with the help of the Snuffin Styx test for Parkinson's disease and polypous rhinosinusitis", *Bulletin of Otorhinolaryngology*, No. 1, pp. 37-40.
2. Avrunin, O., Shushlyapina, N., Nosova, Y., Bogdan, O. (2016), "Olfactometry diagnostic at the modern stage", Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 12 (1184), pp. 95-100, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.13.
3. Kim, W. S., Jang, D. P., Kim, In Y. (2014), "The Current Status of Evaluation Technologies for the Function of Human Olfaction", *Hanyang Med Rev*, No. 34, pp. 120-124
4. Heiselmann, H. L., Rivlin, R. S. (1986), "Clinical measurement of taste and smell", New York, pp.170-186.
5. Dzaman, K., Rapiejko, P., Szczygielski, K. et al. (2009), "Taste perception in patients with chronic rhinosinusitis with nasal polyps treated with oral glucocorticosteroid therapy", *Otolaryngol*, Vol. 63, No. 3, pp. 236-241.
6. Vodichka, J., Pellant, A., Chrobok, V. (2007), "Screening of olfactory function using odorized marcers", *Rhinology*, Vol. 44, pp. 164-168.
7. Zhao, H., Wei, Y., Miao, X. (2007), "Correlation between olfactory disorders and morphology of nasal cavity", *Lin. Chung. Er. Bi. Yan.*, Vol. 21, pp. 771-774.
8. Ciprandi, G., Mora, F., Cassano, M. (2009), "Visual analog scale (VAS) and nasal obstruction in persistent allergic rhinitis", *Otolaryngol. Head Neck Surg*, Vol. 141, pp. 527-529.
9. Scadding, G., Hellings, P., Alobid, I., Bachert, C., Fokkens, W. et al. (2011), "Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper", *Clinical and Translational Allergy*, No. 1:2, pp. 1-39
10. AyaFukasawa, K. O. (2013), "Olfactory Measurement Method at Health checkup with Olfactory Display using Pulse Ejection", *International Journal of Informatics Society*, No. 5, pp. 13-19
11. Doty, R. L. (2012), "Olfactory dysfunction in Parkinson disease", *Nat. Rev. Neurol*, Vol. 8., pp. 329-339
12. Stalemate. No. 91762 Ukraine, IPC A61B 5/08. Device for testing nasal breathing / Avrunin O., Zhuravlev A., Kalashnik M., Yaschenko M., Semenets V.; Applicant and patent holder Kharkiv National University of Radio Electronics. No. a200814356; applied. 15.12.2008; publ. 25.08.2010, Bul.: No. 16.
13. Avrunin, O. (2011), "Principles of Computer Planning of Functional Operational Interventions", *Technical Electrodynamics, Issue "Power Electronics and Energy Efficiency"*, Vol. 2, pp. 293-298
14. Device for testing respiratory disturbances of olfactory: pat. 110452 C2 Ukraine: МПКА61В 5/08 (2006.01) / Avrunin O., Zhuravlev A., Shushlyapina N., Nosova Y., Faruk Kh., Applicant and Patent Owner Kharkiv National University of Radio Electronics. No. 201500603; stated. January 26, 2015; published Jun 10, 2015, Bul. No. 11, 4 p.

Receive 07.07.2017

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

**Носова Яна Віталіївна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри біомедичної інженерії, м. Харків, Україна; e-mail: yana.nosova@nure.ua, ORCID: 0000-0003-4310-5833.

**Носова Яна Витальевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспірант кафедри біомедицинської інженерії, г. Харьков, Україна; e-mail: yana.nosova@nure.ua, ORCID: 0000-0003-4310-5833.

**Nosova Yana** – Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, post-graduate student of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yana.nosova@nure.ua, ORCID: 0000-0003-4310-5833.

**Аврунін Олег Григорович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії, м. Харків, Україна; e-mail: oleg.avrunin@nure.ua, ORCID: 0000-0002-6312-687X.

**Аврунін Олег Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, г. Харьков, Украина; e-mail: oleg.avrunin@nure.ua, ORCID: 0000-0002-6312-687X.

**Avrunin Oleg** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Chief of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv, Ukraine; e-mail: oleg.avrunin@nure.ua, ORCID: 0000-0002-6312-687X.

**Семенец Валерій Васильович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, ректор Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, Україна; e-mail: valery.semenets@nure.ua, ORCID: 0000-0002-0952-6389.

**Семенец Валерий Васильевич** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ректор Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина; e-mail: valery.semenets@nure.ua, ORCID: 0000-0002-0952-6389.

**Semenets Valery** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Rector at the Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: valery.semenets@nure.ua, ORCID: 0000-0002-0952-6389.

## БІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЛЬФАКТОМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

**Предметом** вивчення в статті є процес ольфактометричного дослідження нюхової функції людини. **Об'єкт дослідження** – біотехнічна система, що включає спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричної діагностики. **Мета** – розробка біотехнічної системи для комплексної ольфактометрії, що дозволить підвищити об'єктивність ольфактометричних досліджень, і за рахунок розміщення носія пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра, а також процедур визначення енергетичних характеристик дихання, зв'язати параметри дихання з показниками нюхової функції. Використовуваними **методами** є: методи цифрової обробки сигналів, теорія біотехнічних систем. Отримані наступні **результати**. Розроблено структурну схему біотехнічної системи для ольфактометричної діагностики нюхового аналізатора людини. В результаті аналізу циклограм носового дихання встановлено, що за зміною частоти і характеру дихання при досягненні порогу відчуття можна об'єктивізувати метод оцінки респіраторно-нюхових порушень з урахуванням енергетичного критерію пневматичної потужності при вдиханні відповідних одорівекторів, а також вивчати нюхову і дихальну функцію з можливістю оцінки дихальних циклів в динамічному режимі. Дослідження проводилися на основі типових циклів вдиху: при спокійному диханні в нормі, у форсованому режимі дихання при ригідності носового клапану, при носовому клапані з нормальною функціональною рухливістю, яка обмежує потік повітря, а також ступінчастий вдих – коротке "потягування" повітря, яке можна охарактеризувати, як своєрідне "принюхування". **Висновки**. Комп'ютерна ольфактометрія є одним з найбільш перспективних методів діагностики нюхових порушень респіраторного генезу. Розроблена біотехнічна система заснована на застосуванні принципово нової конструкції, що поєднує в собі риноманометр та ольфактометричну насадку з контейнером для пахучої речовини. Особливістю даної системи є також можливість визначати енергетичні характеристики носового дихання при досягненні порогу відчуття одорівектора. Перспективою роботи є уточнення концентрацій пахучих речовин для біотехнічної системи для ольфактометричної діагностики, що дозволяє на амбулаторному прийомі проводити тестування чутливості нюхового аналізатора.

**Ключові слова:** тест нюховий, одорівектор, риноманометрія, ольфактометрія, характеристики енергетичні.

## БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЛЬФАКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Предметом** изучения в статье является процесс ольфактометрического исследования обонятельной функции человека. **Объект исследования** – биотехническая система, включающая способ повышения объективности ольфактометрической диагностики. Цель – разработка биотехнической системы для комплексной ольфактометрии, что позволит повысить объективность ольфактометрических исследований, и за счет размещения носителя пахучего вещества в воздушном тракте риноманометра, а также процедур определения энергетических характеристик дыхания, связать параметры дыхания с показателями обонятельной функции. Используемыми **методами** являются: методы цифровой обработки сигналов, теория биотехнических систем. Получены следующие **результаты**. Разработана структурная схема биотехнической системы для ольфактометрической диагностики обонятельного анализатора человека. В результате анализа циклограмм носового дыхания установлено, что по изменению частоты и характера дыхания при достижении порога ощущения можно объективизировать метод оценки респираторно-обонятельных нарушений по энергетическому критерию пневматической мощности при вдыхании соответствующих одоривекторов, а также изучить обонятельную и дыхательную функцию с возможностью оценки дыхательных циклов в динамическом режиме. Исследования проводились на основе типичных циклов вдоха: при спокойном дыхании в норме, в форсированном режиме дыхания при ригидном носовом клапане, при носовом клапане с нормальной функциональной подвижностью, ограничивающей поток воздуха, а также ступенчатый вдох – короткое "потягивание" воздуха, которое можно охарактеризовать, как своеобразное "принюхивание". **Выводы**. Компьютерная ольфактометрия является одним из наиболее перспективных методов диагностики обонятельных нарушений респираторного генеза. Разработанная биотехническая система основана на применении принципиально новой конструкции, сочетающей в себе риноманометр и ольфактометрическую насадку с контейнером для пахучего вещества. Особенностью данной системы является также возможность определять энергетические характеристики носового дыхания при достижении порога ощущения одоривектора. Перспективой работы является уточнение концентраций пахучих веществ для биотехнической системы для ольфактометрической диагностики, позволяющей на амбулаторном приеме проводить тестирование чувствительности обонятельного анализатора.

**Ключевые слова:** тест обонятельный, одоривектор, риноманометр, ольфактометрия, характеристики энергетические.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Носова Я. В., Аврунин О. Г., Семенец В. В.** Біотехнічна система для комплексної ольфактометричної діагностики. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 64–68.

**Носова Я. В., Аврунин О. Г., Семенец В. В.** Биотехническая система для комплексной ольфактометрической диагностики. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 64–68.

**Nosova Y., Avrunin O.** Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 64–68.

YU. PARFENENKO

## THE MODEL OF DECISION SUPPORT IN CENTRALIZED HEATING MANAGEMENT ON THE CONSUMER SIDE

To manage centralized heat supply on the consumer side, it is necessary to implement an energy management system as an instrument for reducing the consumption of energy by using energy resources efficiently. The implementation of the energy management system requires monitoring, accounting, analyzing and making decisions in the management of heating system. The **subject** matter of this study is the information support of decision making in the management of centralized heat supply. The **aim** of the work is to develop a model for decision support in the management of heat supply modes on the consumer side. The tasks of the research include the selection of methods, the development of a model for making decisions while managing heat supply modes and its implementation in the decision support system (DSS). The current state of information technologies used for solving the problem of decision making support in centralized heating management is analyzed. A model for determining a regulating variable for establishing the necessary heat supply mode with the use of fuzzy set theory and methods of fuzzy logic is developed. On the basis of the expert survey, the term sets of linguistic variables of the model of fuzzy logic decision making in managing heat supply modes were determined, membership functions of each linguistic variable of the model and rules of logical deduction were developed. The **result** of the model operation is making the recommendation as for controlling the current mode of heat supply, which can take the values "below the required", "acceptable", "optimal", "exceeds the optimum" up to the required one among the probable values of "acceptable", "optimal" under the temperature conditions of the environment "very cold", "cold", "moderate" or "warm". The developed model is implemented in the information technology of decision support in the management of heat supply of public sector objects. On the basis of this technology, the decision support system which ensures the automatization of the tasks of monitoring the current state of the heating system was developed, the assessment of the predicted volume of heat energy consumption as well as decision support of the heat supply management on the customer side. The use of the developed model in the decision support system while managing the heat supply systems on the consumer side enables reducing the level of heat energy consumption necessary to heat buildings while preserving the necessary temperature mode in heated premises.

**Keywords:** energy saving, heat supply, model, fuzzy logic, decision support.

### Introduction

Today there is a tendency of increasing the volume of heat energy consumption along with the growth of prices for primary energy resources. At the same time, the efficiency of the use of energy resources is low, due to a number of factors, such as: lack of information about energy and operational parameters of buildings, lack of financial resources required to implement energy saving procedures; absence of motivation among the personnel of facilities, which results in failure to observe comfortable conditions in premises.

The implementation of energy saving procedures in centralized heat supply systems on the consumer side is aimed at reducing heat consumption by reducing the amount of heat energy is an urgent task. The realization of these procedures requires the implementation of energy management according to the standard ISO 50001:2011 [1], which, in turn, requires creating organizational and informational conditions that enable selecting the best options of management. The use of information technology in managing heat supply on the consumer side is aimed at automating such energy management tasks as accounting the amount of consumed heat, analyzing heat demands and making recommendations as for the management of heat supply in order to maintain comfortable conditions in heated premises and eliminate excess heat consumption.

### Analysis of literary data and problem statement

Managing the centralized heat supply system on the consumer side is carried out at an individual thermal point (ITP) and is aimed at providing end consumers with the

mode they need, that is, at ensuring sanitary standards of air temperature in heated premises. The heat management system at the ITP is designed to change the coolant rate. The management is maintained on the basis of the current state of heat supply, taking into account the change in the factors of influence on the demand for thermal energy to establish the required heat supply mode [2]. In the process of making administrative decisions and preparing for their realization by a building energy manager, information decision support should be provided, which is due to a large number of subordinate objects and, as a consequence, the necessity of timely response to the trends in the change of heating demands.

Information support of managing heat supply requires the development of simulating, optimizing and forecasting models, as well as decision support models that enable developing various management options. Due to the complexity of the centralized heat supply system and the uncertainty of the factors affecting the demands for thermal energy, methods of artificial intelligence are widespread in solving various problems in heat engineering. Systems based on fuzzy logic are used to support decisions made while selecting insulating material for elements of piping systems and for assessing their performance [3, 4], for managing the heat energy transmission [5], and detecting deviations in energy consumption [6]. Proactive and framing models [3] are used to support decisions as for normal operating the heat supply network.

Although most of researches is aimed at solving the problem of optimizing the operation of the centralized heat supply system at the stages of production and transmission of heat energy, in recent years more and more attention has been paid to centralized heat supply management on the customer side [7].

Decisions in managing centralized heat supply on the consumer side are made under a priori uncertainty due to inaccuracy and incompleteness of input data, the stochastic nature of external influences, lack of an adequate mathematical model of heating system operation, ambiguity of the purpose and a human factor. This leads to the increased risk of ineffective decisions, which may have negative economic, technical and social consequences. Therefore, while managing energy supply on the customer side, the use of online approaches is efficient; these approaches should provide continuous monitoring of the indicators of heating system operation and supporting decisions in real-time management of heat supply [8].

The analysis of literary sources which deal with solving the problem of centralized heat supply management has shown that the problem of managing heat supply on the consumer side is not sufficiently investigated. Improving the informational support of decision-making processes for centralized heat supply management on the customer side increases the efficiency of decisions made, which, in turn, reduces the heat energy consumed in a building while providing comfortable conditions in heated premises.

**The goal and objectives of the study.** The goal of the research is to develop a model of decision support for managing centralized heat supply on the customer side. In order to achieve the goal, particular methods should be selected, a model for making a decision as for managing heat supply modes should be developed and implemented in the system of decision support.

### Methods and materials of research

Methods of the theory of fuzzy sets and fuzzy logic are selected in order to develop the system of decision support while managing the operation of the centralized heating system on the customer side. Such methods use linguistic values and statements to describe decision-making strategies. This enables using expertise about managing heat supply modes on the customer side, if there is no mathematical model for making decisions.

The model of fuzzy logic decision-making in order to manage the modes of heating public sector objects can be described as a function

$$Z=F(ZY, BY), \quad (1)$$

where  $Z$  – is the value of a control parameter;

$ZY$  – is a variable characterizing an actual mode of heating;

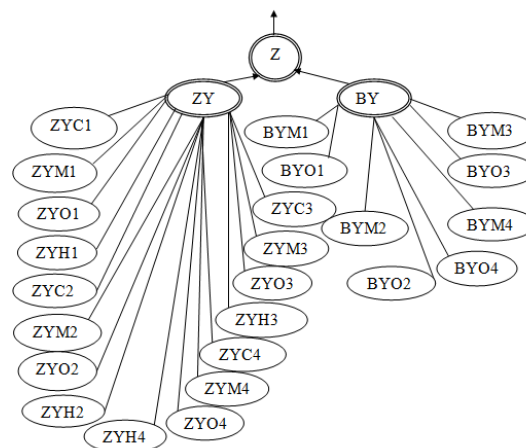
$BY$  – is a variable characterizing a required mode of heating.

Linguistic variable  $ZY$  "actual heating mode" is determined on the universal set  $U(ZY) = [0, 50]$  (Gcal). The term set of linguistic variable  $T(ZY) = T(ZY1) \cup T(ZY2) \cup T(ZY3) \cup T(ZY4)$  consists of terms of linguistic variables  $ZY1, ZY2, ZY3, ZY4$ . The term set of linguistic variable  $T(ZY1) = \langle ZYC1, ZYM1, ZYO1, ZYH1 \rangle$  determines the actual modes of heat supply "below the required", "acceptable", "optimal", "exceeds the optimum" under temperature conditions "very cold". The term sets  $T(ZY2), T(ZY3), T(ZY4)$  determine the same heating modes as the term set  $T(ZY1)$ , but under temperature conditions "cold", "moderate", "warm".

Linguistic variable  $BY$  "actual heating mode" is defined by the universal set  $U(Y) = [0, 50]$  (Gcal). The term set of a linguistic variable  $T(BY) = T(BY1) \cup T(BY2) \cup T(BY3) \cup T(BY4)$  consists of terms that determine the permissible and optimal modes for heating the linguistic variables  $BY1, BY2, BY3, BY4$ . The term set of linguistic variable  $T(BY1) = \langle BYM1, BYO1 \rangle$  determines the necessary modes of heating, "acceptable", "optimal", under the temperature conditions "very cold". The term sets  $T(BY2), T(BY3), T(BY4)$  determine the same heating modes as the term-set  $T(BY1)$ , but under temperature conditions "cold", "moderate", "warm". The linguistic variable  $Z$  is defined on the universal set  $U(Z) = [-50, 50]$  (Gcal). The term set of linguistic variable  $T(Z) = \langle D1...D8, NC, II...I8 \rangle$ . The functions of the terms of the linguistic variables  $ZY, BY, Z$  are developed on the basis of expert assessments according to the method [9]. For variables  $ZY$  and  $BY$ , a trapezoidal membership function is selected, and for a  $Z$ -variable a triangle one is selected.

The mode of heat supply according to the amount of heat energy consumed in a building and temperature conditions of the environment is determined with the use of the model presented in [10].

The structure of the fuzzy logic decision-making in order to control the heating mode on the consumer side is shown in the form of a tree in fig. 1.



**Fig. 1.** The structure of a fuzzy logic model of decision-making for managing the mode of heating in the form of a tree



To determine the value of a control parameter, the following rules are developed:

**If ZY is ZYM1 and BY is BYM2 then Z=NC. (2)**

Rule (2) has the preconditions: ZY is ZYM1, BY is BYM2. The rule is interpreted as: if mode "Acceptable 1"

is currently set and tomorrow "Acceptable 1" should be also set, the control parameter should be "Kept unchanged". A fragment of the rule database for making a decision for managing the heating mode is given in table 1.

**Table 1.** A fragment of the rule database to make a decision for managing the heat supply mode

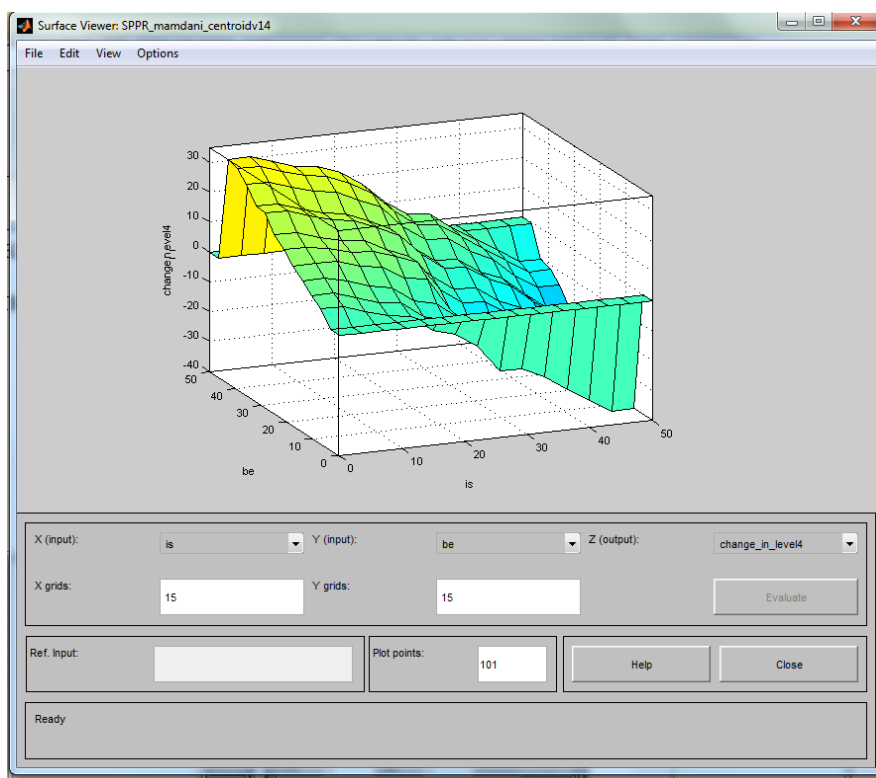
№ rule	input variables		output variables
	ZY	BY	Z
1	ZYC1	BYM1	I4
2	ZYC1	BYO1	I6
3	ZYM1	BYM1	NC
4	ZYM1	BYO1	I2
...	...	...	...
125	ZYO4	BYM4	D8
126	ZYO4	BYO4	NC
127	ZYH4	BYM4	D6
128	ZYH4	BYO4	D7

### Research results

To implement the suggested model of fuzzy logic decision-making, the package of extension of software application Matlab Fuzzy Logic Toolbox is used, which

enables developing fuzzy logic systems in graphical mode.

The characteristic surface for the rule database, the fragment of which is given in Table 1, is shown in fig. 2.



**Fig. 2** The characteristic surface of dependence of the initial value on the input values of the model for determining a control parameter

The result of the model (1) is making a recommendation to adjust the current mode of heating to the required selecting between possible values "Acceptable" and "Optimal".

The developed model of decision support in managing centralized heat supply on the consumer side has been used for the development of information

technology [11], on the basis of which a decision support system was developed for managing heat supply of public sector objects (DSS "HeatCAM").

DSS "HeatCAM" is implemented as a web-application with authorized access on the basis of client-server architecture.



The generalized architecture of DSS "HeatCAM", which includes data storage and manipulation, a web server, a client browser, as well as a set of software modules that implement data processing are presented in fig. 3.

The main functions of DSS "HeatCAM" implemented by its relevant subsystems are real-time

monitoring of heat consumed in a building, calculating the daily monitoring indicators based on the data collected in the operational mode, determining the predicted value of heat consumption for the next day, determining the current mode of heating and making recommendations for managing heat supply mode [12].

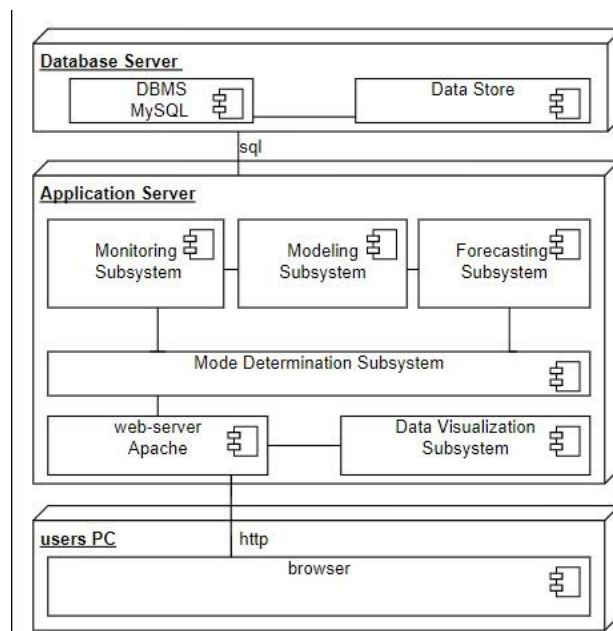


Fig. 3. General architecture of DSS "HeatCAM"

An engineer is usually a decision-maker who is responsible for energy auditing and energy conservation. He monitors the current heating mode and, on the basis of the recommendations made by DSS "HeatCAM", makes a decision as for adjusting the heat supply mode.

A decision maker can work with DSS "HeatCAM" from any computerized workplace that has access to the Internet through the web-interface of the system.

The result of determining the current mode of heating and comparing the obtained value with the planned one is reviewed. The mode of heat supply which should be set for the next day can also be selected; the value of a control parameter can be obtained, namely, the amount of heat energy that a building should consume in one day, and the coolant costs.

To decide on managing a heating mode, a consumer should first select which heat supply mode (optimal or acceptable) should be installed for the next day and start the calculation. Then the program module for determining the mode requests the database and receives the input data for the model for determining a control parameter. After receiving the input data, the program module of a mode definition page launches the command file \*.bat that transmits the input parameters to the model implemented in MatLab. The result of the fuzzy logic decision making is entered into the database and displayed on the web page.

The social economic effect of DSS implementation is determined by heat energy consumption saved by public sector objects when standard temperature conditions are maintained in premises that are heated.

In order to assess the quality of decisions made with the help of the developed model, an experimental study was carried out, in the course of which it was found out that while analyzing 700 decisions suggested by DSS "HeatCAM" a number of correct decisions was 671. Thus, the risk of making incorrect decisions is 4.1 %.

The average value of the amount of heat energy spent for heating a building during the heating season without the use of DSS was calculated as well as the amount of heat energy that would be spent if the decisions suggested by DSS was made.

The calculated values of the level of heat consumption were compared, and it was established that the management of heat supply on the customer side with the use of DSS "HeatCAM" as a decision support tool enabled reducing the consumption of thermal energy in natural parameters by 15 % when standard temperature conditions are maintained in premises that are heated.

## Conclusions

The research resulted in the development of a model of fuzzy logic decision-making in order to manage the supply of heat. The developed model is implemented in the system of decision support in the management of heat supply of public sector objects with the help of DSS "HeatCAM". The reliability of the suggested model is practically proved while using DSS "HeatCAM" as a tool for decision support.

## References

1. Parfenenko, Yu., Shendryk, V., Nenia, V., Vashchenko, S. (2014), "Information System for Monitoring and Forecast of Building Heat Consumption", *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 465, pp. 1–11, DOI: 10.1007/978-3-319-11958-8\_1.
2. Shendryk, V., Nenia, V., Aleksenko, O., Parfenenko, Yu. (2017), "Information supporting of decision making for energy management in district heating", *Renewable and Alternative Energy: Optimum Decision Making in Asset Management*, Chapter 14, pp. 310-333, DOI: 10.4018/978-1-5225-0651-5.ch014.
3. Parfenenko, Yu. V., Nenia, V. G., Bondarenko, A. O. (2015), "Information technology for decision-making support in the management of centralized heating supply modes", *Technology audit and production reserves*, No. 1/2 (21), pp. 8–13, DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37175.
4. Dubovoj, V. M., Kabachij, V. V., Panochyshyn, Yu. M. (2005), *Control and management of heat supply networks*, UNIVERSUM-Vinnitsia, Vinnitsia.
5. Pakhomov, P. Y., Nemtynov, V. A. (2009), *Technology of decision support in the management of engineering communications*, Mechanical Engineering, Moscow.
6. Ratushniak, O. H. (2010), *Content management of innovative projects of thermo-modernization of buildings*, VNTU, Vinnitsia.
7. Bing, Yu. (ed.), Dolf, van Paassen (ed.) (2003), *Proceedings of the Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven.
8. Rotshtein, A. P., Rakytyanska, H. (2012), "Fuzzy Evidence in Identification, Forecasting and Diagnosis", *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Chapter 1, pp. 1-37, DOI: 10.4018/978-1-5225-0651-5.ch014.
9. Nesticky, M. (ed), Skulavik, T. (ed), Znamenak, J. (ed) (2017), *Artificial Intelligence Trends in Intelligent Systems: Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017)*, Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-57261-1\_2.
10. Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., et. al. (2009), *Advances in Building Energy Research*, Vol. 3, pp. 121–146. DOI: 10.1007/978-3-319-11958-8\_1.
11. ISO 50001:2011, *Energy management systems – Requirements with guidance for use*, viewed 20 august 2017.
12. Johansson, C. (2010), *Towards Intelligent District Heating*, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona.

Receive 28.06.2017

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

**Парфененко Юлія Вікторівна** – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, м. Суми, Україна; e-mail: yuliya.parfenenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4377-5132.

**Парфененко Юлія Вікторівна** - кандидат технических наук, Сумский государственный университет, старший преподаватель кафедры компьютерных наук, г. Сумы, Украина; e-mail: yuliya.parfenenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4377-5132.

**Parfenenko Yuliia** – Ph. D. (Engineering Sciences), Sumy State University, Senior lecturer of the Department of Computer Science, Sumy, Ukraine; e-mail: yuliya.parfenenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4377-5132.

## МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ НА СТОРОНІ СПОЖИВАЧА

Для ефективного управління централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача необхідно впроваджувати систему енергетичного менеджменту як інструмент досягнення мети скорочення споживання енергетичних ресурсів шляхом їх раціонального використання. Впровадження системи енергетичного менеджменту потребує здійснення контролю, обліку, аналізу та прийняття рішень при управлінні системою теплозабезпечення. **Предметом** даного дослідження є інформаційне забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням. **Метою** роботи є розроблення моделі підтримки прийняття рішень при управлінні режимами теплозабезпечення на стороні споживача. **Задачі дослідження** полягають у виборі методів, розробленні моделі формування рішення щодо управління режимами теплозабезпечення та реалізації її в системі підтримки прийняття рішень. Проведено аналіз сучасного стану застосування інформаційних технологій для розв'язання задачі підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням. Розроблено модель визначення регулюючого параметру для встановлення необхідного режиму теплозабезпечення з використанням методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки. На основі експертного опитування визначено терм-множини лінгвістичних змінних моделі нечіткого логічного виведення рішення щодо управління режимами теплозабезпечення, побудовано функції належності кожної лінгвістичної змінної моделі та правила логічного виведення рішення. **Результатом** роботи моделі є рекомендація щодо регулювання поточного режиму теплозабезпечення, який може приймати значення "нижче за необхідний", "допустимий", "оптимальний", "перевищує оптимальний" до необхідного серед можливих значень "допустимий", "оптимальний" за температурних умов навколишнього середовища "дуже холодно", "холодно", "помірно" чи "тепло". Розроблену модель реалізовано в інформаційній технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери. На основі цієї технології розроблено систему підтримки прийняття рішень, що забезпечує автоматизацію задач моніторингу поточного стану системи теплозабезпечення, оцінки прогнозованого обсягу споживання теплової енергії, а також підтримки прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням на стороні споживача. Використання розробленої моделі у складі системи підтримки прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням на стороні споживача дозволяє досягти зменшення рівня споживання теплової енергії на опалення будівель при збереженні необхідного температурного режиму в опалюваних приміщеннях.

**Ключові слова:** енергозбереження, теплозабезпечення, модель, нечітка логіка, підтримка прийняття рішень.

## МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЕМ НА СТОРОНЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Для эффективного управления централизованным теплоснабжением на стороне потребителя необходимо внедрять систему энергетического менеджмента как инструмент достижения цели сокращения потребления энергетических ресурсов путем их рационального использования. Внедрение системы энергетического менеджмента требует осуществления контроля, учета, анализа и принятия решений при управлении системой теплоснабжения. **Предметом** данного исследования является информационное обеспечение поддержки принятия решений при управлении централизованным теплоснабжением. **Целью** работы является разработка модели поддержки принятия решений при управлении режимами теплообеспечения на стороне потребителя. **Задачи исследования** заключаются в выборе методов, разработке модели формирования решения при управлении режимами теплообеспечения и реализации ее в системе поддержки принятия решений. Проведен анализ современного состояния применения информационных технологий для решения задачи поддержки принятия решений при управлении централизованным теплоснабжением. Разработана модель определения регулирующего параметра для установки необходимого режима теплообеспечения с использованием методов теории нечетких множеств и нечеткой логики. На основе экспертного опроса определены терм-множества лингвистических переменных модели нечеткого логического вывода решения по управлению режимами теплообеспечения, построены функции принадлежности каждой лингвистической переменной модели и правила логического вывода решения. **Результатом** работы модели является рекомендация по регулированию текущего режима теплообеспечения, который может принимать значения "ниже необходимого", "допустимый", "оптимальный", "превышает оптимальный" до необходимого среди возможных значений "допустимый", "оптимальный" в зависимости от температурных условий окружающей среды "очень холодно", "холодно", "умеренно" или "тепло". Разработанную модель реализовано в информационной технологии поддержки принятия решений при управлении теплоснабжением объектов социально-бюджетной сферы. На основе этой технологии разработана система поддержки принятия решений, которая обеспечивает автоматизацию задач мониторинга текущего состояния системы теплообеспечения, оценки прогнозируемого объема потребления тепловой энергии, а также поддержки принятия решений по управлению теплоснабжением на стороне потребителя. Использование разработанной модели в составе системы поддержки принятия решений при управлении теплоснабжением на стороне потребителя позволяет достичь уменьшения уровня потребления тепловой энергии на отопление зданий при сохранении необходимого температурного режима в отапливаемых помещениях.

**Ключевые слова:** энергосбережение, теплообеспечение, модель, нечеткая логика, поддержка принятия решений.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Парфененко Ю. В. Модель підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 69–74.

**Парфененко Ю. В. Модель поддержки принятия решений при управлении централизованным теплообеспечением на стороне потребителя. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. С. 69–74.

**Parfenenko Y. The model of decision support in centralized heating management on the consumer side. Innovative technologies and scientific solutions for industries.** Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 69–74.

I. RUBAN, H. KUCHUK, A. KOVALENKO

## REDISTRIBUTION OF BASE STATIONS LOAD IN MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

The **subject** matter of the article is the processes of load distribution in mobile communication networks. The **object** of research is the handover. The goal is to develop a method for redistributing the load between neighboring areas for mobile nodes. The considered base stations are supposed to have the signal-to-noise ratios that are equal or close. The **methods** that are used: methods of system analysis, methods of digital signal processing. The following **results** are obtained. The method that allows mobile nodes, whose signal-to-noise ratios are equal or close, to switch to a less loaded base station. This method allows the base station to launch the handover process enabling more even distribution of the load from mobile nodes among neighboring base stations in wireless and mobile networks. In the suggested modification of the method, the function assessing the bandwidth of the uplink channel is added to the base stations, as well a threshold value for using its bandwidth. Thus, when the current value of bandwidth reaches the threshold, the base station starts sending out a message to all mobile nodes and verifies free neighboring areas for switching over mobile nodes. If there are adjacent areas with a lower load, the base station notifies all potential candidates about the necessity of their switching over. The handover process is launched when the available bandwidth of the base station decreases below a certain threshold. Therefore, it is possible to optimize the operation of the WiMAX network with respect to the criterion of the total bandwidth capacity of the base stations. Besides, the results of the comparative analysis of the handover process in networks based on the WiMAX technology that are obtained using the OpNet simulation environment are presented. **Conclusions.** The suggested approach can be used to improve the basic software of mobile communication networks. When moving a node from one area to another one in access servers, the node allocation tables are adjusted according to the developed method. Also, the suggested method enables improving and balancing the load of the base stations of mobile communication networks. The obtained results enables maintaining the required level of service quality in mobile communication networks.

**Keywords:** wireless network, mobile communication network, base station, access area, bandwidth capacity, balance, handover.

### Introduction

The modern development of infocommunications is characterized, first of all, by the rapid development of wireless and mobile communication networks. The development of such networks requires the integration of mobile and traditional land-line telecommunication networks of diverse architecture.

The use of wireless environment for data transfer imposes additional conditions on the technologies that are used.

The main difference between these networks and wired ones is that the wireless networks are much more vulnerable in terms of interference and attacks. In addition, the mobility of a user makes the data transfer process more difficult, since the location of a subscriber can change while the data packet is delivered (passes through several transit nodes), that is, various problems connected with routing can happen [1].

One of the main tasks of management is developing an efficient data delivery mechanism, which becomes important and essential in mobile networks due to the constant movement of subscriber systems [2].

Thus, when there exists a data delivery mechanism, there is also a possibility of free movement of nodes and the continuity of their connections in such a move. When moving a node from one area to another area in access servers, the corresponding adjustment of the node allocation tables is carried out.

There are many factors that affect the quality of mobile networks, one of which is the handover process. The success and efficiency of such a process result not only in assessing the quality of services by a user, but also in the operability of the network in general [3].

Currently, a number of methods that support the mobility of a user are suggested, among them are: H-

MPLS [4], MM-MPLS [5], as well as those described in the literary sources [6, 7].

Such methods enable rapid determining the address of the area for switching over, but they are unable to support the required level of service quality. For mobile networks, whose structure is constantly changing when nodes are moving, the minimum time of data transfer in the network should be ensured.

The **goal** of this article is to develop a method for redistributing the load among neighboring areas for mobile nodes.

Besides, the considered base stations are supposed to have the signal-to-noise ratios that are equal or close [8].

### Theoretical part

Features of the handover process in wireless and mobile Features of the handover process in wireless and mobile networks.

Currently, there is a rapid qualitative and quantitative growth of multiple access of wireless media (including the Internet), allowing the mobile node to send and receive data regardless its location. In global networks, any device is identified by its IP address, which is also used for routing; in this way, the IP address is associated with a specific location in the network, which leads to the necessity in changing the IP address each time the node moves between networks in order to ensure the continuity of the connection. So far as the higher layers of the TCP / IP protocol stack use an IP address to identify the session, hence, the address adjustment should be transparent for such levels.

The mobility of a node in a wireless network can cause the handover. Since the location of a node is directly related to its IP address, therefore, the fact of changing the IP address when the mobile node changes the access point

to the network requires notification. The handover is an event that can occur when a mobile node leaves the coverage area of access point due to its movement. Correct processing of such an event allows the mobile node to maintain the continuity of the connection during its movement and changing the access points to the

network. In general, there are two types of the handover, each of which is determined by its ability to connect a node to a particular access point: the soft handover and the hard handover [9].

Possible scenarios illustrating such events are shown in fig. 1.

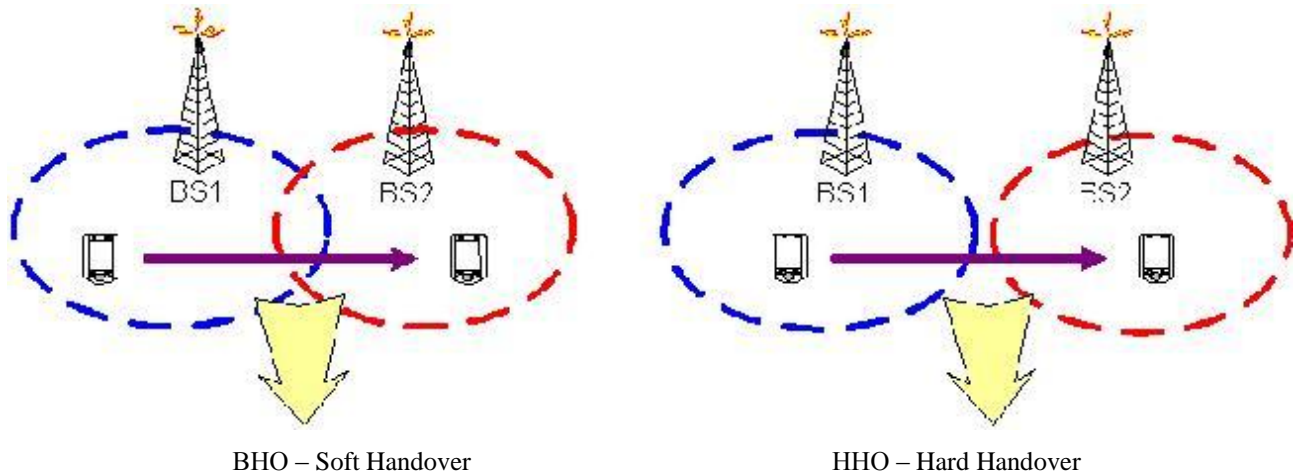


Fig. 1. Probable scenarios of soft and hard handover

In case of the hard handover, the connection of a mobile node to the previous access point is broken before it is connected to a new access point, which results in packet loss. In case of the soft handover, the connection to the previous access point is broken only after establishing the connection with a next available one. Therefore, during the soft handover, a mobile node can simultaneously interact with both access points.

In case where a node moves to another access point that belongs to the same subnet, the handover of L2 link layer can take place. Such handover involves detecting a new access point and subsequent authenticating at the link layer.

If a mobile node moves between the subnets, the handover of L3 network layer can take place which supplements the link layer handover and includes assigning a new IP address to a mobile node in a new subnet.

The content of the link and network layer handovers is shown in fig. 2. The handover type greatly influences both the speed and the quality of information transmission.

This is especially important when combining traffic of various types (for example, multimedia and data) with different requirements for service quality.

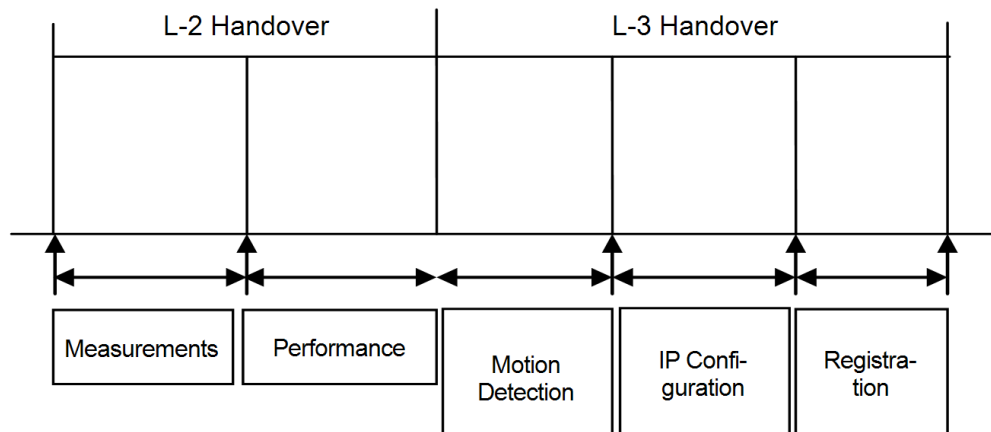


Fig. 2. Content of link (L-2) and network (L-3) handovers

The process of the handover includes 3 stages: detection, correction and registration [10].

The detection phase begins when a mobile node enters a new area.

After that, it receives a message from the nearest access point of such area.

The correction phase begins when a mobile node receives a message from a new access point and lasts until the network interface setting is completed in accordance with the new IP address.

The registration stage consists in the confirmation of the fact that a mobile node has received an IP address.



If  $T_d$  denotes the duration of the detection phase,  $T_c$  - the duration of the correction stage and  $T_r$  - the duration of registration stage, the total duration of handover  $T_h$  can be calculated in accordance with the following expression:

$$T_h = T_d + T_c + T_r.$$

### Method of redistributing the load of base stations

Features of the handover in WiMAX networks. IEEE 802.16 (WiMAX) technology is a broadband wireless technology that supports both fixed and mobile access methods [11]. To meet the requirements of wireless technology support for different access methods, two WiMAX versions are defined.

The first one (Rev.D) is based on the IEEE 802.16-2004 standard and is designed for using in both fixed and mobile networks.

The second version (Rev.E) is based on the IEEE 802.16e standard and differs from the first by the implementation of handover processing facilities.

The IEEE 802.16e (Rev.E) standard defines three methods for implementing the handover process: the hard handover, the soft handover, and macro diversity handover [12].

In WiMAX networks, the maximum and minimum handover time is calculated as follows [12]:

$$t_{\max} = t_n + t_s + t_i;$$

$$t_{\min} = t_i,$$

where  $t_{\max}$  - is maximum handover time;  $t_{\min}$  - is minimum handover time;  $t_n$  - is time of message exchange between two neighboring areas;  $t_s$  - is the length of the scanning interval for the mobile node of a new access point;  $t_i$  - is the time of delivery of the message about the handover to the access point.

To optimize the network operation under the handover, several methods are currently in use. The method suggested in [6] requires implementing a new control message, which, in turn, requires modifying the IEEE 802.16 standard.

Moreover, in this method, when the handover occurs, the process of selecting a new base station by a mobile node lasts for unacceptably long period of time.

The method suggested in [7] enables reducing the duration of the handover because a mobile node selects a new base station and synchronizes with it faster, provided that the neighboring base stations operate at the same frequencies (which is practically unattainable under real conditions).

Improving the method of load distribution. The handover process can be launched by both a mobile node and the base station, as a result of measuring the signal quality of nearby base stations and comparing it with a predetermined threshold value.

The base station considers mobile nodes, where the signal quality of nearby base stations is close to the threshold value, as potential candidates for launching the

handover. In the suggested modification of the method, the function estimating the uplink channel bandwidth is added to the base stations, as well as the threshold value of its bandwidth use that is equal to 75% of the maximum threshold.

Thus, when the current value of the bandwidth reaches the threshold one, the base station starts sending out a message to all mobile nodes and verifies free neighboring areas for switching mobile nodes over. If there are adjacent areas with a lower load, the base station notifies all potential candidates about the necessity of switching them over.

When considering whether the handover can be launched for a particular node, the following conditions are taken into account:

- the difference in the signal-to-noise ratio (decibel) in the coverage area of the base station should be no greater than 5 decibel ( $\Delta S \leq 5$ ):

$$\Delta S = S_n - S_{n-1},$$

$$S_n = \frac{P_{s_n}}{P_{n_n}},$$

$$S_{n-1} = \frac{P_{s_{n-1}}}{P_{n_{n-1}}},$$

where  $S_n$  - is a signal-to-noise ratio for the area which mobile node is moving into;  $S_{n-1}$  - is a signal-to-noise ratio in the current area;  $P_s$  - is the average signal power;  $P_n$  - is the average noise power;

- the area which the mobile node is moving into should have at least 25% of free bandwidth of the uplink channel.

The handover process is launched after assessing the signal quality for all mobile nodes and selecting suitable nodes to switch over.

Fig. 3 shows the handover processing diagram according to the suggested modification of the method, which shows the message transfer process (DSA-REQ, MOB\_BSHO-RSP, MOB\_BSHO-RSP, MOB\_HO-IND) among mobile nodes and base stations according to WiMAX technology.

### Results of simulation modeling

The results of the comparative analysis of the handover process in the networks based on WiMAX technology that are obtained using the OpNet simulation environment are presented below [13]. Three possible WiMAX service areas were considered, as well as the location of mobile nodes and base stations. In the first area there are seven mobile nodes, and in the second and the third ones there are four nodes. All mobile nodes simultaneously send voice traffic to the server. The nodes of the first area are fixed, and the other two areas move towards the first area.

The process of the handover occurs when nodes from the second and third areas move towards the first one.

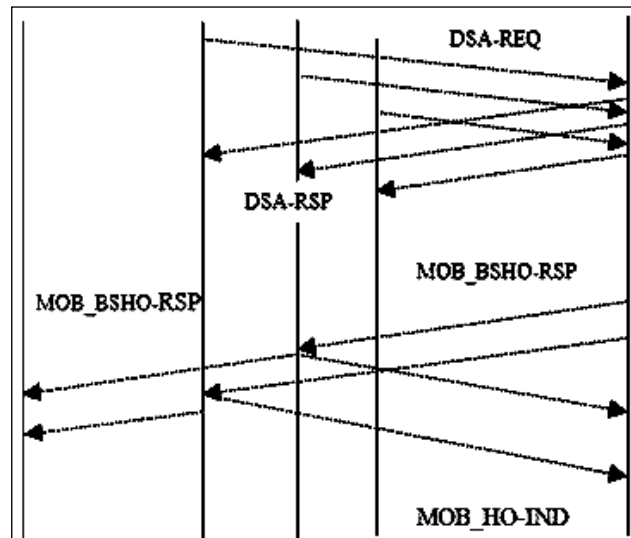


Fig. 3. The handover diagram

When the simulation process starts, the movement starts at the 110th second of simulation time. All mobile nodes enter the first area within the period from the 115th to the 120th seconds (fig. 4 and fig. 5).

uplink channel of the first area decreases, while the load increases. In the remaining two areas (the second and third areas), after the mobile nodes have left, the bandwidth of the channel increases, which is shown in fig. 6.

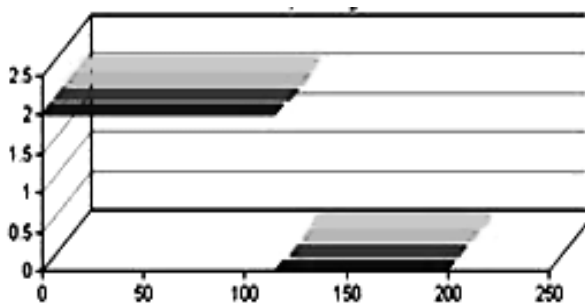


Fig. 4. Time dependence of assigning mobile nodes to the service area when they move from the third area to the first one

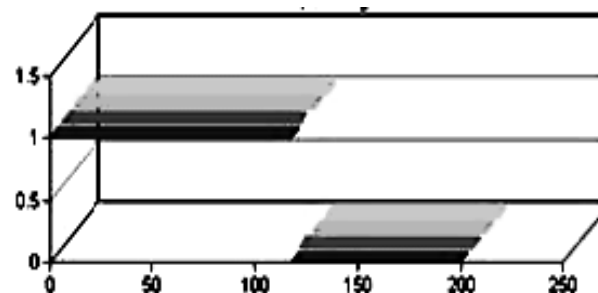


Fig. 5. Time dependence of assigning mobile nodes to the service area when they move from the second area to the first one

When nodes move into the first area, a part of the bandwidth of its uplink channel is assigned to newly appeared mobile nodes. As a result, the bandwidth of the

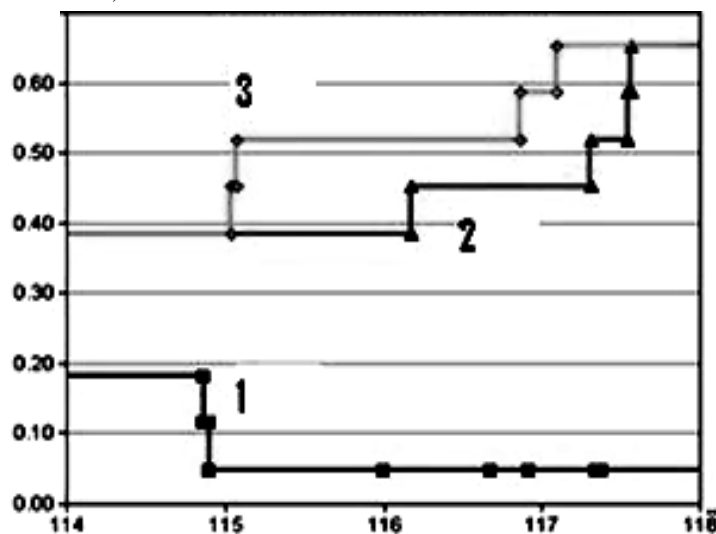


Fig. 6. Change in the bandwidth of the uplink channel of each area during the handover

### Discussion of results

According to fig. 7, in the first area the handover has negative effect on the bandwidth of the channel, which periodically decreases.

This is due to the interference caused by the mobile nodes of the second and third areas, when they approach the boundary of the first area, and then move into it. After moving, the load on the first area increases and, if it exceeds the threshold value, the base station of the first area begins selecting and switching mobile nodes that meet the criterion to other areas (fig. 8).

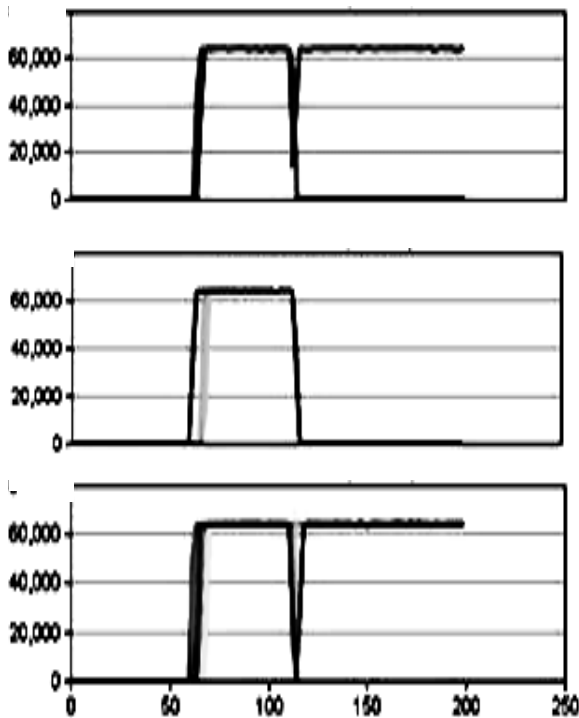


Fig. 7. Channel bandwidth dependence on the handover time

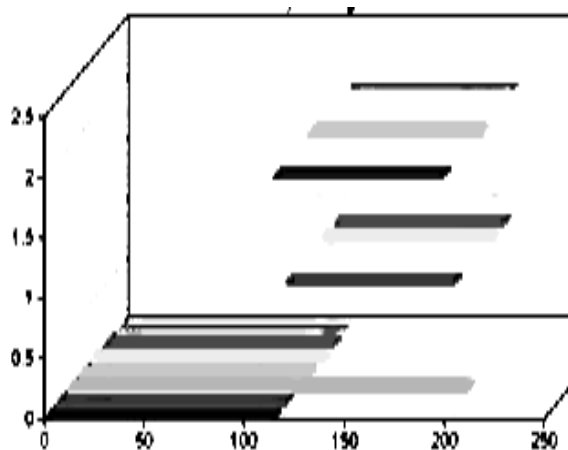


Fig. 8. Time dependence of assigning mobile units to the coverage area

Changes in the bandwidth of the uplink channel in these three areas are considered below. As it is shown in fig. 9, the bandwidth of the uplink channel of the first area decreases to 140 Kb / s at the 115th second, while in the third area the corresponding value increases.

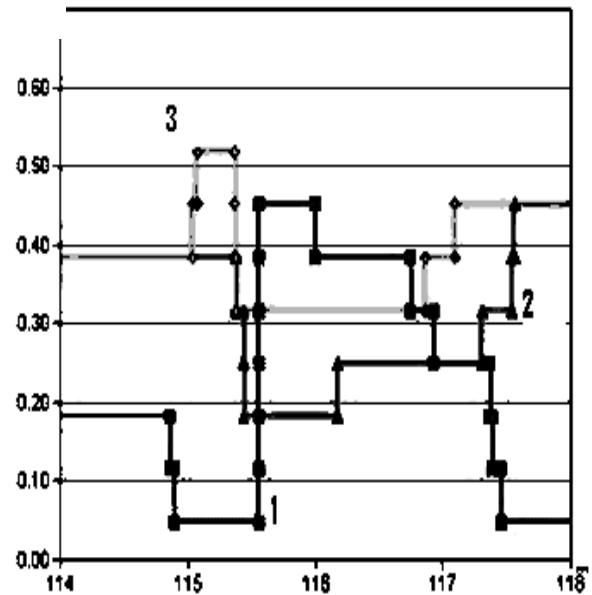


Fig. 9. Dependence of the uplink channel bandwidth on the handover time in the context of the suggested method

This is due to switching two mobile nodes from the third area to the first one, while the bandwidth of the uplink channel of the first area falls below a predetermined threshold value.

In this case, according to the suggested method, the base station in the first area assesses the state of all mobile nodes in this area (at the 115.75th second) and then launches the handover for the respective mobile nodes.

As a result, according to the suggested method, there are nine mobile nodes in the first area, while three ones switches to the second and third areas.

As a result, the bandwidth of the channel increases, as shown in fig. 10.

In the considered examples, fixed values of the signal-to-noise ratio, imposed constraints, and the univariant distribution case are used.

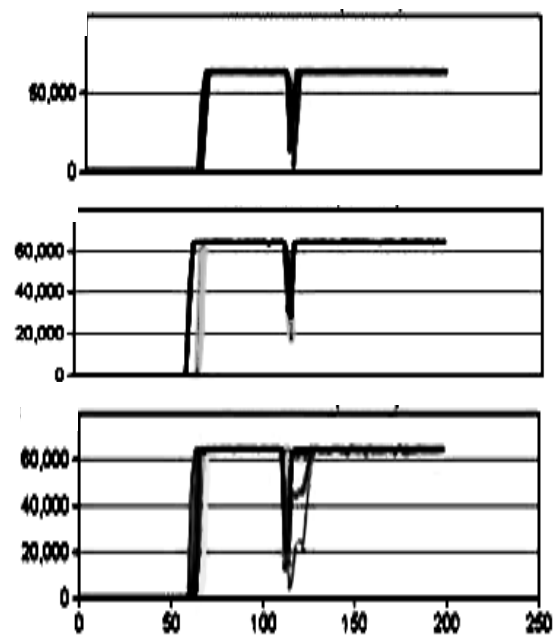


Fig. 10. Channel bandwidth dependence on the handover time

## Conclusions

The method that allows mobile nodes, whose signal-to-noise ratio is equal or close, switch to a less loaded base station is suggested.

This method allows the base station to launch the handover process that enables more even distributing the

load from mobile nodes among neighboring base stations in wireless and mobile networks.

The handover process is launched when the available bandwidth of the base station decreases below a certain threshold. Consequently, the operation of the WiMAX network can be optimized according to the criterion of the total bandwidth capacity of the base stations.

## References

1. "Site for calculating radio coverage zone", available at : <http://Ircov.crc.ca>
2. "Mobile complex of satellite communication 1.1.", available at : [www.datagroup.ua/uk/uslugi/mobilnyie-kompleksyi/mobile-komplekt-sputnikovoj-svyazi-11](http://www.datagroup.ua/uk/uslugi/mobilnyie-kompleksyi/mobile-komplekt-sputnikovoj-svyazi-11)
3. Zhang, Q., Guo, C., Guo, Z., Zhu W. (2003), "Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN", *IEEE Communications*, No. 11, pp. 102–108.
4. Yang, T., Makrakis, D. (2011), "Hierarchical mobile MPLS: Supporting delay sensitive applications over wireless internet", *Proceedings of ICII 2011*, Beijing, China.
5. Yang, T. Dong, Y., Zhang, Y., Makrakis, D. (2002), "Practical approaches for supporting micro mobility with MPLS", *Proceedings of ICT 2002*, Beijing, China.
6. Chiussi, F. M., Khotimsky, D. A., Krishnan, S. (2002), "A Network Architecture for MPLS-Based Micro-Mobility", *Proceedings of IEEE WCNC'02*, Orlando, USA.
7. Um, T. W., Choi, J. K. (2011), "A Study on Path Rerouting Algorithms at the MPLS based Hierarchical Mobile IP Network", *Proceedings of TENCON'11*.
8. Ala'a, Z. Al-Howaide, Ahmad, S. Doulat, Yaser, M. Khamayseh (2011), "Performance evaluation of different scheduling algorithms in WiMax", *IJCSEA International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, Vol. 1, No. 5, pp. 81–94.
9. Manner, J. (2004), *Mobility Related Terminology*, Network Working Group, RFC 3753, 224 p.
10. Kuchuk, G. A., Kovalenko, A. A., Mozhaev, A. A. (2010), "An Approach to Development of Complex Metric for Multiservice Network Security Assessment", *Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proceedings of Int. Conf.*, NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, Kyiv, pp. 158–160.
11. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)*, pp. 384–389.
12. *IEEE 802.16 TGe Working Document: Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands*, 802.16e/D4 (2014).
13. "OpNet simulator", available at: <http://www.opnet.com>.

Receive 22.06.2017

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

**Рубан Ігор Вікторович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, проректор з науково-методичної роботи, м. Харків, Україна; e-mail: [ihor.ruban@nure.ua](mailto:ihor.ruban@nure.ua), ORCID: 0000-0002-4738-3286.

**Рубан Игорь Викторович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, проректор по научно-методической работе, г. Харьков, Украина; e-mail: [ihor.ruban@nure.ua](mailto:ihor.ruban@nure.ua), ORCID: 0000-0002-4738-3286.

**Ruban Igor** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Vice-Rector for Scientific and Methodological Work, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [ihor.ruban@nure.ua](mailto:ihor.ruban@nure.ua), ORCID: 0000-0002-4738-3286.

**Кучук Георгій Анатольович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, м. Харків, Україна; e-mail: [kuchuk56@ukr.net](mailto:kuchuk56@ukr.net), ORCID: 0000-0002-2862-438X.

**Кучук Георгий Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры вычислительной техники и программирования, г. Харьков, Украина; e-mail: [kuchuk56@ukr.net](mailto:kuchuk56@ukr.net), ORCID: 000-0002-2862-438X.

**Kuchuk Heorhii** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of computer engineering and programming, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [kuchuk56@ukr.net](mailto:kuchuk56@ukr.net), ORCID: 0000-0002-2862-438X.

**Коваленко Андрій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри Електронно-обчислювальних машин, м. Харків, Україна; e-mail: [andriy\\_kovalenko@yahoo.com](mailto:andriy_kovalenko@yahoo.com), ORCID: 0000-0002-2817-9036.

**Коваленко Андрей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры электронно-вычислительных машин, г. Харьков, Украина; e-mail: [andriy\\_kovalenko@yahoo.com](mailto:andriy_kovalenko@yahoo.com), ORCID: 0000-0002-2817-9036.

**Kovalenko Andrey** – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Assistant Professor of the Department of Electronic computing machines, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [andriy\\_kovalenko@yahoo.com](mailto:andriy_kovalenko@yahoo.com), ORCID: 0000-0002-2817-9036.



## ПЕРЕРОЗПОДІЛ НАВАНТАЖЕННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

**Предметом** вивчення в статті є процеси розподілу навантаження в мобільних мережах зв'язку. **Об'єкт дослідження** – хендовер. **Мета** – розробка методу перерозподілу навантаження між сусідніми зонами для рухливих вузлів. При цьому передбачається, що у розглянутих базових станціях співвідношення сигнал-шум рівні або близькі. Використовуваними **методами** є: методи системного аналізу, методи цифрової обробки сигналів. Отримані такі **результати**. Запропоновано метод, що дозволяє рухомих вузлам з рівним або близьким співвідношенням сигнал-шум перемикатися на менш завантажену базову станцію. Такий метод дозволяє базовій станції ініціювати процес хендовера, що дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження від рухливих вузлів між сусідніми базовими станціями в бездротових і мобільних мережах. У запропонованій модифікації методу до базової станції додається функція, яка оцінює значення пропускної здатності висхідного каналу, а також додається порогове значення використання його пропускної здатності. Таким чином, коли значення поточної пропускної здатності досягає порогового, базова станція починає розсилати повідомлення всім рухомих вузлам і перевіряє наявність більш вільних сусідніх зон для перемикавання рухомих вузлів. При наявності сусідніх зон з меншим навантаженням, базова станція повідомляє всіх потенційних кандидатів про необхідність їх перемикавання. Процес хендовера ініціюється при зниженні доступної величини пропускної здатності базової станції нижче певного порогу. Отже, існує можливість оптимізації роботи мережі WiMAX за критерієм сумарної пропускної спроможності базових станцій. Також представлені результати порівняльного аналізу процесу хендовера в мережах, заснованих на технології WiMAX, які отримані за допомогою середовища моделювання OpNet. **Висновки**. Запропонований підхід можна використовувати при вдосконаленні базового програмного забезпечення мобільних мереж зв'язку. При переміщенні вузла з однієї зони в іншу зону в серверах доступу здійснюється коригування таблиць розміщення вузлів відповідно до розробленого методу. Також запропонований метод дозволяє істотно поліпшити збалансованість завантаження базових станцій мобільних мереж зв'язку. Отримані результати дозволяють підтримувати необхідний рівень якості обслуговування в мобільних мережах зв'язку.

**Ключові слова:** бездротова мережа, мобільна мережа зв'язку, базова станція, зона доступу, пропускна здатність, баланс, хендовер.

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ В МОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

**Предметом** изучения в статье являются процессы распределения нагрузки в мобильных сетях связи. **Объект исследования** – хэндовер. **Цель** – разработка метода перераспределения нагрузки между соседними зонами для подвижных узлов. При этом предполагается, что у рассматриваемых базовых станций соотношения сигнал-шум равны или близки. Используемыми **методами** являются: методы системного анализа, методы цифровой обработки сигналов. Получены следующие **результаты**. Предложен метод, позволяющий подвижным узлам с равным или близким соотношением сигнал-шум переключаться на менее загруженную базовую станцию. Такой метод позволяет базовой станции инициировать процесс хэндовера, позволяющий более равномерно распределять нагрузку от подвижных узлов между соседними базовыми станциями в беспроводных и мобильных сетях. В предлагаемой модификации метода в базовые станции добавляется функция, оценивающая значение пропускной способности восходящего канала, а также добавлено пороговое значение использования его пропускной способности. Таким образом, когда значение текущей пропускной способности достигает порогового, базовая станция начинает рассылать сообщения всем подвижным узлам и проверяет наличие более свободных соседних зон для переключения подвижных узлов. При наличии соседних зон с меньшей загрузкой, базовая станция уведомляет всех потенциальных кандидатов о необходимости их переключения. Процесс хэндовера инициируется при снижении доступной величины пропускной способности базовой станции ниже определенного порога. Следовательно, имеется возможность оптимизация работы сети WiMAX по критерию суммарной пропускной способности базовых станций. Также представлены результаты сравнительного анализа процесса хэндовера в сетях, основанных на технологии WiMAX, которые получены с помощью среды моделирования OpNet. **Выводы**. Предложенный подход можно использовать при совершенствовании базового программного обеспечения мобильных сетей связи. При перемещении узла из одной зоны в другую зону в серверах доступа осуществляется корректировка таблиц размещения узлов в соответствии с разработанным методом. Также предложенный метод позволяет существенно улучшить сбалансированность загрузки базовых станций мобильных сетей связи. Полученные результаты позволяют поддерживать требуемый уровень качества обслуживания в мобильных сетях связи.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, мобильная сеть связи, базовая станция, зона доступа, пропускная способность, баланс, хэндовер.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Рубан І. В., Кучук Г. А., Коваленко А. А. Перерозподіл навантаження базових станцій в мобільних мережах зв'язку. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. С. 75–81.

Рубан И. В., Кучук Г. А., Коваленко А. А. Перераспределение нагрузки базовых станций в мобильных сетях связи. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. С. 75–81.

Ruban I., Kuchuk H., Kovalenko A. Redistribution of base stations load in mobile communication networks. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 75–81.

УДК 621.37/39.029.3

Н. Г. Стародубцев, Ф. В. Фомовский, В. В. Невлюдова, И. А. Малая, Н. П. Демская

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

**Предметом** исследования являются методы и модели извлечения информации о процессах жизненного цикла радиоэлектронных средств на этапах проектирования, производства и эксплуатации. **Целью** является разработка основ теории целостного мониторинга ЖЦ РЭС на этапах их проектирования, производства и эксплуатации, в частности развитие информационных моделей для мониторинга показателей жизненного цикла в производстве РЭС. Достижение поставленной цели обеспечивается путем решения таких **задач**: исследование и разработка методологии решения задач выбора информативных признаков, характеризующих состояние ЖЦ РЭС; выбор информативных признаков, характеризующих состояние процессов ЖЦ РЭС; идентификация состояния процессов ЖЦ РЭС. Для решения поставленных задач использовались общенаучные **методы**: основные положения функционального анализа, неравновесной термодинамики, оценивания и предсказания случайных процессов, методы оптимизации, распознавания образов. Получены следующие **результаты**. Разработаны методы решения задач выбора информативных признаков для мониторинга ЖЦ РЭС путем классификации состояний РЭС и процессов ЖЦ в пространстве признаков, каждый и из которых имеет определенную значимость, что позволило найти комплексный критерий и формализовать процедуры выбора. При недостаточном для корректной классификации количестве априорных данных предложены эвристические методы выбора по критериям использования базовых прототипов и информационных приоритетов. **Выводы**. Представлено решение задачи математического моделирования функций эффективности процессов жизненного цикла радиоэлектронных средств и выбора информативных признаков для мониторинга ЖЦ РЭС, путем классификации состояний РЭС и процессов жизненного цикла в пространстве признаков, каждый и из которых имеет определенную значимость, которое позволило найти комплексный критерий и формализовать процедуры выбора. Решение задачи идентификации ЖЦ РЭС предусматривает создание правил, которые определяют состояние радиоэлектронных средств. Рассматриваются случаи недостаточного для корректной классификации количества априорных данных, предложены приближенные методы выбора по критериям использования базовых прототипов и информационных приоритетов. Применение функции для деления множеств в пространстве параметров и формулирования правил, которые регулируют соответствие между наборами параметров и значениями показателей эффективности, дают возможность обеспечить идентификацию состояний в процессе мониторинга жизненного цикла радиоэлектронных средств.

**Ключевые слова:** информативные признаки, идентификация состояний РЭС, мониторинг жизненного цикла.

### Введение

Функциональная задача выбора информативных признаков для мониторинга жизненного цикла радиоэлектронных средств (ЖЦ РЭС) может решаться в рамках методологии разработки словаря признаков в системах классификации и распознавания состояния объектов [1–4].

В рабочем словаре следует использовать лишь признаки, которые, с одной стороны, наиболее информативны и, с другой стороны, могут быть доступными для измерения.

Определение словаря признаков в условиях ограничений на стоимость создания технических средств наблюдений имеет особенности. Если признаки объектов обозначить через  $\delta_j$ ,  $j=1,2,\dots,N$ , то каждый объект в  $N$ -мерном пространстве признаков может быть представлен в виде вектора  $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ , координаты которого характеризуют свойства объектов.

Для определения меры близости или подобия между объектами в  $N$ -мерном векторном пространстве признаков вводится метрика. Можно пользоваться евклидовой метрикой

$$d^2(w_{pk}, w_{ql}) = \sum_{j=1}^N (x_{pk}^j - x_{ql}^j)^2, \quad (1)$$

$$p, q = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, k_p; l = 1, 2, \dots, k_q,$$

где  $x_{pk}^j$  – есть значения  $j$ -го признака  $k$ -го объекта  $p$ -го класса, т.е. объекта  $q$ -го класса, т.е. объекта  $w_{ql}$ .

В качестве меры близости между объектами данного класса  $\Omega_p$ ,  $p = 1, 2, \dots, m$ , будем использовать величину [5]

$$S(\Omega_p) = \sqrt{\frac{2}{k_p} \frac{1}{k_{p-1}} \sum_{k=1}^{k_p} \sum_{l=1}^{k_p} d^2(w_{pk}, w_{pl})}, \quad (2)$$

которая имеет смысл среднеквадратичного разброса класса или среднеквадратичного разброса объектов внутри класса  $\Omega_p$ , в качестве меры близости между объектами данной пары классов  $\Omega_p$  и  $\Omega_q$ ,  $p, q = 1, \dots, m$ , – величину

$$R(\Omega_p, \Omega_q) = \sqrt{\frac{1}{k_p k_q} \sum_{k=1}^{k_p} \sum_{l=1}^{k_q} d^2(w_{pk}, w_{ql})}, \quad (3)$$

которая имеет смысл среднеквадратичного разброса объектов классов  $\Omega_p$  и  $\Omega_q$ .

Совокупность признаков объектов, используемых в рабочем словаре, можно описать  $N$ -мерным вектором  $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$ , компоненты

котрого принимают значения 1 или 0 в зависимости от того, имеется или отсутствует возможность определения соответствующего признака объекта.

С учетом  $\alpha$  квадрат расстояния между двумя объектами  $w_{pk}$  и  $w_{ql}$

$$d^2(w_{pk}, w_{ql}) = \sum_{j=1}^N \alpha_j (x_{pk}^{(j)} - x_{ql}^{(j)})^2. \quad (4)$$

Следовательно, среднеквадратичные разбросы класса  $\Omega_p$  и объектов классов  $\Omega_p$  и  $\Omega_q$  могут быть записаны соответственно так

$$S(\Omega_p) = \sqrt{\frac{2}{k_p} \frac{1}{k_p - 1} \sum_{k=1}^{k_p} \sum_{l=1}^{k_p} \sum_{j=1}^N \alpha_j (x_{pk}^{(j)} - x_{pl}^{(j)})^2} \quad (5)$$

$$R(\Omega_p, \Omega_q) = \sqrt{\frac{1}{k_p} \frac{1}{k_q} \sum_{k=1}^{k_p} \sum_{l=1}^{k_q} \sum_{j=1}^N \alpha_j (x_{pk}^{(j)} - x_{pl}^{(j)})^2} \quad (6)$$

Можно исходить из того, что затраты на использование признака пропорциональны их информативности, т.е. тому количеству признаков объектов, которые с их помощью могут быть определены. Это предположение (оставляя в стороне вопрос о точностных характеристиках средств наблюдений) носит достаточно общий характер.

Таким образом, затраты на использование признаков

$$C = C(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{j=1}^N C_j \alpha_j, \quad (7)$$

где  $C_j$  – затраты на определение  $j$ -го признака.

В качестве показателя качества или эффективности проектируемой системы распознавания рассмотрим функционал, зависящий в общем случае от функции  $S(\Omega_p)$ ,  $R(\Omega_p, \Omega_q)$  решающего правила  $L(w, \{w_g\})$

$$I = F[S(\Omega_p); R(\Omega_p, \Omega_q); L(w, \{w_g\})]. \quad (8)$$

Пусть величина  $L(w, \{w_g\})$  представляет собой меру близости между распознаваемым объектом  $w$  и классом  $\Omega_g$ ,  $g = 1, 2, \dots, m$ , заданным своими объектами  $\{w_g\}$ . В качестве этой меры близости рассмотрим величину

$$L(w, \{w_g\}) = \sqrt{\frac{1}{k_g} \sum_{g=1}^{k_g} d^2(w, w_g)}, \quad (9)$$

которая является среднеквадратичным расстоянием между объектом  $w$  и объектами класса  $\Omega_p$ .

Решающее правило состоит в следующем  $w \in \Omega_g$ , если

$$L(w, \{w_g\}) = \text{extr } L(w, \{w_i\}). \quad (10)$$

Важно отметить, что уменьшение величины  $S(\Omega_p)$ , "сжатие" объектов, принадлежащих каждому данному классу, при одновременном увеличении  $R(\Omega_p, \Omega_q)$ , т.е. "разведение" объектов, принадлежащих разным классам, обеспечивает, в конечном счете, улучшение качества системы распознавания. Поэтому повышение эффективности системы будем связывать с достижением экстремума функционала  $I$ .

### Постановка задачи исследования

Постановка задачи исследования может быть сформулирована следующим образом.

Пусть все множество объектов подразделено на классы  $\Omega_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , априорно описаны все классы на языке признаков  $x_j$ ,  $j = 1, \dots, N$ , и на создание технических средств наблюдений выделены средства, величина которых равна  $C_0$ . Требуется, не превышая выделенной суммы средств, построить рабочий словарь признаков, обеспечивающий максимально возможную эффективность системы.

Таким образом, задача сводится к нахождению условного экстремума функционала вида (8), т.е. к определению  $A$  реализующего  $\text{extr } I = \text{extr } F [S(\Omega_p); R(\Omega_p, \Omega_q); L(w, \{w_g\})]$

$$C = \sum_{j=1}^N C_j \alpha_j \leq C_0. \quad (11)$$

Возможные виды функционала. Рассмотрим некоторые частные виды функционала (11). Если требуемая эффективность системы распознавания может быть достигнута за счет более компактного расположения объектов каждого класса при соблюдении некоторых условий относительно величины  $R(\Omega_p, \Omega_q)$ , то задача сводится к нахождению

$$\min_{\alpha} \max_{i=1, \dots, m} [S(\Omega_i)] \quad (12)$$

при

$$\sum_{j=1}^N C_j \alpha_j \leq C_0 \text{ и } R(\Omega_p, \Omega_q) \geq R_0^{(pq)}. \quad (13)$$

Если требуемая эффективность системы может быть достигнута за счет "удаления" друг от друга объектов, принадлежащих разным классам при соблюдении некоторых условий относительно величины  $S(\Omega_i)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , то задача сводится к нахождению

$$\max_{\alpha} \min_{p, q=1, \dots, m} [R(\Omega_p, \Omega_q)] \quad (14)$$

при

$$\sum_{j=1}^N C_j \alpha_j \leq C_0 \text{ и } S(\Omega_i) \leq S_0^i. \quad (15)$$

Если надлежащая эффективность системы может быть достигнута только за счет увеличения отношения расстояний между классами к среднеквадратичным разбросам объектов внутри классов, то задача сводится к нахождению

$$\max_{\alpha} \min_{p,q=1,\dots,m} \left[ \frac{R^2(\Omega_p, \Omega_q)}{S(\Omega_p)S(\Omega_q)} \right] \quad (16)$$

при

$$\sum_{j=1}^N C_j \alpha_j \leq C_0. \quad (17)$$

### Решение задачи выбора информативных признаков, характеризующих состояние процессов ЖЦ РЭС

Рассмотренная выше задача – обобщение задачи нелинейного программирования. Условия оптимальности для нее можно сформулировать следующим образом: для того чтобы вектор  $C^0$  являлся оптимальной стратегией, необходимо, чтобы существовали скаляр  $\beta \geq 0$  и вектор  $\mu = \{\mu_1, \dots, \mu_n\}$  такие, что

$$\left. \begin{aligned} \left[ \sum_{r=1}^n \mu_r \rho_r^j \right] \frac{dP_j(C_j^0)}{dC_j} &= \beta, \quad j=1, \dots, N_p; \\ \sum_{j=1}^{N_p} C_j^0 &= C_0; \\ \sum_{r=1}^n \mu_r &= 1, \mu_r = 0, \text{ если } \sum_{j=1}^{N_p} \rho_r^j P_j(C_j^0) > W(C^0). \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Введение в рассмотрение скаляра  $\beta$  и вектора  $\mu$  увеличивает количество неизвестных  $C_j^0$ ,  $\mu_r$  и  $\beta$  до величины  $N_p + n + 1$ . Однако число уравнений равно числу неизвестных, так как для любого  $r$  либо  $\mu_r = 0$ , либо

$$\sum_{j=1}^{N_p} \rho_r^j P_j(C_j^0) = W(C^0). \quad (19)$$

Таким образом, решение системы уравнений (18) дает возможность определить состав признаков рабочего словаря и оптимальное распределение затрат на создание средств наблюдений системы распознавания в условиях предположения о зависимости  $P_j = P_j(C_j)$  и ограничений на общую стоимость этих средств.

При ограничениях, связанных с возможностью использования всего словаря признаков, возникает задача выбора ограниченного списка (вплоть до

2–3 признаков). Здесь можно ориентироваться на расположение отдельных компонент вектора признаков относительно границ области работоспособности объектов мониторинга.

Так как при граничном значении параметра  $y_{zp}^j$ , конец вектора  $X$  должен находиться на границе области работоспособности, необходимо чтобы выполнялось равенство

$$x_{zp}^i = a_j^i y_{zp}^j. \quad (20)$$

При статистическом оценивании дополнительным критерием для выбора может служить коэффициент корреляции  $r_{ij}$  между параметрами. Так как максимальный коэффициент корреляции обеспечивает максимальное количество информации

$$J(y^j) = H(y^i) - H\left(\frac{y^j}{y^i}\right), \quad (21)$$

содержащейся в параметре  $y^i$ . Здесь  $H(y^i)$  – начальная энтропия;  $H\left(\frac{y^j}{y^i}\right)$  – условная энтропия объекта после измерения параметра  $y^j$ .

Использование бинарных корреляционных алгоритмов дает возможность при участии лица принимающего решение (ЛПР) формализовать и автоматизировать процессы ввода, обработки и распознавания получаемого изображения.

### Идентификация состояния процессов ЖЦ РЭС

Решение задачи идентификации ЖЦ РЭС, предполагает создание правил, определяющих состояния РЭС. Признаками, позволяющими различать состояния объекта мониторинга, являются показатели эффективности, которые для выделенного состояния будут иметь заданное или экстремальное значение. Для идентификации в процессе мониторинга состояния РЭС по наблюдаемым параметрам необходимо выделить множество параметров, на котором значение показателей эффективности будут иметь заданные или экстремальные значения.

Объекты наблюдений – параметры и характеристики РЭС можно рассматривать, как точки векторных и функциональных пространств. Для всевозможных пар точек на множестве  $Q$ , существует бинарное отношение сравнительной эффективности: точка  $x$  эффективнее  $y$  тогда и только тогда, когда  $(x, y \in \Phi)$  или в иной записи  $x \Phi y$ . При обеспечении ЖЦ РЭС решается задача выделения ядра – множества максимальных элементов из  $X$  по бинарному отношению  $\Phi: X^* = \text{Max}(Q, \Phi)$ . Предполагается, что решение задачи существует, т.е. множество  $X^*$  не пусто. Во многих задачах можно считать, что решение – множество  $X^*$  – состоит из одного элемента, а отношения между элементами устанавливается с



помощью функционалов  $\Lambda(x)$ . Например, точка  $x$  эффективнее  $y$  тогда, когда  $\Lambda(x) < \Lambda(y)$  или  $\Lambda(x) > \Lambda(y)$ . Можно показать, что в задачах определения эффективных точек  $x_0 \in X^*$  при наличии ограничений  $x \in Q_1$ , функционал  $f = \lambda \Lambda'(x_0)$ , где  $\Lambda'(x_0)$  – производная Фреше в точке  $x_0$ , является опорным функционалом к  $Q_1$ , в точке  $x_0$  (т.е.  $(f, x_0) < (f, x)$  для всех  $x \in Q_1$ ).

Таким образом, задача анализа результатов наблюдений в процессе мониторинга сводится к определению опорных функционалов в точках наблюдения, что дает возможность оценить отклонение наблюдаемых точек от эффективных.

В терминах функционального анализа [6,7]: пусть  $Q$  – некоторое множество в линейном топологическом пространстве  $E$ ,  $E'$  – сопряженное пространство,  $x_0 \in Q$  – крайняя точка  $Q$ ,  $K_b$  – конус возможных направлений в  $Q$  в точке  $x_0$ ,  $K_k$  – конус касательных направлений для  $Q$  в  $x_0$ . Если множество линейных функционалов, опорных к  $Q$  в точке  $x_0$ , обозначить через  $Q^*$ , то  $Q^* = \{f \in E', f(x) \geq f(x_0)\}$  для всех  $x \in Q$ , т.е. опорный функционал и крайняя точка  $x_0 \in Q$  дают возможность выделять множество  $Q$ . Можно показать, что, если  $Q$  – замкнутое выпуклое множество, то  $Q^* = K_k^*$ , т.е. образует конусы, образованные множеством линейных функционалов, опорных к  $Q$  в  $x_0$ . Конус касательных направлений может определяться производными Фреше от операторов (выпуклых функций), которые связывают множества параметров и показателей эффективности.

Рассмотрим методы нахождения  $K^*$  для способов задания  $K$  с помощью различных функционалов.

Вариант 1. Для конуса направлений убывания  $K_0$ . Функционал  $\Lambda(x)$  в линейном пространстве  $E$  имеет производную  $\Lambda'(x_0, g)$  в точке  $x_0$  по направлению  $g$ , т.е. существует

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \frac{\Lambda(x_0 + \varepsilon g) - \Lambda(x_0)}{\varepsilon} = f(x_0, g). \quad (22)$$

$\Lambda(x)$  удовлетворяет условию Липшица в окрестности  $x_0$  (для некоторого  $\varepsilon_0 > 0$  будет  $|\Lambda(x_1) - \Lambda(x_2)| \leq \beta \|x_1 - x_2\|$  при всех  $(\|x_1 - x_0\| \leq \varepsilon_0, \|x_2 - x_0\| \leq \varepsilon_0)$ ) и  $\Lambda'(x_0, g) < 0$ , тогда  $\Lambda(x)$  – правильно убывающий в  $x_0$ , и  $K = \{g : \Lambda'(x_0, g) < 0\}$ .

Вариант 2. Для конуса возможных направлений. В случае множества, которое не задается с помощью функционала. Если  $Q$  – выпуклое множество, тогда множество направления убывания  $K_b$  в точке  $x_0$  имеет вид  $K_b = \{\lambda(Q - x_0), \lambda > 0\}$ ,

(т.е.  $K_b = \{g : g = \lambda(x - x_0), x \in Q, \lambda > 0\}$ ).

Вариант 3. Для конуса возможных направлений. В случае определения  $Q$  с помощью аффинных множеств:  $E = E_1 \times E_2$ ,  $E_1, E_2$  – линейные топологические пространства, в  $E_2$  определяется множество признаков эффективности,  $D$  – линейный оператор из  $E_1$  в  $E_2$ ,  $K = \{x \in E, x = (x_1, x_2) : Dx_1 = x_2\}$ ,  $K^* = \{f \in E', f = (f_1, f_2) : f_1 = -D^* f_2\}$ , а в качестве опорной разделяющей функции можно использовать

$$f(x) = (-D^* f_2, x_1) + (f_2, x_2) = -(f_2, D^* x_1 - x_2).$$

Применение этой функции для разделения множеств в пространстве параметров и формулировке правил, устанавливающих соответствие между множествами параметров и значениями показателей эффективности, может обеспечить идентификацию состояний в процессе мониторинга ЖЦ РЭС.

Вариант 4. Для конуса касательных направлений.  $P(x)$  – оператор из  $E_1$  в  $E_2$ , дифференцируемый в окрестности точки  $x_0$ ,  $P'(x)$  непрерывна в окрестности  $x_0$ , а  $P'(x_0)$  отображает  $E_1$  на все  $E_2$  (т.е. линейное уравнение  $P'(x_0)g = b$  имеет решение  $g$  для всякого  $b \in E_2$ ), совокупность касательных направлений  $K$  к множеству  $Q = \{x : P(x) = 0\}$  в точке  $x_0$  есть подпространство  $K = \{g : P'(x_0)g = 0\}$ .

Вариант 5. Для конуса касательных направлений – типичный случай. Пусть  $x \in R^m$ ,  $Q = \{x : G_i(x) = 0, i = 1, \dots, n\}$ , где  $G_i(x)$  – функции, непрерывно дифференцируемые в окрестности точки  $x_0$ ,  $G_i(x_0) = 0, i = 1, \dots, n$ , и векторы  $G_i'(x_0)$ , линейно независимы. Тогда  $K = \{g \in R^m : (G_i'(x_0), g) = 0, i = 1, \dots, n\}$ . Здесь  $E_1 = R^m, E_2 = R^n, P(x) = (C_1(x), \dots, G_n(x)), P'(x_0)$  – матрица  $m \times n$ ,  $i$ -й столбец которой равен  $G_i'(x_0)$ .

Вариант 6. В процессе мониторинга нужно определить обеспечивается ли эффективное значение функции – характеристики РЭС  $w(z)$ , в простейшем случае экстремальное значение дифференцируемой целевой функции одного переменного, для чего необходимо проверить равна ли производная нулю при наблюдаемом значении параметра. Для многомерных целевых функций и их аргументов эта задача может рассматриваться в рамках теории множеств и функционального анализа.

Формализация в задаче наблюдения оптимальной настройки, как одного из процессов ЖЦ РЭС, заключается в том, что необходимо оценить оптимальность функции процесса настройки  $v(z) \in M$  где  $z$  – параметр, определяющий числовое значение требуемой характеристики  $w(z)$  объекта настройки для обеспечения такой фазовой траектории, которая обеспечивает равенство  $w(0) = c, w(Z) = d$  и экстремальное значения интегрального функционала



$\int_0^z \Phi(w(z), v(z), z) dz$ , при наличии связи, задаваемой

дифференциальным уравнением  $\frac{dw(z)}{dz} = \phi(w(z), v(z), z)$ .

В задачах, требующих максимального соответствия оптимизируемой характеристики и некоторой желаемой, находит применение критерий минимума среднего квадратического отклонения

$$W_2(X) = \overline{(Y(X) - Y^*)^2}, \quad (23)$$

где  $Y^*$  – желаемое или требуемое по техническому заданию значение характеристики.

Для характеристики, заданной дискретным набором точек, целевая функция

$$W_2(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i (Y(X, p_i) - Y_i^*)^2, \quad (24)$$

где  $N$  – число точек дискретизации независимой переменной  $p$ ;

$Y(X, p_i)$  – значение оптимизируемой характеристики в  $i$ -ой точке интервала дискретизации;

$\gamma_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го значения оптимизируемой характеристики, отражающей важность  $i$ -ой точки по сравнению с другими (как правило,  $0 < \gamma_i < 1$ ).

В некоторых задачах оптимизации необходимо обеспечить превышение или не превышение оптимизируемой характеристикой некоторого заданного уровня. Эти критерии оптимальности реализуются следующими функциями:

- для обеспечения превышения заданного уровня

$$W_3(X) = \begin{cases} 0 & \text{при } Y(X) \geq Y_H^*, \\ (Y - Y(X))^2 & \text{при } Y(X) < Y_H^*; \end{cases} \quad (25)$$

- для обеспечения не превышения заданного уровня

$$W_4(X) = \begin{cases} 0 & \text{при } Y(X) \leq Y_B^*, \\ (Y(X) - Y_B^*)^2 & \text{при } Y(X) > Y_B^*, \end{cases} \quad (26)$$

где  $Y_H^*$ ,  $Y_B^*$  – нижняя и верхняя границы допустимой области для характеристики  $Y(X)$ .

Если необходимо, чтобы оптимизируемая характеристика проходила в некоторой допустимой зоне (коридоре), используют комбинацию двух предыдущих критериев оптимальности

$$W(X) = \begin{cases} 0 & \text{при } Y_H^* \leq Y(X) \leq Y_B^*, \\ (Y(X) - Y_B^*)^2 & \text{при } Y(X) > Y_B^*, \\ (Y_H^* - Y(X))^2 & \text{при } Y(X) < Y_H^*. \end{cases} \quad (27)$$

В тех случаях, когда требуется реализовать лишь форму кривой, игнорируя при этом постоянное смещение по вертикали, используется критерий сдвига

$$W_6(X) = \sum_{i=1}^N \gamma_i (Y_i^* - Y(X, p_i) - Y_{cp})^2, \quad (28)$$

$$\text{где } Y_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i^* - Y(X, p_i)).$$

От вида целевой функции зависят важные характеристики вычислительного процесса и, в первую очередь, сходимость процесса оптимизации. Знаки производных целевой функции по управляемым параметрам не остаются постоянными во всей допустимой области, последнее обстоятельство ведет к их овражному характеру (например, задачи схемотехнического проектирования), что приводит к большим вычислительным затратам и требует особого внимания к выбору метода оптимизации.

Другой особенностью целевых функций является то, что они обычно многоэкстремальные и наряду с глобальным минимумом имеются локальные минимумы.

Общий класс задач идентификации множества эффективных решений составляют задачи многокритериальной оптимизации. Они характеризуются тем, что бинарное отношение на множестве альтернатив, из которого следует осуществить выбор, связано с набором показателей – критериев, образующих векторный критерий эффективности. Это бинарное отношение порождается различными способами. Так, если

$$W(x) = (W^1(x), \dots, W^m(x)) \quad (29)$$

векторный критерий на множестве  $X$ , то бинарное отношение может быть отношением Парето или отношением Слейтера. В других случаях бинарное отношение на  $X$  задается системой предпочтений ЛПР. Предполагается, что основным источником информации является человек, располагающий сведениями, достаточными для принятия (единственного) решения. Выявление системы предпочтений ЛПР представляет собой одну из главных проблем при решении многокритериальных задач. Обычно процедуры выявления предпочтений ЛПР строятся на языке векторных оценок альтернатив, т.е. на основе значений векторного критерия.

Принятие решений ЛПР способствует отысканию множества Парето или множества Слейтера по критерию (29), здесь методологические проблемы в значительной степени теряют остроту, поскольку уже четко определено понятия решения многокритериальной задачи. Остаются трудности вычислительного характера, типичные для экстремальных задач.

Методы решения задачи поиска эффективных (оптимальных по Парето) и слабоэффективных (оптимальных по Слейтеру) альтернатив интенсивно развиваются [8–10], имеются реализованные на ЭВМ программы, пакеты программ и программные системы.

Большой "наглядностью" обладают алгоритмы, основанные на скаляризации – сведении к параметрическому семейству задач скалярной оптимизации.

Из выпуклого анализа следует, что если  $x_* \in P(X, W)$  – эффективная точка в линейной многокритериальной задаче (с линейными критериями в многограннике  $X$ ), то существует вектор  $\Lambda$

$$\lambda \in \Lambda = \left\{ \lambda \in E^m / \lambda_i > 0, i = 1, \dots, m; \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1 \right\},$$

такой, что  $x_*$  является решением задачи линейного и нелинейного программирования

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i W^i(x) \rightarrow \max_{x \in X}. \quad (30)$$

Обратно, для любого  $\lambda \in \Lambda$  решение задачи (30) является эффективной точкой.

Отсюда вытекает, что для отыскания  $P(X, W)$  можно использовать хорошо разработанные методы линейного и нелинейного программирования и использовать результат как эффективное множество в процессе отображении ситуации, связанной с расположением множества реальных значений параметров признаков, относительно множества их эффективных значений при реализации мониторинга ЖЦ РЭС.

#### Список литературы

1. Бирюков С. И. Оптимизация. Элементы теории. Москва: МЗ-Пресс, 2003. 246 с.
2. Васильев В. И. Распознающие системы. Справочник. Киев: Наукова думка, 1983. 422 с.
3. Невлюдов И. Ш., Андрусевич А. А., Донсков А. Н. Разработка и применение методов мониторинга процессов проектирования, производства и эксплуатации ЖЦ РЭС // Научно-технический журнал "АСУ и Приборы автоматизи". 2011. Вып. 156. С. 82-89.
4. Kulak D., Guiney E. Use Cases. New York: Addison Wesley, 2003. 272 p.
5. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания : учеб. пособие для вузов. М.: "Вышш. школа", 1977. 222 с.
6. Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию. Москва: Наука, 1977. 368 с.
7. Канторович Л. В., Акилов Г. П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. Москва: Наука, 1984. 368 с.
8. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач : монография. Изд. 2-е, испр. и доп. Москва: Физматлит, 2007. 255 с.
9. Вишнеков А. В., Иванова Е. М., Сафонова И. Е. Методы принятия решений в распределенных CAD/CAM/CAE системах. Методы комплексной оценки вариантов в условиях определенности исходной информации // Качество и ИПИ(CALS)-технологии. 2006. № 3 (11). С. 35-40.
10. Кожевников А. М. Методы CALS-технологии при оптимизации выбора электрических и тепловых режимов электрорадио изделий // ИТПП. 2000. № 3. С.23-26.

#### References

1. Birjukov, S. (2003), *Optimization. Elements of the theory*, MZ-Press, Moscow, 246 p.
2. Vasil'ev, V. (1983), *Recognized by the system. Directory*, Naukova dumka, Kiev, 422 p.
3. Nevljudov, I., Andrusевич, A., Donskov, A., (2011), "Development and application of methods for monitoring the design, manufacture and operation lifecycle of electronic means", *Scientific and technical journal "Automated Control Systems and Automation Devices"* [Razrobotka i primenenie metodov monitoringa processov proektirovaniya, proizvodstva i jekspluatacii ZhC RJeS, Nauchno-tehnicheskij zhurnal "ASU i Pribory avtomatiki"], Vol. 156, pp. 82-89.
4. Kulak, D., Guiney, E. (2003), *Use Cases*, Addison Wesley, New York, 272 p.
5. Gorelik, A., Skripkin, V. (1977), *Methods of recognition*, Higher education school, Moscow, 222 p.
6. Aleksandrov, P. (1977), *Introduction to set theory and general topology*, Nauka, Moscow, 368 p.
7. Kantorovich, L., Akilov, G. (1984), *Functional analysis in normed spaces*, Nauka, Moscow, 368 p.
8. Podinovskij, V., Nogin, V. (2007), *Pareto-optimal solutions of multiobjective problems: monograph* [Pareto-optimal'nye reshenija mnogokriterial'nyh zadach: monografija], Fizmatlit, Moscow, 255 p.
9. Vishnekov, A., Ivanova, E., Safonova, I. (2006), "Methods of decision-making in distributed CAD/CAM/CAE systems. Methods for a comprehensive assessment of options under the definition of initial in-formation", *Quality and FPI (CAL)S technology* [Metody prinjatija reshenij v raspredelennyh CAD/SAM/CAE sistemah. Metody kompleksnoj ocenki variantov v usloviyah opredelennosti ishodnoj informacii, Kachestvo i IPI(CALS)-tehnologii], Vol. 3 (11), pp. 35-40.

#### Выводы

Авторами разработаны методы решения задач выбора информативных признаков для мониторинга ЖЦ РЭС, путем классификации состояний РЭС и процессов ЖЦ в пространстве признаков, каждый и из которых имеет определенную значимость, что позволило найти комплексный критерий и формализовать процедуры выбора информативных признаков. При недостаточном для корректной классификации количестве априорных данных предложены эвристические методы выбора информативных признаков по критериям использования базовых прототипов и информационных приоритетов.

Исследованы методы решения задач выбора информативных признаков процессов ЖЦ РЭС, что даёт возможность обеспечить выполнение требований в части представления данных и доступа к ним на принципах наглядного, соответствующего методам визуального анализа, содержательного описания процессов ЖЦ РЭС для реализации процедур принятия решения в человеко-машинных системах обеспечения ЖЦ.

10. Kozhevnikov, A. (2000), "Methods of CALS-technologies for optimizing the choice of electric and thermal modes of electrical radio products" ["CALS-tehnologii pri optimizacii vybora jelektricheskikh i teplovykh rezhimov jelektroradio izdelij"], *ITPP*, Vol. 3, pp. 23-26.

Поступила 14.06.2017

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

**Стародубцев Микола Григорович** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, м. Харків, Україна; e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7856-5771.

**Стародубцев Николай Григорьевич** – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, г. Харьков, Украина; e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7856-5771.

**Strodubtsev Nikolai** – Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Assistant Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua, ORCID: 0000-0001-7856-5771.

**Фомовський Фелікс Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, доцент кафедри електронних апаратів, м. Кременчук, Україна; e-mail: 2fill.fo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3989-3689.

**Фомовский Феликс Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, доцент кафедры электронных аппаратов, г. Кременчуг, Украина; e-mail: 2fill.fo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3989-3689.

**Fomovsky Felix** – Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Associate Professor of the Department of Electronic Devices, Kremenchuk, Ukraine; e-mail: 2fill.fo@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3989-3689.

**Невлюдова Вікторія Валеріївна** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, м. Харків, Україна; e-mail: d\_tapr@nure.ua, ORCID: 0000-0002-1158-5089.

**Невлюдова Виктория Валерьевна** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, г. Харьков, Украина; e-mail: d\_tapr@nure.ua, ORCID: 0000-0002-1158-5089.

**Nevliudova Viktoriia** – Candidate of Sciences (Engineering), Kharkiv National University of Radioelectronics, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: d\_tapr@nure.ua, ORCID: 0000-0002-1158-5089.

**Мала Інна Олександрівна** – ДП "Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", інженер, м. Харків, Україна; e-mail: yuzhgar\_nio@i.ua; ORCID: 0000-0002-4307-8102.

**Малая Инна Александровна** – ГП "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", инженер, г. Харьков, Украина; e-mail: yuzhgar\_nio@i.ua; ORCID: 0000-0002-4307-8102.

**Malaya Inna** – SE "Southern National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Engineer, Kharkiv, Ukraine; e-mail: yuzhgar\_nio@i.ua; ORCID: 0000-0002-4307-8102.

**Демська Наталія Павлівна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, м. Харків, Україна; e-mail: demska.nataliia@nure.ua, ORCID: 0000-0002-9931-9964.

**Демская Наталья Павловна** – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, г. Харьков, Украина; e-mail: demska.nataliia@nure.ua, ORCID: 0000-0002-9931-9964.

**Demska Nataliia** – Kharkiv National University of Radioelectronics, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: demska.nataliia@nure.ua, ORCID: 0000-0002-9931-9964.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

**Предметом** дослідження є методи та моделі здобування інформації про процеси життєвого циклу радіоелектронних засобів (ЖЦ РЕЗ) на етапах проектування, виробництва і експлуатації. **Метою** є розробка основ теорії цілісного моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапах їх проектування, виробництва і експлуатації, зокрема розвиток інформаційних моделей для моніторингу показників життєвого циклу у виробництві РЕЗ. Досягнення поставленої мети забезпечується в роботі шляхом вирішення таких **задач**: дослідження і розробка методології розв'язання задач вибору інформативних ознак, що характеризують стан ЖЦ РЕЗ; вибір інформативних ознак, що характеризують стан процесів ЖЦ РЕЗ; ідентифікація стану процесів ЖЦ РЕЗ. Для вирішення поставлених задач використовувалися загальнонаукові **методи**: основні положення функціонального аналізу, нерівноважної термодинаміки, оцінювання і прогнозування випадкових процесів, методи оптимізації і розпізнавання образів. Отримано такі **результати**. Розроблено методи розв'язання задач вибору інформативних ознак для моніторингу ЖЦ РЕЗ шляхом класифікації станів РЕЗ і процесів ЖЦ у просторі ознак, кожний з яких має певну значимість, що дозволило знайти комплексний критерій і формалізувати процедури вибору. При недостатній для коректної класифікації кількості апріорних даних запропоновано евристичні методи вибору за критеріями використання базових прототипів і інформаційних пріоритетів. **Висновки**. Наводиться рішення задачі математичного моделювання функцій ефективності процесів життєвого

циклу радіоелектронних засобів і вибору інформативних ознак для моніторингу ЖЦ РЕЗ, шляхом класифікації станів РЕЗ і процесів життєвого циклу в просторі ознак, кожен і з яких має певну значимість, що дозволило знайти комплексний критерій і формалізувати процедури вибору. Рішення задачі ідентифікації ЖЦ РЕЗ передбачає створення правил, що визначають стан радіоелектронних засобів. Розглядаються випадки недостатньої для коректної класифікації кількості апріорних даних, запропоновано наближені методи вибору за критеріями використання базових прототипів і інформаційних пріоритетів. Застосування функції для поділу множин в просторі параметрів і формулювання правил, що регулюють відповідність між наборами параметрів і значеннями показників ефективності, дають можливість забезпечити ідентифікацію станів в процесі моніторингу життєвого циклу електронних засобів.

**Ключові слова:** інформативні ознаки, ідентифікація станів РЕЗ, моніторинг життєвого циклу.

## MATHEMATICAL MODELLING OF SELECTING INFORMATIVE FEATURES FOR ANALYZING THE LIFE CYCLE PROCESSES OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

The **subject** of the study are methods and models for extracting information about the processes of the life cycle of radio electronic means at the design, production and operation stages. The **goal** is to develop the fundamentals of the theory of holistic monitoring of the life cycle of radio electronic means at the stages of their design, production and operation, in particular the development of information models for monitoring life cycle indicators in the production of radio electronic means. The attainment of this goal is achieved by solving such **problems**: research and development of a methodology for solving the problems of selecting informative features characterizing the state of the life cycle of radio electronic means; choice of informative features characterizing the state of the life cycle processes of radio electronic means; identification of the state of the life cycle processes of radio electronic means. To solve these problems, general scientific **methods** were used: the main provisions of functional analysis, nonequilibrium thermodynamics, estimation and prediction of random processes, optimization methods, pattern recognition. The following **results** are obtained. Methods for solving the problems of selecting informative features for monitoring the life cycle of radioelectronic facilities are developed by classifying the states of radioelectronic means and the processes of LC in the space of characteristics, each of which has a certain significance, which allowed finding a complex criterion and formalizing the selection procedures. When the number of a priori data is insufficient for a correct classification, heuristic methods of selection according to the criteria for using basic prototypes and information priorities are proposed. **Conclusions.** The solution of the problem of mathematical modeling of the efficiency functions of the processes of the life cycle of radioelectronic facilities and the choice of informative features for monitoring the life cycle of radio electronic means is presented, by classifying the states of radioelectronic means and life cycle processes in the space of characteristics, each of which has a certain significance, which allowed finding a complex criterion and formalize the selection procedure. The solution of the task of identifying the life cycle of radio electronic means involves the creation of rules that determine the state of radio electronic means. The cases of insufficient for a correct classification of the number of a priori data are considered, approximate methods of selection according to criteria for using basic prototypes and information priorities are proposed. The application of a function for dividing sets in parameter space and formulating rules that regulate the correspondence between sets of parameters and values of performance indicators makes it possible to provide identification of states in the process of monitoring the life cycle of radio electronic means.

**Keywords:** informative signs, identification of conditions of radio electronic equipment, monitoring of the life cycle.

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Стародубцев М. Г., Фомовський Ф. В., Невлюдова В. В., Мала І. О., Демська Н. П. Математичне моделювання вибору інформативних ознак для аналізу стану процесів життєвого циклу радіоелектронних засобів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 82–89.

Стародубцев М. Г., Фомовский Ф. В., Невлюдова В. В., Мала И. О., Демска Н. П. Математическое моделирование выбора информативных признаков для анализа состояния процессов жизненного цикла радиоэлектронных средств. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 82–89.

Starodubtsev N., Fomovsky F., Nevludova V., Malaja I., Demska N. **Mathematical modelling of selecting informative features for analyzing the life cycle processes of radio-electronic means.** *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 82–89.



УДК 004.9: 620.92

О. В. ШУЛИМА

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Одним із способів реалізації політики енергоефективності є розробка і впровадження енергозберігаючих технологій шляхом збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії. Енергозабезпечення залежить від наявності акумуляторних батарей, сонячних панелей, вітрогенераторів та їх комбінації у структурі енергосистеми, що забезпечує споживання в господарстві. При побудові максимально ефективної енергосистеми, необхідно оперувати великою кількістю розрізнених даних про потенціал енергоресурсу в конкретній місцевості, варіанти складових частин системи, можливість сполучення з іншими регіональними мережами з урахуванням зовнішніх умов (мінливі погодні дані, пори року, пропускні потужності мереж, та ін.). Крім того, рішення залежать також від суб'єктивних чинників, які повинні бути ідентифіковані і включені в процес планування. Тому процес планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії потребує створення інформаційних систем підтримки прийняття рішень, які надають рекомендації щодо вибору складових енергосистеми. **Предметом** даного дослідження є інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії. Метою даної роботи підвищення ефективності рішень при плануванні структури енергосистеми за рахунок створення інформаційної системи для підтримки прийняття рішень. **Задачами** дослідження є побудова інформаційної технології, моделювання процесів, що протікають при плануванні структури енергосистеми, проектування архітектури відповідної інформаційної системи. Під час розв'язання поставлених задач було використано методологію системного аналізу для формалізації процедури планування енергетичної системи та методи структурного аналізу і функціонального моделювання інформаційних систем для побудови структурно-функціональних моделей процесу планування. Для реалізації запропонованої та інформаційної технології підтримки прийняття рішень при плануванні енергозабезпечення будівель розроблено систему підтримки прийняття рішень, що реалізована у вигляді програмного веб додатку із трьохрівневою клієнт-серверною архітектурою. Використання системи підтримки прийняття рішень дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень при плануванні енергозабезпечення будівель з використання відновлювальних джерел енергії.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, задача планування енергозабезпечення будівель, відновлювальні джерела енергії, система підтримки прийняття рішень.

### Вступ

Глобальною світовою проблемою є зміна клімату та обмеженість викопних видів енергоресурсів. Споживання населенням становить близько 40% усієї споживаної первинної енергії [1]. В цих умовах потрібно впровадження політики енергоефективності енергоресурсів. Одним із напрямків якої є впровадження енергозберігаючих технологій шляхом побудови енергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ).

Незважаючи на значні переваги використання таких систем, дуже важко оцінити, які саме потужності ВДЕ використовувати у господарстві. Прийняття рішень на стадії планування енергосистеми ускладнюється недетермінованістю процесу генерації енергії: кількість згенерованої енергії залежить від наявних на ринку установок ВДЕ, часу доби, погодних умов місцевості, місця розташування енергосистеми. Крім того, такі системи потребують значних первинних інвестицій. Ці фактори ускладнюють процес прийняття оптимального рішення стосовно вибору складових системи.

Впровадження інформаційної підтримки процесу прийняття рішень дозволить підвищити ефективність прийнятих рішень, шляхом скорочення витрат на спорудження енергосистеми та забезпеченні достатнього рівня енергоефективності.

### Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питання інформаційної підтримки прийняття

рішень при проектуванні енергосистеми з ВДЕ розглядаються в роботах Сабірзянова Т.Г. [2], Кубкіна М.В., Солдатенко В.П. [2, 3], С. Tiba, A.L.B. Candéias [4], Choong-Sung Yi, Jin-Hee Lee [5], S. Lazarou, D.S. Oikonomou, L. Ekonomou [6], T.V. Ramachandra [7].

Незважаючи на широке застосування інформаційних технологій для розв'язання окремих задач, на сьогоднішній день відсутній єдиний комплексний підхід до вирішення проблеми підвищення якості процесів прийняття рішень при плануванні структури гібридних енергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії.

### Мета і задачі дослідження

В роботі поставлено за мету підвищення ефективності рішень при плануванні структури енергосистеми за рахунок створення інформаційної системи для підтримки прийняття рішень.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести функціональне моделювання процесів, що протікають при виборі складових енергосистеми;
- розробити інформаційну технологію підтримки прийняття рішень;
- спроектувати архітектуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень для планування структури енергосистеми.

### Методи й матеріали досліджень

Інформаційна технологія процесу планування



енергозабезпечення будівель з ВДЕ об'єднує в собі моделі та алгоритмічне забезпечення процесу збору та обробки інформації, синтезу можливих альтернативних структур ГЕСВДЕ на основі зібраних даних, розрахунку їх техніко-економічних показників, визначення критеріїв оцінки, а також формування рішень щодо визначення оптимальної конфігурації гібридної енергетичної системи з ВДЕ.

Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель повинна реалізовуватися у відповідній інформаційній системі.

Базову задачу планування енергозабезпечення будівель зводимо до вибору структури енергосистеми та розглядаємо у наступній постановці. Задано [8]:

1. Множину елементів системи з ВДЕ, що можуть бути складовими частинами енергетичної системи, відповідно сонячних панелей, вітрогенераторів та акумуляторних батарей:

$$P = \{pv_e\}, W = \{wt_e\}, A = \{ab_e\} \quad e = \overline{1, n}.$$

2. Набір  $Alternative = \{i\}$ , де  $i = \langle pv_e, wt_e, ab_e \rangle$ , що містить визначену кількість альтернатив (варіантів структури ГЕСВДЕ), що задаються характеристиками ВДЕ.

3. Набір  $K = \{j_m\}$ ,  $m = \overline{1, m}$  визначених критеріїв, згідно яких проходить оцінка альтернатив.

Необхідно визначити оптимальну конфігурацію серед існуючих згідно переліку якісних та кількісних критеріїв.

Під час розв'язання поставлених задач було використано методологію системного аналізу для формалізації процесу планування гібридної енергетичної системи.

Оптимізацію рішення пропонується проводити в два етапи. На першому кроці визначаємо множини

парато-оптимальних альтернатив незалежно за соціально-економічним сценарієм і енергетично ефективним сценарієм за показником з точки зору надлишків згенерованої енергії. На другому етапі визначається множина альтернатив, що задовольняє двом сценаріям. Відібрані альтернативи оцінюємо в межах енергетично ефективного сценарію з точки зору ймовірності втрати живлення.

Для вибору єдиного рішення задачі пропонується використовувати положення теорії корисності, відповідно до якої в рамках сценаріїв проводиться оцінка альтернатив за наборами критеріїв і здійснюється вибір оптимальних альтернатив по загальному значенню функції  $R_i(z)$  в рамках сценарію.

Для побудови структурно-функціональних моделей процесу планування було використано методи структурного аналізу та функціонального моделювання інформаційних систем.

## Результати досліджень

Із використанням методології SADT на основі нотацій IDEF0 та IDEF3 побудовано функціональні моделі процесів збору та попередньої обробки інформації, планування структури енергетичної мережі з відновлювальними джерелами енергії та визначення техніко-економічних показників системи, а також формування рішення щодо вибору оптимальної структури гібридної енергетичної систем з відновлювальними джерелами енергії серед множини запропонованих [9, 10].

Контекстна діаграма процесу планування енергозабезпечення будівель з ВДЕ в нотації IDEF0 зображена на рисунку 1.

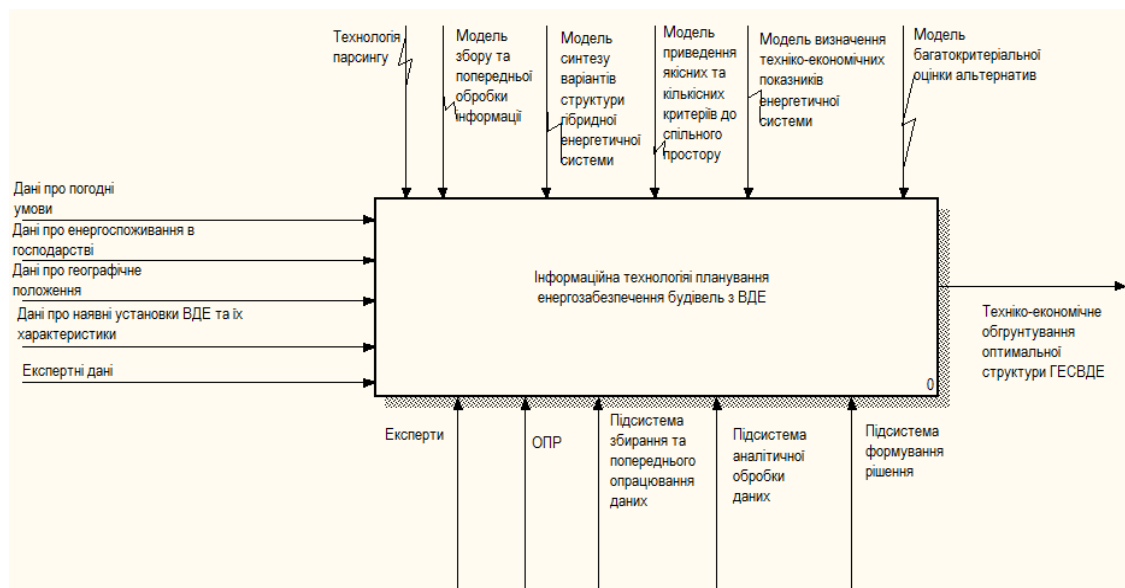


Рис. 1. Контекстна діаграма інформаційної технології планування енергозабезпечення будівель з ВДЕ

Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з використанням ВДЕ складається із п'яти взаємозв'язаних етапів.

Функціональна модель запропонованої інформаційної технології зображена на рисунку 2.

Розроблена інформаційна технологія дозволяє проводити збирання, оброблення та зберігання даних,

необхідних для планування структури ГЕСВДЕ, щодо техніко-економічного обґрунтування, внаслідок чого приймаються обґрунтовані рішення оптимальної конфігурації системи.

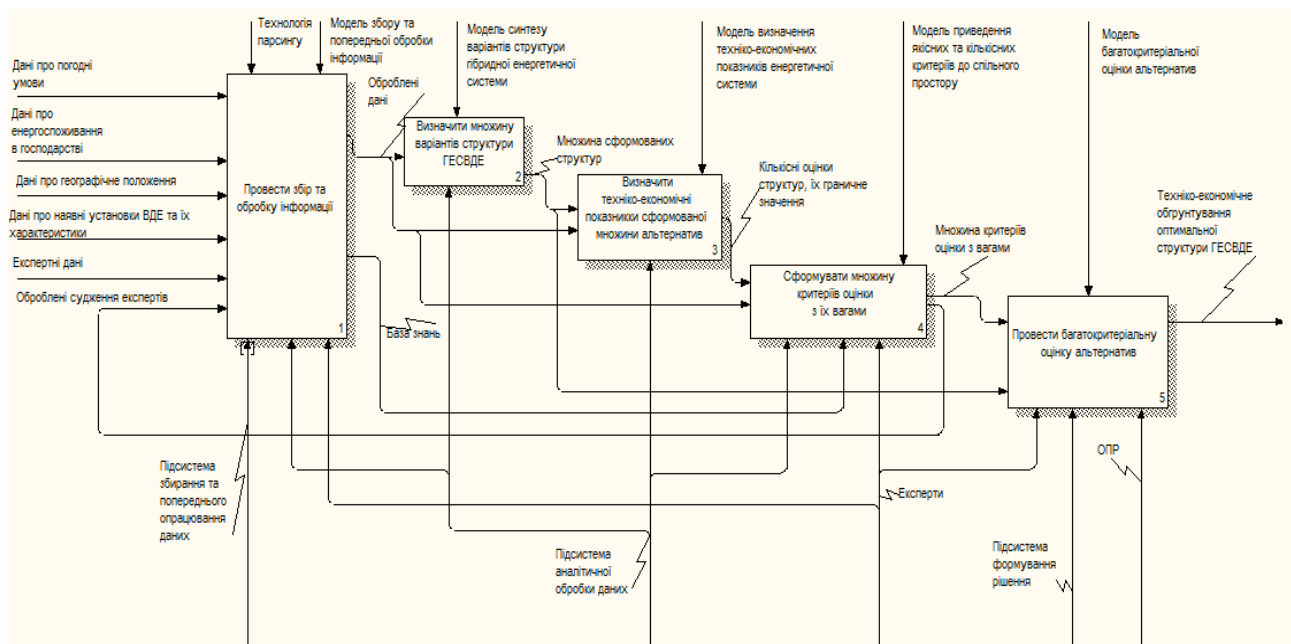


Рис. 2. Функціональна модель інформаційної технології планування енергозабезпечення будівель

Етап 1. Процес збору та попередньої обробки інформації передбачає виконання функцій збору інформації про погодні умови в місцевості, наявні установки ВДЕ на ринку з їх техніко-економічними параметрами, споживання електроенергії в господарстві, дані про географічне положення, знання експертів. При цьому необхідно здійснювати перевірку даних, після перевірки дані передаються до

бази даних для їх зберігання. На основі зібраних погодних даних визначаються найгірші умови при яких необхідно забезпечувати енергоспоживання, зібрані дані по установці ВДЕ використовуються при формуванні переліку альтернатив структур ГЕСВДЕ та подальшому формуванні рішення. Діаграму декомпозиції процесу збору та попередньої обробки інформації зображено на рисунку 3.

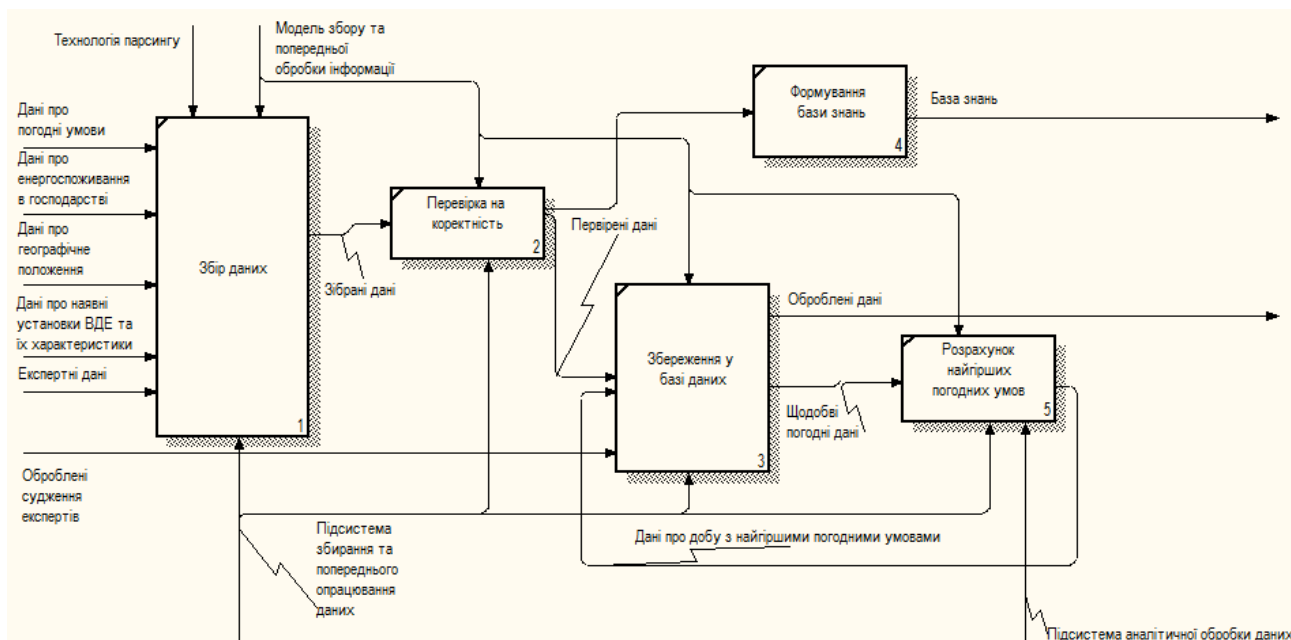


Рис. 3. Діаграма процесу збору та попередньої обробки інформації

Процес витягу даних відбувається з використанням технології парсингу. Парсинг даних про установки ВДЕ виконується з веб-сайтів для купівлі енергозберігаючих технологій. На кожному сайті обираються сторінки з продажу сонячних

батареї, вітрових турбін та акумуляторних батарей. Також виконується парсинг погодних даних за кожен день погодинно. Після отримання знайдених даних, програма заносить їх до відповідної таблиці бази даних і надсилає їх на сервер для подальшої роботи.

Етап 2. Планування структури енергетичної системи з ВДЕ проводиться на основі даних зібраних в процесі збору та попередньої обробки інформації. Для визначення множини альтернативних структур ГЕСВДЕ входними даними для моделі синтезу

структури ГЕСВДЕ є множини сонячних панелей, вітрогенераторів, акумуляторних панелей. Діаграму декомпозиції процесу "Формування множини варіантів структури енергетичної системи" в нотатції IDEF3 зображено на рисунку 4.

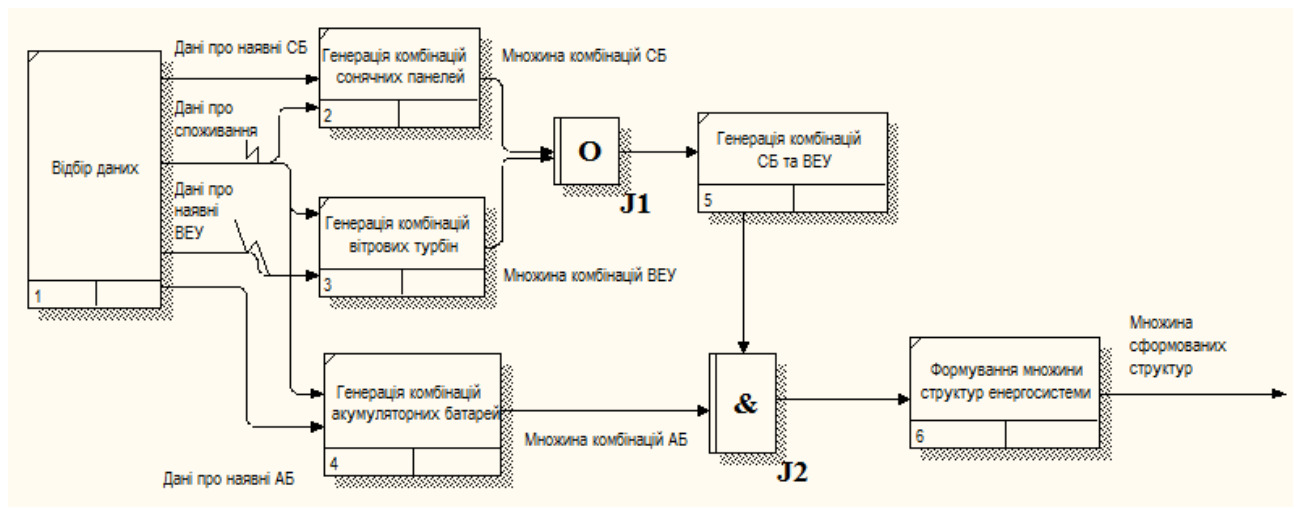


Рис. 4. Діаграма декомпозиції процесу формування множини варіантів структури енергетичної системи

У результаті виконання процесу "Формування множини варіантів структури енергетичної системи" одержуємо множину усіх можливих варіантів структури енергетичної системи, що покривають споживання в господарстві, та можуть бути реалізовані при наявних на ринку установках ВДЕ.

Етап 3. Визначення техніко-економічних параметрів сформованої множини структур

проводиться для кожної альтернативної структури на основі даних про споживання в господарстві, погодні умови та технічні характеристики установок ВДЕ, зібраних в процесі збору та попередньої обробки інформації.

Діаграму декомпозиції процесу "Визначення техніко-економічних параметрів" в нотатції IDEF3 зображено на рисунку 5.

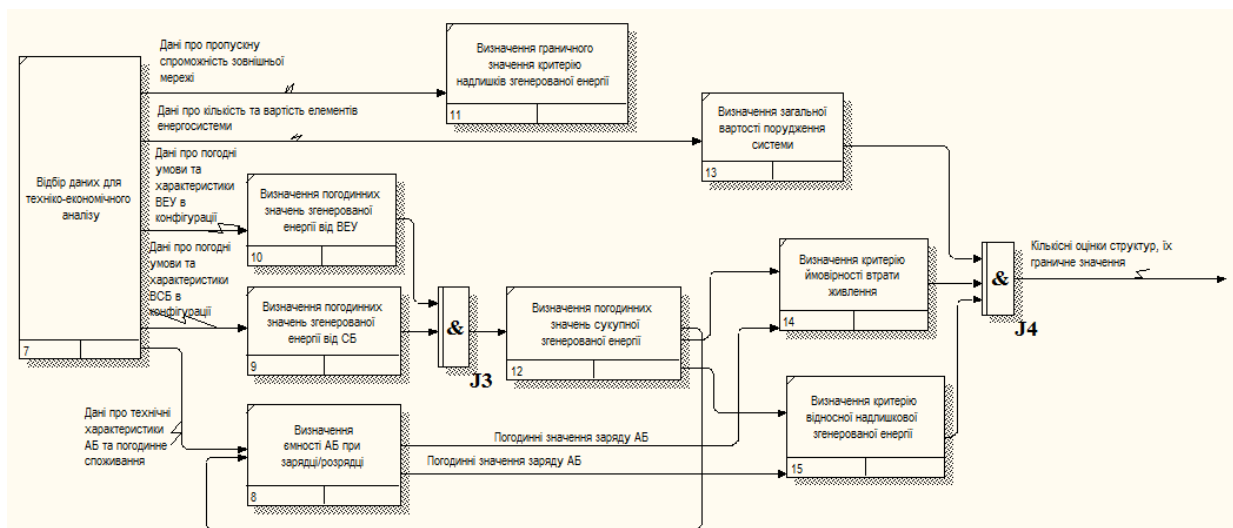


Рис. 5. Діаграма декомпозиції процесу визначення техніко-економічних параметрів множини структур

Етап 4. На етапі "Формування множини критеріїв оцінки з їх вагами" для кожної альтернативної структури розраховуються функції приналежностей якісних критеріїв згідно правил у базі знань, сформованої експертами. Знаходяться значення кількісних критеріїв на універсальній множині, та кількісні критерії

приводяться до одного простору з якісними, визначають ваги критеріїв. Також проходить обробка експертних суджень для визначення лінгвістичних змінних.

Діаграму декомпозиції процесу "Формування множини критеріїв оцінки з їх вагами" в нотатції IDEF0 зображено на рисунку 6.

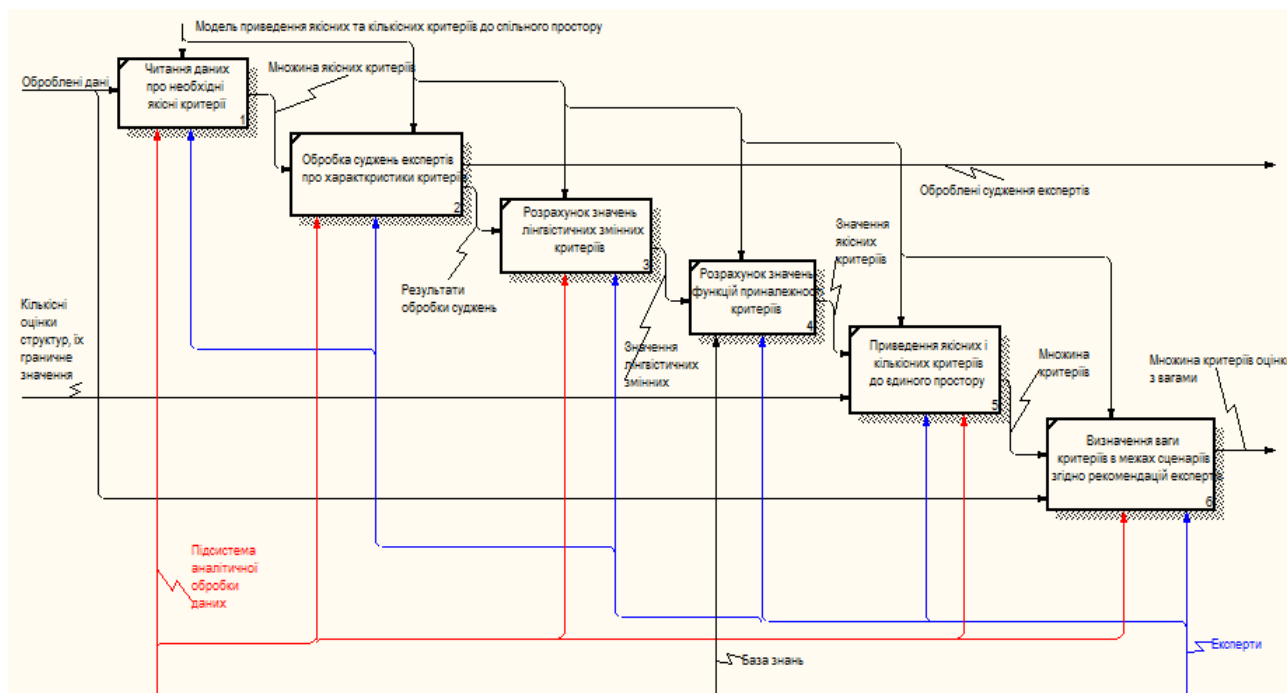


Рис. 6. Діаграма декомпозиції процесу формування множини критеріїв оцінки з їх вагами

Етап 5. Етап багатокритеріальної оцінки альтернатив передбачає проведення оцінки варіантів побудови ГЕСВДЕ по заданій множині критеріїв і вибір кращого варіанта із вирішення задачі оптимізації в межах трьох оціночних сценаріїв.

Загалом сукупність задач багатокритеріальної оцінки альтернативних структур можна подати у

виділі функціональної моделі в нотатції IDEF0 (рис. 7).

Запропонована схема процесу вибору оптимальної конфігурації системи дозволяє структурувати процес формування оптимального варіанту системи та отримати більш точні оцінки ефективності отриманої системи.

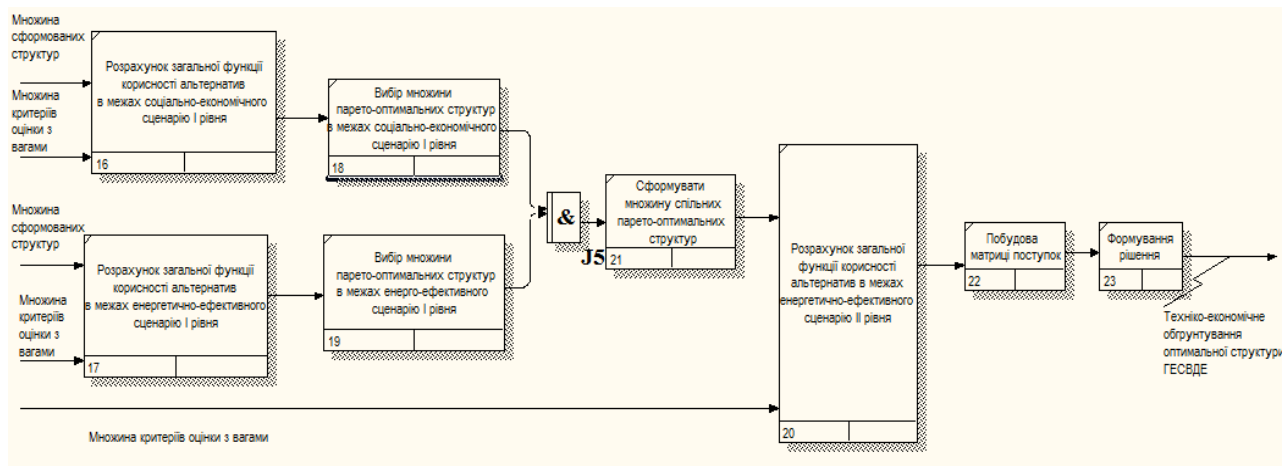


Рис. 7. Функціональна модель процесу багатокритеріальної оцінки альтернатив

Описані етапи інформаційної технології реалізовані в системі підтримки прийняття рішень. На рисунку 8 представлена схема взаємодії компонентів СППР для планування енергозабезпечення будівель із зазначенням зв'язків між складовими частинами.

Функціональні можливості СППР реалізуються сукупністю програмних додатків, розроблених із використанням прикладного пакету Matlab та мови програмування Java. Дані, обробка яких здійснюється запропонованою інформаційною системою, зберігаються в базі даних під управлінням СКБД MySQL.

СППР складається із взаємопов'язаних підсистем [11]:

1. Підсистема збирання та попереднього опрацювання даних (SCP). Збір інформації про погодні умови, технічні та економічні показники обладнання в мережі Інтернет. Дані зберігаються в SQL таблицях та використовуються в інших модулях.

2. Підсистема аналітичної обробки даних (SAPD). Визначення альтернативних структур ГЕСВДЕ, їх техніко-економічних параметрів з використанням Matlab, визначення множин критеріїв.



3. Підсистема формування рішень (DM). Оцінка альтернативних проектних рішень, кінцеве формування оптимального рішення.

4. Підсистема зберігання даних (SDS). Формування бази даних на основі даних SCP та SAPD.

5. Підсистема візуалізації даних. Використовується web-інтерфейс, через який

користувачі отримують доступ до системи та сформованого рішення, що представляє собою техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту ГЕСВДЕ із зазначенням виду та кількості установок ВДЕ, а також користувач отримує перелік проранжованих альтернативних рішень, найближчих до оптимальних.

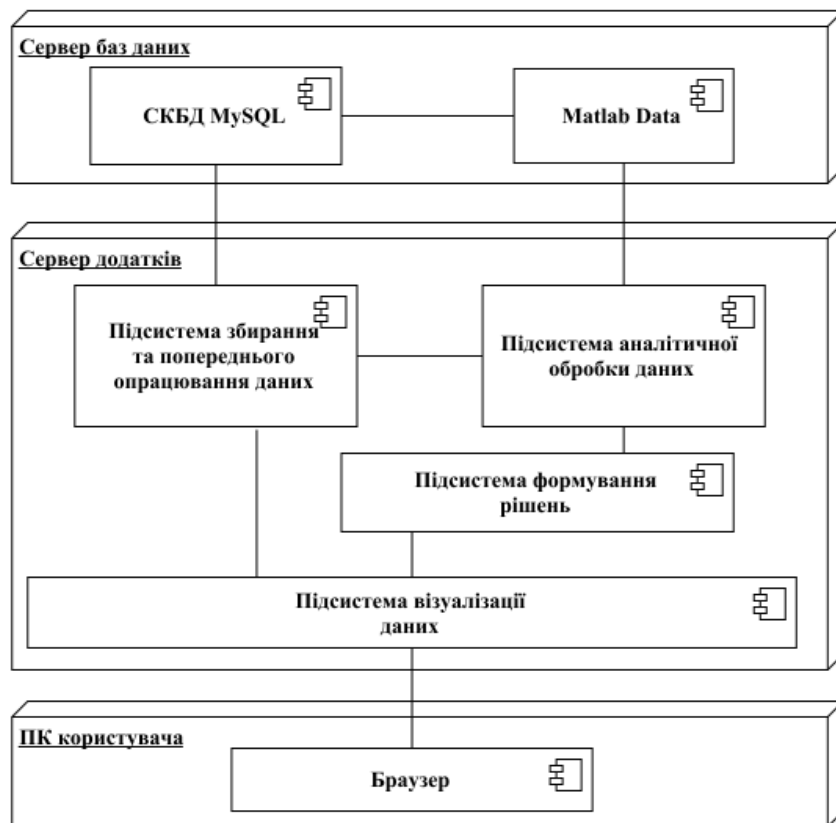


Рис. 8. Загальна архітектура СПДР

Таким чином, запропонована СПДР є програмним web-орієнтованим додатком підтримки прийняття рішень при плануванні енергозабезпечення будівель з використанням відновлювальних джерел енергії.

### Висновки

У результаті проведеного системного аналізу процесу планування структури енергосистеми було побудовано функціональні моделі процесів, які

забезпечують інформаційну підтримку прийняття рішень при плануванні структури енергосистеми.

Представлено функціональні моделі та алгоритмічне забезпечення реалізації задач процесу збору та обробки інформації, визначення загальної кількості альтернатив та техніко-економічних параметрів, формування рішення щодо оптимальної структури енергетичної системи.

Наведено функціональну модель та опис етапів розробленої прикладної інформаційної технології підтримки прийняття рішень при плануванні структури енергетичної мережі.

### Список літератури

1. Krasnyanskiy M. Energy Security of Mankind in The Xxi Century // Energy, Industry, Regions. 2006. Vol. 1. P. 156-167.
2. Сабірзянов Т. Г., Кубкін М. В., Солдатенко В. П. Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2011. № 24. С. 146-151.
3. Кубкін М. В., Солдатенко В. П. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2012. № 2. С. 192-202.
4. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil / C. Tiba, A. L. B. Candeias, N. Fraidenraich [et al.] // Renewable Energy. 2010. Vol. 35. P. 2921-2932.
5. Yi Ch.-S., Lee J.-H., Shim M.-P. Site location analysis for small hydropower using geo-spatial information system // Renewable Energy. 2010. Vol. 35. P. 852-861.

6. Lazarou S., Oikonomou D. S., Ekonomou L. A platform for Planning and Evaluating Distributed Generation connected to the Hellenic Electric Distribution Grid // *Advances in Circuits, Systems, Automation and Mechanics*, 2012. P. 80-86.
7. Ramachandra T. V. RIEP: Regional integrated energy plan // *Renew Sustain Energy Rev.* 2009. Vol. 13 (2). P. 285–317.
8. Шулима О. В., Шендрик В. В., Давідсон П. Формалізація задачі прийняття рішень для вибору оптимальної структури гібридної енергетичної системи // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2016. № 49. С. 62-69.
9. Christopher M., Mayer R. J. The IDEF Family of Languages // *Handbook on Architectures of Information Systems* / Ed. P. Bernus, K. Mertins, G. Schmidt. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2006. P. 215–249.
10. Вендров А. М. Case – технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1998. 176 с.
11. Шулима О. В., Шендрик В. В., Шестак М. О. Побудова сховища даних системи підтримки прийняття рішень для проектування розподілених енергетичних систем // *Вісник Національного університету "Львівська Політехніка". Інформаційні системи та мережі*. 2016. № 854. С. 291-298.

## References

1. Krasnyanskiy, M. (2006), "Energy Security of Mankind in The XXI Century", *Energy, Industry, Regions*, Vol. 1, pp. 156-167.
2. Sabirzianov, T. H., Kubkin, M. V., Soldatenko, V. P. (2011), "Methodology for selecting the structure and composition of power supply systems with renewable sources", *Collection of scientific works of the Kirovohrad national technical university. Engineering in agricultural production, branch engineering, automation* ["Metodyka vyboru struktury i skladu system elektropostachannia z vidnovliuvannykh dzherelamy, Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia"], Vol. 24, pp. 146-151.
3. Kubkin, M. V., Soldatenko, V. P. (2012), "Simulation model of a combined power system with renewable energy sources", *Collection of scientific works of the Kirovohrad national technical university. Engineering in agricultural production, branch engineering, automation* ["Imitatsiina model kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvannykh dzherelamy enerhii", Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia], Vol. 2. pp. 192-202.
4. Tiba, C., Candeias, A. L. B., Fraidenraich, N., de Barbosa E. M., de Carvalho Neto, P. B., de Melo Filho, J. B. (2010), "A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil", *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 2921-2932.
5. Yi, Ch-S, Lee, J-H, Shim, M-P (2010), "Site location analysis for small hydropower using geo-spatial information system", *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 852-861.
6. Lazarou, S., Oikonomou, D. S., Ekonomou, L. (2012), "A platform for Planning and Evaluating Distributed Generation connected to the Hellenic Electric Distribution Grid", *Advances in Circuits, Systems, Automation and Mechanics*, pp. 80-86.
7. Ramachandra, T. V. (2009), "RIEP: Regional integrated energy plan", *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 13, pp. 285–317.
8. Shulyma, O. V., Shendryk, V. V., Davidson, P. (2016), "Formalization of the decision making problem for choosing the optimal structure of the hybrid power system", *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mechanic-technological systems and complexes* ["Formalizatsiia zadachi pryiniattia rishen dlia vyboru optymalnoi struktury hibrydnoi enerhetychnoi systemy", Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekxy], Vol. 49, pp. 62-69.
9. Christopher, M., Mayer, R. J., Bernus, P. (ed), Mertins, K. (ed), Schmidt, G. (ed) (1998), "The IDEF Family of Languages", *Handbook on Architectures of Information Systems*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 215–249.
10. Vendrov, A. M. (1998), *Case - technology. Modern methods and means of designing information systems* [Case – tehnologii. Sovremennye metody i sredstva proektirovaniia informatsionnykh sistem], Finansy i statistika, Moscow, 176 p.
11. Shulyma, O. V., Shendryk, V. V., Shestak, M. O. (2016), "Building a data storage for a decision support system for the design of distributed power systems", *Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic"* ["Pobudova skhovyshcha danykh systemy pidtrymky pryiniattia rishen dlia proektuvannia rozpodilennykh enerhetychnykh system", Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska Politekhnikha". Informatsiini systemy ta merezhi], Vol. 854, pp. 291-298.

Надійшла 14.06.2017

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

**Шулима Ольга Василівна** – Сумський державний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук, м. Суми, Україна; e-mail: o.shulyma@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8557-2267.

**Шулима Ольга Васильевна** – Сумской государственной университет, ассистент кафедры компьютерных наук, г. Сумы, Украина; e-mail: o.shulyma@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8557-2267.

**Shulyma Olha** – Sumy State University, Assistant of the Department of Computer Science, Sumy, Ukraine; e-mail: o.shulyma@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8557-2267.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Одним из способов реализации политики энергоэффективности является разработка и внедрение энергосберегающих технологий путем увеличения доли использования возобновляемых источников энергии. Энергообеспечение зданий зависит от наличия аккумуляторных батарей, солнечных панелей, ветрогенераторов и их комбинации в структуре энергетической системы, которые обеспечивают потребление в хозяйстве. При построении максимально эффективной энергосистемы,

необходимо оперировать большим количеством разрозненных данных о потенциале энергетического ресурса в конкретной местности, вариантах составных частей системы, возможности совмещения с другими региональными сетями с учетом внешних условий (меняющиеся погодные данные, времени года, пропускные мощности внешних сетей и др.). Кроме того, решение зависит также от субъективных факторов, которые должны быть идентифицированы и включены в процесс планирования. Поэтому процесс планирования энергообеспечения зданий с возобновляемыми источниками энергии требует создания информационных систем поддержки принятия решений, которые дают рекомендации по выбору составляющих энергосистемы. **Предметом** данного исследования является информационная технология планирования энергообеспечения зданий с возобновляемыми источниками энергии. **Целью** данной работы повышения эффективности решений при планировании структуры энергетической системы за счет создания информационной системы для поддержки принятия решений. **Задачами** исследования является построение информационной технологии, моделирование процессов, протекающих при планировании структуры энергосистемы, проектирование архитектуры соответствующей информационной системы. При решении поставленных задач были использованы методология системного анализа для формализации процедуры планирования энергетической, методы структурного анализа и функционального моделирования информационных систем для построения структурно-функциональных моделей процесса планирования. Для реализации предложенной и информационной технологии поддержки принятия решений при планировании энергообеспечения зданий разработана система поддержки принятия решений, реализована в виде программного веб приложения с трехуровневой клиент-серверной архитектурой. Использование системы поддержки принятия решений позволяет повысить эффективность принятия решений при планировании энергообеспечения зданий по использованию возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** информационная технология, задача планирования энергообеспечения зданий, возобновляемые источники энергии, система поддержки принятия решений.

## INFORMATION TECHNOLOGY OF PLANNING POWER SUPPLY OF BUILDINGS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

The way to implement energy efficiency policies is to develop and implement energy-saving technologies by increasing the share of renewable energy sources. The energy supply of buildings depends on the availability of batteries, solar panels, wind generators and their combination in the structure of the energy system that provide consumption in the household. During constructing the most efficient energy system, it is necessary to operate with a large number of disparate data of the potential of the energy resource in a particular locality, the variants of the component of the system, the possibility of combining with other regional grids, and taking into account external conditions (changing weather data, seasons, capacity of the external grid, ). In addition, the decision also depends on subjective factors that need to be identified and included into the planning process. Therefore, the process of planning the energy supply of buildings with renewable energy sources requires the creation of information support systems for decision-making that give recommendations on the selection of the components of the energy system. The **subject** of this study is the information technology for planning the energy supply of buildings with renewable energy sources. The **aim** of this work is to improve the effectiveness of solutions when planning the structure of the energy system by creating an information system to support decision-making. The **tasks** of the study are to build information technology, the processes modeling that occur during planning the structure of the energy system, design the architecture of the appropriate information system. To solve tasks, the methodology of system analysis was used to formalize the procedure for energy planning, and were used methods of structural analysis and functional modeling of information systems for constructing structural and functional models of the planning process. To implement the proposed information technology for decision support in the planning of energy supply of buildings, a decision support system has been developed, implemented as a software web application with a three-tier client-server architecture. The use of the decision support system makes it possible to increase the efficiency of decision making when planning the energy supply of buildings for the use of renewable energy sources.

**Keywords:** information technology, task of building energy supply planning, renewable energy sources, decision support system.

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

Шулима О. В. Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 90–97.

Шулима О. В. Информационная технология планирования энергообеспечения зданий с возобновляемыми источниками энергии. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 90–97.

Shulyma O. Information technology of planning power supply of buildings with renewable energy sources. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 90–97.

UDC 33:338

N. AVANESOVA, Y. CHUPRIN

## ENTERPRISE ECONOMIC SECURITY: ESSENTIAL CHARACTERISTICS OF THE CONCEPT

The **subject** matter of the study is determining the essence of economic security. The **aim** is to systematize the approaches to the interpretation of the concept "enterprise economic security". The immediacy of the study is motivated by the lack of consistency, coordination and common views on the discourse in this area, as well as insufficiently substantiated offers for implementing modern methods and models of economic security management at all levels of economy. At the same time, despite a large number of publications, there remain many unsolved problems in the management of economic security, which is the main component of protection against threats, both at the state level and at the level of business entities such as enterprises and organizations. The following **methods** of theoretical and empirical research were used: logical generalization – to substantiate the relevance of the topic, the goals and objectives of the study, to determine the essential features of the problem; analysis and synthesis – to describe the theories of economic security. Economic security of an enterprise gives rise to a company's capability to develop, increase its competitiveness and the competitiveness of its products, sustain its position on competitive markets, and characterizes the strength and economic potential of enterprises to counteract the negative impact of the external and internal environment. At the same time, the company's economic security mirrors the conditions of its protection against any threats which are achieved due to the use of existing and potential resources of the company in order to ensure its safe operation in the long run.

**Keywords:** economic security, enterprise economic security, approaches for determining the economic security essence, a subject of economic activity, classification features of economic security.

### Introduction

In the context of constant environmental threats modern business entities are increasingly facing problems of ensuring the effectiveness of their activities, which is caused by the fact that emerging phenomena and trends of the development in the environment do not always have a positive impact on the operation of economic entities. Some changes in the environment result in dangers and threats to an enterprise and, sometimes, act as catalysts for deterioration of its condition. That is why the necessity to protect enterprise activity as well as its position on competitive markets, which consequently ensures the economic security of business entities, is a logical response to negative changes in the environment.

### Analysis of literature sources and problem setting

Many scholars focused on the problem of determining the essence of economic security, among them are: V. Muntian [10], M. Kamlik [6], M. Bennikov [2], B. Belokurov [1], D. Kovalev and T. Sukhorukova [8], G. Kozachenko, V. Ponomarev and A. Lyashenko [9], O. Illyashenko [5], E. Rudinchenko [14], and others. Their researches reveal the essence of economic security, factors that influence it, as well as approaches to determining the essence of such concept as "enterprise economic security".

Today, the problem of determining the essence of economic security of an enterprise is characterized by a great number of scientific ideas. Economic security of an enterprise was considered just as a practical task some time ago; so taking this fact into account we should admit the lack of a unified approach of researchers to the essence of the concept "enterprise economic security".

The purpose and objectives of the study. Considering the above, the purpose of the study is to systematize approaches to the interpretation of the concept of "economic security of an enterprise".

### Materials and methods of research

The following methods of theoretical and empirical research were used while considering the target problem: logical generalization was in order to substantiate the relevance of the topic, the goals and objectives of the study, to determine the essential features; analysis and synthesis were used in order to characterize approaches to the definition of the essence of the concept of "enterprise economic security". The information and factual basis of the study is monographs and publications of Ukrainian and foreign authors as well as Internet resources.

### The results of researching

The economic security of an enterprise is a synthetic category of political economy and political science, which are closely linked to the categories of economic independence and dependence, stability and vulnerability, economic sovereignty and economic pressure, blackmail, coercion and aggression [10, p. 351].

### Discussion of the results

The term "economic security" was firstly used during the Great Depression in the United States. At that time, the idea of economic security was associated with individuals, and actions ensuring it were directed at harmonizing the social situation in the country and at developing public retirement income system and social insurance of the unemployed. In Ukraine, economic security was firstly mentioned during the period of independence. But today there are many definitions of the concept "enterprise economic security" and a wide variety of ideas as for the essence of this category.

For example, N. Gapan relying on the researches of M. Kamlik [6, p. 9], S. Nikolayuk and D. Nikiforchuk [11, p. 15], V. Shlikov [16, p. 138] states that the economic security of an enterprise is a complex characteristic, which means the level of protection of all types of enterprise's

potential against internal and external threats, which ensures stable operation and effective development, and also requires business administration management [3]. L. Yurovich considers the company's economic security as the protection of the enterprise against negative impacts of external and internal environment, the ability to eliminate various threats quickly or adapt to external conditions without negative consequences for the enterprise [17]. The author refers to the scientific works of N. Kapustin and M. Bendikov. N. Kapustin proves that the economic security of an enterprise is a set of factors that

provide independence, stability, ability to progress under destabilizing factors [7, p. 19]. According to M. Bendikov, the economic security of the enterprise represents the protection of its scientific, technological, production and personnel potential against direct and indirect threats [2, p. 25].

At the same time, it should be noted that most scholars conclude that there is no single integrated approach to the interpretation of the category of economic security taking into account the wide range of opinions regarding the definition of the concept (Table 1).

Table 1. Enterprise economic security: the essence of the concept

Author	Definition
V. Belokurov [1]	Competitive advantages caused by the correspondence of the material, financial, personnel, technical and technological potential and the organizational structure of an enterprise to its strategic goals and objectives
O. Grunin S. Grunin [4, p. 37-38]	Business conditions under which the entity, using the corporate resources in the most efficient way, prevents or eliminates the influence of existing threats or other unforeseen circumstances or protects itself against them, and in general ensures achieving the main business objectives in the conditions of competition and economic risk
D. Kovalev T. Sukhorukov [8, p. 48]	Protectability of a business entity from the negative effects of external environment, as well as the ability to eliminate quickly various threats or adapt to existing conditions that do not affect its activities negatively
G. Kozachenko, V. Ponomarev, O. Lyashenko [9, p. 87]	Harmonizing in time and space economic interests of an enterprise with the interests of external environment involved and their partial protection against threats
A. Odintsov [12, p. 45-46]	The process aimed at protecting the entrepreneurial structures and individuals whose activities include elements of entrepreneurship against criminal competitiveness and other methods that harm them due to violations of law and business ethics
E. Oleynikov [13, p. 138]	The most effective use of corporate resources in order to prevent threats and to ensure the sustainable operation of an enterprise at present and in future.
M. Fomina [15, p. 11]	The most efficient use of resources in order to eliminate the threats and ensure the effective and stable operation of an enterprise at present and in future.

O. Ilyashenko states that a large variety of definitions of the concept of "economic security of an enterprise" is associated with the number of its attributes. The author notes that various researchers used such terms as conditions, needs, the ability of an enterprise, the condition of its activities, the characteristics of activity conditions or directly the enterprise activities to determine these attributes [5, p. 33].

In order to disambiguate this concept, the systematization of approaches to the definition of the essence of the concept is suggested on the basis of researches conducted by O. Ilyashenko [5] and Y. Rudinchenko [14] (Fig. 1).

Considering table 1 and fig. 1 it should be noted that the following definitions of "enterprise economic security" can be attributed to several approaches, which characterizes the phenomenon of economic security as a complex interdisciplinary category and represents its intrinsic qualities.

The economic security of an enterprise is a state of the entity as an economic system in which it is capable to respond adequately and prevent effectively all existing threats, both internal and external. [5, p. 245]

According to [11, p. 205] the economic security of an enterprise is defined as a complex category that characterizes the ability of the systems created at the enterprise to withstand the destabilizing effects of internal and external factors in order to ensure the efficient use of

its resources (capital, personnel, technology, information, technology, etc.), existing market opportunities (competitiveness), as well as fulfillment of other statutory tasks in the current period and in the future.

There is also a concept such as "integrated system for providing enterprise economic security", which includes a certain set of interrelated elements (measures of organizational, economic and legal nature) that, when the enterprise reaches the main objectives of the business, provides its security against real or potential threats that can lead to material losses.

The essence of the company's economic security is to ensure its progressive economic development in order to produce the necessary goods and provide services that meet the needs of the enterprise and social needs. Economic security of the enterprise manifests itself in ensuring its stable activity, preventing the leakage from it of any information.

The material basis of economic security of an enterprise is its economic potential, which determines the possibility of protecting the economic system from the adverse effects of the internal and external environment.

The analysis of numerous external hazards and threats, directions and objects of their actions, possible consequences for business is associated with long-term research. Nevertheless, each enterprise and, above all, business managers, considering particular situation their business face, should determine (predict) the most



significant (dangerous) problems and develop a system of measures to detect them timely, reduce their influence, prevent them.

Economic security of the company is conditioned to the interaction of various factors. Some factors for a particular period of time can be considered definite (for example, technical characteristics of fixed assets, number of employees, etc.). Others are subject to significant changes over a relatively short period of time (eg fluctuations in product prices, supply and demand levels, level of investment activity, etc.). A number of factors can not be precisely quantified. [19, p. 773]

External and internal factors can cause damage to the economy of the enterprise in four cases:

1. The system of economic security of the enterprise is constructed in such a way that it can not foresee a threat to its occurrence.

2. The threat arose, but officials responsible for the economic security of the company can not foresee it.

3. The threat is detected, but the management of the company is not able to prevent its negative consequences

4. Enterprise management tries to solve the problem, but its actions do not lead to a positive result [11, p. 205].

Since all factors are closely interrelated and have a comprehensive impact on the processes of economic security, enterprises need a comprehensive study of the whole set of operating factors. A detailed analysis of the conditions and factors of economic security allows the company to develop measures for the formation of mechanisms and systems of protection against dangers and threats. The more developed other systems, the less destructive forces that lower security parameters.

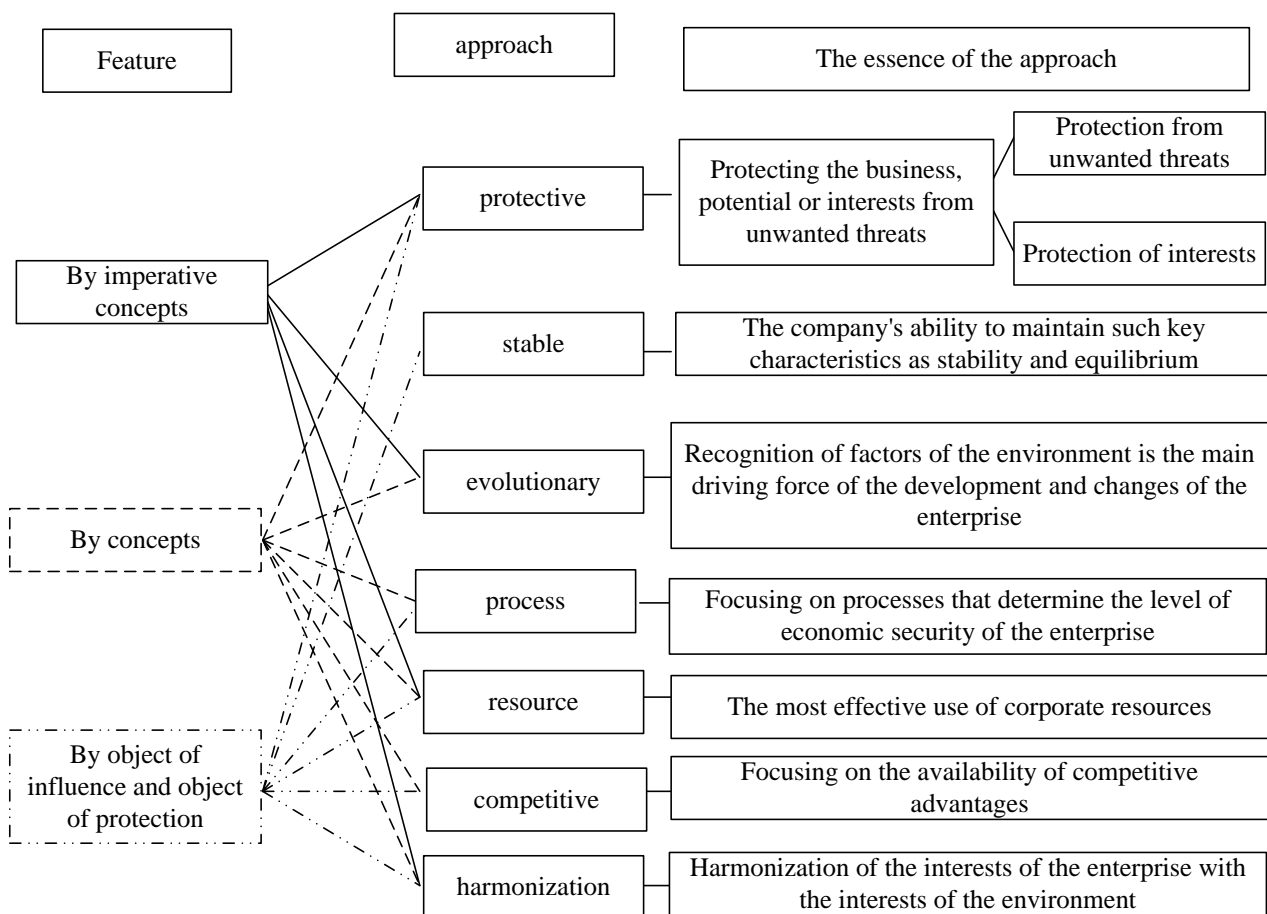


Fig. 1. Systematization of approaches to the definition of "enterprise economic security" [5, p. 40; 14, p. 20]

### Conclusions

Thus, enterprise economic security determines the company's ability to develop, increase its competitiveness and the competitiveness of its products, sustain its position on competitive markets, and also characterizes the strength and economic potential of enterprises to counteract the negative impact of external and internal environment. At the same time, the company's economic security mirrors the conditions of its security against any threats that are achieved due to the use of existing and

potential resources of the company in order to ensure its safe operation in the long run.

The increase of negative impact on the economic security of entrepreneurship leads to negative social and economic consequences (reducing volumes of production (services), deteriorating competitive environment and rising prices, increasing unemployment and decreasing social protection of citizens, reducing tax revenues to the budget, reducing the level of democratization of society as well as entrepreneurial activity, and deterioration of public attitude to the policy of public administration, etc.).

Consequently, the economic security of an enterprise is a combination of economic relations that arise to ensure stability, sustainability of the interests of an enterprise with the interests of the environment.

Citizens and their associations should also support economic security. Moreover, their actions should be extensively encouraged by the state. However, active participation of a citizen in ensuring economic security is

impossible without understanding its importance and without proactive attitude to life. In fact, the Constitution of Ukraine clearly states that, along with protecting the sovereignty and territorial integrity of Ukraine, ensuring its economic security is the most important function of the state and a matter of concernment of the whole Ukrainian nation.

#### References:

1. Belokurov, V. *The structure of functional components of the economic security of an enterprise* [Struktura funktsional'nykh sostavliaiuschykh ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatia], available at: <http://www.safetyfactor.ru>.
2. Bendykov, M. (2000), "Economic security of an industrial enterprise (organizational and methodological aspect)", *Consultant to director* ["Ekonomicheskaya bezopasnost' promyshlennogo predpriyatia (orhanyzatsyonno-metodycheskyj aspekt)", Konsultant dyrektora], No. 2, pp. 24-26.
3. Hapan, N. *Economic security of an enterprise: the essence, content and basis of assessment* [Ekonomichna bezpeka pidpriemstva: sutnist', zmist ta osnovy otsinky], available at: <http://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/1145/3/98.pdf>
4. Hrunyn, O., Hrunyn, S. (2002), *Economic security of the organization* [Ekonomicheskaya bezopasnost' orhanyzatsyy], St. Petersburg, 160 p.
5. Illiashenko, O. (2016), *Methodological principles of formation and functioning of mechanisms of the system of economic security of the enterprise: dissertation* [Metodolohichni zasady formuvannia ta funktsionuvannia mekhanizmiv systemy ekonomichnoi bezpeky pidpriemstva: dis...doctora ekonom. nauk], Sievierodonetsk, 606 p.
6. Kamlyk, M. (2005), *Economic security of entrepreneurship. The economic and legal aspect: a manual* [Ekonomichna bezpeka pidpriemstva: koi diial'nosti. Ekonomiko-pravovyj aspekt: navchal'nyj posibnyk], Atika, Kiev, 432 p.
7. Kapustyn, N. (1999), "Economic Security of the Industry and Firms" ["Ekonomicheskaya bezopasnost' otrasly y fyrmny"], *Biznes-inform*, No. 11-12, pp. 17-22.
8. Kovalev, D., Sukhorukova, T. (1998), "Economic security of the enterprise" ["Ekonomicheskaya bezopasnost' predpriyatia"], *Economy of Ukraine*, No. 10, pp. 48-51.
9. Kozachenko, A., Ponomarev, V., Liashenko, A. (2003), *Economic security of the enterprise: the essence and mechanism of provision: a monograph* [Ekonomicheskaya bezopasnost' predpriyatia: suschnost' y mekhanizm obespecheniya: monohrafiya], Lybra, Kyev, 280 p.
10. Muntiiian, V. (1999), *Economic security of Ukraine: monograph* [Ekonomichna bezpeka Ukrainy: monohrafiia], KVISH, Kyev, 464 p.
11. Nikolaiuk, S., Nykyforchuk, D. (2005), *Security of business entities: course of lectures* [Bezpeka sub'ektiv pidpriemstva: koi diial'nosti: kurs leksij], KNT, Kyev, 320 p.
12. Odyntsov, A. (2008), *Economic and Information Security of Entrepreneurship: A Textbook for High Schools, 2nd edition, revised and updated* [Ekonomicheskaya y ynformatsionnaia bezopasnost' predprynymatel'stva: ucheb. posob. dlia VUZov], Publisher "Akademiya", Moscow, 336 p.
13. Olejnykova, E. (ed) (1997), *Fundamentals of Economic Security (State, Region, Enterprise, Personality): A Training Manual* [Osnovy ekonomicheskoy bezopasnosti (Hosudarstvo, rehyon, predpriyatye, lychnost'): ucheb.-prakt. Posob], ZAO "Byznes-shkola "YntelSyntez", Moscow, 288 p.
14. Rudnichenko, Ye. (2014), *Influence of subjects of customs regulation on the system of economic security of the enterprise: dissertation* [Vplyv sub'ektiv mytnoho rehuliuвання na systemu ekonomichnoi bezpeky: dis...doctora ekonom. nauk], Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 579 p.
15. Fomina, M. V. (2005), *Problems of Economically Safe Development of Enterprises: Theory and Practice: Monograph* [Problemy ekonomichno bezpechnoho rozvytku pidpriemstv: teoriia i praktyka: monohrafiia], Donetsk: DonDUET, 140 p.
16. Shlykov, V. (1999), *Complex maintenance of economic safety of the enterprise* [Kompleksnoe obespechenye ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatia], Ryazan, Aletejia, 145 p.
17. Yurovych, L. *Economic security of an enterprise: the essence, factors of influence, main problems* [Ekonomichna bezpeka pidpriemstva: sutnist', chynnyky vplyvu, osnovni problemy], available at: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/4894/1/95.pdf>
18. Bukowiz, W., Williams, R. (2000), "The Knowledge Management Fieldbook", *London, Financial Time, Prentice Hall*, pp. 71–72.
19. Fitzenz, J. (2001), *Rentownosc inwestycji w kapital ludzki*, Oficyna Ekonomiczna, Krakow, p. 23.

Received 20.06.2017

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

**Аванесова Ніна Едуардівна** – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри фінансів та кредиту, м. Харків, Україна; e-mail: [ninelka28@gmail.com](mailto:ninelka28@gmail.com); ORCID: 0000-0003-3636-9769.

**Аванесова Ніна Едуардовна** – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри фінансів та кредиту, г. Харків, Україна; e-mail: [ninelka28@gmail.com](mailto:ninelka28@gmail.com); ORCID: 0000-0003-3636-9769.

**Avanesova Nina** – PhD. (Economics), Associate Professor, Kharkiv National University of Construction and Architecture, Professor of the Department of Finance and Credit, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [ninelka28@gmail.com](mailto:ninelka28@gmail.com); ORCID: 0000-0003-3636-9769.

**Чупрін Євген Сергійович** – Харківський національний університет будівництва та архітектури, студент кафедри фінансів та кредиту, м. Харків, Україна; e-mail: [rmchuprin@gmail.com](mailto:rmchuprin@gmail.com); ORCID: 0000-0001-8386-8689.

**Чуприн Евгений Сергеевич** – Харьковський національний університет будівництва та архітектури, студент кафедри фінанси та кредит; г. Харків, Україна; e-mail: rmchuprin@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8386-8689.

**Chuprin Yevhen** – Kharkiv National University of Construction and Architecture, Student of the Department of Finance and Credit, Kharkiv, Ukraine; e-mail: rmchuprin@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8386-8689.

## ЕКОНОМІЧНА БЕЗПЕКА ПІДПРИЄМСТВА: СУТНІСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТТЯ

**Предметом** дослідження є проблематика визначення сутності економічної безпеки. **Мета** полягає у систематизації підходів до трактування поняття "економічна безпека підприємства". Актуальність теми даного дослідження зумовлено відсутністю системності, координованості та єдиних поглядів стосовно категорійно-понятійного апарату у цій сфері, а також обґрунтування пропозицій щодо впровадження сучасних методів та моделей управління економічною безпекою на всіх рівнях економіки. Разом з тим, не дивлячись на велику кількість публікацій, залишається багато невирішених проблем управління економічною безпекою, яка є основною складовою захисту від загроз, як на рівні держави, так і на рівні суб'єктів господарювання – підприємств і організацій. У статті було використано такі **методи** теоретичного та емпіричного дослідження: логічного узагальнення – для обґрунтування актуальності теми, мети і завдань дослідження, для визначення сутнісних ознак; аналізу та синтезу – для характеристики теорій економічної безпеки. Економічна безпека підприємства обумовлює здатність підприємства до розвитку, підвищення його конкурентоспроможності та конкурентоспроможності його продукції, збереження власної позиції на конкурентних ринках, а також характеризує силу й економічний потенціал підприємства протистояти негативному впливу зовнішнього та внутрішнього середовища. У той же час економічна безпека підприємства відображає стан його захищеності від будь-яких загроз, який досягається за рахунок використання наявних і потенційних ресурсів підприємства з метою забезпечення його безпечного функціонування у довгостроковій перспективі.

**Ключові слова:** економічна безпека, економічна безпека підприємства, підходи до визначення сутності економічної безпеки, суб'єкт господарської діяльності, класифікаційні ознаки економічної безпеки.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ: СУЩНОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНЯТИЯ

**Предметом** исследования является проблематика определения сущности экономической безопасности. **Цель** заключается в систематизации подходов к трактовке понятия "экономическая безопасность предприятия". Актуальность темы исследования обусловлена отсутствием системности, скоординированности и единых взглядов относительно категорійно-понятійного апарату в этой сфере, а также обоснования предложений по внедрению современных методов и моделей управления экономической безопасностью на всех уровнях экономики. Вместе с тем, несмотря на большое количество публикаций, остается много нерешенных проблем управления экономической безопасностью, которая является основной составляющей защиты от угроз, как на уровне государства, так и на уровне субъектов хозяйствования – предприятий и организаций. В статье были использованы следующие **методы** теоретического и эмпирического исследования: логического обобщения – для обоснования актуальности темы, цели и задач исследования, для определения сущностных признаков; анализа и синтеза – для характеристики теорий экономической безопасности. Экономическая безопасность предприятия обуславливает способность предприятия к развитию, повышение его конкурентоспособности и конкурентоспособности его продукции, сохранение собственной позиции на конкурентных рынках, а также характеризует силу и экономический потенциал предприятия противостоять негативному влиянию внешней и внутренней среды. В то же время экономическая безопасность предприятия отражает состояние его защищенности от любых угроз, который достигается за счет использования существующих и потенциальных ресурсов предприятия с целью обеспечения его безопасного функционирования в долгосрочной перспективе.

**Ключевые слова:** экономическая безопасность, экономическая безопасность предприятия, подходы к определению сущности экономической безопасности, субъект хозяйственной деятельности, классификационные признаки экономической безопасности.

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Аванесова Н. Е., Чупрін Є. С. Економічна безпека підприємства: сутнісна характеристика поняття. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 98–102.

**Аванесова Н. Э., Чуприн Е. С. Экономическая безопасность предприятия: сущностная характеристика понятия. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 98–102.

**Avanesova N., Chuprin Y. Enterprise economic security: essential characteristics of the concept. Innovative technologies and scientific solutions for industries.** Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 98–102.

T. MOMOT, ZHANG HAUYUY, D. MOMOT

## ENSURING PERSONNEL SECURITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES UNDER CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL CONFLICTS

The **subject** of research of the article is theoretical and methodological approaches to the personnel security of enterprises of the industry provision in a conflict environment. The goal is the substantiation of scientific and theoretical provisions and development of practical recommendations for improving the provision of personnel security for industrial enterprises in a conflict environment. **Objectives:** the essence and the basic elements of personnel safety of the enterprise as object of management in the conditions of occurrence of conflicts are defined; of the system of indicators of the assessment of the state of personnel security at industrial enterprises is analysed; the indicators of the assessment of the personnel security status have been researched, the personnel safety profiles have been constructed on the example of industrial enterprises; an integral index of the personnel security of industrial enterprises is defined; ways of countering threats to ensure personnel security of the enterprise are improved. It is used general scientific **methods**, such as: system analysis, structural analysis, methods of financial and economic and statistical analysis, graphical and analytical methods for visualization of research results. The following **results** are obtained. The article presents the methodical approach developed by the authors to the definition of the integral index of personnel security of enterprises of the industry, which is based on a comprehensive assessment of the indicators of financial and economic activity of enterprises and indicators of the personnel system efficiency. By organizing indicators for assessing the status of personnel security, 32 indicators have been selected based on the components of personnel security, namely, socio-motivational safety, occupational safety, non-conflict security and safety of life. The personnel security profiles of the enterprise were built and the group of industrial enterprises was grouped according to the profile of personnel security with interval characteristics, taking into account the state of personnel security in a conflict environment. The applied part was realized by performing calculations using the example of the industries of the Kharkov region selected for research. **Conclusions.** The article investigates the system of personnel security and the basis of its provision at the enterprises of the industry. The authors analyze different approaches to the interpretation of the category "personnel security" and proposed their own definition of this concept. Personnel security is considered as a synthetic category of economic theory, personnel management, sociology of management and labor economics, and is defined as the activity to create conditions for the stable functioning and development of an enterprise, which ensures the protection of the interests of the enterprise from the risks and threats associated with its own personnel and the personnel themselves from internal and external threats such as blackmail, revenge on competitors, attacks on the lives and health of employees etc. Based on the conducted calculations, the existing level of personnel security was analyzed and the recommendations for countering the threats to personnel security have been developed on the example of selected enterprises for the Kharkiv region industry. The proposed measures allow to increase the efficiency of the activity and reduce the risks from the criminal actions of employees.

**Keywords:** personnel security, conflict environment, industrial enterprises, integral indicator of personnel security of enterprises of the industry, personnel security provision, personnel security profiles of the enterprise.

### Introduction

Under conditions of integration of Ukrainian economy into the world economic space, the priority is given to ensuring the economic security of enterprise operation, the protection of enterprises and capability to meet internal and external influences and threats related to personnel. Changes in the external and internal environment of an enterprise caused by the globalization of markets are characterized by shifts in job structure and employee demographics, by focusing on high income of owners, rapid and continuous organizational and technological changes, by the increase of a number of collective labour disputes and the rise of the level of responsibility of enterprise managers for self-made managerial decisions. Negative changes in the increase of risks and threats related to personnel lead to the appropriateness of improving the process of personnel security ensuring, which is determined as the capability of an enterprise to prevent risks and threats associated with personnel, its intellectual potential, the organization of labour, and labour relations in general.

According to the data of Grant Thornton International Business Report, nowadays more than 40% of companies suffer from economic crimes, losing as much as 7% of their profits as a result of plundering; that means that the management constantly have to make

adaptive solutions aimed at tackling staff misdoings under conflict environment.

Therefore, the study of issues related to ensuring personnel security of enterprises in the context of conflict environment is relevant and timely.

### Analysis of literary sources and problem statement

Personnel security has always been a sophisticated and many-sided concept. Reputed foreign and Ukrainian scientists contributed greatly to the study of the theory and practice of personnel security, among them are: O. Baranovsky, I. Blank, V. Heyets, R. Datsko, O. Zakharov, M. Kamlik, N. Kizim, T. Klebanova, I. Mahonich, V. Muntian, G. Nazarova, V. Ponomarev, I. Pisarevsky, P. Pygunov, Y. Rudnichenko, V. Sidak, A. Semenchenko, V. Franchuk, O. Chernyak, S. Scarlet.

Theoretical and practical studies conducted by Ukrainian and foreign scientists make it possible to conclude that some issues of personnel security analysis of an enterprise are not sufficiently worked out, there does not exist the agreement in selecting indicators that comprehensively characterize the level of personnel security and its impact on the enterprise efficiency; due attention is not paid to the development of personnel security system of an enterprise.

Thus, N. Schwett considers the organizational



security as the state of the organization's protection against risks and threats associated with personnel [1].

According to M. Petrov, personnel security is such a state of an organization as a social community and an individual within the organization where natural, economic and social environment as well as the internal context of a person do not have any negative impact and cannot cause any harm [2].

I. Chumarin defines personnel security "as a process of preventing negative effects on the company's economic security caused by risks and threats associated with personnel, its intellectual potential and labour relations in general" [3]. T. Vetoshkina, N. Kurshakov share this opinion. According to this approach, personnel security is considered as a process, that is, a set of certain stages that enable analyzing this activity as an interdependent chain of elements as well as formalizing theoretical models. A. Jobava and O. Chernyak reveal the concept of personnel security considering its goals: "personnel security is a set of procedures aimed at preventing illegal actions or assisting them from the side of the personnel of an enterprise" [4]. L. Goncharenko relates problems of the development of staff resources of an organization and ensuring personnel security, and considers personnel security as "the protection of social progressive interests of an organization in developing and improving its human capital, supporting an effective system of human resources management and minimizing the risks of the company related to its staffing component" [5, p. 365].

V. Heyets considers personnel security as a legal and informational support of the personnel management process: solving legal issues of labour relations, preparing regulatory documents that manage them, providing all units of personnel management with necessary information [6].

A. Myryushchenko considers the personnel security of a company as the activity aimed at creating conditions for a company's operation which ensure the protection of the company's interests against risks and threats associated with its own personnel [7]. This idea differs from other ones by the fact that personnel security is considered as an activity aimed at maintaining a guaranteed security of an organization. However, the author's position regarding the result of security which is defined as "the guaranteed protection of the interests of an organization" as well as regarding the subject of security which guarantees such a result remains unclear.

The definitions suggested by L. Lyubavsky and D. Belyaykin have similar shortcomings; these authors consider personnel security of an organization as a proper degree of its protection against any threats associated with its personnel [8, p. 12].

Such authors as M.O. Kizim and T. S. Klebanov consider personnel security as a state of protection of social progressive interests of an organization in developing and improving its human capital, supporting an effective system of human resources management and minimizing the risks of the company related to its staffing component [6].

A. Kybanov gives the most complete definition considering personnel security as "the general direction of personnel work, a set of principles, methods, forms of the

organizational mechanism for processing goals and tasks aimed at preserving, strengthening and developing personnel resources, at building a responsible and high-performance cohesive team capable to react timely to constantly changing market requirements taking into account the organization's development strategy" [9].

Summing up, personnel security should be defined as an activity aimed at creating conditions for stable operation and development of an enterprise which ensures the protection of the interests of an enterprise against risks and threats associated with its own personnel, and the personnel against internal and external threats, such as blackmailing, labour pirating, attacking the lives and health of employees, etc. It is a synthetic category of economic theory, human resources management, sociology of management and labour economics.

The analysis of personnel security definitions makes it possible to make a number of conclusions, namely: the necessity of personnel security is linked with the high level of reliability and scale of both property and non-property losses of a modern enterprise, and the causes of these losses are directly related to its personnel; most researchers associate the process of ensuring personnel security with the process of protecting the interests of an organization against threats coming from its staff.

Within the considered approaches, threats to the security of an organization from the personnel side are detailed, while threats to the safety of employees are not highlighted; approaches to ensuring the safety of personnel are often limited to solving the issues of their physical protection that means the protection against threats and attacks "from outside" (blackmailing, labour pirating, attacking the lives and health of employees).

Particular attention is paid to the external environment of enterprises operation that is characterized by a significant number of conflicts at all levels of the hierarchical structure, unfair competition, rapid growth of inflation, ineffective state regulation of economic processes. All these factors finally lead to extreme variability and uncertainty of external environment, and, consequently, to unpredictable and absurd actions taken by the representatives of the internal environment of an enterprise.

Defining the objects and subjects of personnel security, it should be noted that employees of an enterprise in this case can be positioned simultaneously both as objects and subjects of potential threats. An employee of an enterprise may be subject to such threat from the side of a competitive opponent if he is prone to damage the confidence of the employer releasing confidential information. Various methods may be used for this purpose (bribery, blackmailing, etc.). If an employee accepts an offer of a competitive opponent of his employer, his status automatically changes. This employee is not the object of threat to personnel security, he becomes its subject, while the object is the information security of the organization. An exception from this rule is the situation when property or non-property damage done to the organization by its employee is not the result of malicious intent, but irresponsibility, that is, ignoring the employer's requirements in the sphere of security. Negative risks and threats associated with staff actions can



also be considered as the object of personnel security. The security of operation of the organization is ensured by a set of measures of legal, organizational and technical nature.

### The purpose and tasks of the study

The purpose of the work is to give scientific and theoretical grounds and to develop practical recommendations for improving personnel security of enterprises under conflict environment. In order to achieve the set goal the following tasks should be solved: the essence and basic elements of personnel security as an object of management under conflicts should be determined; the system of indicators of assessing the state of personnel security at industrial enterprises should be analyzed; the methodological approach to defining the integral indicator of personnel security of industrial enterprises should be developed; industrial enterprises should be grouped according to the personnel security profile of an enterprise; recommendations as for counteracting to the threats to personnel security should be developed for some enterprises of the Kharkiv region that were selected as examples.

### Materials and methods of research

In order to solve the tasks, the system of general scientific and special research methods was used in the work, in particular: methods of theoretical generalization, system analysis, methods of comparative analysis, financial economic and statistical analysis and graphical analytical method.

### Research results

The methodological approach to defining the integral indicator of personnel security of industrial enterprises is developed, which, unlike the available ones, is developed by determining a considerable quantity of features characterizing personnel security as a social and economic phenomenon; by aggregating selected features into one integral assessment, based on the theory of "additive value"; by determining optimal, threshold and border values of indicators; by using weighing coefficients and normalized values of indicators. The informational unidirectionality of indicators is realized by dividing them into stimulants and disincentives; using the method of

main components is also involved in the study of the original system of attributes.

The integral indicator of personnel security of an enterprise is calculated according to the formula [10]:

$$I = \sum_j b_j \times I_j \quad (1)$$

where  $b_j$  – are weighing coefficients of staff security of an enterprise.

The weighing coefficient of the  $j$ -th component is determined by examining the media of the  $N$ -th number of experts as the ratio of the score given by all the experts of the specified component to the total score.

$$b_j = \frac{\sum_{n=1}^N S_{jn}}{\sum_{k=1}^M \sum_{n=1}^N S_{kn}}, \quad (2)$$

where  $S_{jn}$  – is the assessment of the  $j$ -th component, which was given by the  $n$ -th expert;

$N$  – is a number of experts;

$M$  – is a number of components of the personnel security of an enterprise.

Indicators for assessing the state of personnel security were systematized and 32 indicators were sorted out; they are composed of the components of personnel security, namely, social motivational safety, occupational safety, anticonflict security and the safety of life.

The suggested methodological approach was tested at some industrial enterprises of the Kharkiv region, among them are PAT "Kharkiv machine-building factory "Sviltlo shahitarya"", VAT "Turboatom", PAT "Kharkiv bearing plant", PrAT "Kharkiv electric equipment plant", PAT "Kharkiv electrical engineering plant "Ukrelectromash", PAT "Kharkiv tractor plan named after S. Ordzhonikidze", KP "KhK.B.D.", PAT "Avtramat".

The obtained results show that according to the Harrington scale, VAT "Turboatom" should be noted as the company with a "high level of personnel security" (numerical estimate = 0.6497), all other enterprises have a "middle level of personnel security" (numerical estimates lie within the interval from 0.37 to 0.62) (fig. 1).

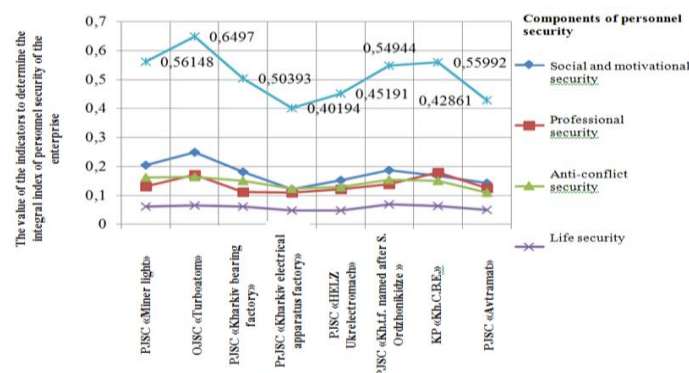


Fig. 1. Integral indicator of personnel security according to the components for the investigated industrial enterprises

The conclusion is made that the dynamics of integral indicator of personnel security should be considered. In order to monitor the state of personnel security in the course of time, personnel security profiles should be created using a number of relevant indicators and normative values of expert assessment points. Fig. 2 shows the example of the personnel security profile for VAT "Turboatom" in 2014–2015.

In order to assess the state of personnel security according to the personnel security profile of an enterprise, the average value of the indicator according to the average value of assessment points according to all indicators without considering the weight of each one should be determined.

Characteristics of the environment	Impact (+/-)	Balance score	Personnel security profile									
			-3	-2	-1	0	1	2	3			
Coefficient of personnel turnover (is 0.03713 and during a year decreased by 8.9%)	-	2										
Staffing level indicator (equals to 92.83%, decreased by 0.83%)	+	-1										
Working time fund of one employee (2004 man-hours, increased by 4,05%)	+	3										
Labour productivity (is 318 045 UAH / person, during a year increased by 34.36%)	+	3										
Production labour intensity (is 6.29 h / thous. UAH and during a year decreased by 22.63%)	-	3										
Salary budget of full-time employees (285150 thous. UAH and during a year increased by 25,82%)	+	3										
Average monthly salary (4345.74 UAH and during a year increased by 25.91%)	+	3										
Part of employees who received the minimum wages during a year (4.13% a year, decreased by 15.71%)	-	3										
Net profit / loss (profit is 582944 thous. UAH and increased by 88,74% a year)	+/-	3										
Coefficient of staff social security (0.818, during a year increased by 8.49%)	+	2										
Coefficient of availability of information resources (0.781 per year, increased by 5.49%)	+	2										
Coefficient of information security (is 0.811, during a year increased by 4.9%)	+	2										
Level of corporate culture development (is 0.591 per year, increased by 1.16%)	+	1										
Staff loyalty level (85.4%)	+	2										
Number of labour conflicts at the enterprise (5 conflicts were recorded and their number did not change during a year)	-	1										
Number of resolved destructive conflicts at the enterprise (80%)	+	2										
Coefficient of labour discipline (is 0.759, for the year increased by 4.42%)	+	2										

Fig. 2. Personnel safety profile of OJSC "Turboatom" for 2014-2015

On the basis of the performed calculations, industrial enterprises were grouped according to the established intervals of the values of the assessment points, taking into account the maximum and minimum value; recommendations for countering threats to personnel security within the specified intervals were developed (see tab. 1).

The obtained results indicate that most of the investigated industrial enterprises entered the interval that is characterized by the average level of personnel security according to the average value of assessment points (according to the personnel security profile), among them are: PAT "Kharkiv bearing factory" (-0,471), PAT "Svitlo shahtarya" (-0,471), PAT "Kharkiv electric equipment factory" (-0,118), PAT "Kharkiv tractor factory named after S. Ordzhonikidze" (0,471), which indicates a

relatively efficient management system and a stable psychological atmosphere in the team. The best situation with ensuring personnel security was recorded at VAT "Turboatom" (2,118), which indicates a high level of protection against unauthorized personnel actions. There is also a rather stable situation as for ensuring personnel security of the enterprise at KP "Kh.K.B.D."

The unstable state of personnel security was recorded at PAT "Kh.El.Eng.Plant Ukrelectromach" (-0,706). The worst situation is observed at PAT "Avtramat" (-2.176), which indicates that further escalation of the problem may lead to the enterprise bankruptcy and plundering financial and information assets, and that proper measures for stabilizing the enterprise security from the side of personnel are necessary.

Table 1. Grouping of industrial enterprises according to the personnel security profile of the enterprise

Interval	The state of personnel security	Enterprises that entered the $i$ -th interval	Characteristics of the interval
$\{-3 \leq x_1 < -2,5\}$	critical	-	Changes according to all indicators of personnel security have a very negative trend, which can lead to the enterprise bankruptcy, plundering financial and information assets
$\{-2,5 \leq x_2 < -1,5\}$	low	PAT "Avtramat" (-2,176)	Enterprises in this sector are characterized by negative changes in the indicators of production and economic activity, which affect the level of personnel security: labour productivity is significantly reduced, labour intensity increases, labor costs are reduced as well as average monthly wages, etc.
$\{-1,5 \leq x_3 < -0,5\}$	unstable	PAT "Kharkiv electrical engineering plant "Ukrelectromach" (-0,706)	Personnel security indicators mainly change in negative direction, the state of security of information resources is unsatisfactory, some employees disagree with the actions of management and are potential subjects of personnel insecurity
$\{-0,5 \leq x_4 \leq -0,5\}$	average	PAT "Kharkiv bearing factory" (-0,471), PAT "Svitlo shahtarya" (-0,471), PAT "Kh.el,equip.plant" (-0,118), PAT "Kharkiv tractor factory named after S. Ordzhonikidze" (0,471)	The enterprises are characterized by relatively efficient management system, the average level of staff loyalty (from 40% to 70%), average staff turnover, low level of staff social security, average wages, stable level of corporate culture development, low level of conflict and a stable psychological atmosphere in the team
$\{0,5 < x_5 \leq 1,5\}$	normal	KP "Kh.K.B.D." (0,765)	Changes in the majority of personnel security indicators are mostly positive, staff is loyal, employees are socially protected, confident in future job security and stable wages
$\{1,5 < x_6 \leq 2,5\}$	high	VAT "Turboatom" (2,176)	Enterprises are developing, revenue from product sales, net profit and wages increase, but a number of conflicts decreases. The enterprise is protected against unauthorized actions from the side of personnel
$\{2,5 < x_7 \leq 3\}$	standard	-	All indicators of personnel security without exception change in a positive direction, the level of personnel security is at the highest level

### Conclusions

On the basis of systematization of approaches to definition of "personnel security" the essence and basic elements of personnel security as an object of management under conflict environment are defined. Personnel security is considered as a complex multilevel system that includes the personnel security subsystem. The processes of interaction and confrontation of vital interests of an employee and the employer with threats to these interests, both internal and external, are continuously taking place in this system. At the same time personnel and the system of personnel management act as a source of threats to personnel, and a guarantee of personnel security is the balance of vital interests of all those who participate in social and labour relations. Hence, personnel security is represented as the state of the system of social and labour relations between its participants (employer, employees, state and other public institutions), which ensures the possibility of full realization and protection of their vital interests against external and internal threats due to the balance of interests of each participant of these relations as well as contributes to the efficient and harmonious development of personnel resources.

By systematizing the indicators of assessing the state of personnel security of an enterprise, the methodological approach to assessing the state of personnel security of industrial enterprises based on the integral indicator of

assessment with the use of additive multiplicative function was developed; the peculiarity of this approach is the use of methodological principles of selecting 32 indicators according to the components of personnel security, namely social motivational safety, occupational safety, anticonflict security and the safety of life.

The methodological approach involves the use of statistical data of enterprises, the method of questioning employees and calculating according to mathematical formulas in order to determine the quantitative values of the suggested indicators for developing the system of indicators of personnel security assessment of an enterprise.

The integral index is obtained by aggregating the selected features into one integral assessment on the basis of the theory of "additive value"; by determining optimal, threshold and border values of indicators; by using weighing coefficients and normalized values of indicators. Information unidirectional indicators are implemented by dividing them into stimulants and disincentives, and also by using the method of the main components for studying the original system of attributes.

Some industrial enterprises of the Kharkiv region were selected as the examples for testing the suggested methodological approach. The obtained results prove the fact that assessing and monitoring the level of personnel security at industrial enterprises under conflict environment are reasonable and practical. At the same

time, the suggested procedures for improving the efficiency of activities and reducing risks caused by personnel security system of industrial enterprises criminal activities of their employees. according to the data of calculation enable increasing the

## References

1. Shvets, N. K. (2006), "Methods of detection and preservation of personnel security, or how to overcome abuse of personnel", *Personnel*, No. 5, pp. 31-38.
2. Petrov, M. I. (2002), "Economic security of the enterprise: essence, interpretation, point of view", *Manager*, No. 1 (17), pp. 67-71.
3. Chumarin, I. G. (2003), "What is the personnel security of the company?", *Personnel of enterprise*, No. 2, available at: <http://www.kapr.ru/articles/2003/2/519.html>.
4. Jobava, A. "Features of staff selection in pharmacy networks of St. Petersburg", available at: // <http://www.selectium.spb.ru>.
5. Goncharenko, L. P. (ed) (2007), *Economic and national security: study*, Economics, Moscow, 543 p.
6. Heyets, V. M., Kizim, M. O., Klebanov, T. S. et al. (2006), *Modeling of economic security: the state, region, enterprise: Monograph*, VD "INZHEK", Kharkiv, 240 p.
7. Myryushchenko, A. L. "The essence of personnel security", available at: // <http://kadry.ucoz.ru/publ/8-1-0-6>.
8. Lyubavskaya, L. I., Belyaykin, D. V. (2010), *Personnel Security as a Factor of Competitiveness in the Sphere of Banking Entrepreneurship: Study. allowance*, NF RPGEU, Novosibirsk, 104 p.
9. Kybanov, A. Ya. "Personnel management organization", available at: // <http://econom-lib.ru/4.php>
10. "Order of the Ministry of Economy of Ukraine "On Approval of Methodology for Calculating the Level of Economic Security of Ukraine" No. 60 of 02.03.2007", available at: [http://www.uazakon.com/documents/date\\_6s/pg\\_gewqwi/pg2.htm](http://www.uazakon.com/documents/date_6s/pg_gewqwi/pg2.htm).

Receive 20.06.2017

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

**Момот Тетяна Валеріївна** – доктор економічних наук, професор, ДП "Південний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", провідний інженер, м. Харків, Україна; e-mail: [tvmomot@gmail.com](mailto:tvmomot@gmail.com); ORCID: 0000-0001-7397-3565.

**Момот Татьяна Валерьевна** – доктор экономических наук, профессор, ГП "Южный государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности", ведущий инженер, г. Харьков, Украина; e-mail: [tvmomot@gmail.com](mailto:tvmomot@gmail.com); ORCID: 0000-0001-7397-3565.

**Momot Tetiana** – Doctor of Sciences (Economics), Professor, SE "National Design & Research Institute of Aerospace Industries", Kharkiv, Ukraine; E-mail: [tvmomot@gmail.com](mailto:tvmomot@gmail.com); ORCID: 0000-0001-7397-3565.

**Чжан Хаоюй** – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, викладач-стажист кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail: [fremela@i.ua](mailto:fremela@i.ua); ORCID: 0000-0002-5131-9551.

**Чжан Хаоюй** – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, преподаватель-стажер кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: [fremela@i.ua](mailto:fremela@i.ua); ORCID: 0000-0002-5131-9551.

**Zhang Haoyuy** – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Trainee teacher of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; E-mail: [fremela@i.ua](mailto:fremela@i.ua); ORCID: 0000-0002-5131-9551.

**Момот Дарина Тарасівна** – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Магістр кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail: [momotdaryna@gmail.com](mailto:momotdaryna@gmail.com); ORCID: 0000-0002-6026-541X.

**Момот Дарина Тарасовна** – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, магистр кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: [momotdaryna@gmail.com](mailto:momotdaryna@gmail.com); ORCID: 0000-0002-6026-541X.

**Momot Daryna** – O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Master student of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [momotdaryna@gmail.com](mailto:momotdaryna@gmail.com); ORCID: 0000-0002-6026-541X.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАДРОВОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ КОНФЛІКТНОГО СЕРЕДОВИЩА

**Предметом** дослідження в статті є теоретичні та науково-методичні підходи щодо забезпечення кадрової безпеки підприємств промисловості в умовах конфліктного середовища. **Мета** – обґрунтування науково-теоретичних положень і розробка практичних рекомендацій щодо удосконалення забезпечення кадрової безпеки підприємств промисловості в умовах конфліктного середовища. **Завдання:** визначено сутність та основні елементи кадрової безпеки підприємства як об'єкта управління в умовах виникнення конфліктів; здійснено аналіз системи показників оцінки стану кадрової безпеки на підприємствах промисловості; досліджені індикатори оцінки стану кадрової безпеки, побудовані профілі кадрової безпеки на прикладі підприємств промисловості; визначено інтегральний показник кадрової безпеки підприємств промисловості; вдосконалені шляхи протидії загрозам щодо забезпечення кадрової безпеки підприємства. Використовуються загальнонаукові **методи:** системний аналіз, структурний аналіз, методи фінансово-економічного та статистичного аналізу, графічно-аналітичні методи для візуалізації результатів дослідження. Отримано такі **результати.** У статті представлено розроблений авторами методичний підхід до визначення інтегрального показника кадрової безпеки підприємств промисловості, що базується на комплексній оцінці показників фінансово-господарської діяльності підприємств та показників ефективності роботи кадрової системи. Шляхом систематизації індикаторів оцінки стану кадрової безпеки відібрано 32 індикатори, що скомпоновані за складовими кадрової безпеки, а саме соціально-мотиваційної безпеки,



професійної безпеки, антиконфліктної безпеки та безпеки життєдіяльності. Побудовано профілі кадрової безпеки підприємства та здійснено групування підприємств промисловості за профілем кадрової безпеки з характеристикою інтервалів за станами забезпечення кадрової безпеки в умовах конфліктного середовища. Прикладна частина реалізована шляхом здійснення розрахунків на прикладі обраних для дослідження підприємств промисловості Харківського регіону. **Висновки.** У статті досліджено систему кадрової безпеки та основи її забезпечення на підприємствах промисловості. Авторами проаналізовано різні підходи до трактування категорії "кадрова безпека" та запропоновано власну дефініцію цього поняття. Кадрова безпека розглядається як синтетична категорія економічної теорії, управління персоналом, соціології управління та економіки праці, що визначається як діяльність по створенню умов для стабільного функціонування і розвитку підприємства, при якій забезпечується захищеність інтересів підприємства від ризиків і загроз, пов'язаних з власним персоналом та самого персоналу від внутрішніх і зовнішніх загроз, таких як шантаж, переманювання конкурентами, посягання на життя і здоров'я співробітників і т.п. При проведенні аналізу здійснено оцінку наявного рівня кадрової безпеки та надано рекомендації щодо удосконалення процесу протидії загрозам кадровій безпеці на прикладі обраних для дослідження підприємств промисловості Харківського регіону. Отримані результати можуть бути використані як інструмент протидії від злочинних дій співробітників, що сприятиме підвищенню ефективності діяльності підприємств.

**Ключові слова:** кадрова безпека, конфліктне середовище, підприємства промисловості, інтегрального показника кадрової безпеки підприємств промисловості, забезпечення кадрової безпеки, профілі кадрової безпеки підприємства.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТНОЙ СРЕДЫ

**Предметом** исследования в статье являются теоретические и научно-методические подходы по обеспечению кадровой безопасности предприятий промышленности в условиях конфликтной среды. **Цель** - обоснование научно-теоретических положений и разработка практических рекомендаций по совершенствованию обеспечения кадровой безопасности предприятий промышленности в условиях конфликтной среды. **Задачи:** определена сущность и основные элементы кадровой безопасности предприятия как объекта управления в условиях возникновения конфликтов; осуществлен анализ системы показателей оценки состояния кадровой безопасности на предприятиях промышленности; исследованы индикаторы оценки состояния кадровой безопасности, построены профили кадровой безопасности на примере предприятий промышленности; определен интегральный показатель кадровой безопасности предприятий промышленности; усовершенствованы пути противодействия угрозам по обеспечению кадровой безопасности предприятия. Используются общенаучные **методы:** системный анализ, структурный анализ, методы финансово-экономического и статистического анализа, графико-аналитические методы для визуализации результатов исследования. Получены следующие **результаты.** В статье представлен разработанный авторами методический подход к определению интегрального показателя кадровой безопасности предприятий промышленности, базирующийся на комплексной оценке показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий и показателей эффективности работы кадровой системы. Путем систематизации индикаторов оценки состояния кадровой безопасности отобрано 32 индикатора, которые скомпонованы по составляющим кадровой безопасности, а именно социально-мотивационной безопасности, профессиональной безопасности, антиконфликтной безопасности и безопасности жизнедеятельности. Построены профили кадровой безопасности предприятия и осуществлена группировка предприятий промышленности по профилю кадровой безопасности с характеристикой интервалов по состоянию обеспечения кадровой безопасности в условиях конфликтной среды. Прикладная часть реализована путем осуществления расчетов на примере выбранных для исследования предприятий промышленности Харьковского региона. **Выводы.** В статье исследована система кадровой безопасности и основы ее обеспечения на предприятиях промышленности. Авторами проанализированы различные подходы к трактовке категории "кадровая безопасность" и предложено собственное определение этого понятия. Кадровая безопасность рассматривается как синтетическая категория экономической теории, управления персоналом, социологии управления и экономики труда, и определяется как деятельность по созданию условий для стабильного функционирования и развития предприятия, при которой обеспечивается защищенность интересов предприятия от рисков и угроз, связанных с собственным персоналом и самого персонала от внутренних и внешних угроз, таких как шантаж, переманивание конкурентами, посягательство на жизнь и здоровье сотрудников и т.п. При проведении анализа осуществлена оценка уровня кадровой безопасности и даны рекомендации по совершенствованию процесса противодействия угрозам кадровой безопасности на примере выбранных для исследования предприятий промышленности Харьковского региона. Полученные результаты могут быть использованы как инструмент противодействия от преступных действий сотрудников, что будет способствовать повышению эффективности деятельности предприятий.

**Ключевые слова:** кадровая безопасность, конфликтная среда, предприятия промышленности, интегральный показатель кадровой безопасности предприятий промышленности, обеспечение кадровой безопасности, профили кадровой безопасности предприятия.

### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Момот Т. В., Чжан Хаоюй, Момот Д. Т. **Забезпечення кадрової безпеки підприємств промисловості в умовах конфліктного середовища.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 103–109.

Момот Т. В., Чжан Хаоюй, Момот Д. Т. **Обеспечение кадровой безопасности предприятий промышленности в условиях конфликтной среды.** *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.* Харків. 2017. № 1 (1). С. 103–109.

Momot T., Zhang Haoyu, Momot D. **Ensuring personnel security of industrial enterprises under conditions of environmental conflicts.** *Innovative technologies and scientific solutions for industries.* Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 103–109.



И. В. РУЖЕНЦЕВ, С. В. ЛУЦКИЙ

**МЕРА ИНФОРМАЦИИ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ**

**Предметом** исследования в статье есть некоторые вопросы системно-информационного подхода к анализу меры дискретно-вероятностной (ДВ) информации в экономической кибернетике в рамках деятельности предприятия, касающиеся расчета технико-экономических показателей, прогнозирования программы выпуска продукции, технологического процесса изготовления изделий, эффективности использования материалов, ценовой политики, рентабельности и некоторых других. **Цель** исследования - анализ мероприятий дискретно-вероятностной информационной оценки управлением технико-экономическими показателями производства. **Задачи:** разработать структурную схему дискретно-вероятностных технологий оценки эффективности производства; разработать систему логарифмических технико-экономических показателей производства, которые позволяют более объективно использовать оперативную информацию производственного процесса; решить задачу прогнозирования необходимых материальных ресурсов для запуска в производство новых изделий, времени их изготовления и стоимости до разработки технологической документации. Используются **методы.** Основные научные положения методологии системно-информационного подхода которые включают в себя: научный метод расчета дискретно-вероятностной информации физических величин (параметров); способ отображения в виде созданных дискретно-вероятностных моделей процессов и систем, которые воплощают метод и способ (компьютерные технологии); процессом реализации измерения контролируемых параметров, сбора, хранения и обработки информации. Получены следующие **результаты.** Разработана структурная схема дискретно-вероятностных технологий оценки эффективности производства определяющей иерархию компьютерно-интегрированных технологий метрологического обеспечения, в основе которых лежит дискретно-вероятностная информация контролируемых параметров КД изделия, технологического оборудования и технологического процесса. Разработана система логарифмических технико-экономических показателей производства, которая позволяет более объективно оценивать и эффективно использовать оперативную информацию производственного процесса; решать задачи прогнозирования необходимых материальных ресурсов для запуска в производство новых изделий, времени их изготовления и стоимости до разработки технологической документации. Решена задача прогнозирования на ранних этапах жизненного цикла изделий, которая обеспечивается методологией системно-информационного подхода, а также разработанными на ее основе дискретно-вероятностными технологиями метрологического обеспечения оценки эффективности производства. Разработанная методология формулирует научные положения и закономерные связи между числовыми значениями дискретно-вероятностных логарифмических показателей, которыми обладают технологические контролируемые параметры и технико-экономическими показателями производства. Это позволяет решать задачи управления технико-экономическим состоянием производства, решать задачи прогнозирования необходимых материальных ресурсов для запуска в производство новых изделий, времени их изготовления и стоимости до разработки технологической документации. **Выводы.** Дискретно-вероятностная информационная технология оценки технико-экономических показателей производства позволяет точно и своевременно и экономически обоснованно рассчитать динамику технико-экономических показателей производства для использования ее в оперативном управлении производством.

**Ключевые слова:** мера, технологии, технико-экономические показатели, системно-информационный подход, дискретно-вероятностная информация.

**Введение**

Представление о том, что информация, возможно, является фундаментальной величиной в ядре физики принадлежит Фредерику Кантору, физика из Колумбийского университета "Информационная механика" (1977). 1990 году Джон Арчибалд Уиллер высказал предположение, что информация является фундаментальной концепцией физики. Согласно его доктрине "it from bit" все физические сущности являются информационно-теоретическими в своей основе. Дэвид Чалмерс из Австралийского национального университета высказал мнение, что информация истинно фундаментальна, и по которой она обладает двумя базовыми аспектами, соответствующими физической и воспринимаемой сторонами действительности. Кристофер Ланган также усилил взгляды Уиллера в своей эпистемологической метатеории.

Системно-информационный (СИ) подход [1] является новым научным направлением в области информационного исследования процессов и систем реального физического мира. Концептуальной основой методологии СИ подхода являются системно-информационные принципы определения числового

значения количества, качества и ценности дискретно-вероятности информации, которыми характеризуется объект и смысловую нагрузку, которую несут эти определения по отношению к экономическим системам.

**Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Экономическая кибернетика – одно из научных направлений кибернетики, занимается приложением идей и методов кибернетики к экономическим системам. Экономическая кибернетика рассматривает экономику, а также её структурные и функциональные части как сложные системы, в которых протекают процессы регулирования и управления, реализуемые движением и преобразованием информации. Экономическая кибернетика исследует процессы управления сложными экономическими системами, используя метод экономико-математического моделирования, причем процессы управления являются по сути информационными, базирующимися на экономической информации. Основоположником экономической кибернетики является Стаффорд Бир.

Главными элементами экономической

кибернетики являются [2]: системный анализ; сложные системы, иерархические системы, иерархия моделей; управление в иерархических системах; согласование целей в иерархических системах, графы целей; информация и энтропия; оптимизация потоков информации в задачах управления; контроль и управление в организационных системах; задачи классификации; комплексная оценка системы и оценки подсистем, интегральные оценки; кибернетические модели социальных и экономических систем.

Использование идей современной теории информации и передачи сигналов в различных областях науки и техники связано с тем, что в основе своей эта теория математическая. Основным математическим аппаратом современной теории информации является теория вероятностей и математическая статистика, которые превратились к настоящему времени в строгую и достаточно универсальную науку [3].

В теории информации и передачи сигналов также используют методы функционального анализа, теории случайных функций и случайных процессов, статистической радиотехники, теории оптимальных статистических решений и др., теоретическим фундаментом которых является информационно-энтропийно-вероятностная функция Больцмана-Шеннона.

Современное состояние теории информации и передачи сигналов выявляет ряд системных проблем, которые требуют своего решения. Прежде всего, это проблема базового понятия теории информации – понятия "информация". Конкретное и логическое понятие представление информации, как совокупности сведений об окружающей действительности оказывается, не раскрывает природу самого понятия. В настоящее время существует довольно широкий спектр взглядов на природу информации в научной литературе. Это, прежде всего полярные точки зрения: с одной стороны – это утверждение о материальном характере понятия информации, с другой – о его чисто нематериальной природе.

Основное понятие теории информации – количество информации. Количество информации свойств объекта характеризует его сложность и упорядоченность. Первые достаточно четкие предложения о способах измерения количества информации принадлежат Р. Фишеру (в связи с работами по математической статистике) и Р. Хартли [4]. (в связи с вопросами хранения информации в запоминающих устройствах и передачей ее по каналам связи). Вероятностная теория информации нашла окончательное свое оформление в работах К. Шеннона [5].

Основным недостатком определения количества информации по К. Шеннону, как отмечают некоторые исследователи, является то, что количество информации не зависит от качественного содержания сообщения, не учитываются такие важные свойства информации, как ценность и смысл. Это положение привело к возникновению и развитию теории ценности информации, сущность которой сводится к тому, что ценность некоторого сообщения следует измерять в соответствии с тем эффектом, который достигается в

результате приема этого сообщения. Основоположителем теории ценности информации считается Дж. Максвелл.

Теоретической основой СИ подхода явились работы Д. Максвелла, Н. Винера, А.Н. Колмогорова и А.Д. Хинчина, У. Эшби, которые внесли важный вклад в понимание вероятностной природы процессов в кибернетических явлениях, моделируемых в пространстве состояний произвольных систем, что позволило в дальнейшем решать практические технические задачи. Присутствие информации в кибернетических системах расширило понимание сущности информации в отличие от классической постановки ее определения.

Выдвинутое академиками Глушковым В.М. Колмогоровым А.Н., а также английским философом Эшби и другими учеными понятие "информации" как характеристики внутренней организованности материальной системы, которая определяется по множеству состояний, которые система может принимать в процессе своего развития, позволяет оценивать потенциальные информационные возможности систем (процессов), которые реализуются при взаимодействии объектов (процессов).

СИ подход разработан на основополагающих принципах взаимодействия процессов различной природы в окружающей среде. Мы знаем интуитивно, что в природе все процессы взаимосвязаны. Но согласно методологии СИ подхода свойства процессов, взаимосвязаны между собой с определенного значения порога чувствительности относительно друг друга. СИ подход к исследованию процессов и систем как научное направление базируется на [6]:

- а) разработанной концепции определения понятия дискретно-вероятностной (ДВ) информации;
- б) методологии численного определения количества, качества и ценности ДВ информации;
- в) научных принципах ДВ информационной алгебры;
- г) сформулированных законах и закономерностях ДВ информации;
- д) методологии СИ подхода к моделированию процессов и систем;
- е) дискретно-вероятностных моделях (ДВ моделях) процессов и систем;
- ж) методологии СИ подхода к анализу и синтезу процессов и систем;
- з) методологии разработки критических технологий на базе ДВ моделей процессов и систем.

Концептуальной основой методологии СИ подхода являются системно-информационные принципы определения числового значения количества, качества и ценности ДВ информации, которыми характеризуется объект.

В основе методологии СИ подхода лежат научные положения:

- а) любое элементарное отклонение фундаментальных атрибутов в универсуме влечет за собой множество результатов элементарных "отражений";
- б) универсум представляет собой "систему отражений"  $\delta(m, e, i, t, r) \rightarrow \{\delta o\}$ , где  $\delta_m, \delta_e, \delta_i, \delta_t, \delta_r$

– элементарные: масса, энергия, информация, время и пространство;  $\{\delta_o\}$  – множество результатов элементарных "отражений";

в) элементы "системы отражений" по своей природе дискретные, они являются наименьшими порогами чувствительности категориальных атрибутов друг к другу.

**Цель исследования** – анализ меры дискретно-вероятностной информационной оценки управлением технико-экономическими показателями производства.

#### **Анализ меры дискретно-вероятностной информационной оценки управлением технико-экономическими показателями производства**

Технико-экономические показатели [7] – это система показателей работы предприятий, характеризующая материально-производственную базу предприятий и комплексное использование ресурсов.

Исследование технико-экономических показателей с позиции анализа информационных процессов в производстве имеет особое значение, так как информация является единственной субстанцией, в отличие от вещества и энергии, которая объединяет все этапы жизненного цикла изделия. В последующем результаты расчетов технико-экономических показателей предприятия используются для выработки управленческих решений.

Научное исследование технических систем подразумевает процесс выработки новых знаний о совокупности средств, отражающих преобразование и связи объекта посредством энергии, вещества и информации, создаваемых для осуществления процессов производства и воспроизводства.

Любой процесс природы представляет собой последовательность во времени и пространстве реальных явлений, которые каким-то образом объективно организованы. Эта организация и порядок и есть порождение того, что является содержанием понятия "производство".

Для решения поставленной задачи необходимо построить информационную модель производства, которая бы отражала информационные процессы в пространстве и времени, связанные с получением, передачей, хранением и использованием информации производственных объектов.

Физические процессы, как комбинации связанных событий в системе характеризуются фундаментальными физическими величинами, единство измерений которых обеспечивается узаконенными единицами, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами.

Информацией значения физической величины [8] в стохастической системе может служить математическое ожидание дискретной случайной величины

$$M = \sum_{i=1}^n x_i P_i$$

тогда количество дискретно-вероятностной информации можно определить выражением

$$I_{\text{кол}} = \log_2 \frac{M}{\sigma} = \log_2 \frac{\sum x_i P_i}{\sqrt{D}}$$

где:  $D$  – дисперсия,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение случайной физической величины.

Количество информации физической величины в детерминированной системе равно

$$I = \log_2 \frac{X}{\Delta x},$$

где  $X$  – значение физической величины,  $\Delta x$  – допуск точности.

Дискретно-вероятностная информационная модель производства представляет собой матрицу 5G – с координатами: 1-дискретно-вероятностная информация времени проявления физической величины (параметров технических объектов); 2 – дискретно-вероятностная информация места в трехмерном пространстве проявления физической величины (параметров технических объектов); 3 – проявление множества свойств объектов, как значений физических величин (параметров технических объектов).

Информационный подход позволяет рассчитать качество и ценность информации объектов [9].

Немецкий физик М. Планк в начале XX века показал, что основные единицы измерения ( $\delta_1, \delta_t, \delta_m, \delta_s, \delta_i$  – элементарные отклонения категориальных атрибутов, которые имеют свои наименьшие значения в реальном мире) могут быть составлены и вычислены из фундаментальных физических констант –  $C = 299792458$  м/с, (скорость света);  $h = 6,626075 \times 10^{-34}$  Дж с, (постоянная Планка);  $G = 6,67259 \cdot 10^{-11}$  м(3) / кг с(2), (гравитационная постоянная)

$$\delta r = \sqrt{\frac{Gh}{C^3}} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ м}; \quad \delta \tau = \sqrt{\frac{Gh}{C^5}} = 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ с};$$

$$\delta m = \sqrt{\frac{Ch}{G}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ кг};$$

$$\delta \varepsilon = \frac{h}{\Delta \tau} = \frac{(6,626077 \pm 0,0000040) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5,4 \cdot 10^{-44} \text{ с}} = 1,22705 \cdot 10^{-38} \text{ Дж};$$

$$\delta i = \log_2 2 = 1 \text{ бит} \leftrightarrow 0,69314718 \text{ нит.}$$

Расчет численного значения единицы десятичной системы исчислений и их точность в системно-информационном виде представлено в таблице 1.

При решении производственных задач на основе системно-информационной базы метрологического обеспечения используется дискретно-вероятностные информационные законы взаимосвязанных контролируемых параметров. Это значительно упрощает алгоритмы компьютерных информационных технологий и увеличивает их эффективность.

Таблиця 1. Кількість ДВ інформації в одиниці десятичної системи исчислений

Единицы измерения атрибутов	Колличество ДВ информации в единице десятичной системы исчислений в [бит]	Точность единиц измерения атрибутов в десятичной системе
Пространство (Rn) [1м]	$I = \log_2 \frac{1}{1,6162 \times 10^{-35}} = 115,575$	$1\text{м} + \Delta = 1,000004515$
Время (t) [1с]	$I = \log_2 \frac{1}{5,39121 \times 10^{-44}} = 143,734$	$1\text{с} + \Delta = 1,000032045$
Вещество (m) [1кг]	$I = \log_2 \frac{1}{2,176 \times 10^{-8}} = 25,454$	$1\text{кг} - \Delta = 0,9998087167$
Энергия (E) [1Дж]	$I = \log_2 \frac{1}{1,054572 \times 10^{-34}} = 112,869$	$1\text{Дж} + \Delta = 1,000246803$

Значения единиц неэлектрических физических величин в ДВ битах вычисляются как производные от представленных в таблице 1. Логарифмические технико-экономические показатели производства представлены в таблице 2.

Таблиця 2. Логарифмические технико-экономические показатели производства

Показатели	Пояснение
1. Абсолютные, ДВ бит	Колличество дискретно-вероятностной (ДВ) информации конструкторской документации изделия, технологического процесса и оборудования.
2. Относительные, %	Коэффициенты отношения: количества дискретно-вероятностной информации изготовленного изделия к ДВ информации КД; ДВ информации технологического процесса к ДВ информации технологической документации; абсолютной стоимости изделия по КД к действительной стоимости изделия в производстве. Показатели определяют степень превышения или недостатка затраченных ресурсов ДВ информации. Меньше или больше 100 %.
3. Эквивалентные, грн.	Эквивалентная абсолютная стоимость изделия на базе ДВ информации КД. Эквивалентная действительная стоимость изделия на базе ДВ информации изготовленного изделия. Колличество ДВ информации параметров КД и изготовленного изделия эквивалентно пересчитанного посредством коэффициентов согласования информационной связей на колличество ДВ информации энергии. Учитывая стоимость единицы энергии на рынке определяется абсолютная и действительная стоимость изделия.
4. Смешанные, грн/ДВ бит	Показатели отношения существующих технико-экономических показателей к ДВ информационным.

Рассчитанные относительные логарифмические технико-экономические показатели для работающего производства используются при решении задач прогнозирования необходимых ресурсов для запуска нового изделия на этом предприятии. Для этого требуется рассчитать значение абсолютного логарифмического дискретно-вероятностного показателя работающего предприятия на базе

параметров КД старого изделия, определить относительное значение технико-экономического показателя данного предприятия относительно одного ДВ бита старого изделия, а затем умножить его на абсолютный показатель ДВ бит нового изделия.

Задачи прогнозирования технико-экономических показателей на ранних этапах жизненного цикла изделия даны в таблице 3.

Таблиця 3. Види прогнозування на ранніх етапах життєвого циклу изделия

№ п/п	Виды прогнозирования
1	Определение времени изготовления изделия без разработки технологических процессов
2	Определение затрат энергии и отходов материала на изготовление изделия
3	Определение трудоемкости изготовления изделия
4	Определение уровня автоматизации процессов данного производства
5	Определение уровня качества производственных процессов
6	Определение уровня ценности производственных процессов
7	Определение уровня оптимизации производственных процессов конкретного или проектируемого производства

Основные положения предложенной методологии используются при разработке программного обеспечения для новых компьютерно-интегрированных технологий метрологического обеспечения оценки технико-экономических показателей производства.

Формулы расчетов технико-экономических показателей производства на базе конструкторской документации.

#### 1.1. Количество информации в параметре

$$I_{\text{пар}} = \log_2 \frac{X_i}{T_i},$$

где:  $X_i$  – контролируемый параметр,

$T_i$  – допуск точности параметра.



1.2. Абсолютный логарифмический (АЛПКД) ТЭП по КД

$$АЛПКД = \sum_{i=1}^k \log_2 \frac{X_i}{T_i},$$

где  $k$  – количество контролируемых параметров в КД.

Относительный логарифмический (ОЛПКД) ТЭП

$$ОЛПКД = \frac{ТЭП}{АЛПКД},$$

где ТЭП – технико-экономические показатели производства (общепринятые).

Формулы расчетов технико-экономических показателей производства на базе приемочного статистического контроля

2.1. Среднее арифметическое значение конструкторского параметра изделия.

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где  $n$  – количество контролируемых параметров.

2.2. Размах рассеивания качественных характеристик

$$R = X_{max} - X_{min}.$$

2.3. Абсолютный фактический логарифмический (АЛПФ) ТЭП

$$АЛПФ = \frac{\sum_{i=1}^n X_{cp}}{\sum_{j=1}^l R_j}.$$

2.4. Относительный фактический логарифмический (ОЛПФ) ТЭП

$$ОЛПФ = \frac{ТЭП}{АЛПФ}$$

Параметр управления (УП) механообрабатывающим производством – изменение режимов резания, изменение маршрута, замена технологического оборудования

$$УП = \log_2 \sum_{i=1}^k \frac{X_i}{T_i} - \log_2 \frac{\sum_{i=1}^n X_{cp}}{\sum_{j=1}^l R_j} \rightarrow 0.$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Если рассматривать производство как дискретно-вероятностную информационную матрицу 5G, где параметры элементов производственной системы представлены в виде ДВ двоичной записи, длина которых занимает определенное количество разрядов, то к производству теоретически применимы законы

компьютерной техники с определенной объектностью. Например, в алгоритмической теории информации сложность объекта (такого, как текст) есть мера вычислительных ресурсов, необходимых для точного определения этого объекта (А.Н. Колмогоров). С позиции объектности производства можно сформулировать следующим образом – сложность контролируемых параметров изделия (такого, как ДВ текст) есть мера затрат технологических ресурсов необходимых для его изготовления. Таким образом, с представленных позиций производство можно рассматривать как компьютер с применением всех правил и законов при его функционировании.

На основе научных положений системно-информационного подхода определяют сложность объекта, которая эквивалентно равна количеству дискретно-вероятностной информации, характеризуемая числовыми значениями дискретно-вероятностных логарифмических показателей, которыми обладают контролируемые параметры КД изделия, технологического оборудования и технологического процесса.

Разработанные логарифмические технико-экономические показатели производства позволяют автоматизировать процесс сбора обработки и использования оперативной информации производственного процесса для расчета точных и экономически обоснованных технико-экономических показателей на базе компьютерно-интегрированных технологий метрологического обеспечения.

Решение задач прогнозирования на ранних этапах жизненного цикла изделий обеспечивается методологией системно-информационного подхода, а также разработанные на ее основе дискретно-вероятностные технологии метрологического обеспечения оценки эффективности производства.

Разработанная методология формулирует научные положения и закономерные связи между числовыми значениями дискретно-вероятностных логарифмических показателей, которыми обладают конструкторские, технологические контролируемые параметры и технико-экономические показатели производства [10]. Это позволяет решать задачи управления технико-экономическим состоянием производства, решать задачи прогнозирования требуемых материальных ресурсов для запуска в производство новых изделий, времени их изготовления и стоимости до разработки технологической документации.

Дискретно-вероятностная информационная технология оценки технико-экономических показателей производства позволяет точно и своевременно и экономически обоснованно рассчитать динамику технико-экономических показателей производства для использования ее в оперативном управлении производством.

### Список литературы

1. Луцкий С. В. Теоретические основы системно-информационного подхода к технологическим процессам и системам: монография. Харьков : ХНАДУ, 2008. 328 с.
2. Энциклопедия кибернетики / под ред. Глушкова В. М. Киев: Укр. сов. Энциклопедия, 1975. Т. 2.
3. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации: учеб. Москва: Высшая школа, 1989. 320 с.

4. Хартли Р. Л. Передача информации: Теория информации и ее приложения. Москва: Физматгиз, 1959.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Москва: "Иностранная литература", 1963.
6. Луцкий С. В. Системно-информационный подход к синтезу компьютерно-интегрированных технологий механообработки на этапах жизненного цикла изделий // Вісник СевНТУ Машиноприладобудування та транспорту. Севастополь, 2010. № 107. С. 132-137.
7. Еленева Ю. А. Экономика машиностроительного производства. Москва: Экономика и управление, 2010. 256 с.
8. Руженцев І. В., Луцький С. В., Фетьків В. П. Міра дискретно-імовірної інформації при дослідженні процесів та систем // Наук.-вироб. журн. метрологія та прилади. 2016. № 3. С. 43–45.
9. Наука. Величайшие теории. Выпуск 11. Революция в микромире. Планк. Квантовая теория. Де Агостини, 2011. 257 с.
10. Дискретно-вероятностные информационные закономерности фактор повышения эффективности производства / Руженцев И. В., Луцкий С. В., Фетькив В. П., Подзигун О. І. // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции "Метрология и измерительная техника". Харьков, 2016. С. 21.

## References

1. Lutskiy, S. (2008), *Theoretical bases of the system-information approach to technological processes and systems: Monograph* [Teoreticheskiye osnovy sistemno-informatsionnogo podkhoda k tekhnologicheskim protsessam i sistemam: Monografiya], KHNADU, Kharkov, 328 p.
2. Glushkova, V. (ed) (1975), *Encyclopedia of Cybernetics*, Ukrainian Modern Encyclopedia, Kiyev, Vol. 2.
3. Dmitriev, V. (1989), *Applied information theory: a textbook for university students on the specialty "Automated systems for processing information and management* [Prikladnaya teoriya informacii: uchebnik dlja studentov VUZov po special'nosti "Avtomatizirovannye sistemy obrabotki informacii i upravlenija"], Vysshaja shkola, Moscow, 320 p.
4. Hartli, R. (1959), *Information Transmission: Information Theory and Its Applications* [Peredacha informacii: Teoriya informacii i ee prilozhenija], Fizmatgiz, Moscow.
5. Shannon, K. (1963), *Work on the theory of information and cybernetics* [Raboty po teorii informacii i kibernetike], "Inostrannaja literatura", Moscow.
6. Luckij, S. (2010), "System-information campaign to the synthesis of computer-integrated technologies of machining at the stages of the product life cycle", *Visnyk SevNTU Machine-tool engineering and transport* ["Sistemno-informacionnyj pohod k sintezu komp'juterno-integrirovannyh tehnologij mehanoobrabotki na jetapah zhiznennogo cikla izdelij", Visnik SevNTU, Mashinopriladobuduvannja ta transportu,], Sevastopol, № 107, pp. 132-137.
7. Eleneva, Ju. (2010), *Economics of machine-building production* [Jekonomika mashinostroitel'nogo proizvodstva], Jekonomika i upravlenie, Moscow, 256 p.
8. Ruzhentsev, I., Luts'kyu, S., Fet'kiv, V. (2016), "The measure of discrete-probable information in the study of processes and systems", *Scientific and Production Magazine Metrology and Instruments* ["Mira dyskretno-імовірної інформації при дослідженні процесів та систем", Naukovo-vyrobnychyy zhurnal metrolohiya ta prylady], No. 3, pp. 43–45.
9. *Science. The greatest theories. Issue 11. The revolution in the microcosm. Plank. Quantum theory. De Agostini* [Nauka. Velichajshie teorii. Vypusk 11. Revoljucija v mikromire. Plank. Kvantovaja teoriya. De Agostini], 2011, 257 p.
10. Ruzhentsev, I., Lutskiy, S., Fet'kiv, V., Podzigin, O. (2016), "Discrete-probabilistic information regularities factor in improving production efficiency", *Collection of works XXth International scientific and technical conference "Metrology and measuring technology"* ["Diskretno-veroyatnostnyye informatsionnyye zakonomernosti faktor povysheniya effektivnosti proizvodstva", Sbornik trudov XX mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Metrologiya i izmeritel'naya tekhnika"], Kharkiv, pp. 21.

Поступила 21.06.2017

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

**Руженцев Ігор Вікторович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри метрології та технічної експертизи, м. Харків, Україна; e-mail: igor.ruzhentsev@nure.ua; ORCID: 0000-0002-2627-2763.

**Руженцев Игорь Викторович** – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой метрологии и технической экспертизы, г. Харьков, Украина; e-mail: igor.ruzhentsev@nure.ua; ORCID: 0000-0002-2627-2763.

**Ruzhentsev Igor** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Metrology and Technical Expertise, Kharkiv, Ukraine; E-mail: igor.ruzhentsev@nure.ua; ORCID: 0000-0002-2627-2763.

**Луцький Сергій Володимирович** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри метрології та технічної експертизи, м. Харків, Україна; e-mail: lutsk.sv6@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5327-6591.

**Луцкий Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры метрологии и технической экспертизы, г. Харьков, Украина; e-mail: lutsk.sv6@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5327-6591.

**Lutsky Sergey** – Ph. D. (Engineering Sciences), Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer of the Department of Metrology and Technical Expertise, Kharkiv, Ukraine; E-mail: lutsk.sv6@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5327-6591.

## МІРА ІНФОРМАЦІЇ У ЕКОНОМІЧНИХ ЗАДАЧАХ

**Предметом** дослідження у статті є деякі питання системно-інформаційного підходу до аналізу міри дискретно-імовірнісної (ДІ) інформації в економічній кібернетичі в рамках діяльності підприємства, що стосуються розрахунку техніко-економічних показників, прогнозування програми випуску продукції, технологічного процесу виготовлення виробів, ефективності використання матеріалів, цінової політики, рентабельності і деяких інших. **Мета** дослідження – аналіз заходів

дискретно-ймовірнісної інформаційної оцінки управлінням техніко-економічними показниками виробництва. **Завдання:** розробити структурну схему дискретно-ймовірнісних технологій оцінки ефективності виробництва; розробити систему логарифмічних техніко-економічних показників виробництва, які дозволяють більш об'єктивно використовувати оперативну інформацію виробничого процесу; вирішити завдання прогнозування необхідних матеріальних ресурсів для запуску у виробництво нових виробів, часу їх виготовлення і вартості до розробки технологічної документації. Використовуються **методи.** Основні наукові положення методології системно інформаційного підходу які включають в себе: науковий метод розрахунку дискретно-ймовірнісної інформації фізичних величин (параметрів); спосіб відображення у вигляді створених дискретно-ймовірнісних моделей процесів і систем, які втілюють метод; засіб використання методу і способу (комп'ютерні технології); процесом, що реалізує вимірювання контрольованих параметрів у виробництві, збір, зберігання і обробку інформації. Отримано такі **результати.** Розроблена структурна схема дискретно-ймовірнісних технологій оцінки ефективності виробництва яка визначає ієрархію комп'ютерно-інтегрованих технологій метрологічного забезпечення, в основі яких лежить дискретно-ймовірнісна інформація контрольованих параметрів КД виробу, технологічного обладнання і технологічного процесу. Розроблена система логарифмічних техніко-економічних показників виробництва, дозволяє більш об'єктивно використовувати оперативну інформацію виробничого процесу; вирішувати завдання прогнозування необхідних матеріальних ресурсів для запуску у виробництво нових виробів, часу їх виготовлення і вартості до розробки технологічної документації. Рішення задач прогнозування на ранніх етапах життєвого циклу виробів забезпечується методологією системно-інформаційного підходу, а також розроблені на її основі дискретно-ймовірнісні технології метрологічного забезпечення оцінки ефективності виробництва. Розроблена методологія формулює наукові положення і закономірні зв'язки між числовими значеннями дискретно-ймовірнісних логарифмічних показників, якими володіють конструкторські, технологічні контрольовані параметри і техніко-економічні показники виробництва. Це дозволяє вирішувати завдання управління техніко-економічним станом виробництва, вирішувати завдання прогнозування необхідних матеріальних ресурсів для запуску у виробництво нових виробів, часу їх виготовлення і вартості до розробки технологічної документації. **Висновки.** Дискретно-ймовірнісна інформаційна технологія оцінки техніко-економічних показників виробництва дозволяє точно і своєчасно та економічно обґрунтовано розрахувати динаміку техніко-економічних показників виробництва для використання її в оперативному управлінні виробництвом.

**Ключові слова:** міра, технології, техніко-економічні показники, системно-інформаційний підхід, дискретно-ймовірнісна інформація.

## INFORMATION MEASURE IN ECONOMIC TASKS

The **subject** of the research in the article are some questions of the system-information approach to the analysis of the measure of discrete-probabilistic (DP) information in economic cybernetics within the framework of the enterprise's activities relating to the calculation of technical and economic indicators, the forecasting of the output program, the technological process of manufacturing products, price policy, profitability and some others. The **purpose** of the study is to analyze the measures of discrete-probabilistic information assessment by managing the technical and economic indicators of production. **Objectives:** to develop a structural scheme of discrete-probabilistic technologies for assessing the efficiency of production; to develop a system of logarithmic technical and economic indicators of production, which allow more objective use of operational information of the production process; to solve the problem of forecasting the necessary material resources for launching new products into production, their production time and cost, before developing technological documentation. **Methods are used.** The main scientific provisions of the methodology of the system information approach include: a scientific method for calculating discrete-probabilistic information of physical quantities (parameters); a way of displaying in the form of created discrete-probabilistic models of processes and systems that embody the method and method (computer technologies); process of realization of measurement of controlled parameters, collection, storage and processing of information. The following **results** are obtained. The structural scheme of discrete-probabilistic technologies for assessing the production efficiency is defined, which determines the hierarchy of computer-integrated technologies of metrological support, based on the discrete-probabilistic information of the monitored parameters of the product CD, technological equipment and technological process. A system of logarithmic technical and economic indicators of production has been developed, which makes it possible to more objectively evaluate and effectively use the operational information of the production process; to solve the problems of forecasting the necessary material resources for launching new products into production, their production time and cost, before developing technological documentation. The task of forecasting at the early stages of the product life cycle is solved, which is provided by the methodology of the system-information approach, as well as the discrete-probabilistic technologies developed on its basis to provide metrological support for the evaluation of production efficiency. The developed methodology formulates scientific positions and regular connections between numerical values of discrete-probabilistic logarithmic indicators, which are possessed by technological controlled parameters and technical and economic indicators of production. This allows us to solve the problems of managing the technical and economic state of production, to solve the problems of forecasting the necessary material resources for launching new products into production, their production time and cost, before developing technological documentation. **Conclusions.** Discrete-probabilistic information technology assessment of technical and economic indicators of production allows you to accurately and timely and economically justify the dynamics of technical and economic indicators of production for use in the operational management of production.

**Keywords:** measure, technology, technical and economic indicators, system-information approach, discrete-probabilistic information.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Руженцев І. В., Луцький С. В. Міра інформації у економічних задачах. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 110–116.

**Руженцев И. В., Луцкий С. В. Мера информации в экономических задачах. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 110–116.

**Ruzhentsev I., Lutsky S. Information measure in economic tasks. Innovative technologies and scientific solutions for industries.** Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 110–116.

O. SOLODOVNIK, K. DOKUNINA

## ECONOMIC MECHANISM OF ENERGY SAVING AT PUBLIC UTILITY COMPANIES

The **subject** matter of the study is the combination of theoretical, methodological and practical approaches to the development of the economic mechanism of energy saving. The **aim** of the article is to substantiate the conceptual approach to the development of the economic mechanism for energy saving at public utility companies as the theoretical and methodological basis of energy saving policy at enterprises in this sphere. While achieving the objectives of the study the following tasks were solved within the **research**: the current state of energy saving in Ukraine and at public utilities was analyzed; theoretical approaches for revealing the essence of the concept of energy conservation was considered; the pattern of the economic mechanism of energy saving at public utility companies was developed and its constituents were grounded. The **following methods** were used in the research: the abstract and logical method was used for generalizing the theory and formulating conclusions; the method of system and structural analysis was used for studying and generalizing approaches to the definition of energy saving; methods of economic and mathematical statistics were used for processing and analyzing initial data, identifying trends and patterns of the efficiency of studied factors; graphical method was used for visualizing the results of the research. According to the **results** of the study the following conclusions can be formulated: the conceptual approach for developing the economic mechanism of energy saving should be worked out as it is a burning issue for public utility companies. Its solution will contribute to achieving the goals of the Strategy of Sustainable Development "Ukraine – 2020" and the Energy Strategy up to 2030. The concept of energy saving was defined in the course of the study, the conceptual pattern of the economic mechanism of energy saving at public utility companies was also suggested, the constituents of the economic mechanism of energy saving was revealed, which creates a theoretical and methodological basis for developing energy saving policy at public utility companies.

**Keywords:** energy saving, economic mechanism, public utility companies, the economic mechanism of energy saving.

### Introduction

One of the national priorities of economic development of Ukraine is the reduction of energy intensity of production, which is stated in the Strategy of Sustainable Development "Ukraine – 2020" [1] (hereinafter – the Strategy) and the Energy Strategy up to 2030 [2]. The strategic guidelines outlined in these and other documents of macroeconomic planning dictates the necessity of implementing the effective policy of energy saving in various areas of the national economy. This issue is very important for power consuming enterprises, including public utility companies. The lack the system approach for developing and implementing the policy of energy saving in this sphere mainstreams the task of working out the conceptual approach to the development of energy saving economic mechanism (ESEM) at public utility companies.

### Analysis of literary sources and problem statement

Many well-known scientists dealing with the problems of energy saving focus on strategic directions of development of various sectors of economy; among them are: V. Lear [3] O. Oliynyk [4], R. Yuhimetsky [5], L. Lukyanenko [6], B. Gaprindashvili [7], V. Poliaunov [8], L. Fedulova [8], L. Taranyuk [10]. Some aspects of energy saving in the sphere of housing and communal services are studied by such Ukrainian scientists as: P. Bubenko [11], O. Dimchenko [12], O. Trach [13] and others. The scientists mentioned above study the state of energy saving in Ukraine, the causes of high energy intensity of gross domestic product (GDP) and ways to reduce it, suggest the ways as for the increase of energy efficiency and mechanisms for financing energy-saving procedures within target projects. However, despite numerous researches, a holistic approach to the

elaboration of theoretical and methodological foundations for the development and implementation of energy saving policies at public utility companies has not been suggested yet.

The **aim** of the article is to substantiate the conceptual approach to the development of the economic mechanism for energy saving at public utility companies as the theoretical and methodological basis of energy saving policy at enterprises in this sphere.

### Materials and methods of research

In order to achieve the goal, the following methods were used: abstract and logical (for theoretical generalization and formulation of conclusions); system and structural analysis (for studying and generalizing approaches to the definition of energy saving); methods of economic and mathematical statistics (for processing and analyzing initial data, for identifying trends and patterns of efficiency of the studied indicators); graphical method (for visualizing the results of the research). The information basis of this study includes periodicals, statistics and legislative acts of the government of Ukraine, the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine, the Internet resources, theoretical aspects.

### Research results

The energy intensity of social production is one of the criteria for assessing the development of the country and its economy. The data analysis given in [14; 15] indicates that Ukraine lies significantly behind the developed countries of the world according to the mentioned criterion. Thus, Ukraine's energy intensity in 2015 amounted to 0.53 kg / UAH per capita, which is 2-4 times higher than in the leading European countries. This



situation is primarily related to the inefficient consumption of fuel and energy resources (FER), outdated technologies and extremely worn-out networks, especially centralized heating, water supply and housing stock systems.

According to the State Statistical Service [18], in 2015 the largest FER consumer was the domestic sector – 33% in the overall structure of FER consumption. The Sectorial Programme for energy efficiency and saving in Housing and Utilities Sector (HUS) for 2010 - 2014 [19] states that public utilities use almost 70 million tons of fuel, while the housing stock of the state and social sphere consume 85% of energy resources of their total consumption. The threatening situation with energy saving in public utility companies is caused first of all by the fact that there are no renewable and alternative energy sources. Besides, FER consumption is little diversified, the processes of organization and decision-making in the field of developing and implementing measures aimed at reducing energy consumption are ineffective; there exists technological underdevelopment and worn-out networks and permanent assets; existing economic methods, leverage and tools of the national energy saving policy are ineffective, etc. The analysis of the retrospective data presented in [20] indicates the fact that the state of energy saving in public utilities of HUS is unsatisfactory, which is the result of the inadequate current national policy in this sphere and proves the necessity of updating its conceptual framework.

Since the logic of scientific research requires the clear and unambiguous definition of key terms, the existing theoretical approaches to the definition of the concept of "energy saving" will be considered.

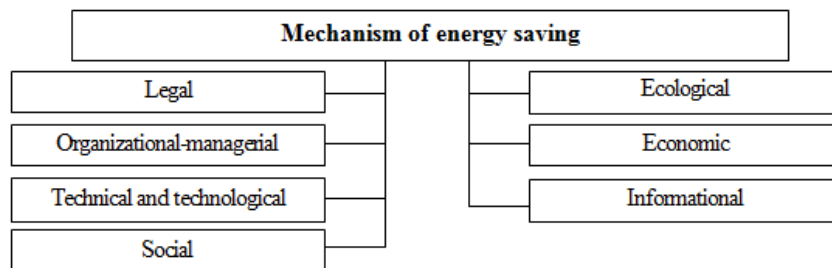
The analysis of existing definitions of this concept [21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29 and others.] gives grounds for the conclusion that today there is no agreement of opinions as for its definition. Some scientists consider "energy saving" as a process [23; 25; 27] or activity [21; 28] or even measures [23; 28; 29] aimed at the reduction of energy consumption [22; 25; 26; 27; 28; 29], converting it into reasonable [21; 23; 28], economical [21; 28] and effective [24] consumption. The Great Explanatory Dictionary [30] defines a "process" as a sequential change in states or phenomena that occurs according to a regular pattern; "activity" means functioning or operation of any organization, institution;

"action" means work, activity, implementation of anything; "measures" means a set of actions or ways for achieving, carrying out anything; "reduction" means the decrease of volume, size or quantity of something; something "reasonable" is based on the demands of reason, logic; something "smart" is aimed at better, reasonable use of anything; "economical" means careful, economical spending; "efficient" leads to the desired results, consequences, gives the greatest effect.

Based on the definition of the above terms, energy saving cannot be defined as an activity or action, but as the process of development and implementation of energy saving procedures that are in the continuous state of adaptation to environmental challenges and changes that occur in the sphere of energy saving.

In order to determine the main components of the concept "energy saving" it is necessary to agree with the majority of scientific approaches, which emphasize the fact that energy saving is directed precisely at reasonable and economical consumption of energy resources. Incorporating the term "reduction" into the definition of ESEM seems to be inappropriate, since reasonable, careful, economical consumption of such resources ensures their reduction. The same approach can be applied to the term "efficient", because efficiency is the result that cannot be achieved without reasonable and economical consumption of energy resources. Thus, the concept "energy saving" can be specified as the process of development and implementation of energy saving procedures aimed at reasonable and economical consumption of energy resources.

Regarding the mechanism, Y. Chistov notes that "any simple mechanism, system, lever, or block is created to either change the direction of the force, or in order to achieve the effect that exceeds this force, if less force is applied" [31]. The energy saving mechanism can be aimed at ensuring the well-established process of development and implementation of energy saving procedures directed at FER saving, reducing all resources necessary for their implementation, and preserving the environment with the help of modern forms, methods and tools. Basing on this statement and taking into account the results of the research [27; 31; 32; 33; 34], the following components can be distinguished: legal, organizational and managerial, technical and technological, social, ecological, economic and informational (fig. 1).



**Fig. 1.** Components of the mechanism of energy saving

*Source: author's development*

Each component interacts directly with another one and affects the effectiveness of the whole mechanism of energy saving. Within the study, the economic component will be emphasized; this component with all its financial

resources and economic tools will contribute to the achievement of the set goals and to the solution of the tasks identified in the Strategy and other programme documents of macroeconomic planning, in particular:

legislative establishment of the structure of tariffs for natural gas, electricity, thermal energy, their transportation; ensuring cooperation with the World Bank as for the implementation of the Partnership Strategy with Ukraine for 2012–2016; implementation of cooperation programmes with the International Monetary Fund, the World Bank, the European Bank of Reconstruction and Development, the European Investment Bank and other international financial organizations; legislative revision of stimulating the production of electricity from non-traditional and renewable energy sources; reforming the system of "green" tariffs and their balancing.

The ideas mentioned above enable considering ESEM as a set of economic methods, forms, tools and levers of influence on economic relations and processes, which, due to management functions, ensure the

development and implementation of measures for reasonable and economical consumption of energy resources.

In the context of the development of theory and methodology as well as practical recommendations for improving the efficiency of managing processes related to energy saving at public utility companies, the ESEM conceptual diagram at the enterprises of this sphere is suggested and shown in fig. 2.

The components of the suggested ESEM at public utility companies should be detailed.

The main objective of ESEM development is to ensure reasonable and economical consumption of energy resources within the implementation of relevant energy saving programs at public utility enterprises.

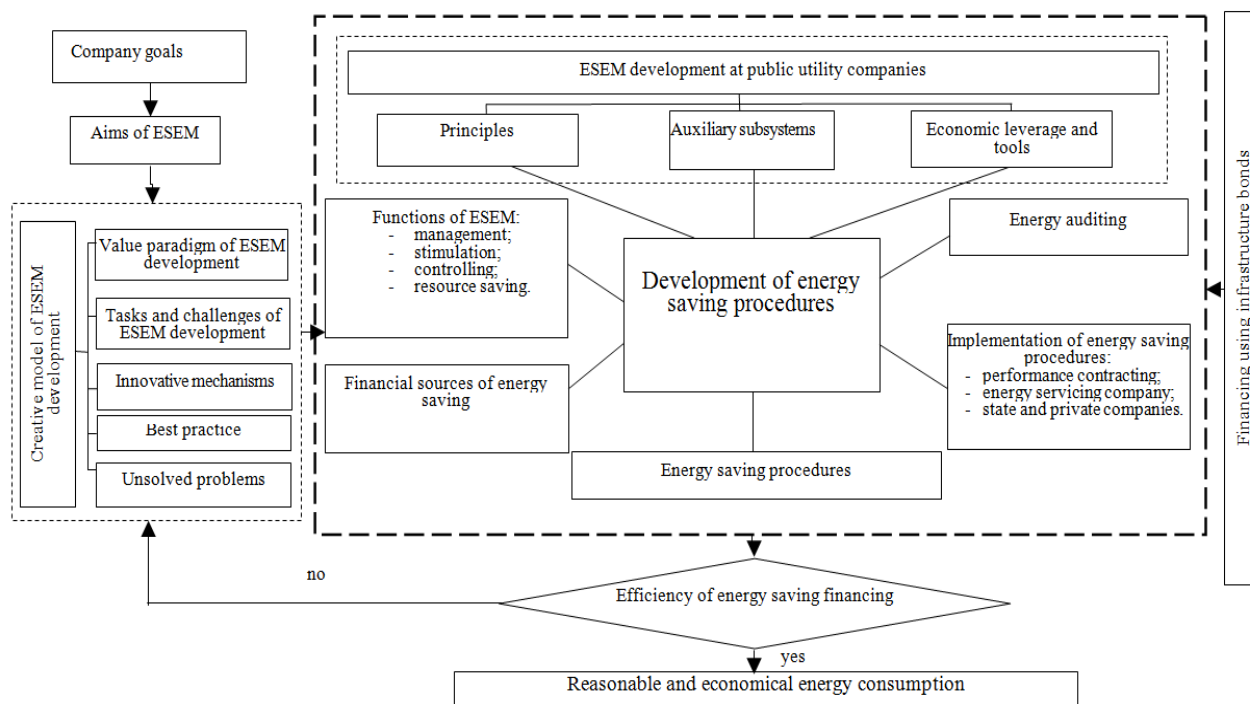


Fig. 2. Economic mechanism of energy saving at public utility companies

Source: author's development

A separate block element of the suggested ESEM is the creative model of ESEM development, which is a structure of domain knowledge that includes a navigation structure which visualizes algorithms that concern the reaction to the environmental challenges, the solution of internal system problems, preparing and sending outside the system of information (messages) that considers the current state, goals and strategies of its development and which is determined by such components as: value paradigm of ESEM development, tasks and challenges of ESEM development, innovative mechanisms, best practices, and unsolved problems.

The basis of the suggested ESEM at public utility companies is the concept of ESEM development at the enterprises of this sphere, which includes principles, auxiliary subsystems, economic leverage and tools. The principles of ESEM development at public utility companies include the following ones: systemacity, responsibility, motivation, priority, informatization, cooperation, purposefulness, efficiency.

The auxiliary subsystems include the following ones: management, functional and maintenance. The ESEM functional subsystem at public utility companies is mainly aimed at:

- saving energy resources, which provides reasonable and economical consumption of FER by developing appropriate measures with the help of modern technologies and new equipment;

- stimulating effective interaction in order to achieve the goal of ESEM development, which is directed at creating proper conditions for all the employees who work at public utility companies and participate in the process of developing and implementing energy saving procedures;

- analysis, accounting and monitoring, which enable receiving information about actual consumption of FER and comparing the obtained figures with the planned ones.

The management subsystem includes:

- organization, which establishes the system of interaction of all structural units of the enterprise in order

to obtain the maximum result of their interaction;

- planning, which enables ensuring the efficient use of all resource potential of the enterprise, in particular: material, financial, personnel and information;

- motivating the company's employees, which is aimed at achieving the set goals and objectives and results in developing the system of rewards for successful performance of duties which contributed to improving the performance of the enterprise;

- monitoring and controlling make it possible to observe the implementation of energy saving procedures and obtain results, which will help to identify timely the causes of probable deviations from the planned figures with further specification of ways for improving the efficiency of energy saving at the enterprise.

With the help of utilities supply subsystem, the conditions for enterprise normal operation are created; the components of such subsystem are:

- regulative and legal support, which is the basis for ESEM development and the ground for determining the general rules (principles) of its implementation;

- resource support that is the complex of resources (material, fuel and energy, etc.) which are used in the production process of the enterprise;

- information support or a set of methods and means for obtaining information the enterprise needs in order to make grounded decisions;

- staffing support, that is the required quantity and quality of employees of a public utility company which, due to its professional training, reaches planned results;

- financial support.

Economic tools and leverage play an important role in ESEM development. They include state and regional programs, plans, energy saving projects, energy prices and tariffs (including the "green" tariff), direct budget support, taxes and other elements of the tax mechanism (tax advantages, tax holidays, tax credits, etc.), grants of targeted state and private funds for research and development in the sphere of energy saving, elements of material incentives (bonuses, paid education etc.), fines and sanctions, amortization policies and other financial instruments.

It should be noted that ESEM at the enterprise performs such important functions as:

- managing, which creates proper conditions for the interconnection of structural units related to the process of energy saving at the enterprise and enable meeting the set objectives as well as ensuring the efficiency of enterprise operation;

- stimulating, which provides the system of incentives for the company and employees involved in the process of development and implementation of energy saving procedures aimed at their efficient interaction in order to achieve the goal of ESEM operation with the help of material interest of all participants;

- controlling, which enables implementing current energy saving procedures, regulating internal relations at the enterprise, as well as formulating general rules of interaction of the enterprise with the environment;

- resource saving aimed at reasonable and economical consumption of available material and fuel and energy resources due to developing appropriate

measures for the introduction of advanced technologies and the use of modern equipment.

The component of the suggested ESEM at public utility companies is also the energy auditing, which is the energy analysis of the company conducted in order to establish the efficiency of FER use and to develop suggestions for savings such FER.

Energy saving procedures within energy saving programmes are financed from state and regional budgets, enterprise own funds and other sources (loans, issuing securities). One of the problems of energy saving procedures at public utility companies is the limited investment capacity of domestic enterprises. In order to solve this problem, the following procedures of energy saving should be initiated:

- performance contracting, which is a form of a leasing contract whereby the cost of the given energy saving equipment and services is returned due to the cost of the produced or saved energy after the project implementation;

- attracting energy servicing companies, which, at their own expense or at the expense of borrowed funds, implement energy saving procedures or projects and ensure FER savings;

- cooperation among state and private companies, which, on the basis of the agreement, implement energy saving procedures.

The suggested economic mechanism of energy saving at public utility companies is adapted for the enterprises of this sphere, and is determined by a set of structural elements (principles, auxiliary subsystems, economic tools and leverage, ESEM operation, energy auditing, forms of implementation and financing sources for energy saving procedures, development of energy saving procedures), which promote the implementation of energy saving procedures within the corresponding programmes due to financing with the help of issuing infrastructure bonds, which ensures the efficiency of financing energy saving procedures and leads to the achievement of the set goal of ESEM development at public utility companies.

---

## Conclusions

---

The conceptual approach to ESEM development should be worked out as it is a burning issue for public utility companies, which will contribute to the achievement of the goals of the Strategy for Sustainable Development "Ukraine – 2020" and the Energy Strategy up to 2030.

In the course of the study, the concept of "energy saving" is defined as a set of economic methods, ways, tools and levers of influence on economic relations and processes, which, thanks to management functions, ensure developing and implementing procedures for reasonable and economical consumption of energy resources; the conceptual pattern of ESEM at public utility companies is suggested and its components are considered, which creates the theoretical and methodological basis for developing energy saving policies at public utility companies.

---

Further research in this direction will be aimed at the energy saving at public utility companies. development of organizational and financial grounds for

## References

1. "About the Strategy of Sustainable Development "Ukraine 2020": Decree of the President of Ukraine dated January 12, 2015 # 5/2015" ["Pro Stratehiiu staloho rozvytku "Ukraina – 2020": Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 12.01.2015 # 5/2015"], available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>
2. "Approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2030: Dissemination of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07/24/2013 # 1071-p" ["Pro shkvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy do 2030 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24.07.2013 # 1071-r"], available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1071-2013-p>
3. Lir, V. E. (2015), "Evaluating the efficiency of privatization of energy companies in terms of balancing the interests of the state, business and society", *Economics and Forecasting* ["Otsinka efektyvnosti pryvatyzatsii enerhetychnykh kompanii v aspekti zbalansuvannia interesiv derzhavy, biznesu ta suspilstva"], *Ekonomika i prohnozuvannia*, No. 1, pp. 7-22.
4. Oliinyk, O. (2016), "Mechanisms for funding foreign energy and infrastructure projects in China and their opportunities for becoming old in Ukraine", *Banking* ["Mekhanizmy finansuvannia zakordonnykh enerhetychnykh ta infrastrukturykh proektiv Kytaiu ta mozhlyvosti yikh vykorystannia v Ukraini"], *Bankivska sprava*, No. 3, pp. 83-98.
5. Yukhymets, R. S. (2017), "Features of the introduction of a tariff-based input-output tariff model in the natural gas market in Ukraine", *Economics and Forecasting* ["Osoblyvosti zaprovadzhennia taryfnoi modeli "vkhid-vykhid" na rynku pryrodnoho hazu Ukrainy"], *Ekonomika i prohnozuvannia*, No. 1, pp. 128-145.
6. Luk'yanenko, L., Dzebykh, I. (2015), "Energy efficiency in the current economic policy of Ukraine", *Journal of the European Economy* ["Enerhoefektyvnist v suchasni ekonomichni politytsi Ukrainy"], *Zhurnal yevropeiskoi ekonomiky*, No. 14 (3), pp. 252-261.
7. Hapryndashvili, B., Lazepko, I. (2014), "Influence of banks on energy efficiency of Ukrainian industry", *Banking* ["Vplyv bankiv na enerhoefektyvnist promyslovosti Ukrainy"], *Bankivska sprava*, No. 9-10, pp. 97-105.
8. Poluianov, V. P. (2012), "World practice of public-private partnership in infrastructure provision of communal services", *Ukraine Economy* ["Svitovai praktyka derzhavno-pryvatnoho partnerstva v infrastrukturyomu zabezpechenni komunalnoho hospodarstva"], *Ekonomika Ukrainy*, No. 9, pp. 78-87.
9. Fedulova, L., Tsybul'ska, L. (2011), "Trends in the emergence of the newest technological and global economy: the role of intellectual property management", *Ukraine Economy* ["Tendentsii stanovlennia novitnoho tekhnolohichnoho ukkladu svitovoi ekonomiky: rol upravlinnia intelektualnoi vlasnistiu"], *Ekonomika Ukrainy*, No. 12, pp. 23-35.
10. Taraniuk, L. M., Shapoval, A. I. "Ecological and economic aspects of energy saving strategy development in Ukraine" ["Ekoloho-ekonomichni aspekty formuvannia stratehii enerhozberezhennia v Ukraini"], available at: [http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Vkhdtsug-/2010\\_99/46.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/Vkhdtsug-/2010_99/46.pdf)
11. Bubenko, P. T., Bubenko, O. P. "Project management as the basis of energy saving in housing and communal services" ["Proektne upravlinnia, yak osnova enerhozberezhennia u zhytlovo-komunalnomu hospodarstvi"], available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/28267/1/vestnik\\_KhPI\\_2017\\_3\\_Bubenko\\_Proektne\\_upravlinnia.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/28267/1/vestnik_KhPI_2017_3_Bubenko_Proektne_upravlinnia.pdf)
12. Dymchenko, O. V., Dymchenko, V. V. "The process of reforming housing and communal services: signs and challenges" ["Protses reformuvannia ZhKH: oznaky y zavdannia"], available at: [http://eprints.kname.edu.ua/17645/1/Матеріали\\_конференції\\_MiPE.pdf](http://eprints.kname.edu.ua/17645/1/Матеріали_конференції_MiPE.pdf)
13. Trach, O. Y. (2014), "Model implementation of energy saving measures in housing and communal services", *Economics of Development* ["Model zaprovadzhennia zakhodiv z enerhozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu hospodarstvi"], *Ekonomika rozvytku*, No. 2 (70), pp. 64-69.
14. Bakulyn, E., Chuprun, V. The oil and gas complex of Ukraine: on the way to energy independence" ["Neftezhazovii kompleks Ukraini: na puty k enerhetycheskoi nezavysymosti"], available at: [http://www.oilgas-expo.com/static/content/img\\_razdel/demo/1/1\\_1.pdf](http://www.oilgas-expo.com/static/content/img_razdel/demo/1/1_1.pdf)
15. "Key World Energy Statistics 2015", available at: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf)
16. "State Agency for Energy Efficiency and Energy Conservation of Ukraine" ["Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy"], available at: <http://www.sae.gov.ua/>
17. Tsymbaliuk, I. O. "Tax incentives for attracting investment in energy saving in Ukraine" ["Instrumenty podatkovoho stymuliuvannia zaluchennia investytsii u enerhozberezhennia v Ukraini"], available at: [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_09/207.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_09/207.pdf)
18. "State Statistics Service of Ukraine: official website" ["Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy: ofits. sait"], available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
19. "Branch program for energy efficiency and energy saving in housing and communal services for 2010-2014 dated November 10, 2009 # 352" ["Haluzeva prohrama enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia u zhytlovo-komunalnomu hospodarstvi na 2010 - 2014 roky vid 10.11.2009 r. #352"], available at: [http://search.ligazakon.ua/1\\_doc2.nsf/link1/FIN51251.html](http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/FIN51251.html)
20. Solodovnik, O. O., Dokunina, K. I. (2015), "Factors influencing the process of formation and implementation of energy saving programs at the subordination of housing and communal services" ["Chynnyky, shcho vplyvaiut na protses formuvannia y realizatsii program enerhozberezhennia na pidpriemstvakh zhytlovo-komunalnoho hospodarstva"], *Biznes Inform*, No. 2, pp. 82-87.
21. "On energy saving: Law of Ukraine dated 07.07.1994 # 74/94-VR" ["Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.1994 # 74/94-VR"], available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>
22. Korshunova, L. A., Kuzmyna, N. H., Kuzmyna, E. V. (2013), "Problems of energy saving and energy efficiency in Russia", *Proceedings of the Tomsk Polytechnic University* ["Problemi enerhosberezhennia i enerhoefektyvnosti v Rossy"], *Yzvestyia Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta*, No. 322 (6), pp. 22-25.
23. Kosheva, H. O. (2011), *State Mechanisms for Energy Saving Management: Author's thesis* [Derzhavni mekhanizmy upravlinnia enerhozberezhenniam: avtoref. dis. ... kand. nauk], Donetsk, Ukraine.



24. Maliarenko, V. A., Shutenko, L. M. (2005), "Energy saving in housing and communal services. Part I", *Energy saving. Power engineering Energy audit* ["Enerhozberezhennia u zhytlovo-komunalnomu hospodarstvi. Chastyina I", Enerhosberezhnye. Enerhetyka. Enerhoaudyt], No. 6, pp. 25-33.
25. Zapukhliak, I. B. (2010), *Economic mechanism of energy saving of gas transport enterprises: Author's thesis* [Ekonomicnyi mekhanizm enerhozberezhennia hazotransportnykh pidpryemstv: avtoref. dis. ... kand. nauk], Ivano-Frankivsk, Ukraine.
26. Dziana, H. O. (2008), *Improvement of mechanisms of realization of the state policy in the field of energy saving of Ukraine (socio-ecological aspect): Author's thesis* [Udoskonalennia mekhanizmiv realizatsii derzhavnoi polityky u sferi enerhozberezhennia Ukrainy (sotsialno-ekolohichnyi aspekt): avtoref. dis. ... kand. nauk], Lviv, Ukraine.
27. Androshchuk, S. M., Kostenko, S. V., Pavlenko, N. V. (2012), "Analytical pricing tools in the system of investment potential assessment of enterprises", *Construction production* ["Analichnyi instrumentarii tsinoutvorennia v systemi otsinky investytsiinoho potentsialu pidpryemstv", Budivelne vyrobnytstvo], No. 53, pp. 36-39.
28. Dzhedzhula, V. V. "The essence and organizational and economic preconditions of the development of energy saving of industrial enterprises" ["Sutnist ta orhanizatsiino-ekonomichni peredumovy rozvytku enerhozberezhennia promyslovykh pidpryemstv"], available at: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ecchado\\_2013\\_1-2\(1\)\\_24.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/ecchado_2013_1-2(1)_24.pdf)
29. Horda, O. S. (2003), *Efficiency of energy consumption and ways of improvement in the agrarian sector: Author's thesis* [Efektyvnist enerhospozhyvannia ta shliakhy yii pidvyshchennia v ahrarnomu sektori: avtoref. dis. ... kand. nauk], Dnipropetrovsk, Ukraine.
30. Busel, V. T. (2009), *Great explanatory dictionary of modern Ukrainian language* [Velykyi tlumachnyi slovnyk suchasnoi ukrainskoi movy], Irpin: VTF "Perun", Kyiv.
31. Chystov, Y. I. (2010), "The essence of the mechanism of energy conservation and its multifaceted nature", *Bulletin of the Khmelnytsky National University* ["Sutnist mekhanizmu enerhozberezhennia ta yoho bahatohranna pryroda", Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu], No. 4 (5), pp. 341-344.
32. Bezv, V. V. "Development of energy saving mechanism at food industry enterprises" ["Rozvytok mekhanizmu enerhozberezhennia na pidpryemstvakh kharchovoi promyslovosti"], available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1309/3/r1azvutie.pdf>
33. Hetalo, N. S. (2013), *Economic mechanisms of stimulating energy saving at the enterprises of housing and communal services: Author's thesis* [Ekonomiczni mekhanizmy stymuliuвання enerhozberezhennia na pidpryemstvakh zhytlovo-komunalnoho hospodarstva: dis. ... kand. nauk], Kharkiv, Ukraine.
34. Serdiuk, T. V. (2005), *Organizational and Economic Mechanism of Energy Saving in Industry: Monograph* [Orhanizatsiino-ekonomichni mekhanizm enerhozberezhennia v promyslovosti: monohrafiia], UNIVERSUM, Vinnytsia.

Receive 22.06.2017

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

**Солодовник Олеся Олександрівна** – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри фінансів та кредиту, м. Харків, Україна; e-mail: solodovnikoa@gmail.com; ORCID: 000-0002-0636-533X.

**Солодовник Олеся Александровна** – кандидат экономических наук, доцент, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, профессор кафедры финансов и кредита, г. Харьков, Украина; e-mail: solodovnikoa@gmail.com; ORCID: 000-0002-0636-533X.

**Solodovnik Olesia** – Candidate of Science (Economics), Docent, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Professor of the Department of Finance and Credit, Kharkiv, Ukraine; E-mail: solodovnikoa@gmail.com; ORCID: 000-0002-0636-533X.

**Докуніна Катерина Ігорівна** – Харківський національний університет будівництва та архітектури, викладач кафедри фінансів та кредиту, м. Харків, Україна; e-mail: ekaterina.dokunina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6863-0434.

**Докуніна Екатерина Игоревна** – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, преподаватель кафедры финансов и кредита, г. Харьков, Украина; e-mail: ekaterina.dokunina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6863-0434.

**Dokunina Kateryna** – Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Lecturer of the Department of Finance and Credit, Kharkiv, Ukraine; E-mail: ekaterina.dokunina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6863-0434.

## ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

**Предметом** дослідження є сукупність теоретичних, методичних і практичних підходів щодо розробки економічного механізму енергозбереження. **Метою** статті є обґрунтування концептуального підходу до розробки економічного механізму енергозбереження на підприємствах комунального господарства, як теоретико-методологічного підґрунтя політики енергозбереження на підприємствах цієї сфери. Для досягнення поставленої мети в дослідженні поставлені та вирішені такі **завдання**: проаналізувати сучасний стан енергозбереження в Україні та підприємствах комунального господарства; розглянути теоретичні підходи до розкриття сутності поняття "енергозбереження"; розробити схему економічного механізму енергозбереження на підприємствах комунального господарства та обґрунтувати його складові елементи. Для досягнення поставленої мети в роботі використано наступні **методи**: абстрактно-логічні (для теоретичного узагальнення й формулювання висновків); системно-структурний аналіз (для вивчення й узагальнення підходів до визначення енергозбереження); методи економічної й математичної статистики (для обробки й аналізу вихідних даних, виявлення тенденцій і закономірностей дієвості досліджуваних показників); графічний метод (для наочного відображення результатів дослідження). За **результатами** проведеного дослідження можна сформулювати такі висновки: необхідність розробки концептуального підходу до формування економічного механізму енергозбереження є актуальним питанням для

підприємств комунального господарства. Його вирішення сприятиме досягненню цільових орієнтирів Стратегії сталого розвитку "Україна – 2020" та Енергетичної стратегії до 2030 р. В ході дослідження визначено поняття "енергозбереження" та запропоновано концептуальну схему економічного механізму енергозбереження на підприємствах комунального господарства; розкрито зміст складових економічного механізму енергозбереження, що створює теоретико-методологічне підґрунтя формування політики енергозбереження на підприємствах комунального господарства.

**Ключові слова:** енергозбереження, економічний механізм, підприємства комунального господарства, економічний механізм енергозбереження.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

**Предметом** исследования является совокупность теоретических, методических и практических подходов к разработке экономического механизма энергосбережения. **Целью** статьи является обоснование концептуального подхода к разработке экономического механизма энергосбережения на предприятиях коммунального хозяйства, как теоретико-методологической основы политики энергосбережения на предприятиях этой сферы. Для достижения поставленной цели в исследовании поставлены и решены следующие **задачи**: проанализировать современное состояние энергосбережения в Украине и предприятиях коммунального хозяйства; рассмотреть теоретические подходы к раскрытию сущности понятия "энергосбережения"; разработать схему экономического механизма энергосбережения на предприятиях коммунального хозяйства и обосновать его составляющие элементы. Для достижения поставленной цели в работе использованы следующие **методы**: абстрактно-логический (для теоретического обобщения и формулирования выводов) системно-структурный анализ (для изучения и обобщения подходов к определениям энергосбережения) методы экономической и математической статистики (для обработки и анализа исходных данных, выявление тенденций и закономерностей действительности исследуемых показателей); графический метод (для наглядного отображения результатов исследования). По **результатам** проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы: необходимость разработки концептуального подхода к формированию экономического механизма энергосбережения является актуальным вопросом для предприятий коммунального хозяйства. Его решение будет способствовать достижению целевых ориентиров Стратегии устойчивого развития "Украина - 2020" и Энергетической стратегии до 2030 г. В ходе исследования определено понятие "энергосбережение" и предложена концептуальная схема экономического механизма энергосбережения на предприятиях коммунального хозяйства; раскрыто содержание составляющих экономического механизма энергосбережения, что создает теоретико-методологическое основание формирования политики энергосбережения на предприятиях коммунального хозяйства.

**Ключевые слова:** энергосбережение, экономический механизм, предприятия коммунального хозяйства, экономический механизм энергосбережения.

### *Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Солодовник О. О., Докуніна К. І.** Економічний механізм енергозбереження на підприємствах комунального господарства. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 117–123.

**Солодовник О. А., Докуніна К. И.** Экономический механизм энергосбережения на предприятиях коммунального хозяйства. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 117–123.

**Solodovnik O., Dokunina K.** Economic mechanism of energy saving at public utility companies. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 117–123.

UDC 338.24

N. CHEKH, I. VINNYK

## REGULATORY ENVIRONMENT OF BUSINESS ACTIVITIES IN UKRAINE

The **subject** of this study is the tools used by the state that create the regulatory environment for business activities in Ukraine. The **goal** of the article is to analyse the regulatory environment of Ukrainian enterprises, to reveal the conditions in which they operate on the basis of the study of legal regulations and requirements as well as on international ratings based on social surveys of Ukrainian society. **Objectives:** to review the regulatory environment, to study the status of the permitting system, the control system (inspections), technical regulation, the tax system and legislative acts. General scientific **methods** used are: methods of empirical research (observation, comparison, visual-graphic methods), method of system analysis, induction, deduction, specification. The following **results** are obtained. Regulation can be defined as the policy of influence based on understanding the nature of the object to which the regulation is directed, and on the well-defined perspective of the image of this object, which is planned to be achieved with the help of certain regulators. The main such regulator of activity of business entities is the state. Considering Ukraine's place in the rating study of the International Finance Corporation of the World Bank "Doing Business – 2017", the main conditions of business practices of Ukrainian enterprises and the state's influence on business environment have been researched. Although Ukraine's place in the rating has risen one point (the 80th place) compared to the previous year, according to certain parameters our state significantly lags behind both leading and neighbouring countries. This includes, in particular, obtaining building permission, difficulties in closing down of business and global commerce. Ukraine even did not find itself in top hundred according to these parameters. However, in such areas as permitting system, inspection system, technical regulation there are significant changes aimed at simplifying basic procedures and reducing regulatory pressure. **Conclusions.** Despite these innovations, there still exists bureaucracy, frequent changes in legal regulations and requirements and their imperfections in general. As a result, corruption and shadow economy still affect Ukrainian enterprises. The reduction of overregulation of domestic enterprises activities should become one of the main measures for creating optimal conditions for business in Ukraine.

**Keywords:** enterprise, regulation, permitting system, legal system, licensing, taxation system, inspection system, technical regulation..

### Introduction

Any organization is situated in an environment and functions if the environment makes it possible. To determine the organization's behavior the management of the organization should know both the internal and external environment of the organization, its potential and trends of development, and the place of this organization within the environment.

Modern joint-stock companies of Ukraine have difficulties in stable economic growth under the overregulation of entrepreneurship which results in restraining competition, increasing pressure on business structures and factoring into the spread of shadow economy and corruption.

Creating an adequate and rational climate for the development of joint stock companies is one of the main ways of ensuring Ukraine's economic growth and radical changing the philosophy of doing business in our country.

### Analysis of literary sources and problem statement

Scientific researches of the specifics of enterprises' activities were conducted by such scientists as O.M. Vakulchik, V.A. Yevtushevsky, V.A. Kublkov, M.P. Malskaya, J. Keynes, I.M. Posohov, V. Stezher, D. Lukyanenko, A. Mozgovy. The works of these scholars highlight challenges and contradictions of economic globalization, effects of the expansion of foreign transnational corporations, problems of the state economic security.

The external environment of a joint-stock company should also be considered. One of the main stakeholders which influences the activity of a joint-stock corporation is the state that is the regulatory environment for its

activity. Considering the regulatory environment of joint stock companies, it is important to note that, as a rule, a joint-stock company can not affect it. In this case, a joint stock company is the subject of the regulatory system influence, and, although state regulation is considered as a process of bilateral interaction between business and state, the impact of individual business on the state is significantly limited. It makes the state create such business conditions that ensure appropriate normative, legal and institutional coverage and optimal regulatory pressure on business entities.

### Tasks and objectives of the study

Focusing on the problems of economic development of Ukrainian joint-stock companies, it is important to understand the factors of influence of the regulatory environment on their activities. The purpose of this study is to analyze the regulatory environment of Ukrainian business entities, and to disclose the conditions in which they operate.

### Materials and methods of research

In order to achieve this goal, the results of international rating assessments are used, the analysis of domestic legal system as well as the pressure of the main supervisory authorities on the activities of Ukrainian enterprises is conducted.

### Research results

Activities of a modern joint-stock company depend on the factors of the regulatory environment.

The term "regulatory environment" is defined as:

- legislative and normative business rules;
- the ability of the authorities to ensure the implementation of law and strictly keep within the law in its own activities;
- the effectiveness of the management system through the society prism: the degree of transparency and consistency of the state regulatory policy; the level of bureaucracy and corruption.

John M. Keynes, an English economist, specified the need for the state regulation of the market economy. In his work "The General Theory of Employment, Interest and Money" he developed a new direction in the economy, examined the aggregate economic factors – aggregate demand, aggregate supply, consumption, accumulation of savings, investments, employment, etc. He tried to establish the cause-effect relationships between them.

Nowadays the term "state regulatory policy" becomes as widespread as "state regulation". According to the Law of Ukraine "On the Principles of the State Regulatory Policy in the Sphere of Economic Activity", the state regulatory policy in the field of economic activity is a direction of the state policy aimed at improving the legal regulation of economic relations, as well as administrative relations between the regulatory bodies or other bodies of the state power and business entities, at preventing the adoption of economically inappropriate and ineffective regulatory acts, at reducing the state interference in the activities of business entities, and at removing obstacles for the development of economic activity, that is performed within, in the order and in the manner established by the Constitution and the laws of Ukraine.

The main components of the regulatory influence of the state on the development and activities of entrepreneurship and the business environment are permitting system, inspection system (audits), technical regulation (certification and standardization), taxation system, legislative acts.

With regard to improving the processes of permitting and registering enterprises at the legislative level, positive changes took place. Today in Ukraine there

is significant liberalization of permitting regulation of economic activity, reduction of the list of permitting documents, reducing the cost of permitting documents, creation of single permitting centers and simplification of permitting procedures that have a positive effect on the business environment of economic entities and the investment climate of the country [47, p. 228].

There is a list of laws that are important for business environment in Ukraine: the Law of Ukraine "On Permitting System in the Sphere of Economic Activity" adopted on September 6, 2005, the Law of Ukraine "On the List of Permitting Documents in the Sphere of Economic Activity", adopted on May 19, 2011 [2], the Law of Ukraine "On Licensing Types of Economic Activities", adopted on March 2, 2015.

However, frequent changes in legal system, the lack of efficiently operating permitting centers, the complexity of permitting procedure and the steady growth of both the number of permits and activities that are subject to licensing. Thus, at the moment of its adoption the Law of Ukraine "On Licensing Types of Economic Activities" established 30 types of economic activities out of 33 ones that are subject to licensing according to the latest changes in legislation. Similarly, according to the Law of Ukraine "On the list of Permitting documents in the Sphere of Economic Activity" initially 135 documents were included in the list of permitting documents, while today 138 documents out of 143 ones are included into the list.

These findings are confirmed by the results of the annual rating study of the International Finance Corporation of the World Bank Group "Doing Business – 2017", according to which Ukraine's place in the rating has risen one point (from the 81st to the 80th). Only 2 out of 10 main components of the study – "The Protection of Minority Investors" and "The Enforcement of Contracts" – were referred to as positive changes. All other changes actually took place due to the changes in the ranking methodology and dynamics of other countries.

Despite the obvious progress in the reform of the permitting system, Ukraine is the 140th in the world as for the obtainability of construction permits (see fig. 1).

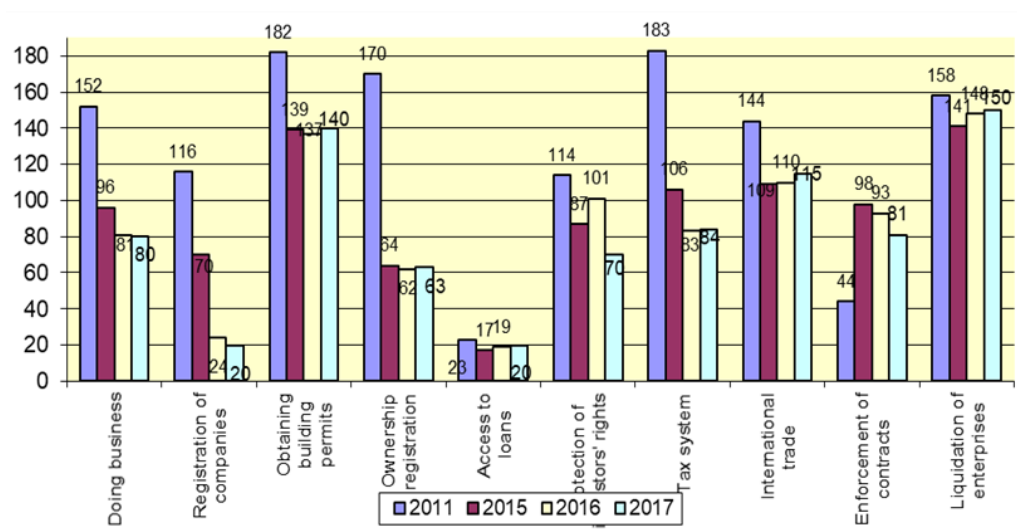


Fig. 1. Ukrainian economic survey conducted by the World Bank Group "Doing Business"



Despite the fact that the procedure for registration of business entities in Ukraine is simplified, post-registration procedures are troublesome and long-term. Bureaucracy and delinquency that hinder the development of entrepreneurship and cause abusive activities have not been eliminated yet.

Ukraine ranks the 140th place out of 190 ones in obtaining construction permits. To obtain all permits for the construction of a warehouse in Kiev, a company must carry out 10 procedures, which last 65 days on average, and their cost is 15.2% of the cost of the construction of the warehouse by contrast with Georgia where only 7 procedures that last 48 days and cost just 0.2% are required [14]. Although according to the number of procedures and time required for their accomplishing Ukraine's indices correspond to the best world practices, their cost significantly exceed the regional level. For comparison, in leading European countries, the cost of the procedures required to obtain a permit for the construction of a warehouse does not exceed 2% of its cost [14].

For quality control Ukraine received 8 points out of 15 possible. At the same time, the study notifies the absence of effective quality control in Ukraine before construction (the analysis of correspondence of building plans to the existing building regulations) and professional certification of specialists who check architectural plans and those who manage construction on the ground.

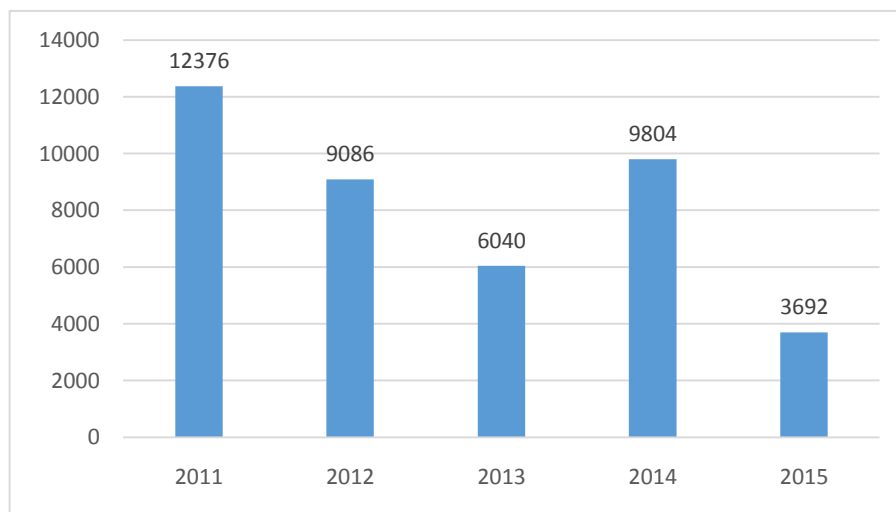
Regarding the system of inspections of business entities, the pressure of supervisory bodies has decreased. An important step in reforming the system of inspections

is the adoption of such laws as: "On Amendments to the Law of Ukraine "On the Basic Principles of State Supervision (Control) in the Sphere of Economic Activity Regarding the Liberalization of the System of the State Supervision" adopted on November 3, 2016, and "On Temporary Peculiarities of the Implementation of the State Supervision Measures (Control) in the Sphere of Economic Activity" adopted on November 3, 2016.

These laws suspend the implementation of planned inspections conducted by supervisory bodies until 31.12.2017, introduce the presumption of a business entity legality, limit the maximum duration of scheduled inspections and establish the limitation of their frequency, introduce the integrated open database containing information about planned inspections as well as about the ones that have been performed.

Compared to 2011, the State Audit Office conducted 70% fewer audits during 2015 (fig. 2).

Also, a number of inspections conducted by the State Fiscal Service has decreased. In 2016, the State Fiscal Service conducted 3,178 inspections fewer than in 2015 [49]. The number of control and verification actions conducted by the National Commission of Paper and Stock Market in 2016 decreased up to 35 ones due to the moratorium on conducting inspections of stock market participants. Consequently, all inspections were unscheduled and carried out grounding on the warrants of investigators of law enforcement agencies, court orders and at the request of the subject of verification.



**Fig. 2.** The dynamics of auditing financial and economic activity conducted by the State Service bodies

Ukraine has signed the Association Agreement with the EU and obliged to correspond to the EU technical regulations and standards, systems of accreditation, assessment of the EU correspondence and market surveillance, as well as to adhere to the principles and practices specified by the EU relevant decisions and regulations. Therefore, today Ukraine has great opportunities as for entering single European market.

Nowadays, the system of technical regulation of the European Union is the most effective for international cooperation, which creates favorable conditions for free circulation of products and restricts government interference into the economic activity of enterprises,

while ensuring product and service safety and appropriate informing consumers about product properties, which was achieved by technical harmonization of legal systems and mutual recognition on the basis of new approach to product regulation and global approach to conformity assessment.

Today, Ukraine has created the legal and regulatory framework that introduces the new system of technical regulation corresponding to the key principles of technical regulation system in accordance with the European Law and the Agreement on Technical Barriers to Trade. This was largely facilitated by the Law of Ukraine "On Technical Regulations and Conformity Assessment"

adopted on January 15, 2015. Important innovations of this law are: abolition of mandatory certification of products (starting from January 01, 2018); introduction of the registry of products conformity certificates; arrangement of appointing conformity assessment bodies.

As agreed in the Association Agreement with the EU, Ukraine is gradually implementing a set of European standards as national standards, while abolishing conflicting national standards. In 2016-2017, four lists of national standards (1704 standards), which are identical to harmonized European standards and which provide the presumption of correspondence of equipment to the requirements of technical regulations were approved. The National Standards Fund includes 21 706 national standards, 12 266 of which are international and European standards adopted as national ones. The level of harmonization with international and European standards is 56.5%.

In the rating "Doing Business – 2017", the overall score of Ukraine decreased by 0.27% according the sub-index "Paying Taxes" which resulted in the fact that Ukraine sank in the scale (one position lower). Due to the taxation reform in Ukraine, the level of tax burden, as well as the amount and duration of payment, is gradually reduced.

In 2016 entrepreneurs in Ukraine spent 355.5 hours and 51.9% of their income to pay 5 tax payments per year. The average regional indicators are 17.6 of taxes, 221.5 hours and 33.8% of income [14].

However, it should be noted that there are constant changes in the taxation law regarding the specifics of taxes, fees and penalties, reporting and obtaining benefits. Each calendar year begins with the introduction of changes that directly affect the activities of a company within the coming year. Another negative factor in the taxation system of Ukraine is the spread of corruption in the activities of tax authorities.

In the area of annual tax liability the global anti-corruption non-governmental organization *Transparency International* (TI) has noted the increase in corruption. Thus, in the rating prepared by TI for 2015, according to the level of corruption Ukraine ranked the 130th position out of 168 ones. According to the results of the ranking, where the level of corruption is scaled from 0 to 100, and where 0 means the total corruption of the state, and 100 is the absence of corruption, Ukraine received 27 points.

In 2016, Ukraine's score was 29 points and its place was the 131st in the ranking, which is a very low result for the country that declares reducing corruption as a major

priority. Any result fewer than 30 points according to *Transparency International* is considered "a shame" for a nation which has to live in a totally corrupt country. Ukraine succeeded in improving the index due to the increased public disapprove of corrupt officials, creation of anticorruption bodies, and introduction of electronic declarations. The impunity and inefficiency of legal system, especially the judicial system, have a negative effect on the results of Ukraine.

Corruption affects all spheres of the economy of Ukraine, provokes massive shadowing of the economy, which, in turn, is the economic basis for corrupt connections. According to the formal statements of government officials, the share of the shadow economy in Ukraine actually coincide with the official one and is now 45–60%.

---

### Discussion of results

The efficiency of business sector greatly depends on the state policy regarding support and regulation aimed at information support of the regulatory framework, at creating the optimal tax burden, etc. The analysis showed that a significant legal liberalization aimed at improving business conditions takes place in the main spheres of the regulatory environment of Ukrainian enterprises during the last five years. There is the reduction of regulatory objects, the decrease of the amount of required documents, inspections, necessary procedures. However, despite these improvements, Ukraine is far behind the global understanding of the simplicity of doing business due to difficulties in obtaining permits for construction, closing an enterprise and trading on the international level. Additional difficulties that are specific for Ukraine are corruption and shadow economy.

---

### Conclusion

Enterprises in Ukraine have to overcome a lot of difficulties in order to improve their performance and become more competitive on the domestic and foreign markets. The role of the state is to help them by reducing regulatory pressure and simplifying business procedures. At present, the government struggle to improve the situation, but due to the overregulation of enterprises in Ukraine it is too difficult to implement innovations or to sustain growth and investment attractiveness as a lot of time, forces and financial resources are spent on bureaucratic procedures, great workflow and corruption.

### References

1. "State Audit Office of Ukraine", available at: <http://195.78.68.73/kru/uk/index>
  2. Brodsky, G. M., Yatsishina, M. Yu., Andreev, O. V., Struk, V. M., Tripolsky, O. V., Lepiska, O. V., Palazov, O. V. (2012), *State policy on licensing system in the sphere of economic activity: Directory (updated)*, Kyiv, 258 p.
  3. "The State Fiscal Service of Ukraine", available at: <http://sfs.gov.ua/>
  4. Didivska, L. I., Golovko, L. S. (2006), *State regulation of the economy: Teaching. manual - 5th kind., Ster*, Kyiv, Knowledge, 213 p.
  5. Zhdanov, I. "Corruption in Ukraine: an attempt to analyze", available at: <http://acy.org.ua/igor-zhdanov-korupsiya-v-ukrajini-sproba-analisis/>
  6. "National Commission on Securities and Stock Market of Ukraine", available at: <http://www.nssmc.gov.ua/>
-

7. "About Amendments to the Law of Ukraine "About the Basic Principles of State Supervision (Control) in the Field of Economic Activity Regarding the Liberalization of the System of State Supervision (Control) in the Field of Economic Activity": Law of Ukraine of November 3, 2016 No. 1726-VIII", available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1726-19>
8. "About the Principles of State Regulatory Policy in the Field of Economic Activity: Law of Ukraine of 11.09.2003 №1160-IV", available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1160-15>
9. "About the List of Permits Permits in the Sphere of Economic Activity: Law of Ukraine of 19.05.2011 №3392-VI", available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3392-17>
10. "About licensing of types of economic activity: Law of Ukraine dated 02.03.2015 №222-VIII", available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/222-19>
11. "On Technical Regulations and Conformity Assessment: Law of Ukraine dated January 15, 2015 №124-VIII", available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/124-19>
12. "About Temporary Peculiarities of Implementation of State Supervision (Control) Measures in the Field of Economic Activity: Law of Ukraine dated 02.03.2015 №1728-VIII", available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1728-19>
13. "Doing Business 2017 Reforming Through Difficult Times", available at: <http://www.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/ukraine/>
14. Transparency International (2016), *The 2016 Global Corruption Barometer Report*, Berlin, Transparency International, 40 p.

Receive 27.06.2017

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

**Чех Наталія Олександрівна** – кандидат економічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, асистент кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail: [Nataliya.Chekh@kname.edu.ua](mailto:Nataliya.Chekh@kname.edu.ua); ORCID: 0000-0001-5728-804X.

**Чех Наталья Александровна** – кандидат экономических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ассистент кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: [Nataliya.Chekh@kname.edu.ua](mailto:Nataliya.Chekh@kname.edu.ua); ORCID: 0000-0001-5728-804X.

**Chekh Natalia** – Candidate of Science (Economics), O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Assistant of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [Nataliya.Chekh@kname.edu.ua](mailto:Nataliya.Chekh@kname.edu.ua); ORCID: 0000-0001-5728-804X.

**Вінник Іван Юлійович** – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, здобувач кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail [vinnyk@gmail.com](mailto:vinnyk@gmail.com); ORCID: 0000-0002-0344-9060.

**Винник Иван Юльевич** – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, соискатель кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: [vinnyk@gmail.com](mailto:vinnyk@gmail.com); ORCID: 0000-0002-0344-9060.

**Vinnyk Ivan** – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, competitor of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; e-mail: [vinnyk@gmail.com](mailto:vinnyk@gmail.com); ORCID: 0000-0002-0344-9060.

## РЕГУЛЯТОРНЕ СЕРЕДОВИЩЕ В ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМНИЦЬКИХ СТРУКТУР УКРАЇНИ

**Предметом** даного дослідження є інструменти, що використовуються державою та створюють регуляторне середовище функціонування підприємницьких структур України. **Метою** статті є аналіз регуляторного середовища діяльності українських підприємств, розкриття умов, в яких вони функціонують, на основі дослідження законодавства та міжнародних рейтингів, побудованих на основі соціальних опитувань українського суспільства. Основними **завданнями** є розгляд регуляторного середовища, вивчення стану дозвольної системи, системи контролю (перевірок), технічного регулювання, податкової системи та законодавчих актів. Використовуються загальнонаукові **методи**: методи емпіричного дослідження (спостереження, порівняння, візуально-графічні методи), метод системного аналізу, індукція, дедукція, конкретизація. Отримано такі **результати**. Регулювання можна назвати політикою впливів, що народжується зі знання природи об'єкта, на який спрямоване регулювання, та з чіткого бачення образу цього об'єкта, який планується досягти за допомогою певних регуляторів. Основним таким регулятором діяльності суб'єктів господарювання є держава. Розглядаючи місце України в рейтинговому дослідженні Міжнародної фінансової корпорації групи Світового банку "Ведення бізнесу - 2017" (Doing Business 2017), досліджено основні умови функціонування українських підприємств та вплив держави на середовище їх діяльності. Хоча місце України у рейтингу покращилось на одну позицію (80 місце) порівняно з минулим роком, за певними параметрами наша держава суттєво відстає не тільки від лідерів, але і від країн-сусідів. Це зокрема, отримання дозволів на будівництво, складність процесу ліквідації підприємства та здійснення міжнародної торгівлі. Це складові, за якими Україна не потрапила навіть у першу сотню рейтингу. Проте у таких сферах як дозвольна система, система контролю, технічне регулювання спостерігаються суттєві зміни спрямовані на спрощення основних процедур та зменшення регуляторного тиску. **Висновки**. Незважаючи на ці нововведення, все ще присутні бюрократизм, часті зміни в законодавстві та в цілому його недосконалість. В результаті функціонування підприємств України продовжує ускладнюватись наявністю корупції та тіньової економіки. Для створення оптимальних умов для введення бізнесу в Україні одним з основних заходів повинне стати зменшення зарегульованості діяльності вітчизняних підприємств.

**Ключові слова:** підприємство, регулювання, дозвольна система, законодавство, ліцензування, податкова система, система контролю, технічне регулювання.

## РЕГУЛЯТОРНАЯ СРЕДА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ СТРУКТУР УКРАИНЫ

**Предметом** данного исследования являются инструменты, используемые государством, и которые создают регуляторную среду функционирования предпринимательских структур Украины. **Целью** статьи является анализ регуляторной среды деятельности украинских предприятий, раскрытие условий, в которых они функционируют на основе исследования законодательства и международных рейтингов, построенных на основе социальных опросов украинского общества. Основными **задачами** являются рассмотрение регуляторной среды, изучение состояния разрешительной системы, системы контроля (проверок), технического регулирования, налоговой системы и законодательных актов. Используются общенаучные **методы**: методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, визуально-графические методы), метод системного анализа, индукция, дедукция, конкретизация. Получены следующие **результаты**. Регулирование можно назвать политикой воздействий, которая рождается из знания природы объекта, на который направлено регулирование, и с четкого видения образа этого объекта, который планируется достичь с помощью определенных регуляторов. Основным таким регулятором деятельности субъектов хозяйствования является государство. Рассматривая место Украины в рейтинговом исследовании Международной финансовой корпорации группы Всемирного банка "Ведение бизнеса - 2017" (Doing Business 2017), исследованы основные условия функционирования украинских предприятий и влияние государства на среду их деятельности. Хотя место Украины в рейтинге улучшилось на одну позицию (80 место) по сравнению с прошлым годом, по определенным параметрам наше государство существенно отстает не только от лидеров, но и от стран-соседей. Это, в частности, получение разрешений на строительство, сложность процесса ликвидации предприятия и осуществления международной торговли. Это составляющие, по которым Украина не попала даже в первую сотню рейтинга. Однако в таких сферах как разрешительная система, система контроля, техническое регулирование наблюдаются существенные изменения направлены на упрощение основных процедур и уменьшения регуляторного давления. **Выводы**. Несмотря на эти нововведения, все еще присутствуют бюрократизм, частые изменения в законодательстве и в целом его несовершенство. В результате функционирование предприятий Украины продолжает осложняться наличием коррупции и теневой экономики. Для создания оптимальных условий для ведения бизнеса в Украине одним из основных мероприятий должно стать уменьшение зарегулированности деятельности отечественных предприятий.

**Ключевые слова:** предприятие, регулирование, разрешительная система, законодательство, лицензирование, налоговая система, система контроля, техническое регулирование.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Чех Н. О., Винник І. Ю.** Регуляторне середовище в діяльності підприємницьких структур України. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 124–129.

**Чех Н. А., Винник И. Ю.** Регуляторная среда в деятельности предпринимательских структур Украины. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. Харків. 2017. № 1 (1). С. 124–129.

**Chekh N., Vinnyk I.** Regulatory environment of business activities in Ukraine. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 124–129.



G. SHAPOVAL, O. VASHCHENKO

## VALUE-BASED APPROACH TO MANAGING CURRENT ASSETS OF CORPORATE CONSTRUCTION COMPANIES

In modern conditions of management, the value of an enterprise becomes the main indicator, which is learned not only by scientists, but also by owners of enterprise and potential investors. Current assets take a very important place among the factors that affect the value of an enterprise, so management of current assets becomes more acute from the point of their impact on enterprise value. The **purpose** of the paper is to develop a system of value-based management of corporate construction companies' current assets. The **main** tasks are: the study of current assets impact on the value of corporate construction companies, the definition of value-based approach to managing current assets of corporate enterprises and development of value-based management system of corporate construction companies' current assets by elements. General scientific and special research methods were used while writing the work. Value-based management of current assets involves value-based management of the elements of current assets. The value-based inventory management includes the following stages of management: the assessment of reliability and choice of supplier according to the criterion of cash flow maximization, the classification of stocks in management accounting according to the rhythm of supply and the establishment of periodicity of supplies in accordance with the needs of the construction process. The value-based management of accounts receivable includes the following stages of management: assessment of the efficiency of investment of working capital into accounts receivable, the assessment of customers' loyalty and the definition of credit conditions and monitoring of receivables by construction and debt instruments. Value-based cash management involves determining the required level of cash to ensure the continuity of the construction process, assessing the effectiveness of cash use according to the criterion of maximizing cash flow, as well as budget formation and control of cash flow. Value-based management of current assets of corporate construction companies is the development of targeted actions to optimize inventories, accounts receivable and cash, in order to ensure cash flow generation, and, accordingly, increase the value of the enterprise, which will ensure the growth of the welfare of owners. Applying a value-based approach to the management of current assets of corporate enterprises in the construction industry will allow reducing costs and net working capital of the enterprise by optimizing the size of inventories and receivables, which will lead to an increase in cash flow and value of enterprises.

**Keywords:** current assets, value-based management, corporate construction companies, cash flows, net working capital, inventories, accounts receivable, cash.

### Introduction

The cost of an enterprise in the modern conditions of management becomes the main indicator, which interested not only scientists, but also owners of the enterprise and potential investors. Profit, which characterizes the efficiency of the enterprise at the stage of management, goes to the background, because, unlike the cost, it does not show the prospects of business development, that is, the company's ability to generate cash flows in the future.

Among the factors that affect the value of an enterprise, a significant place has the value of current assets, because the share of current assets in the structure of assets of most Ukrainian enterprises is quite significant. Therefore, the management of current assets from the standpoint of the impact of its effectiveness on the value of the enterprise becomes especially relevant.

### Analysis of literary sources and problem statement

The problems of managing the value of the enterprise and assessing the business are considered in the writings of many economists, in particular, the study of the main methodological approaches to assessing the value of the enterprise is devoted the works of Gryaznova A. [1] and Shcherbakova V. [2]; Momot T. [3] which reveals the possibility of applying the international approaches to valuation under the conditions of Ukrainian enterprises; the algorithm of complex estimation of the enterprise value by the income approach was developed in the work of Milinchuk O. [4]; Kalinina O. [5] proves the expediency of using a profit approach in assessing the value of an enterprise and analyzes the advantages and

disadvantages of the main methods of this approach; cost-oriented inventory management model developed by the Polish economist Mikhalsky G.[6]

Despite a large number of studies on cost-oriented management, a rather large range of issues remains unresolved. In particular, it concerns the management of current assets in the system of value-oriented enterprise management.

### The purpose and objectives of the study

The purpose of the work is to develop a system of value-oriented management of working assets of corporate construction companies. The main tasks are: the study of the impact of current assets on the value of corporate construction companies, the definition of value-oriented approach to managing the current assets of corporate enterprises and the development of a system of value-oriented management of working capital assets of corporate construction companies by elements.

### Materials and methods of research

When writing the work, general scientific and special principles and methods of research were used, in particular: theoretical generalization, comparative analysis, graphic, analysis and synthesis.

### Research results

In international practice, there are four approaches to assessing the value of a business: income, expense, market

and option. All of them are completely different and each has both advantages and disadvantages that need to be taken into account when choosing an approach to assessing the value of an enterprise.

In Ukraine, the assessment of an enterprise value is regulated at the legislative level. The analysis of

advantages and disadvantages of available approaches to assessing the value of an enterprise was carried out on the basis of the study of literature sources on value-based management and business assessment; the results are shown in table 1.

**Table 1.** Ranking the approaches to assessing business value

Approaches to value assessment	Features	Advantages	Disadvantages
Income	Determining the expected income from the object of assessment	1) takes into account future income and risks linked with its gaining; 2) can be used for assessing all existing enterprises (except for unprofitable and new ones); 3) in most cases gives the most accurate results.	1) assessing unprofitable and new enterprises is restricted; 2) determining the risks of business operation, the price of capital and the growth of cash during the post-forecast period is difficult; 3) calculations are labour intensive and time-consuming.
Cost	Determining costs necessary to replace the object of assessment taking into account its deterioration	1) enables assessing an enterprise as a whole (considering facilities and resources especially while closing down); 2) irreplaceable for assessing a new enterprise and when there is no information about compatible enterprises.	1) the results of assessment greatly depend on the reliability of financial reports; 2) further prospects of development are not taken into account.
Market	Comparing the object of assessment with similar objects	1) easy to apply (the cost is actually determined by the market); 2) actually reflects the supply and demand for the investment object	1) the prospects for development are not taken into account; 2) the use is limited due to the lack of developed financial market and, accordingly, information about compatible companies; 3) the remaining book value is difficult to correct (there are no identical companies, therefore, financial indicators are different)
Optional	Modelling and assessing the cost of the most complex financial and economic objects	1) enables considering high market volatility as a positive factor; 2) can be used to assess new companies.	the use is limited when there is no a developed market of options.

The conducted analysis of advantages and disadvantages of the approaches to assessing business value enables making the conclusion that in order to meet the needs of owners and potential investors, the most justifiable approach is to apply a profit-oriented approach to assessing the value of business for corporate enterprises in the construction industry, which takes into account potential development opportunities and allows assessing the future benefits of ownership by ownership of the enterprise.

The income approach allows you to determine the present value of future cash flows that will be generated by the enterprise.

In income models, valuing companies by using the method of discounting cash flows most experts often use cash flows for own and invested capital.

Cash flow on equity is a residual cash flow after the company satisfies all financial needs. [3]. Negative cash flow on equity indicates the need to attract additional capital.

When evaluating a company using a return-based approach, namely, the method of discounting cash flows, it is necessary to accurately calculate the value of its own

working capital, which is one of the elements of the cash flow.

We agree with the viewpoint of most economists [7, 8, 9, 10], according to which own working capital is the difference between current assets and current liabilities.

Since the value of current assets and current liabilities depends on the revenue (the higher the revenue, the greater the amount of own working capital is needed for the normal functioning of the enterprise), then the dynamics of its working capital can be predicted depending on the proceeds or on the basis of a separate forecast of changes in current assets and liabilities.

Own working capital is determined on the basis of the model [3]:

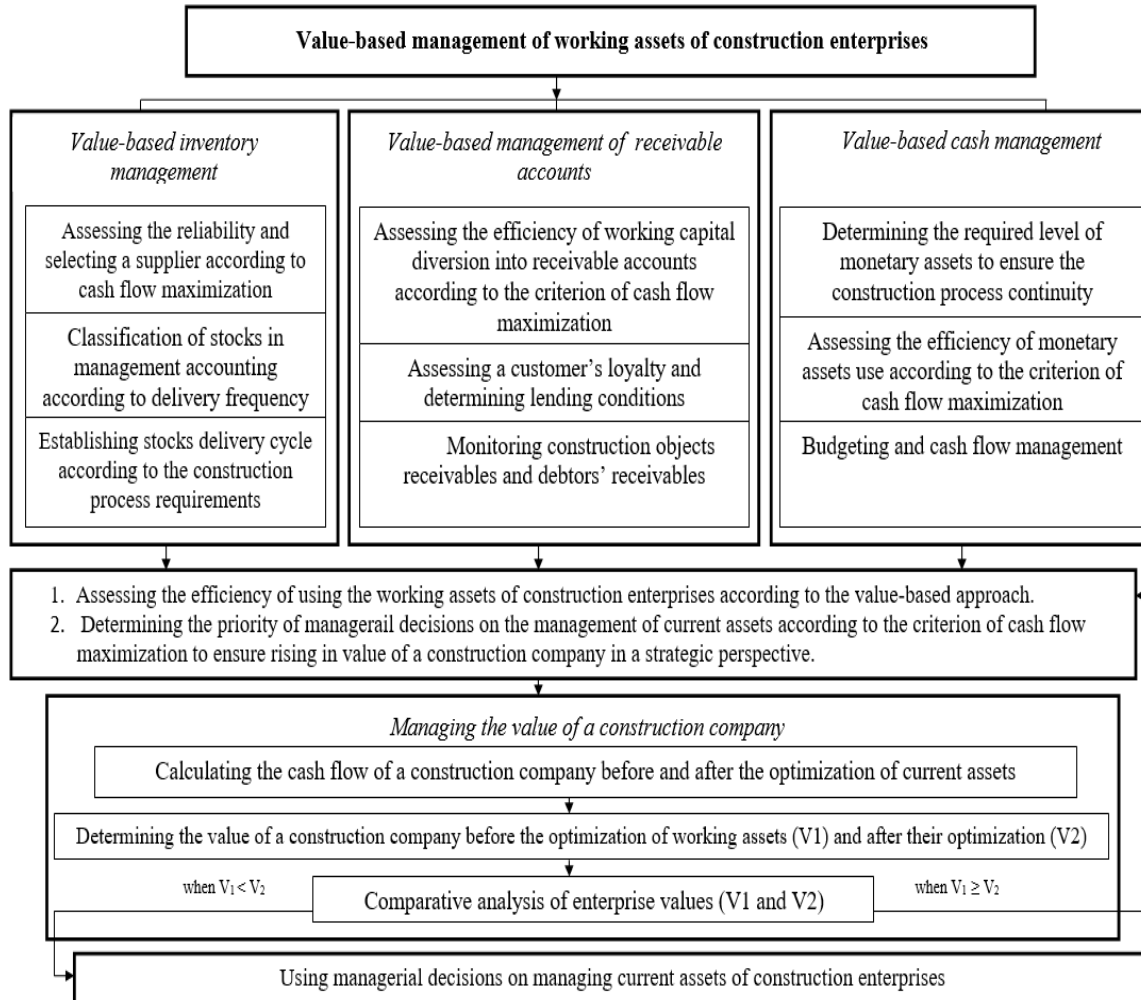
$$WCN = CA - CL = AAR + AIN + C - AAP, \quad (1)$$

where  $WCN$  – own working capital;  $CA$  – current assets;  $CL$  – current liabilities;  $AAR$  – receivables;  $AIN$  – stocks;  $C$  – cash and cash equivalents;  $AAP$  – current liabilities.

From the above formula, we see that the change in the value of current assets (accounts receivable, inventories and cash) affects the size of the company's cash flows, and accordingly - its value.

Thus, under the value-oriented management of the circulating assets of corporate construction companies should be understood the development of targeted actions for the optimization of stocks, accounts receivable and cash, in order to ensure the generation of cash flows, and accordingly - increase in the value of the enterprise, which will ensure the growth of the welfare of owners.

From the scheme of value-oriented management of working assets of construction enterprises, shown in Fig. 1, it is evident that value-oriented management of working assets involves cost-oriented management of the assets of current assets.



**Fig. 1.** The system of value-oriented management of current assets of corporate construction companies

The cost-oriented inventory management of the TMC includes three main stages of management: the assessment of reliability and choice of supplier according to the criterion of cash flow maximization, the classification of stocks in management accounting for the rhythm of supply and the establishment of periodicity of supplies in accordance with the needs of the construction process.

Unlike existing inventory management approaches, a cost-oriented approach allows you to determine the optimal amount of investment in inventory, taking into account the costs associated with the supplier's choice and the needs of the construction process, as well as the peculiarities of construction activity in the management of stocks, which allows, on the basis of identified deficiencies in the management of stocks from the standpoint of value-oriented approach, to develop strategic directions for making managerial decisions in order to increase cash flows, and, accordingly, the cost of the enterprise.

The purpose of value-oriented management of receivable accounts and cash is to develop strategic directions for making managerial decisions on the criterion of maximizing cash flows to ensure the growth of enterprise value in a strategic perspective. At the same time, the value-oriented management of receivable accounts includes the following main stages of management, such as: assessment of the efficiency of diversion of working capital into receivable accounts, assessing customers' loyalty and determining the terms of lending and monitoring of receivables by construction objects and debtors.

Cost-oriented cash management involves determining the required level of cash to ensure the continuity of the construction process, assessing the effectiveness of the use of cash on the criterion of maximizing cash flow, as well as budget formation and control of cash flow.

### Conclusion

In today's conditions of management for corporate building enterprises the strategic goals become the priority - ensuring the full exit of enterprises from the crisis and their further growth, and for owners of enterprises the main criterion for assessing the activities of enterprises is the increase in their value. Therefore, the management of the enterprise as a whole and its separate elements, in particular current assets, should be based on the principles of value-oriented management.

To meet the needs of owners and potential investors, the most justifiable approach is to apply a profit-based approach to assessing the value of business for corporate enterprises in the construction industry, which takes into account potential development opportunities and allows

assessing the future benefits of ownership by the enterprise.

The cost-oriented management of working assets of construction companies is proposed to be considered as the development of targeted actions for the optimization of stocks, receivables and cash, in order to ensure the generation of cash flows, and, accordingly, increase the value of the enterprise, which will increase the welfare of owners.

Applying a value-oriented approach to managing current assets of corporate enterprises in the construction industry will allow, by optimizing the size of stocks and receivables, to reduce costs and net working capital of the enterprise, which will ensure growth of cash flow and the cost of enterprises.

### References

- Griaznova, A. G., Fedotova, M. A. (2001), *Business Valuation: Tutorial*, Financy i Statistika, Moscow, 512 p.
- Shcherbakov, V. A. Shcherbakova, N. A. (2007), *Enterprise (Business) Value Assessment*, Omega-L, Moscow, 286 p.
- Momot, T. V. (2006), *Value-based Corporate Governance: from Theory to Practical Implementation: Monograph*, KNAME, Kharkiv, 380 p.
- Milinchuk, O. V. (2009), Enterprise Value Management: Bases of Income Approach Methodology, *Herald of ZhSTU*, No. 1 (47), pp. 185–190.
- Kalinina, O. M. (2007), *Budgeting as a Method of Industrial Enterprise's Current Assets Management: Author's thesis*, KNEU, Kharkiv, 21 p.
- Michalski, G. (2007), "VBEQ – Optimal Economic Order Quantity on Position on Enterprise Value Maximization", available at: <http://ssrn.com/abstract=997035>
- Momot, T. V. (2007), *Business Valuation: Modern Techniques*, FACTOR, Kharkiv, 224 p.
- Damodaran, A. (2010), *The Dark Side of Valuation: Valuing Young, Distressed, and Complex Businesses*, 2nd ed., FT Press, New Jersey, 590 p.
- Sorokina, L. V. (2011), *Models and Techniques of Construction Company's Market Value Management: Monograph*, Kyiv, 541 p.
- Zaremba, O. O. (2010), Peculiarities of Implementing Key Approaches to Business Valuation in Conditions of Uncertainty, *Finansyst*, No. 12, pp. 46-52.

Receive 02.07.2017

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

**Шаповал Галина Миколаївна** – кандидат економічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Доцент кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail: Galia1986@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8098-2240.

**Шаповал Галина Николаевна** – кандидат экономических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Доцент кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: Galia1986@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8098-2240.

**Shapoval Galyna** – Candidate of Science (Economics), O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy, Associate Professor of the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; e-mail: Galia1986@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8098-2240.

**Вашенко Александр Миколайович** – кандидат економічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту, м. Харків, Україна; e-mail: vashchenko\_an@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-3027-7644.

**Вашенко Александр Николаевич** – кандидат экономических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры финансово-экономической безопасности, учета и аудита, г. Харьков, Украина; e-mail: vashchenko\_an@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-3027-7644.

**Vashchenko Oleksandr** – Ph. D. (Economics Sciences), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Associate Professor at the Department of Financial and Economic Security, Accounting and Auditing, Kharkiv, Ukraine; e-mail: vashchenko\_an@yahoo.com; ORCID: 0000-0003-3027-7644.

## ВАРТІСНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ОБОРОТНИМИ АКТИВАМИ КОРПОРАТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вартість підприємства в сучасних умовах господарювання стає основним показником, що цікавить не тільки науковців, а й власників підприємства і потенційних інвесторів. Серед факторів, що впливають на вартість підприємства досить важливе місце займає величина оборотних активів, тому особливої актуальності набуває управління оборотними активами з позиції впливу його ефективності на вартість підприємства. **Метою** роботи є розробка системи вартісно-орієнтованого управління



оборотними активами корпоративних будівельних підприємств. Основними **задачами** є: дослідження впливу оборотних активів на вартість корпоративних будівельних підприємств, визначення вартісно-орієнтованого підходу до управління оборотними активами корпоративних підприємств та розробка системи вартісно-орієнтованого управління оборотними активами корпоративних будівельних підприємств за елементами. При написанні роботи використовувались загальнонаукові і спеціальні **методи** дослідження. Вартісно-орієнтоване управління оборотними активами передбачає вартісно-орієнтоване управління елементами оборотних активів. Вартісно-орієнтоване управління запасами ТМЦ включає такі етапи управління: оцінку надійності та вибір постачальника за критерієм максимізації грошового потоку, класифікацію запасів в управлінському обліку за ритмічністю постачання та встановлення періодичності поставок відповідно до потреб будівельного процесу. Вартісно-орієнтоване управління дебіторською заборгованістю включає наступні етапи управління: оцінка ефективності відволікання оборотного капіталу в дебіторську заборгованість, оцінка лояльності покупців та визначення умов кредитування та моніторинг дебіторської заборгованості за об'єктами будівництва та суб'єктами заборгованості. Вартісно-орієнтоване управління грошовими коштами передбачає визначення необхідного рівня грошових коштів для забезпечення безперебійності будівельного процесу, оцінку ефективності використання грошових коштів за критерієм максимізації грошового потоку, а також формування бюджетів та контроль за рухом грошових коштів. Вартісно-орієнтоване управління оборотними активами корпоративних будівельних підприємств – це розробка цілеспрямованих дій щодо оптимізації запасів, дебіторської заборгованості і грошових коштів, з метою забезпечення генерування грошових потоків, а відповідно – збільшення вартості підприємства, що забезпечить зростання добробуту власників. Застосування вартісно-орієнтованого підходу до управління оборотними активами корпоративних підприємств будівельної галузі дозволить за рахунок оптимізації розмірів запасів і дебіторської заборгованості зменшити витрати і чистий оборотний капітал підприємства, що приведе до зростання грошового потоку і вартості підприємств.

**Ключові слова:** оборотні активи, вартісно-орієнтоване управління, корпоративні будівельні підприємства, грошові потоки, чистий оборотний капітал, запаси, дебіторська заборгованість, грошові кошти.

## СТОИМОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ОБОРОТНЫМИ АКТИВАМИ КОРПОРАТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Стоимость предприятия в современных условиях хозяйствования становится основным показателем, который интересует не только ученых, но и собственников предприятия и потенциальных инвесторов. Среди факторов, влияющих на стоимость предприятия, достаточно важное место занимает величина оборотных активов, поэтому особую актуальность приобретает управление оборотными активами с позиции влияния его эффективности на стоимость предприятия. **Целью** работы является разработка системы стоимостно-ориентированного управления оборотными активами корпоративных строительных предприятий. Основными **задачами** являются: исследование влияния оборотных активов на стоимость корпоративных строительных предприятий, определение стоимостно-ориентированного подхода к управлению оборотными активами корпоративных предприятий и разработка системы стоимостно-ориентированного управления оборотными активами корпоративных строительных предприятий по элементам. При написании работы использовались общенаучные и специальные **методы** исследования. Стоимостно-ориентированное управление оборотными активами предполагает стоимостно-ориентированное управление элементами оборотных активов. Стоимостно-ориентированное управление запасами ТМЦ включает следующие этапы управления: оценку надежности и выбор поставщика по критерию максимизации денежного потока, классификацию запасов в управленческом учете по ритмичности поставки и установка периодичности поставок в соответствии с потребностями строительного процесса. Стоимостно-ориентированное управление дебиторской задолженностью включает следующие этапы управления: оценка эффективности отвлечения оборотного капитала в дебиторскую задолженность, оценка лояльности покупателей и определение условий кредитования и мониторинг дебиторской задолженности по объектам строительства и субъектам задолженности. Стоимостно-ориентированное управление денежными средствами предусматривает определение необходимого уровня денежных средств для обеспечения бесперебойности строительного процесса, оценку эффективности использования денежных средств по критерию максимизации денежного потока, а также формирование бюджетов и контроль за движением денежных средств. Стоимостно-ориентированное управление оборотными активами корпоративных строительных предприятий - это разработка целенаправленных действий по оптимизации запасов, дебиторской задолженности и денежных средств, с целью обеспечения генерирования денежных потоков, а соответственно - увеличение стоимости предприятия, что обеспечит рост благосостояния собственников. Применение стоимостно-ориентированного подхода к управлению оборотными активами корпоративных предприятий строительной отрасли позволит за счет оптимизации размеров запасов и дебиторской задолженности уменьшить расходы и чистый оборотный капитал предприятия, приведет к росту денежного потока и стоимости предприятий.

**Ключевые слова:** оборотные активы, стоимостно-ориентированное управление, корпоративные строительные предприятия, денежные потоки, чистый оборотный капитал, запасы, дебиторская задолженность, денежные средства.

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Шаповал Г. М., Ващенко О. М. Вартісно-орієнтований підхід до управління оборотними активами корпоративних будівельних підприємств. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 130–134.

**Шаповал Г. Н., Ващенко А. Н. Стоимостно-ориентированный подход к управлению оборотными активами корпоративных строительных предприятий. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості.** Харків. 2017. № 1 (1). С. 130–134.

**Shapoval G., Vashchenko O. Value-based approach to managing current assets of corporate construction companies. Innovative technologies and scientific solutions for industries.** Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 130–134.

**АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК**

Аванесова Н.Е.	98
Аврунін О.Г.	64
Алісейко О.В.	6
Артюх Р.В.	53
Бабенко В.О.	6
Безкоровайний В.В.	14
Березовський Г.В.	14
Ващенко О.М.	130
Вінник І.Ю.	124
Гурин В.М.	21
Гусєва Ю.Ю.	58
Демська Н.П.	82
Діденко Є.В.	28
Докуніна К.І.	117
Кадикова І.М.	53
Клочко О.О.	36
Ковалев В.Д.	36
Коваленко А.А.	75
Косенко В.В.	46
Косенко Н.В.	53
Кочуєва З.А.	6
Кучук Г.А.	75
Луцький С.В.	110
Мала І.О.	82
Мартиненко О.С.	58
Момот Д.Т.	103
Момот Т.В.	103
Невлюдова В.В.	82
Носова Я.В.	64
Парфененко Ю.В.	69
Персіянова О.Ю.	21
Рубан І.В.	75
Руженцев І.В.	110
Солодовнік О.О.	117
Семенець В.В.	64
Стародубцев М.Г.	82
Фомовський Ф.В.	82
Чех Н.О.	124
Чжан Хаоюй	103
Чумаченко І.В.	58
Чупрін Є.С.	98
Шаповал Г.М.	130
Шелковий О.М.	36
Шулима О.В.	90

**ALPHABETICAL INDEX**

Avanesova Nina	98
Avrunin Oleg	64
Alisejko Elena	6
Artiukh Roman	53
Babenko Vitalina	6
Beskorovainyi Vladimir	14
Berezovskyi Heorhii	14
Vashchenko Oleksandr	130
Vinnyk Ivan	124
Gurin Valeriy	21
Husieva Yuliia	58
Demska Nataliia	82
Didenko Evgen	28
Dokunina Kateryna	117
Kadykova Iryna	53
Klochko Alexander	36
Kovalev Viktor	36
Kovalenko Andrey	75
Kosenko Viktor	46
Kosenko Nataliia	53
Kochuyeva Zoya	6
Kuchuk Heorhii	75
Lutsky Sergey	110
Malaya Inna	82
Martynenko Oleksandr	58
Momot Daryna	103
Momot Tetiana	103
Nevliudova Viktoriia	82
Nosova Yana	64
Parfenenko Yuliia	69
Persiyanova Elena	21
Ruban Igor	75
Ruzhentsev Igor	110
Solodovnik Olesia	117
Semenets Valery	64
Strodubtsev Nikolai	82
Fomovsky Felix	82
Chekh Natalia	124
Zhang Haoyuy	103
Chumachenko Igor	58
Chuprin Yevhen	98
Shapoval Galyna	130
Shelkovoy Alexander	36
Shulyma Olha	90

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

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

**Щоквартальний науковий журнал**

№ 1 (1) 2017

Відповідальний за випуск *А. А. Коваленко*  
Технічний редактор *О. В. Лобач*  
Комп'ютерна верстка *О. Ю. Персіянова*  
Оформлення обкладинки *І. І. Бабич*

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

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

Тел.: +38 (057) 704-10-51

Веб-сайт: <http://itssi-journal.com>

E-mail: [journal.itssi@gmail.com](mailto:journal.itssi@gmail.com)

---

Формат 60×84/8. Умов. друк. арк. 15,81. Тираж 150 прим.

Відруковано з готових оригінал-макетів в типографії ФОП Андреев К. В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис №24800170000045020 від 30.05.2003.

61166, Харків, вул. Серпова, 4, тел. 063-993-62-73  
e-mail: [ep.zakaz@gmail.com](mailto:ep.zakaz@gmail.com)