

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».
Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні
технології

Збірник наукових праць

№ 2'2019

Видання засноване у 1961 р.

Вестник Национального технического университета
«ХПИ». Серия: Системный анализ, управление и
информационные технологии

Сборник научных работ

№ 2'2019

Издание основано в 1961 г.

Bulletin of the National Technical University "KhPI".
Series: System analysis, control and information technology

Collection of Scientific papers

No. 2'2019

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2019

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Системный анализ, управление и информационные технологии = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2019. — № 2'2019. — 90 с. — ISSN 2079-0023.

Видання публікує нові наукові результати в області системного аналізу та управління складними системами, отримані на основі сучасних прикладних математичних методів і прогресивних інформаційних технологій. Публікуються роботи, пов'язані зі штучним інтелектом, аналізом великих даних, сучасними методами високопродуктивних обчислень у системах підтримки прийняття рішень.

Издание публикует новые научные результаты в области системного анализа и управления сложными системами, полученные на основе современных прикладных математических методов и прогрессивных информационных технологий. Публикуются работы, связанные с искусственным интеллектом, анализом больших данных, современными методами высокопродуктивных вычислений в системах поддержки принятия решений.

Для научных работников, преподавателей высшей школы, аспирантов, студентов и специалистов в области системного анализа, управления и компьютерных технологий.

Edition publishes new scientific results in the field of system analysis and control of complex systems, based on the application of modern mathematical methods and advanced information technology. Works related to artificial intelligence, big data analysis and modern methods of high-performance computing in decision support systems are publishing.

For scientists, teachers of higher education, post-graduate students, students and specialists in the field of systems analysis, management and computer technology.

Свідоцтво Міністерства юстиції України
КВ № 23778-13618Р від 14 лютого 2019 р.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в базу журналів відкритого доступу DOAJ (Directory of Open Access Journals), бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://samit.khpi.edu.ua/>

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Редакційна колегія

Головний редактор:

Годлевський М. Д., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Заступник головного редактора

Куценко О. С., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Александрова Т. Є., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Безменов М. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Бентаєб Ф., доц., Ліонський університет-2, Франція

Богомолів С., доц., Австралійський національний університет, Австралія

Гамаюн І. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Дідманідзе І., проф., Батумський держ. ун-т ім. Шота

Руставелі, Грузія

Дорофєєв Ю. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Керстен В., проф., Гамбурзький технологічний університет,
Німеччина

Любчик Л. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Павлов О. А., проф., НТУУ «КПІ», Україна

Раскін Л. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Северин В. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Ткачук М. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Хайрова Н. Ф., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Шаронова Н. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар

Безменов М. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Editorial

Editor-in-chief

Godlevskiy M. D., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Deputy editor-in-chief

Kutsenko O. S., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Alexandrova T. E., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Bezmenov M. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Bentayeb F., Associate Professor, University of Lyon-2, France

Bogomolov S., Assistant Professor, Australian National University, Australia

Gamayun I. P., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Didmanidze I., prof., Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia

Dorofiev Yu. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kersten Wolfgang, Prof., Hamburg University of Technology, Germany

Lyubchik L. M., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Pavlov O. A., prof., NTUU "KPI", Ukraine

Raskin L. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Severin V. P., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Tkachuk M. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Khairova N. F., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Sharonova N. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

Bezmenov M. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».
Протокол № 9 від 1 листопада 2019 р.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING THEORY

UDC 519.2

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.01

A. E. GOLOSKOKOV, A. A. YAKOVENKO

ASSESSMENT OF THE COMPLEX SYSTEM CONDITION (ON THE EXAMPLE OF AN IT COMPANY)

The paper considers the problem of estimating the state of the enterprise (on example of the IT company). The problem is presented in the form of two problems. The first problem is the aggregation of the initial information and the second problem is the identification of the state of a complex system. Authors formulated the problem and selected methods for solution of the problem. It is possible to form software for solving research problems. To solve the problem of aggregation of initial data authors used the fuzzy cluster analysis, namely the fuzzy k -means method. A numerical research was carried out and a test case was figured out in the MATLAB environment. In this test case the source data was reduced to a dimensionless form. Thereafter, already reduced to the same scale, the initial attributes were reduced to fuzziness. The results allow to formalize linguistic variables, which are characterized by the term-sets and definition range. The numerical results were approximated by analytical membership functions. The solution of the first task allows to generate a set of possible fuzzy reference situations, which reflect the possible state of the system. Each situation is characterized by the reference informational granule, which contains information about formalized linguistic variables. The second problem was solved by using the method of fuzzy logic in the MATLAB environment. The test case was calculated. In this test case, the search of the situation in which the IT-company is located was performed. At this stage, the current situation belongs to comparison with each reference situation. In this way, authors determined the most similar reference situation to the current situation. An analysis of the resulting situation allows to argue the state of the IT company. The solution of the second task allowed to establish assessment of IT company state. The theoretical and practical results can improve the efficiency of complex system management.

Keywords: complex system management, condition assessment, fuzzy cluster analysis, situational approach, reference situations, informational granule.

О. Є. ГОЛОСКОКОВ, А. А. ЯКОВЕНКО

ОЦІНКА СТАНУ СКЛАДНИХ СИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ ІТ-КОМПАНІЇ)

У роботі розглянута проблема оцінки стану підприємства (на прикладі ІТ-компанії). Проблема представлена у вигляді двох задач, а саме: агрегування вихідної інформації і ідентифікація стану складної системи. Сформульовано постановки задачі та обрані методи їх вирішення. Це дозволило сформувати математичне забезпечення для вирішення задачі дослідження. Для вирішення задачі агрегування вхідних даних використаний нечіткий кластерний аналіз, а саме нечіткий метод K -середніх. Здійснено числові дослідження та прорахований тестовий приклад в середовищі MATLAB. В рамках даного тестового прикладу здійснено приведення вхідних даних до безрозмірного вигляду. Після цього, вже приведені до єдиної шкали, вхідні ознаки були приведені до нечіткості в результаті чого вдалося формалізувати лінгвістичні змінні, які характеризуються терм-множинами і областями визначення. Отриманий чисельний результат був апроксимований аналітичними функціями належності. Вирішення першого завдання дозволило сформувати множину можливих нечітких еталонних ситуацій, що відображають можливі стани системи. Кожна еталонна ситуація характеризується інформаційною гранулою, яка містить інформацію про формалізовані лінгвістичні змінні. Друга задача була вирішена за допомогою методу нечіткої логіки в середовищі MATLAB. Прорахований тестовий приклад, який полягає в пошуку ситуації, в якій знаходиться ІТ-компанія. На даному етапі поточна ситуація підлягає порівнянню з кожною еталонною ситуацією, в результаті чого визначається найбільш схожа ситуація до поточної. В результаті аналізу отриманої ситуації здійснюється аргументування стану ІТ-компанії. Вирішення другої задачі дозволило встановити оцінку стану ІТ-компанії. Отримані теоретичні та практичні результати дозволяють підвищити ефективність процесу управління складною системою.

Ключові слова: управління складною системою, оцінка стану об'єкту, нечіткий кластерний аналіз, нечіткий ситуаційний підхід, еталонні ситуації, інформаційна гранула.

A. E. GOLOSKOKOV, A. A. YAKOVENKO

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ИТ-КОМПАНИИ)

В работе рассмотрена проблема оценки состояния предприятия (на примере ИТ-компаний). Проблема представлена в виде двух задач, а именно: агрегирование исходной информации и идентификация состояния сложной системы. Сформулированы постановки задач и выбраны методы их решения. Это позволило сформировать математическое обеспечение для решения задачи исследования. Для решения задачи агрегирования исходных данных использован нечеткий кластерный анализ, а именно нечеткий метод K -средних. Осуществлены численные исследования и просчитан тестовый пример в среде MATLAB. В рамках данного тестового примера осуществлено приведение исходных данных к безразмерному виду. После этого, уже приведенные к единой шкале, исходные признаки были приведены к нечеткости в результате чего удалось формализовать лингвистические переменные, которые характеризуются терм-множествами и областями определения. Полученный численный результат был аппроксимирован аналитическими функциями принадлежности. Решение первой задачи позволило

© A. E. Goloskokov, A. A. Yakovenko, 2019

сформировать множество возможных нечетких эталонных ситуаций, отображающих возможные состояния системы. Каждая эталонная ситуация характеризуется информационной гранулой, которая содержит информацию о формализованных лингвистических переменных. Вторая задача была решена с помощью метода нечеткой логики в среде MATLAB. Просчитан тестовый пример, который заключается в поиске ситуации, в которой находится IT-компания. На данном этапе текущая ситуация подлежит сравнению с каждой эталонной ситуацией, в результате чего определяется наиболее схожая ситуация к текущей. В результате анализа полученной ситуации осуществляется аргументирование состояния IT-компания. Решение второй задачи позволило установить оценку состояния IT-компания. Полученные теоретические и практические результаты позволяют повысить эффективность процесса управления сложной системой.

Ключевые слова: управление сложной системой, оценка состояния объекта, нечеткий кластерный анализ, нечеткий ситуационный подход, эталонные ситуации, информационная гранула.

Introduction. The problem of managing complex objects is one of the actual problems. It is characterized by a large amount of information, a set of contradictory criteria, a poor formalizability, and the influence of random environmental factors. This leads to necessity to use the mathematical apparatus of fuzzy situational control.

The main function of the system management is to develop control actions to actuating mechanism in accordance with a set of rules. A necessary condition for the correctness of the generated effects is a reliable assessment of the current state in which the control object is located.

This article discusses the aggregation of source data and the procedure for assessing the state of an object.

Description of the research object. The Authors have decided to consider the IT company as a research object. An IT company develops custom software for foreign companies. The company operates according to the B2B model (business to business), it means, that a company produces services and products not for the end consumer, but for other business companies. The set of services that are offered by developers is development, testing, maintenance and support of software and business applications, creation of dedicated centers for development, testing and quality control of software and IT consulting, taking into account the specifics of the business sector (finance, insurance, medicine, biotechnology, energy).

Formulation of the problem. The formulation of the problem has been considered from the point of view of situational control in a fuzzy environment.

The state of the control object can be assessed by the values of attributes - the distinctive features of the object. The power of a set of attributes is determined by the objectives of the control object and the features of the control system.

The set of attributes values that describes the state of the control object and the environment at some point in time is called a situation. It is important to notice, that in the progress of describing the attributes values, a large number of situations may be formed. In this case, it is necessary to aggregate the information.

The set of reference situations adequately describes the possible states of the object, provided that the management features are taken into account. However, it is impossible to take into account all the features of management. This leads to the need to use the concept of a fuzzy situation [11].

A formal definition of "fuzzy situation" have been given. Let Y be a set of attributes, whose values describe the state of the control object. Each sign Y_i is described by a linguistic variable $\langle Y_i, T_i, D_i \rangle$, where $T_i = \{T_{1i}, \dots, T_{mi}\}$ – term-set of linguistic variable Y_i , mi – is the number of values of the attribute, D_i – is the base set of the attribute Y_i . The number of possible situations in the enterprise is

very large, and the number of management decisions made is much smaller. If the set of complete situations is divided into subsets, each of which can be assigned a single typical solution, then the management task, roughly speaking, will be reduced only to the classification of external situations entering the system. Thus, the problem of identification can be represented in the form of two tasks. Namely, the aggregation of the initial information and assessment of the state of the IT-company.

The purpose of this work is to increase the efficiency of the process of assessing the state of a poorly formalized complex system. The article solves the following tasks: aggregation of source data; assessment of the state of a complex system [12].

Data aggregation. By aggregating information, the authors understand the concentration of individual information flows into an information granule of a single integrated aggregate, which makes it possible to get a general picture of the situation in the system. An informational granule is a linguistic variable. The formation of informational granules was carried out using the method of fuzzy cluster analysis, namely the fuzzy k -means method [1].

Data rationing. The input attributes x_1 and x_2 have different dimensions. In order to be able to compare these attributes, it is important to bring them to a dimensionless form. Thus, the intervals considered should be brought to a single scale. The reduction to a single scale is provided by the normalization of each variable over the range of variation of its values. The authors considered 2 methods of bringing the source data to a single scale, which normalize the bulk of the data at the same time guaranteeing that the value is located in the range $[0;1]$:

Linear rationing. This method of data rationing is one of the most common. The value of each element is determined by the formula (1) [7].

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

where x_i – element value;

x_{\min} – minimal range value;

x_{\max} – maximum range value.

Linear normalization is optimal when the variable values tightly and uniformly fills the interval defined by the empirical scale of the data. But this approach is not always applicable. So, if there are relatively rare outliers in the data, which far exceed the typical variation, then this will lead to the fact that the majority of the values of the normalized variable will concentrate near zero.

Sigmatic rationing. In connection with the shortcomings of the first method, it is safer to orientate, when normalizing, not typical extremes, but typical one's statistical characteristics of the data, such as mean and

variance. Sigmatic rationing allows to find a natural way out of this situation and at the same time all the values $x_i \in [0; 1]$ [7].

Sigmatic rationing is carried out according to the formula (2).

$$x_i^* = f\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (2)$$

where $\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$; $f(a) = \frac{1}{1 + \exp(-a)}$.

Data clustering. The state of the object or subject area can be characterized by the values of some attributes or parameters. If the set of states of an object has common properties, or the values of attributes of the description of states, it means that there is a class of object states. Under the procedure of the formation of classes, classification, understand the ordering of the states of the object according to their similarities. The fuzzy k -means method creates groups from a set of objects so that the group members are the most homogeneous. The authors decided to use the fuzzy k -means method to form term sets of linguistic variables. In the work was used a package Matlab [10].

Suppose that the attribute x_1 takes values on the interval [1; 15]. Having carried out the normalization of this attribute, appears an opportunity to represent the elements of the set in the range [0; 1]. The resulting elements are subject to clustering, as a result, all the elements are divided into 3 groups, each of which corresponds to a specific cluster. The established cluster centers using the Matlab package are listed in Table 1.

Table 1 – Cluster centers of attribute x_1

Cluster	Center
1	0.2528
2	0.5014
3	0.7582

The values of the membership function are given in the table. 2

Table 2 – Matrix of belonging of elements x_1 to each of the clusters

Element	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	0.9343	0.0034	0.0035
2	0.9734	0.0113	0.0203
3	0.9998	0.0209	0.0692
4	0.9102	0.2301	0.0423
5	0.7426	0.6340	0.0029
6	0.6144	0.7132	0.1142
7	0.4092	0.9614	0.2255
8	0.3321	0.9746	0.3374
9	0.2221	0.7746	0.4232
10	0.1134	0.5943	0.5692
11	0.0021	0.5134	0.6152
12	0.0423	0.0342	0.7477
13	0.0642	0.0023	0.9723
14	0.0203	0.0051	0.9909
15	0.0034	0.5234	0.9596

Each row of this matrix describes the degree of belonging of all elements to one of three clusters.

Similarly, terms for the attribute x_2 were formed. The definition range of this attribute is characterized by an interval [10; 20]. As a result of clustering, the following cluster centers were obtained (table 3):

Table 3 – Cluster centers of attribute x_1

Cluster	Center
1	0.2528
2	0.5014
3	0.7582

The values of the membership function are given in the table 4.

Table 4 – Matrix of belonging of elements x_1 to each of the clusters

Element	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
10	0.9343	0.0034	0.0035
11	0.9734	0.0113	0.0203
12	0.9998	0.0209	0.0692
13	0.9102	0.2301	0.0423
14	0.7426	0.6340	0.0029
15	0.6144	0.7132	0.1142
16	0.4092	0.9614	0.2255
17	0.3321	0.9746	0.3374
18	0.2221	0.7746	0.4232
19	0.1134	0.5943	0.5692
20	0.0021	0.5134	0.6152

In order to use the membership functions, they need to be approximated. In this situation, the authors used the Matlab package. The results of the approximation are shown in table 5 [8].

Formulation of the problem. On the basis of the obtained results, the set of reference situations have been formed, which is characterized by a set of attributes $X = \{x_1, x_2\}$.

The set of reference situations is a combination of all possible variants of certain terms of these signs. As a result, 9 reference situations were formed [3].

$S_1 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“few”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“few”} > / x_2 >$;

$S_2 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“few”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“enough”} > / x_2 >$;

$S_3 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“few”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“many”} > / x_2 >$;

$S_4 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“enough”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“few”} > / x_2 >$;

$S_5 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“enough”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“enough”} > / x_2 >$;

$S_6 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“enough”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“many”} > / x_2 >$;

$S_7 = \llcorner \text{“Number of projects in development”} / \text{“many”} > / x_1 >, \llcorner \text{“Amount of developers involved”}, / \text{“few”} > / x_2 >$;

Table 5 – Approximate membership functions

Attribute	Term	Membership function
x_1	Few	$\mu_1(x_1) = 0,5557 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,3137)^2}{0,08963} \right) \right\} + 0,5557 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,3137)^2}{0,08963} \right) \right\}$
	Enough	$\mu_2(x_1) = 82,1 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,5008)^2}{0,1025} \right) \right\} - 81,11 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,5008)^2}{0,102} \right) \right\}$
	Many	$\mu_3(x_1) = 0,5568 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,6877)^2}{0,08898} \right) \right\} + 0,901 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,8256)^2}{0,1327} \right) \right\}$
x_2	Few	$\mu_1(x_1) = 0,4595 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,288)^2}{0,08343} \right) \right\} + 0,8856 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,1608)^2}{0,1518} \right) \right\}$
	Enough	$\mu_2(x_1) = -759,2 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,5009)^2}{0,1022} \right) \right\} - 760,2 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,5009)^2}{0,1023} \right) \right\}$
	Many	$\mu_3(x_1) = -12,79 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,6927)^2}{0,07384} \right) \right\} + 13,32 \exp \left\{ - \left(\frac{(x_1 - 0,6927)^2}{0,07452} \right) \right\}$

$S_8 = \ll$ "Number of projects in development" / "many" $> / x_1 >$, \ll "Amount of developers involved", / "enough" $> / x_2 >$;

$S_9 = \ll$ "Number of projects in development" / "many" $> / x_1 >$, \ll "Amount of developers involved", / "many" $> / x_2 >$;

Each reference situation characterizes a certain state of an IT company. They can be formalized to argue the state of the company. For comparison, two situations S_1 and S_9 were considered [4].

So, the situation S_1 displays the reference state of an IT company, which means that the company performs few projects and at the same time few professionals are loaded. This condition is ineffective.

Situation S_9 displays the state of the company, which means that the company has a large number of orders and many experts are involved. This condition is effective.

The reference state of the system is characterized by a fuzzy information granule. The aggregation of the initial data significantly reduced the dimension of the research problem [2].

Assessment of the current state of the IT company.

A test example was considered, on the basis of which the company is currently developing 5 projects in which 25 developers are involved.

The initial attributes are heterogeneous, and their estimates for the parameters are not consistent. Considering the attribute x_1 , rationing of the definition range [1; 15] was carried out using linear and sigmoidal rationing according to the formulas (1) and (2), respectively. The results of the calculations are presented in table 6.

Table 6 – Results of rationing of attribute x_1

x	first method	second method
1	0	0.165
2	0.071	0.199
3	0.142	0.239
4	0.214	0.299
5	0.285	0.343
6	0.357	0.394
7	0.428	0.442
8	0.5	0.5

End of table 6 – Results of rationing of attribute x_1

x	First method	Second method
9	0.571	0.549
10	0.642	0.601
11	0.714	0.684
12	0.785	0.703
13	0.857	0.76
14	0.928	0.8
15	1	0.834

Next, it is necessary to determine the degree of fuzziness of each fuzzy set. For this have been made a clustering of data, obtained as a result of rationing was carried out (Table 6). To determine the degree of fuzziness, two sets were considered, that determine the belonging of elements to the term set "few". The obtained results were approximated by analytical membership functions and the values of these functions were determined on the interval [0;1] with a step $h = 0.1$. The results presented in Table 7.

Table 7 – Membership functions values of fuzzy sets

x	$L_1 = \mu_{A_1}$	$L_2 = \mu_{A_2}$
0.1	0.9061	0.172
0.2	0.983	0.672
0.3	0.953	0.98
0.4	0.555	0.912
0.5	0.123	0.257
0.6	0.009	0.008
0.7	0.0003	0.0001
0.8	0	0
0.9	0	0
1	0	0

This way two fuzzy sets were obtained $L_1 = \mu_{A_1}$ and $L_2 = \mu_{A_2}$. On the basis of fuzzy sets, clear sets $\overline{L_1} = \overline{\mu_{A_1}}$ and $\overline{L_2} = \overline{\mu_{A_2}}$ were constructed, which are the closest to the considered fuzzy sets. The construction of the clear set is carried out according to the formula (3).

$$L_{i,k,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } L_{k,j} > 0.5 \\ 0, & \text{if } L_{k,j} \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

As a result of the calculations, clear sets $\overline{L}_1 = \overline{\mu_{A_1}}$ and $\overline{L}_2 = \overline{\mu_{A_2}}$ were obtained. These sets are presented in table 8.

Table 8 – Membership functions values of clear sets

x	$\overline{L}_1 = \overline{\mu_{A_1}}$	$\overline{L}_2 = \overline{\mu_{A_2}}$
0.1	1	0
0.2	1	1
0.3	1	1
0.4	1	1
0.5	0	0
0.6	0	0
0.7	0	0
0.8	0	0
0.9	0	0
1	0	0

Now when clear sets are built, it is possible to calculate the indices of fuzziness of each set. To determine the indices of fuzziness, it was decided to use the Euclidean distance using the formula (4).

$$I^E = \frac{2}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n \sqrt{\mu_A(x_i) - \overline{\mu_A}(x_i)}. \quad (4)$$

To calculate the fuzziness of the sets, the office suite Microsoft Excel was used. As a result, the following fuzziness values were obtained:

$$I_1^E = 0.2855, \\ I_2^E = 0.277$$

Now, it is possible to make a conclusion that a fuzzy set obtained as a result of applying sigmatic data normalization is less fuzzy. So, using the sigmatic method, a less fuzzy set was obtained. That is why it is appropriate to use this method in the future. Further, the attribute x_2 was rationed, and results are presented in table 9.

Table 9 – Results of rationing of attribute x_2

x	x^*
10	0,157
11	0,207
12	0,382
13	0,407
15	0,5
16	0,616
17	0,692
18	0,761
19	0,827
20	0,862

Based on the conditions of the test example, the attributes $x_1 = 5, x_2 = 25$. Using the tables 7 and 10, the values of these attributes were determined in a

dimensionless form: $x_1^* = 0.33, x_2^* = 0.5$. Based on this, the current situation S_0 can be written as follows:

$$S_0 = \{ \ll 0.33/few >/x_1 >, \ll 0.5/enough >/x_2 > \}.$$

Now, there is a problem to determine which of the reference situations is closest to the current situation S_0 . For this, it was decided to use the Mamdani fuzzy inference algorithm.

The algorithm consists of six main stages:

The first stage is formation of the rule base. Input variables are x_1 and x_2 . Output variable – Situation, that is, as a result of the algorithm execution, we should get one of the possible situations [6].

To solve the problem using the Mamdani algorithm, the following rule base was formed:

Rule 1: IF x_1 is “few” AND x_2 is “few” THEN Situation = S_1

Rule 2: IF x_1 is “enough” AND x_2 is “enough” THEN Situation = S_5

Rule 3: IF x_1 is “many” AND x_2 is “many” THEN Situation = S_8

The second step is fuzzification of input variables. As a result of cluster analysis, membership functions were obtained for each term of the input variables. It means that the input variables are already reduced to fuzziness.

On the third step the degree of belonging of the incoming value to a certain term-set is determined for each rule and the minimum of them is selected using formula (5).

$$c_j = \min\{b_i\}. \quad (5)$$

For this, the membership matrices obtained as a result of clustering can be used, or by substituting the original values of attributes into the corresponding functions obtained as a result of approximation. Performing the calculations, the results were obtained:

$$c_1 = \min\{b_1\} = \min\{\mu_1(x_1); \mu_1(x_2)\} = \min\{0.6225; 0.0086\} = 0.0086;$$

$$c_2 = \min\{b_2\} = \min\{\mu_2(x_1); \mu_2(x_2)\} = \min\{0.3384; 1\} = 0.3384;$$

$$c_3 = \min\{b_3\} = \min\{\mu_3(x_1); \mu_3(x_2)\} = \min\{0.038; 0.0084\} = 0.0084.$$

At the next stage truncated sets were found. The number of truncated sets must match the number of rules. All truncated sets were determined by the formula (6).

$$\mu_i^* = \min\{c_i, \mu_i(y)\}. \quad (6)$$

The truncated set of the first rule takes the form:

$$\mu_1^*(0) = \min\{c_1, \mu_1(0)\} = \min\{0.0086; 0\} = 0;$$

$$\mu_1^*(1) = \min\{c_1, \mu_1(1)\} = \min\{0.0086; 1\} = 0.0086;$$

$$\mu_1^*(2) = \min\{c_1, \mu_1(2)\} = \min\{0.0086; 0\} = 0;$$

.....

$$\mu_1^*(10) = \min\{c_1, \mu_1(10)\} = \min\{0.0086; 0\} = 0.$$

The truncated set of the second rule takes the form:

$$\mu_2^*(0) = \min\{c_2, \mu_2(0)\} = \min\{0.3384; 0\} = 0;$$

.....

$$\mu_2^*(5) = \min\{c_2, \mu_2(5)\} = \min\{0.3384; 1\} = 0.3384;$$

.....

$$\mu_2^*(10) = \min\{c_2, \mu_2(10)\} = \min\{0.3384; 0\} = 0.$$

The truncated set of the third rule takes the form:

$$\mu_3^*(0) = \min\{c_3, \mu_3(0)\} = \min\{0.0084; 0\} = 0;$$

$$\mu_3^*(1) = \min\{c_3, \mu_3(1)\} = \min\{0.0084; 0\} = 0;$$

.....

$$\mu_3^*(10) = \min\{c_3, \mu_3(10)\} = \min\{0.0084; 0\} = 0.$$

In order to find the truncated sets was selected step $h = 1$. To find more accurate sets, the step should be reduced.

Next, a combined output set was constructed. It is the union of all truncated sets and is determined by formula (7) [7].

$$\mu_i^{**} = \max\{\mu_i^*\}. \quad (7)$$

Combined set takes the form:

$$\mu_i^{**}(0) = \max\{\mu_1^*(0), \mu_2^*(0), \mu_3^*(0)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0;$$

$$\mu_i^{**}(1) = \max\{\mu_1^*(1), \mu_2^*(1), \mu_3^*(1)\} = \max\{0.0086; 0; 0\} = 0.0086;$$

$$\mu_i^{**}(2) = \max\{\mu_1^*(2), \mu_2^*(2), \mu_3^*(2)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0$$

$$\mu_i^{**}(3) = \max\{\mu_1^*(3), \mu_2^*(3), \mu_3^*(3)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0$$

$$\mu_i^{**}(4) = \max\{\mu_1^*(4), \mu_2^*(4), \mu_3^*(4)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0$$

$$\mu_i^{**}(5) = \max\{\mu_1^*(5), \mu_2^*(5), \mu_3^*(5)\} = \max\{0; 0.3384; 0\} = 0.3384$$

$$\mu_i^{**}(6) = \max\{\mu_1^*(6), \mu_2^*(6), \mu_3^*(6)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0$$

.....

$$\mu_i^{**}(10) = \max\{\mu_1^*(10), \mu_2^*(10), \mu_3^*(10)\} = \max\{0; 0; 0\} = 0.$$

At the last step, a clear value of the output variable was determined, that is, the number of situation which describes the state of the company. To implement defuzzification, it was decided to use the center of maximum method. In the center of the maxima method is the arithmetic average of the elements of the universal set, having the maximum degrees of belonging, formula (8).

$$y = \frac{\sum_{x_j \in G} x_j}{|G|}. \quad (8)$$

where G – set of elements with a maximum degree of belonging;

$\sum_{x_j \in G} x_j$ – sum of elements of a set G ;

$|G|$ – power of set G .

In this case, the membership function has only one maximum, then this coordinate is a clear analog of the fuzzy set. This point has a degree of belonging $\mu^{**}(5) = 0.3384$ and corresponds to the value $y = 5$. Therefore, it can be concluded that the closest to the current situation S_0 is the reference situation S_5 .

The Similar calculations were carried out in the MATLAB environment and the obtained results were obtained. As a result of the application of the Mamdani algorithm in the MATLAB environment, the search for the closest reference situation to the original one was carried out.

According to the values of attributes indicated in the condition of the test example, the value $y = 5$ was obtained. It means, that the reference situation S_5 is most similar to the current situation S_0 . The manual calculations were performed correctly and coincided with the results in the MATLAB environment.

Conclusions. The authors considered the problem of assessing the state of the enterprise (for example, an IT company). The problem is presented in the form of two tasks: the aggregation of the initial information and the identification of the state of a complex system.

Formulated problem statements and selected methods for their solution.

To solve the problem of aggregating the source data, fuzzy cluster analysis was used. Namely, the fuzzy k -means method. Calculated test case. The obtained numerical result was approximated by analytical membership functions. The solution of the first problem allowed to form fuzzy reference situations. Each reference situation is characterized by an informational granule.

The second problem was solved using the fuzzy logic method. Calculated test case. Using the fuzzy logic method, the current situation was compared with the reference situations. As a result, it was determined which of the reference situations is closest to the current one. This allowed us to determine the assessment of the state of an IT company.

The theoretical and practical results can improve the efficiency of complex system management.

References

1. Борисов А. И., Алексеев А. В., Крумберг О.А. *Модели принятия решений на основе лингвистической переменной*. Рига: Наука, 1982. 256 с.
2. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Корвин С.Я. *Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой*. Москва: Физматлит, 1990. 312 с.
3. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С. *Формирование классов расплывчатых ситуаций специализированным устройством оцувствленного роботом*. Москва: Физматлит, 1990. 194 с.
4. Корячко В. П. *Интеллектуальные системы и нечеткая логика*. Москва: Физматлит, 2016. 352 с.

5. Кудинов Ю. И., Келина А.Ю. *Нечеткие модели и системы управления*. Москва: Изд-во «УРСС». 2017. 323 с.
6. Ротштейн А. П. *Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети*. Винница: Універсум-Вінниця, 1999. 295 с.
7. Белоусов Л. Р. *Построение нечетких лингвистических переменных с использованием методов кластерного анализа данных*. Москва: ООО «ЛитРес», 2015. 105 с.
8. Васильев А. А. *Самоучитель по MATLAB и практический подход*. Москва: Наука и Техника, 2012. 448 с.
9. Грачев А. В. *Финансовая устойчивость предприятия: Критерии и методы оценки в рыночной экономике*. Москва: Дело и сервис, 2010. 64 с.
10. Штовба С. Д. *Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику*. URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения: 13.04.2019).
11. Голоскоков А. Е., Драч Т. А., Шаповал С.Е. Нечеткая идентификация динамических объектов. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. научн. тр. Темат вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии*. Харьков: НТУ «ХПИ». 2017. № 55(1276). С 82–87.
12. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. *Нечеткие модели и сети*. 2-е изд. Москва: Горячая линия–Телеком, 2012. 284 с.
4. Koryachko V. P. *Intelektualnye sistemy i nechetkaya logika* [Intellectual systems and fuzzy]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2016. 352 p.
5. Kudinov Yu. I., Kelina A. Y. *Nechetkie modeli i sistemy upravleniya* [Fuzzy models and control systems]. Moscow, "URSS" Publ., 2017. p. 323.
6. Rotshteyn A. P. *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti* [Intellectual identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks]. Vinnitsa, Universum-Vinnytsya Publ., 1999. 295 p.
7. Orlov A. I. *Postroenie nechetkikh lingvisticheskix peremennykh s ispolzovaniem metodov klasterного analiza dannykh* [Construction of fuzzy linguistic variables using methods of cluster data analysis]. Moscow, OOO LitRes Publ., 2015. 105 p.
8. Vasiljev A. A. *Samouchitel po MATLAB i prakticheskij podkhod* [MATLAB Tutorial and Practical Approach]. Moscow, Nauka i Texnika Publ., 2012. 448 p.
9. Grachev A. V. *Finansovaya ustojchivost predpriyatiya: Kriterii i metody ocenki v rynochnoj ekonomike* [The financial stability of the enterprise: Criteria and methods of assessment in a market economy]. Moscow, Dis Publ., 2010. 64 p.
10. Shtovba S. D. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (accessed 13.04.2019).
11. Goloskokov A. E., Drach T. A., Shapoval S. E. *Nechetkaya identifikatsiya dinamicheskikh objektov* [Fuzzy identification of dynamic objects]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat vyp.: Sistemnyy analiz, upravlenie i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute: a collection of scientific papers. Thematic issue: System analysis, management and information technology]. Kharkov, NTU "Khpi" Publ., 2017, no. 55(1276), pp. 82–87.
12. Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy models and networks]. 2-е изд. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2012. 284 p.

References (transliterated)

1. Borisov A. I., Alekseev A. V., Krumberg O. A. *Modeli primyatiya reshenij na osnove lingvisticheskoy peremennoj* [Decision models based on a linguistic variable]. Riga, Nauka Publ., 1982. 256 p.
2. Melixov A. N., Bershtejn L. S., Korovin S. Y. *Situacionnye sovetuyushhie sistemy s nechetkoj logikoj* [Situational advisory systems with fuzzy logic]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1990. 312 p.
3. Melixov A. N., Bershtejn L. S. *Ekspertnaya diagnostika i audit finansovo-khozyaystvennogo polozheniya predpriyatiya* [The formation of classes of vague situations by a specialized device sensed by a robot.]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1990. 194 p.

Received 01.06.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Голоскоков Олександр Євгенович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри Програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1824-6255>; e-mail: prof.goloskokov@gmail.com

Яковенко Артем Анатолійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9246-5889>; e-mail: iakovenko25@gmail.com

Голоскоков Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры Программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1824-6255>; e-mail: prof.goloskokov@gmail.com

Яковенко Артем Анатольевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9246-5889>; e-mail: iakovenko25@gmail.com

Goloskokov Alexander – candidate of technical sciences, docent, National technical university «Kharkiv polytechnic institute», Professor of the Department of Software Engineering and Information Technology Management; . Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1824-6255>; e-mail: prof.goloskokov@gmail.com

Yakovenko Artem Anatolievich – National technical university «Kharkiv polytechnic institute», student; c. Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9246-5889>; e-mail: iakovenko25@gmail.com

УПРАВЛІННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 519.2

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.02

*О. С. КУЦЕНКО, М. А. ОДАРЧЕНКО***РОЗВ'ЯЗАННЯ МАТРИЧНОГО РІВНЯННЯ СІЛЬВЕСТРА СПЕКТРАЛЬНИМ МЕТОДОМ**

Матричні лінійні рівняння Сільвестра та Ляпунова широко використовуються в теорії управління і теорії стійкості руху, а також при розв'язанні рівняння Ріккати у задачі аналітичного конструювання оптимальних регуляторів. Особливої актуальності проблема розв'язання рівняння Сільвестра придбала у зв'язку з вирішенням завдань синтезу спостерігачів Люенбергера зниженої розмірності та задач модального синтезу систем управління лінійними автоматичними системами. У роботі проведено аналіз існуючих методів розв'язання матричного рівняння Сільвестра. Обґрунтовано обмеженість основних методів чисельного розв'язання матричних рівнянь, а також відсутність аналітичних методів розв'язання. В роботі запропоновано досить простий метод розв'язання лінійного матричного рівняння Сільвестра, що є узагальненням широко відомого в теорії стійкості матричного рівняння Ляпунова. В основу методу покладено спектральне розкладання матричного лінійного оператора за його власними векторами, що представляють собою матриці, утворені добутками власних векторів матриць лінійного і спряженого до нього операторів. У результаті отримано конструктивний розв'язок матричного рівняння Сільвестра. Розглянуто випадки як дійсних так і комплексно спряжених власних чисел матриць рівнянь Сільвестра. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для розв'язання матричного рівняння Сільвестра великої розмірності. Для реалізації методу використовуються стандартні процедури розв'язання повної задачі на власні значення для дійсних матриць. Чисельні експерименти підтвердили високу ефективність запропонованого методу як з точки зору витрат часу так і точності отриманих результатів при розв'язанні матричних рівнянь Сільвестра і Ляпунова великої розмірності.

Ключові слова: матричні рівняння, спектральне розкладання матриць, власні числа, власні вектори, лінійний оператор, квазіортогональність базисів, спряжений оператор.

*А. С. КУЦЕНКО, Н. А. ОДАРЧЕНКО***РЕШЕНИЕ МАТРИЧНОГО УРАВНЕНИЯ СИЛЬВЕСТРА СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

Матричные линейные уравнения Сильвестра и Ляпунова широко используются в теории управления и теории устойчивости движения, а также при решении уравнения Риккати в задаче аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Особую актуальность проблема решения уравнения Сильвестра приобрела в связи с решением задач синтеза наблюдателей Люенбергера пониженной размерности и задач модального синтеза систем управления линейными автоматическими системами. В работе проведен анализ существующих методов решения матричного уравнения Сильвестра. Обоснована ограниченность основных методов численного решения матричных уравнений, а также отсутствие аналитических методов решения. В работе предложен достаточно простой метод решения линейного матричного уравнения Сильвестра, являющегося обобщением широко известного в теории устойчивости матричного уравнения Ляпунова. В основу метода положено спектральное разложение матричного линейного оператора по его собственным векторам, представляющих собой матрицы, образованные произведениями собственных векторов матриц линейного и сопряженного к нему операторов. В результате получено конструктивное решение матричного уравнения Сильвестра. Рассмотрены случаи как вещественных так и комплексно сопряженных корней характеристических уравнений матриц уравнений Сильвестра. Разработан алгоритм и программное обеспечение для решения матричного уравнения Сильвестра большой размерности. Для реализации метода используются стандартные процедуры решения полной задачи на собственные значения для вещественных матриц. Численные эксперименты подтвердили высокую эффективность предложенного метода как с точки зрения временных затрат так и точности полученных результатов при решении матричных уравнений Сильвестра и Ляпунова большой размерности.

Ключевые слова: матричные уравнения, спектральное разложение матриц, собственные числа, собственные векторы, линейный оператор, квазиортогональность базисов, сопряженный оператор.

*О. S. KUTSENKO, M. A. ODARCHENKO***SOLVING THE SYLVESTER MATRIX EQUATION BY THE SPECTRAL METHOD**

The matrix linear equations of Sylvester and Lyapunov are widely used in the control theory and theory of movements sustainability, as well as in solving the Riccati equation in the problem of the analytical construction of optimal controllers. The problem of solving the Sylvester equation has gained particular relevance in connection with the solution of problems of synthesis of low-dimensional Luenberger observers and problems of modal synthesis of control systems for linear automatic systems. The following paper analyzes the existing methods for solving the Sylvester matrix equation. It was justified the limitedness of the basic methods for the numerical solution of matrix equations, as well as the lack of analytical methods for solving. In this paper we propose quite simple method for solving the linear matrix Sylvester equation, which is a generalization of the widely known in the theory of stability of the Lyapunov matrix equation. The method is based on the spectral decomposition of the matrix linear operator in its eigenvectors, which are the matrices formed by the multiplication of the matrices' eigenvectors of the linear and conjugate operators. As a result, an analytical solution of the Sylvester matrix equation is obtained. We consider the cases of both real and complex conjugate roots of the characteristic equations of the matrices of

© О. С. Куценко, М. А. Одарченко, 2019

Sylvester equations. In order to solve the Sylvester matrix equation of a large dimension the algorithm and software have been developed. For the method implementation the standard procedures of solving the complete eigenvalue problem for real matrices are used. After conducting a great number of experiments it was confirmed the high efficiency of the proposed method both in terms of time costs and the accuracy of the results obtained when solving the matrix equations of Sylvester and Lyapunov of large dimension.

Keywords: matrix equations, spectral decomposition of matrices, eigenvalues, eigenvectors, linear operator, quasibiorthogonality of bases, adjoint operator.

Вступ. У задачах аналізу та синтезу систем автоматичного управління методами простору станів широке застосування знайшли матричні лінійні рівняння. Так рівняння Ляпунова дозволяє обчислити величину інтегрального квадратичного критерію якості перехідних процесів систем автоматичного управління [1]. Рівняння Ляпунова є окремим випадком більш широкого класу матричних рівнянь Сільвестра (МРС) [2]. Широко відоме застосування рівняння Сільвестра при синтезі спостерегаючих приладів зниженої розмірності [3]. Значну цікавість викликає застосування МРС у задачі модального синтезу лінійних динамічних систем, що мають заданий набір коренів характеристичного поліному замкненої системи автоматичного управління [4].

Методам рішення матричних лінійних рівнянь Сільвестра присвячено багато публікацій [5–9]. Фундаментальні основи обґрунтування існування рішення можна знайти в [10].

Найпростішим шляхом розв'язання МРС є перетворення його до системи лінійних рівнянь на основі кронекерівських множень матриць [11]. При цьому розмірність системи дорівнює множенню розмірностей матриць, що входять у МРС. Ряд методів чисельного розв'язання МРС оснований на інтегруванні матричної функції, побудованої на основі матричних експонент [1].

Майже «аналітичний» розв'язок МРС наведено в [12]. Запропонований алгоритм достатньо складний, але наділений тією перевагою, що розрахунки проводяться у просторі матриць вихідної розмірності.

Окрім перерахованих вище підходів до розв'язання МРС існує ряд асимптотичних методів розв'язку, збіжність яких залежить від множини різних факторів, що ускладнює їх реальне застосування на практиці.

Із наведеного огляду досліджень у даному напрямку можна зробити висновок про відсутність аналітичних методів розв'язання МРС, що гарантують високу точність результатів.

Метою даної статті є розробка достатньо простого аналітичного методу розв'язання МРС, заснованого на спектральному розкладу матриць, що задають лінійний матричний оператор.

Спектральний метод розв'язку лінійних операторних рівнянь. Розглянемо загальний підхід до розв'язку лінійних операторних рівнянь виду

$$A(x) = y, \quad (1)$$

де $x \in R^n$, $y \in R^n$ – вектори n -вимірного лінійного простору, $A(x)$ – лінійний оператор, що діє в R^n .

Якщо у заданий вектор, то основна задача полягає у знаходженні вектору (або множини векторів) x , що задовольняють операторному рівнянню (1). У найпростішому випадку, коли $A(x) = Ax$ – матричний оператор, задача зводиться до класичної задачі розв'язку

лінійної системи рівнянь. У більш важкому випадку, коли оператор $A(x)$ представляє собою лінійний матричний оператор (2)

$$\hat{A}(x) = AX + XB, \quad (2)$$

що діє у просторі прямокутних матриць, задача розв'язання матричного рівняння виду

$$\hat{A}(x) = Q \quad (3)$$

значно ускладнюється. Для дослідження загальної структури розв'язку (1) приймемо твердження, що оператор $A(x)$ має просту структуру, тобто має n лінійно незалежних векторів z_1, \dots, z_n , що утворюють базис в R^n :

$$A(z_k) = \lambda_k z_k, \quad (4)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – власні числа оператора A .

Нехай $A^*(x)$ спряжений до $A(x)$ оператор. Тоді його спектр співпадає зі спектром оператора A , а власні вектори z_1^*, \dots, z_n^* також утворюють базис в R^n . Базиси $Z = [z_1, \dots, z_n]$ та $Z^* = [z_1^*, \dots, z_n^*]$ квазібіортогональні, тобто задовольняють після відповідного нормування умові

$$(z_i, z_k^*) = \delta_{ik}, \quad (5)$$

де δ_{ik} – символ Кронекера.

Будемо далі вважати, що в базисні системи Z та Z^* нам відомі, і будемо шукати вектор x в (1) у вигляді лінійної комбінації

$$x = \sum_{i=1}^n \xi_i z_i \quad (6)$$

Підставляючи (6) в операторне рівняння (1), отримаємо

$$A \left(\sum_{i=1}^n \xi_i z_i \right) = \sum_{i=1}^n \xi_i A(z_i) = \sum_{i=1}^n \xi_i \lambda_i z_i = y. \quad (7)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів ξ_i розкладу вектора x по базису Z помножимо скалярно співвідношення (7) послідовно на спряжені вектори z_k^* , ($k = \overline{1, n}$). У результаті, враховуючи (5), отримаємо

$$\xi_k \lambda_k = (z_k^*, y), k = \overline{1, n} \quad (8)$$

з чого, як наслідок, отримаємо кінцевий вираз для шуканого вектору x у відповідності з (6):

$$x = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\lambda_k} (z_k^*, y) z_k. \quad (9)$$

Отримане співвідношення для розв'язку лінійної системи рівнянь є достатньо загальним, але для його реалізації необхідне розв'язання повної проблеми власних значень для оператора A , а також знаходження

власних векторів спряжного оператора A^* на основі властивості біортогональності (5).

Проаналізуємо детальніше вираз (9). Він складається з окремих доданків, кожному з яких відповідає власне число λ . Якщо λ – дійсне число, то дійсна пара власних векторів z та z^* , а, як наслідок, дійсний і відповідний доданок.

Інакша справа у тому випадку, коли власне число λ комплексне тобто $\lambda = a + i\beta$. У цьому випадку відповідні власні вектори z та z^* також будуть комплексними $z = a + ib, z^* = c + id$. З іншого боку у спектрі оператора A , що діє у дійсному просторі, присутнє спряжене до λ власне значення $\bar{\lambda} = a - i\beta$, якому відповідають спряжені z та z^* власні вектори $\bar{z} = a - ib, \bar{z}^* = c - id$. Після підстановки $\lambda, \bar{\lambda}, z, \bar{z}, z^*, \bar{z}^*$ у вираз (9) отримаємо

$$x + \bar{x} = \frac{1}{a^2 + \beta^2} [(ac + \beta d, y)a + (\beta c - ad)b] \quad (10)$$

тобто кожній комплексно спряжній парі власних значень відповідає один дійсний доданок виду (10). Таким чином, у випадку, якщо спектр оператора A має структуру виду $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, a_1 \pm ib_1, a_2 \pm ib_2, \dots, a_l \pm ib_l$, то йому відповідає наступний розв'язок рівняння (1):

$$x = \sum_{k=1}^m \frac{1}{\lambda_k} (z_k^*, y) z_k + \sum_{k=1}^l \frac{1}{a_k^2 + \beta_k^2} [(f_k, y) a_k + (h_k, y) b_k], \quad (11)$$

де $f_k = \alpha_k c_k + \beta_k d_k, h_k = \beta_k c_k - \alpha_k d_k$, а $\alpha_k, \beta_k, c_k, d_k$ – дійсні та уявні компоненти власних векторів.

Розв'язання рівняння Сільвестра спектральним методом. Скористаємося методом спряжних операторів для отримання загального виду розв'язку матричного рівняння Сільвестра $AX + XB = Q$. У цьому випадку лінійний оператор $P_{AB}(x)$, що діє у просторі прямокутних матриць $m \times n$, має вид

$$P_{AB}(X) = AX + XB. \quad (12)$$

де A і B – квадратні матриці розміру $m \times m$ та $n \times n$ відповідно, а шукана матриця X має розмір $m \times n$, як і матриця Q .

Нехай $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ – власні числа матриці A , а $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ – власні числа матриці B , серед яких можуть бути комплексно спряжені власні числа.

Припустимо, що кожному власному числу λ_i матриці A відповідає правий власний вектор u_i , а кожному власному числу μ_j матриці B – лівий власний вектор v_j^T . Тобто

$$\begin{aligned} Au_i &= \lambda_i u_i, \\ v_j^T B &= \mu_j v_j^T. \end{aligned} \quad (13)$$

Тоді виконується наступне співвідношення

$$Au_i v_j^T + u_i v_j^T B = \lambda_i u_i v_j^T + u_i v_j^T \mu_j \quad (14)$$

із якого слідує, що оператор P_{AB} має власний вектор $R_{ij} = u_i v_j^T$, який відповідає власному числу $\nu_{ij} = \lambda_i + \mu_j$. Неважко показати, що матричний лінійний оператор, спряжений до P_{AB} , має вигляд

$$\hat{P}_{AB}(X) = A^T X + X B^T. \quad (15)$$

По аналогії з (12) та (13) власні вектори оператора \hat{P}_{AB} , які відповідають власним числам ν_{ks} , мають вигляд $S_{ks} = \bar{u}_k \bar{v}_s^T$, де \bar{u}_k і \bar{v}_s^T праві та ліві власні вектори матриць A^T і B^T відповідно.

Неважно показати, що $R_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ та $S_{ks}, k = \overline{1, m}, s = \overline{1, n}$ квазібіортогональні та відповідають умовам

$$(R_{ij}, S_{ks}) = \delta_{ij, ks} = \begin{cases} 1, & i = k \vee j = s, \\ 0, & i \neq k \wedge j \neq s. \end{cases} \quad (16)$$

Останнє є наслідком квазібіортогональності векторних систем $u_i (i = \overline{1, m})$ та $v_j (j = \overline{1, n})$, а також спряжних векторних систем $\bar{u}_k (k = \overline{1, m})$ та $\bar{v}_s (s = \overline{1, n})$.

Згідно з формулою (9) шукана матриця X розв'язку MPC має вигляд

$$X = \sum_{i,j} \frac{1}{\lambda_i + \mu_j} (Q, S_{ij}) R_{ij}. \quad (17)$$

Якщо власні числа λ_i та μ_j дійсні, то і власні вектори S_{ij} та R_{ij} , які їм відповідають, також дійсні. Таким чином, складові X_{ij} розв'язку (17) для дійсних λ_i та μ_j мають вигляд

$$X_{ij} = \frac{1}{\lambda_i + \mu_j} R_{ij} \text{tr}(Q^T S_{ij}). \quad (18)$$

Якщо хоча би одне із λ_i чи μ_j є комплексним, то і відповідні власні вектори будуть комплексними:

$$\begin{aligned} R_{ij} &= A_{ij} + iB_{ij}, \\ S_{ij} &= C_{ij} + iD_{ij}, \end{aligned} \quad (19)$$

де A_{ij} і C_{ij} – дійсні, а B_{ij} і D_{ij} – уявні частини.

Оскільки в спектрі оператора P_{AB} присутні комплексно спряжені власні числа $\alpha \pm i\beta$, то і відповідні власні вектори спряжного оператора \hat{P}_{AB} також комплексно спряжені

$$\begin{aligned} \bar{R}_{ij} &= A_{ij} - iB_{ij}, \\ \bar{S}_{ij} &= C_{ij} - iD_{ij}. \end{aligned} \quad (20)$$

Після підстановки (19) та (20) в (18) отримаємо суму двох компонент розв'язку MPC, яке відповідає комплексно спряжним власним числам

$$X_{ij} + \bar{X}_{ij} = \frac{2}{\alpha_{ij}^2 + \beta_{ij}^2} (\alpha_{ij} M_{ij} + \beta_{ij} N_{ij}), \quad (21)$$

де $M_{ij} = A_{ij} F_{ij} - B_{ij} G_{ij}, N_{ij} = B_{ij} F_{ij} + A_{ij} G_{ij}, F_{ij} = \text{tr}(Q^T C_{ij}), G_{ij} = \text{tr}(Q^T D_{ij})$.

Остаточо аналітичний розв'язок MPC має вигляд

$$\begin{aligned} X &= \sum_{i,j} \frac{1}{\lambda_i + \mu_j} R_{ij} \text{tr}(Q^T S_{ij}) + \\ &+ \sum_{i,j} \frac{2}{\alpha_{ij}^2 + \beta_{ij}^2} (\alpha_{ij} M_{ij} + \beta_{ij} N_{ij}), \end{aligned} \quad (22)$$

де перший доданок відповідає дійсним λ_i та μ_j , а другий – комплексно спряжним $\alpha_{ij} \pm i\beta_{ij}$ власним числам.

Алгоритм та програмне забезпечення. Алгоритм розв'язання MPC, який засновано на спектральному методі, має такі основні кроки:

1. Введення вихідних даних, які включають матриці A, B, Q та їх розміри. Якщо B не введена, то замість рівняння Сільвестра вирішується рівняння Ляпунова.

2. Вирішення повної проблеми власних значень для матриць A і B .

3. Знаходження власних векторів матриць A^T і B^T на основі властивості квазібіортогональності власних векторів матриць A і A^T , B і B^T .

4. Побудова власних векторів (матриць) S_{ij} та R_{ks} , операторів P_{AB} та \hat{P}_{AB} відповідно.

5. Отримання остаточного рішення MPC відповідно з формулою (22).

Список літератури

1. Андреев Ю. Н. *Управление конечномерными линейными объектами*. Москва: Наука, 1976. 424 с.
2. Демиденко Г. В. *Матричные уравнения*. Новосибирск: Изд. Новосибирского университета, 2009. 203 с.
3. Кузовков Н.Т. *Модальное управление и наблюдающие устройства*. Москва: Машиностроение, 1976. 184 с.
4. Белонин Н.А. *Новый курс теории управления движением*. СПб: Изд. С.-Петербурга. Университета, 2000. 160 с.
5. Икрамов Х. Д. Численное решение матричных уравнений. Москва: Наука, 1984. 192 с.
6. Чуйко С. М. О решении линейных матричных уравнений. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Сер. «Математика, прикладна математика і механіка»*. 2015. Т. 82. С. 27–33.
7. Ветоскин А. М., Шум А. А. Решение матричных уравнений Сильвестра в случае коммутирующих коэффициентов. *Лесной вестник*. 2018. Т. 22, № 2. С. 140–143.
8. Симонян С. О., Айвазян А. А. К решению однопараметрических матричных уравнений типа $AX+XB=C$. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. 2016. № 4. С. 44–53.
9. Зыбин Е. Ю. [и др.] Общие аналитические формы решения уравнений Сильвестра и Ляпунова для непрерывных и дискретных динамических систем. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2017. №1. С 5–22.
10. Гантмахер Ф. Р. *Теория матриц*. Москва: Физматлит, 1954. 575 с.
11. Беллман Р. *Введение в теорию матриц*. Москва: Наука, 1969. 376 с.
12. Шестопап В. Е. Решение матричного уравнения $AX+XB=C$. – *Мат. Заметки*. 1976. Т. 19, №3. С. 449–451.

References (transliterated)

1. Andreev Yu. N. *Upravlenie konechnomernymi lineynimi ob'ektami* [Management of finite-dimensional linear objects]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 424 p.
2. Demidenko G. V. *Matrichnye uravneniya* [Matrix equations]. Novosibirsk, Novosibirsk University Publ., 2009. 203 p.
3. Kuzovkov N. T. *Modal'noe upravlenie i nablyudayushchie ustroystva* [Modal control and monitoring devices]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 184 p.
4. Belonin N. A. *Novyy kurs teorii upravleniya dvizheniem* [New course in motion control theory]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2000. 160 p.
5. Ikramov Kh. D. *Chislennoe reshenie matrichnykh uravnenij* [Numerical solution of matrix equations]. Moscow, Nauka Publ., 1954. 575 p.
6. Chujko S. M. O reshenii lineynykh matrichnykh uravnenij [On the solution of linear matrix equations]. *Visnik Kharkivskogo natsionalnogo universitetu imeni V.N. Karazina. Ser. «Matematika, prikladna matematika i mekhanika»* [Bulletin of the Kharkiv National Karazin University. Avg. "Mathematics, Applied Mathematics and Mechanics"]. 2015. vol. 82, pp. 27–33.
7. Vetoshkin A. M., Shum A. A. Reshenie matrichnykh uravnenij Silvestra v sluchae kommutiruyushhikh koeffitsientov [Solution of Sylvester matrix equations in the case of commuting coefficients]. *Lesnoj vestnik* [Forest Herald]. 2018, vol. 22, no. 2, pp. 140–143.
8. Simonyan S. O., Ajvazyan A. A. K resheniyu odnoparametricheskikh matrichnykh uravnenij tipa $AX+XB=C$ [To the solution of one-parameter matrix equations of the type $AX+XB=C$]. «Radioelektronika, informatika, upravlinnya» [Radio Electronics, Informatics, Management]. 2016, no. 4, pp. 44–53.
9. Zybin E. Yu. [at al.] Obshhie analiticheskie formy resheniya uravnenij Silvestra i Lyapunova dlya nepreryvnykh i diskretnykh dinamicheskikh sistem [General analytical forms for solving the Sylvester and Lyapunov equations for continuous and discrete dynamical systems]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the RAS. Theory and control systems]. 2017, no. 1, pp. 5–22.
10. Gantmakher F. R. *Teoriya matricz* [Matrix theory]. Moscow: Fizmatlit, 1954. 575 p.
11. Bellman R. *Vvedenie v teoriyu matric* [Introduction to matrix theory]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 376 p.
12. Shestopal V. E. Reshenie matrichnogo uravneniya $AX+XB=C$ [Solution of the matrix equation $AX+XB=C$]. – *Mat. Zametki* [Math notes]. 1976, vol. 19, no. 3, pp. 449–451.

Надійшло (received) 05.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Куценко Олександр Сергійович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри Системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-3694>; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua

Одарченко Микита Андрійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри Системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3854-3524>; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com

Куценко Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры Системного анализа и информационно-аналитических технологий; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-3694>; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua

Одарченко Никита Андреевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры Системного анализа и информационно-аналитических технологий; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3854-3524>; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com

Kutsenko Oleksandr Sergiyovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Head of the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies; Kharkiv city, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6059-3694>; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua

Odarchenko Mykyta Andriyovich – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», graduate student of the Department of System Analysis and Information-Analytical Technologies; Kharkiv city, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3854-3524>; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com

УПРАВЛІННЯ В ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ****MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS**

УДК 658.7.656

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.03

*Л. А. ГАМБАРОВ, А. А. ПАШНЕВ, П. А. СМОЛИН, Н. Е. ХАЦЬКО***РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ**

Разработаны методические основы повышения эффективности математического инструментария решения задач производственно-транспортной логистики. Показано, что результаты, полученные на основе методов математического программирования можно использовать, как составную часть имитируемой реальной системы. С этой целью разработана методология направленного имитационного моделирования. Практическая реализация последней состоит в использовании направления спуска аналитической функции в качестве направления спуска алгоритмической функции. Для численной оценки последствий от несовпадения соответствующих направлений спуска и компенсации возникающих при этом ошибок при определении оптимального значения алгоритмической функции предложен механизм многошаговой процедуры. Вычислительная эффективность методологии направленного имитационного моделирования существенно зависит от ее математического обеспечения. Определено, что структура каждой отдельной модели должна предусматривать возможность ее подключения к комплексу моделей и располагать для этого необходимыми свободными параметрами. Разнохарактерность моделей часто служит основным препятствием при решении поставленной задачи. Эту трудность можно преодолеть, если работать с некоторыми допустимыми унифицированными вариантами моделей. Тогда модели в процессе их практической реализации позволяют сохранять единообразие в формах представления исходных данных, в используемых алгоритмах и программах формирования расчетной информации. Указанным требованиям удовлетворяют математические модели транспортных задач с промежуточными узлами. Такие модели допускают применение схемы параметрической декомпозиции и приводят к проблеме негладкой оптимизации. Было установлено, что методология направленного имитационного моделирования конструктивно развивает идею системной оптимизации путем перехода от проблемы варьирования структуры ограничений к радикальным изменениям моделей.

Ключевые слова: производственно-транспортная логистика, направленное имитационное моделирование, алгоритмическая функция, системная оптимизация.

*Л. А. ГАМБАРОВ, А. А. ПАШНЕВ, П. О. СМОЛИН, Н. Е. ХАЦЬКО***РОЗРОБКА МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВИРОБНИЧО-ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ**

Розроблені методичні основи підвищення ефективності математичного інструментарія вирішення задач виробничо-транспортної логістики. Показано, що результати отримані на основі методів математичного програмування можна використовувати як складову частину імітаційної моделі реальної системи. З цією метою розроблена методологія спрямованого імітаційного моделювання. Практична реалізація її складається у використанні напрямку спуску аналітичної функції в якості визначення напрямку спуску алгоритмічної функції. Для чисельної оцінки наслідків від розбіжностей відповідних напрямків спуску і компенсації помилок, що виникають при визначенні оптимального значення алгоритмічної функції, запропоновано механізм багатокрокової процедури. Обчислювальна ефективність методології спрямованого імітаційного моделювання істотно залежить від її математичного забезпечення. Визначено, що структура кожної окремої моделі повинна передбачати можливість її підключення до комплексу моделей та мати для цього необхідні вільні параметри. Різноманітність моделей часто є основною перешкодою при вирішенні поставленого завдання. Ці труднощі можна подолати, якщо працювати з деякими допустимими уніфікованими варіантами моделей. Тоді моделі в процесі їх практичної реалізації дозволяють зберігати однаковість в формах представлення вихідних даних, у використовуваних алгоритмах і програмах формування розрахункової інформації. Зазначеним вимогам задовольняють математичні моделі транспортних задач з проміжними вузлами. Такі моделі допускають застосування схеми параметричної декомпозиції і призводять до проблеми негладкої оптимізації. Було встановлено, що методологія спрямованого імітаційного моделювання конструктивно розвиває ідею системної оптимізації шляхом переходу від проблеми варіювання структури обмежень до радикальних структурних змін моделей.

Ключові слова: виробничо-транспортна логістика, спрямоване імітаційне моделювання, алгоритмічна функція, системна оптимізація.

*L. A. GAMBAROV, A. A. PASHNIEV, P. O. SMOLIN, N. E. KHATSKO***METHODICAL BASIC OF EFFICIENCY INCREASING OF MATHEMATICAL TOOL IN PROBLEMS SOLUTION FOR INDUSTRIAL TRANSPORTATION LOGISTIC**

The methodological foundations of the efficiency increasing mathematical tools for solving the production and transport logistics problems are developed. The shown result, which obtained on the base of mathematical programming methods, can be used as an integral part of a simulated real system. For this purpose, a methodology for directional simulation is developed. The practical implementation of this methodology consists on using the

© Л. А. Гамбаров, А. А. Пашнев, П. А. Смолин, Н. Е. Хацько, 2019

descent direction of the analytic functions as the descent direction of the algorithmic function. For a numerical assessment of the consequences of the mismatch of the corresponding descent directions and the compensation of errors that arise in this process while determination the optimal value of the algorithmic function, a multistep procedure mechanism is proposed. The computational efficiency of the methodology of directional simulation depends on its mathematical software. It is determined that the structure of each individual model should provide the possibility of its connection to the complex of models and have the necessary free parameters for this. The diverse nature of the models often serves as the main difficulty in the problem solution. Such a barrier can be overcome if the work is based on some valid unified model variants. As a result, the models in the process of their practical implementation allow maintaining uniformity in the forms of representation of the initial data, in the algorithms and programs used to generate the calculated information. The specified requirements are satisfied by mathematical models of transport problems with intermediate nodes. Such models allow the use of parametric decomposition schemes and lead to the problem of nonsmooth optimization. The made statement describes the methodology of guided simulation modeling, which constructively develops the idea of system optimization by moving from the problem of varying the structure of constraints to radical structural changes in the models.

Keywords: industrial and transport logistics, directed simulation, algorithmic function, system optimization.

Введение. Весь спектр задач производственно-транспортной логистики уже в своей постановке имеет существенные недостатки. К их числу необходимо отнести следующие:

1. Укрупненность параметров и ограничений.
2. Неполный учет специфики исследуемых производственно-транспортных систем.
3. Преобладание экзогенных характеристик состояния производственно-транспортных систем над эндогенными, что ограничивает реализацию их потенциальных возможностей.

Преодолеть указанные недостатки можно, если отказаться от традиционного подхода и копировать не внешнюю сторону моделируемого объекта, а его внутреннюю структуру в достаточной степени детализации. Последняя должна позволять описывать элементарные акты хозяйственной и управленческой деятельности, а также результаты осуществления этих элементарных актов. При этом возникает проблема поиска экстремума алгоритмической функции на множестве алгоритмических ограничений в условиях высокой размерности пространства переменных и ограниченного времени решения задач.

Перебор вариантов решения (полнофакторный анализ), либо случайный поиск экстремума связаны со значительными вычислительными трудностями при исследовании функций с указанными свойствами. Наиболее перспективный подход к решению таких задач приводит к целесообразности приближенного (аналитического) описания объекта управления и использования направления спуска функции цели этой приближенной модели в качестве оценки направления спуска исходной алгоритмической функции. По сути здесь идет разговор о направленном имитационном моделировании. Реализация этого подхода к решению задач производственно-транспортной логистики предполагает построение комплексной математической модели и разработку соответствующих моделей, методов и алгоритмов, позволяющих осуществить минимизацию алгоритмической функции на множестве аналитических ограничений.

Такой подход существенно повышает эффективность функционирования систем производственно-транспортной логистики, а разработка соответствующего методического обеспечения носит актуальный характер.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Повышение эффективности решения широкого класса задач производственно-транспортной логистики приводит к необходимости моделирования

исследуемой системы. В работе [1] анализируются новые методы моделирования, которые используются для оценки интеллектуальных логистических решений. Сделана попытка расширить знания о моделировании в области грузовых перевозок путем использования имитационных моделей, в частности, на примере моделирования транспортных систем. В тоже время, исследователи еще ранее увидели целесообразность построения алгоритма оптимизации для имитационной модели [2], обеспечивая тем самым решения, оптимизированные в стохастической и динамической средах.

Поиск оптимального решения целого спектра транспортных проблем представлен в работе [3]. Этот подход применим для тех, кто принимает решение в ситуации, которая включает в себя вопросы логистики и цепочки поставок. Эта работа перекликается с методами моделирования транспортных операций с учетом различных критериев, основанных на моделировании дискретных событий [4]. Самостоятельно уделяется внимание проблеме складирования путем разработки нелинейной модели целочисленного программирования [5]. Однако каждая из приведенных работ обладает той особенностью, что моделирует только внешнюю сторону объекта исследования и не затрагивает его внутренней структуры. Попытка избавиться от этого недостатка была сделана в работе [6]. В этой статье алгоритм оптимизации транспортной задачи использует информацию из имитационных моделей с различными уровнями точности и с различными уровнями вычислительной эффективности.

Как естественное следствие в вопросах поиска оптимального решения транспортных проблем рассматривается метод получения недоминируемой точки для многоцелевой транспортной задачи [7]. Достоинство этого метода в том, что представленная недоминируемая точка является наиболее близким решением к решению этой проблемы. В литературе уделяется достаточно внимания решению транспортных задач с нечеткими параметрами. Так в работе [8] предложены два многокритериальных групповых метода принятия решений. В работе [9] использованы генетические алгоритмы, их свойства и возможности в решении вычислительных задач в соответствии с принципами управления логистикой производственно-транспортных систем. Показано, что генетические алгоритмы менее эффективны в сравнении с классическими методами оптимизации.

Анализ литературных источников свидетельствует, что исследователи особое внимание уделяют развитию методов математического программирования решения транспортных задач различной сложности. Так в работе [10] представлен метод таблиц распределения на примере обеспечения минимальных транспортных расходов. В статье [11] проблема распределения в транспортной задаче рассматривается как многокритериальная задача оптимизации. Статья [12] посвящена отысканию компромиссного решения линейной многокритериальной транспортной задачи. Однако использование методов математического программирования как составной части имитируемой реальной системы практически не отражено как в отечественных, так и зарубежных литературных источниках. Кроме того, для каждого имитационного прогона имеет место проблема его информационного обеспечения, от конкретного решения которой существенно зависят результаты имитационного эксперимента.

Сформулируем оптимизационную задачу в общем виде:
найти

$$h^*: \min\{f(h) | h \in Y\} = f(h^*). \quad (1)$$

Разработка методических основ решения задачи (1) при алгоритмическом задании функции $f(h)$ и различных способов задания допустимой области Y носит проблемный характер и весьма актуальна при исследовании систем производственно-транспортной логистики.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка методических основ повышения эффективности математического инструментария задач производственно-транспортной логистики.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработать и обосновать методологию направленного имитационного моделирования и описать последовательность этапов ее практической реализации;
- сформировать класс математических моделей многопродуктовых транспортных задач, допускающих параметрическую декомпозицию и применение методов негладкой оптимизации для их решения;
- решить вопросы информационного обеспечения имитационных моделей и разработать рекомендации по развитию методологии системной оптимизации для многокритериальных задач нелинейного программирования.

Разработка и обоснование методологии направленного имитационного моделирования и этапы ее практической реализации. Рассмотрим задачу (1) в следующих постановках:

- целевая функция $f(h)$ задана алгоритмически, допустимая область Y задана аналитически;
- целевая функция $f(h)$ задана алгоритмически, допустимая область Y определена

ограничениями, заданными алгоритмически и аналитически.

Очевидно, что оптимизационная задача со смешанными ограничениями всегда может быть сведена к задаче с аналитическими ограничениями путём введения алгоритмических ограничений в виде штрафных функций в состав целевой функции. Поэтому решение задачи (1) имеет две постановки. В первой постановке целевая функция $f(h)$ задана алгоритмически, а допустимая область – аналитически. Во второй постановке, целевая функция $f(h)$ задана алгоритмически, а допустимая область Y определяется смешанными ограничениями. При этом решение задачи в первой постановке может быть также использовано для решения задач во второй постановке.

Понятно, что в случае алгоритмического способа задания $f(h)$ и Y всегда можно перейти к указанным выше постановкам задачи (1). Поэтому в дальнейших рассуждениях задачу (1) будем трактовать как задачу, в которой целевая функция $f(h)$ задана алгоритмически, а множество допустимых ограничений определяется аналитической областью:

$$Y = \{h = \{h_{n,l}\}: 0 \leq h_{n,l} \leq A_l, \forall n,l\}, \quad (2)$$

образующей гиперпараллелепипед.

Анализ задачи (1) с точки зрения формирования подходов к её решению выявляет проблемные трудности методологического характера не только в плане вычислительного, но и информационного аспектов. Следует отметить, что вычислительные и информационные аспекты тесно взаимосвязаны, поэтому выделение их является в определённой мере условностью, вводимой с целью разделения агрегированной и детализированной информации, поступающей на вход имитационной модели.

Вычислительный аспект отыскания минимума функции $f(h)$ на множестве ограничений, задаваемых (2), связан с разработкой методологии направленного имитационного моделирования. Ее реализация осуществляется в условиях отсутствия информации о свойствах функции $f(h)$, ограничений на время поиска $f(h^*)$, высокой размерности пространства переменных, существенных временных затрат на имитационный прогон, требования приемлемой точности решений. Теоретически оценить точность получаемых решений не представляется возможным ввиду алгоритмического способа задания функции. Поэтому под понятием «приемлемая точность результата» будем понимать такой результат направленного имитационного моделирования, реализация которого на реальном объекте не вызовет существенных отклонений от теоретического решения.

В работе предложена методология направленного имитационного моделирования, включающая три основных этапа её реализации.

На первом этапе строится аналитическая модель $F(x, h(x))$, где h – параметр модели, допустимая область X которой определена в пространстве переменных $x \in X$. Предполагается так же, что функция $F(x, h(x))$ минимизируется на множестве

ограничений X , а задача состоит в отыскании $x^* \in X$, такого что

$$\min F(x, h(x)) = F(x^*, h(x^*)). \quad (3)$$

Если допустить, что вектор $h = \bar{h}$ определён, то применение схемы параметрической декомпозиции приводит к задаче отыскания h^* такого, что $\min \Phi(h) = \Phi(h^*)$. Допустимая область $H \subseteq Y$ функции $\Phi(h)$ определена в пространстве переменных $h \in H$. Для последней выполняются условия выпуклости, непрерывности и существования производной по направлению. Процедура поиска $h^* \in H$ одновременно связана с переходом из пространства переменных h в пространство переменных x и отысканием решения $x^* \in X$.

Второй этап реализации методологии направленного имитационного моделирования связан с построением имитационной модели. Целевая функция последней может быть представлена в виде:

$$f(h) = \hat{\Phi}(h) + g(h), \quad (4)$$

где $\hat{\Phi}(h)$ – имитационный аналог функции $\Phi(h)$, причем $\hat{\Phi}(h) \approx \Phi(h)$;

$g(h)$ – штрафная функция.

Для рассматриваемых функций справедливы условия:

$$f(x) > 0, \hat{\Phi}(h) > 0, g(h) \geq 0. \quad (5)$$

Задача состоит в отыскании вектора \hat{h}^* в пространстве переменных h , удовлетворяющего ограничениям Y , такого, что $\min f(h) = f(\hat{h}^*)$.

Понятно, что процесс решения этой задачи связан с организацией определенной последовательности имитационных прогонов. В каждом из них в качестве переменных выступают разыгрываемые значения исследуемых независимых случайных величин, для которых определенным образом формируются законы распределения. Параметрами имитационного прогона служат фиксированные значения вектора переменных $x \in X$, полученные на определенном шаге итеративной процедуры отыскания вектора x^* .

Основная идея методологии направленного имитационного моделирования состоит в использовании направления спуска, определяемого для функции $\Phi(h)$ в качестве направления спуска для функции $g(h)$. Понятно, что эффективность предлагаемого подхода, согласно (5), существенно зависит от вида функции $g(h)$, так как при ее возрастании начинает возрастать угол между направлением спуска функции $\Phi(h)$ и неизвестным направлением спуска функции $f(h)$. Для численной оценки последствий от несовпадения соответствующих направлений спуска и компенсации возникающих при этом ошибок в определении $f(\hat{h}^*)$ целесообразно использовать многошаговую процедуру. Каждый шаг j последней связан с минимизацией функции $f(h)$ и реализуется из соответствующей начальной точки $h_j(s)$, $s = 0$, полученной из условия

равномерного заполнения допустимой области Y , итерационным спуском в направлении убывания функции $\Phi(h)$. Далее осуществляется анализ зависимости $f(h)$ по каждой координате вектора h и определяется суженный диапазон по каждой координате.

На этом этапе также осуществляется формирование координат начальных точек в суженной области пространства переменных h и решается многошаговая итерационная задача аналогичная предыдущей.

На третьем этапе решается задача следующего вида: найти

$$\hat{h}^* = \hat{h}_{j^*}^*: \min \{f(\hat{h}_{j^*}^*) | j = 1, 2, \dots, J\} = f(\hat{h}_{j^*}^*), \quad (6)$$

где j – номер шага в суженной области пространства переменных h .

Решением задачи (6) завершается процесс направленного имитационного моделирования.

Методические аспекты формирования класса математических моделей многопродуктовых транспортных задач. При конструктивной реализации разработанной методологии направленного имитационного моделирования необходимо обоснованно подходить к решению вопросов её математического обеспечения. От выбора последнего может существенно зависеть вычислительная эффективность предлагаемого подхода.

Для того, чтобы конкретизировать трудности проблемного характера, которые возникают при решении указанных вопросов, опишем итеративный процесс определения $\hat{h}_{j^*}^*$ в произвольной допустимой области, включённой в Y , при любом фиксированном номере j , например $j = j^*$, $\hat{h}_{j^*}^* = \hat{h}^*$.

Для любого $s \geq 1$ вектор $h(s+1)$ определяется на итерации s , включающей несколько этапов:

1. Вычисляется функция $\Phi(h(s))$.
2. Осуществляется имитационный прогон и определяется $f(h(s))$.
3. Останов при приемлемом для исследователя результате, иначе переход к пункту 4.
4. Вычисляется $h(s+1)$. Возвращение к этапу 1.

При всей схематичности описанной процедуры, последняя позволяет конкретизировать основные трудности её практической реализации.

Во-первых, это трудности, связанные с вычислением $\Phi(h(s))$. Здесь возникает проблема формирования функции $F(x, h(x))$, так как её конкретный вид является определяющим при выборе направления спуска функции $\Phi(h)$. Чем точнее $F(x, h(x))$ описывает свойства реального объекта, тем меньше штрафная $g(h)$ функции $f(h)$ и, как следствие, меньше угол между направлениями спусков функций $\Phi(h)$ и $f(h)$. С другой стороны, по мере усложнения $F(x, h(x))$ возрастает трудоемкость определения $\Phi(h)$. В то же время следует иметь в виду, что никакое усложнение аналитической модели реального объекта

не может учесть таких свойств последнего, которые могут быть определены в соответствующей имитационной модели. Практически здесь появляется проблема оценки эффективности двух подходов к реализации процесса отыскания минимума функции $f(h)$. Один из них направлен на максимальное упрощение $F(x, h(x))$. Это приводит к увеличению числа j и решению большого числа итерационных задач. Последние связаны с формированием соответствующей начальной точки $h_j(s)$, $s = 0$ и дальнейшим итерационным спуском из нее в направлении убывания $\Phi(h)$. Очевидно, что «глубина» подобных спусков может оказаться незначительной, а при существенном несовпадении направлений спусков функций $f(h)$ и $\Phi(h)$ возникает необходимость отыскания оптимального решения $f(\hat{h}_{j^*}(s))$ лишь на множестве начальных точек, равномерно заполняющих область Y . Это, в свою очередь, приводит к необходимости усложнения $F(x, h(x))$, минимизируемой на множестве X , что определяет второй подход к отысканию $f(\hat{h}_{j^*}(s))$. Тогда проблему выбора структуры функции $F(x, h(x))$ можно решить, конструктивно развивая концепцию, в которой отдельные модели трактуются как структурные части более сложной модели [13]. Следовательно, структура каждой отдельной модели должна предусматривать возможность ее подключения к комплексу и располагать для этого необходимыми свободными параметрами. Поясним сказанное на конкретном примере. Пусть требуется найти

$$x_n^*: \min\{F_n(x_n, h_n(x_n)) \mid x_n \in X_n\} = F_n(x_n^*), \quad (7) \\ n = 1, 3.$$

Задача (7) при $n = 1$ трактуется как задача совместного выбора способа h_1 функционирования пунктов производства и планов перевозок x_1 . Та же задача при $n = 2$ – трактуется как задача выбора планов перевозок x_2 в условиях ограничений на пропускные способности h_2 транспортных магистралей. Сравнительный анализ этих задач показывает, что отсутствие параметра h_2 в первой постановке эквивалентно его фиксации $h_2 = \bar{h}_2$ (случай неограниченных пропускных способностей транспортных магистралей). Во второй постановке задачи (7) фиксирован параметр $h_1 = \bar{h}_1$ (случай заданной структуры производства). Тогда, оставляя свободным параметр h_1 для $n = 1$, либо h_1 для $n = 2$, соответствующие указанным постановкам модели можно трактовать как структурные части более сложной модели (случай $n = 3$), для которой $h_3(x_3) = \{h_1(x_1), h_2(x_2)\}$. Физическое содержание последней связано с совместным выбором структуры производства и плана перевозок в условиях ограничений на пропускные способности транспортных магистралей.

Разнохарактерность моделей часто служит основным препятствием при решении поставленной задачи. Эту трудность можно преодолеть, если работать с

некоторыми унифицированными вариантами моделей, которые позволяют в ходе разработки оптимальных планов сохранять единообразие в формах представления исходных данных, в используемых алгоритмах и программах формирования расчетной информации. Указанным требованиям удовлетворяют модели многопродуктовых транспортных задач с промежуточными узлами. Последние адекватны большому количеству физических постановок, которые встречаются в практике производственно-транспортной логистики.

Большой интерес к свойствам и методам решения таких задач и их различных обобщений привел к появлению публикаций, освещающих отдельные стороны проблемы [14]. В частности, негладкие функции широко используются в теории и приложениях математического программирования.

Информационное обеспечение имитационных моделей и разработка рекомендаций по развитию методологии системной оптимизации. В терминологии авторов модели многопродуктовых транспортных задач с промежуточными узлами получили название двухэтапных транспортных задач. Обоснованность такого определения объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, двухэтапная транспортная задача допускает многовариантность физических постановок. А это значит, что порождаемое этой многовариантностью множество двухэтапных транспортных задач включает только унифицированные модели. Во-вторых, каждую из этих моделей можно подключить друг к другу и к комплексу (композиция моделей) в силу наличия необходимых свободных параметров у моделей, входящих в композицию. Например, композиция двух двухэтапных моделей образуют трехэтапную модель, композиция трех двухэтапных моделей – четырехэтапную и т. д. Таким образом, процедура композиции реализует переход к моделям новой структуры, для которых количество свободных параметров определяется суммой свободных параметров исходных моделей. В-третьих, наличие свободных параметров у модели позволяет применять схему параметрической декомпозиции и решать независимые одноэтапные задачи (случай, когда отсутствуют свободные параметры), с последующей их координацией в соответствии с алгоритмами, удовлетворяющими указанным выше требованиям. Каждая одноэтапная модель имеет вид классической транспортной задачи (двухиндексная модель), а число последних mq , где m – индекс этапности декомпозируемой задачи, q – количество номенклатур материального ресурса.

Применение схемы параметрической декомпозиции к многоэтапным транспортным моделям приводит к проблеме негладкой оптимизации, а свойства функции $\Phi(h)$ оказываются определяющими при построении соответствующих алгоритмов.

Остановимся теперь на вопросе информационного обеспечения имитационных моделей. Как уже было отмечено, параметрами имитационного прогона служат фиксированные значения вектора переменных

$x \in X$, полученные на соответствующем этому прогону шаге итеративной процедуры отыскания x^* .

Указанные параметры характеризуют агрегированную информацию, поступающую на вход имитационной модели, а задача их отыскания определяет вычислительный аспект методологии направленного имитационного моделирования. Информационный аспект этой методологии связан с формированием детализированной информации, на основе которой может быть осуществлен имитационный эксперимент. Этой информацией являются разыгрываемые значения независимых случайных величин, одновременно выступающие в роли переменных имитационного прогона. Здесь проблемным оказывается вопрос построения законов распределения случайных величин, включенных в программу исследования, соответствующих каждому имитационному эксперименту. Для решения этой задачи предлагается использовать ретроспективную информацию об исследуемых случайных величинах. Эту информацию можно представить в виде гистограмм, которые следует аналитически аппроксимировать многопараметрическим семейством плотностей распределения $\varphi(z_i, \theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}, \theta_{i4})$, где i – индекс случайных величин. $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}, \theta_{i4}$ соответственно характеризуют: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, асимметрию и эксцесс случайной величины z_i . Тогда, решая задачу определения параметров $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}, \theta_{i4}$ для каждого номера i , можно полностью задать функцию $\varphi(z_i, \theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}, \theta_{i4})$. Указанные параметры являются функциями некоторых влияющих факторов γ_p , что следует из физических соображений, и соответствующие зависимости могут быть представлены в виде регрессионных уравнений. Для определения оценок коэффициентов регрессии формулируется задача минимизации квадратичного функционала, решение которой и завершает процесс формирования исходной информации, необходимой для реализации очередного имитационного прогона с целью минимизации функции $f(h)$.

Была рассмотрена наиболее простая, наиболее часто используемая и наиболее редко встречаемая в практических задачах ситуация, когда соответствие того или иного значения вектора h поставленной цели операции можно описать с помощью некоторой функции $f(h)$. При таком подходе h_2 считается предпочтительнее h_1 , если $f(h_2) < f(h_1)$. Тогда задача выбора наилучшего образа действий сводится к отысканию минимума функции $f(h)$ на множестве допустимых решений $H \subseteq Y$. Однако, как показывает практика производственно-транспортной логистики, именно построение функции, характеризующей цель операции, вызывает наибольшие затруднения. Здесь основная проблема построения целевой функции не в том, что есть операции «одноцелевого» и «многоцелевого» характера, а в том, что есть операции, цель которых точно известна исследователю, и есть операции, цель которых ему неизвестна. Посмотрим с этих позиций на функцию (4).

Компоненты $\hat{\Phi}(h)$ и $g(h)$ с экономической точки зрения характеризуют затраты, которые возникают в исследуемой системе производственно-транспортной логистики. Очевидно, что наличие затрат $g(h)$ является отражением несбалансированной работы отдельных звеньев исследуемой системы за счет воздействия различных случайных факторов. Экономическая оценка последствий подобной несбалансированности носит проблемный характер, а это значит, что имеет место неопределенность в выборе цели операции.

Чтобы снять эту неопределенность, необходимо получать дополнительную информацию. Основным источником этой информации является, как правило, лицо принимающее решение (ЛПР). ЛПР должен располагать системой предпочтений, заданной на множестве допустимых решений $h \in H$, либо критериев. Если предположить, что система предпочтений задана (например, на множестве критериев), то имеет место проблема системной оптимизации [14] в многокритериальной задаче нелинейного программирования с алгоритмически заданными функционалами $\hat{\Phi}(h)$ и $g(h)$. Решение этой проблемы заключается в целенаправленном изменении допустимых областей X_1, \dots, X_{mq} путем вариации параметров $h \in H \subseteq Y$ с целью попадания $\hat{\Phi}(h)$ и $g(h)$ в область (точку), описываемую системой предпочтений. Однако при конструктивной реализации такого подхода к системной оптимизации рассматриваемой многокритериальной задачи приходится сталкиваться с серьезными трудностями. Основная из них – это неопределенность в задании системы предпочтений, что приводит к последовательному целенаправленному изменению области предпочтений.

Решение подобной задачи системной оптимизации может быть осуществлено с помощью подхода, использующего методологию направленного имитационного моделирования. Этот подход связан со скаляризацией векторного критерия и представления его в виде

$$f(h) = (1 - \alpha_k)\hat{\Phi}(h) + \alpha_k g(h), k = 1, 2, 3 \dots \quad (8)$$

Понятно, что выбор того или иного значения параметра $\alpha \in (0, 1)$ приводит к изменению компонентов $\hat{\Phi}(h)$ и $g(h)$. Зададимся определенным шагом дискретности и для каждого члена последовательности $\{\alpha_k\}$ решим задачу (1) в условиях (6). Полученные результаты позволяют построить зависимость $\hat{\Phi}(\alpha_k)$ и $g(\alpha_k)$. Так, в частности при возрастании $\alpha \in (0, 1)$, $g(\alpha_k)$ является невозрастающей, а $\hat{\Phi}(\alpha)$ – неубывающей функцией своего аргумента. Знание последних открывает широкие возможности при формировании различных систем предпочтений ЛПР, каждая из которых обеспечивает захват определенной точки $\{\hat{\Phi}(\bar{h}), g(\bar{h})\}$ соответствующей некоторому члену последовательности $\{\alpha_k\}$ в результате применения указанной процедуры, что очевидно.

Выше было установлено, что вид функции $g(h)$ существенно зависит от вида функции $\Phi(h)$. Это

объясняется тем, что исследуемая логистическая система допускает различные способы ее организации. Последние приводят к соответствующим структурным изменениям моделей. Указанные изменения структур необходимы в случае, если модели, ограничения и набор мероприятий не соответствуют целям. ЛПР в определенной мере целенаправленно вносит структурные изменения, как в объект управления, так и в его связи с внешней средой. Возникает задача целенаправленного формирования модели путем ее структурных изменений (варьирования перечня переменных и правых частей ограничений, радикального изменения структуры модели).

Методология системной оптимизации и ее конструктивное развитие на примере решения многокритериальных задач нелинейного программирования были связаны с варьированием структуры ограничений. Подобный подход существенно расширяется путем установления возможности перехода к радикальным структурным изменениям моделей, а также возможности практической реализации указанного подхода путем решения многокритериальных задач нелинейного программирования в условиях алгоритмического способа их задания.

Последовательность структурных изменений модели порождает последовательность допустимых областей $H_1, \dots, H_n, \dots, H_p$ в пространстве параметров h_n , $n \in N_1 = \{1, \dots, p\}$, $N_1 \subseteq N$ (для фиксированного значения $\bar{\alpha}$ параметра $\alpha \in (0,1)$ такую, что задача отыскания

$$\hat{h}_{p,\bar{\alpha}}^* \cdot \min\{f_p(h_{p,\bar{\alpha}}) | h_{p,\bar{\alpha}} \in H_p\} = f_p(\hat{h}_{p,\bar{\alpha}}^*) \quad (9)$$

приводит к выполнению условия

$$\{\hat{\Phi}_p(\hat{h}_{p,\bar{\alpha}}^*), g(\hat{h}_{p,\bar{\alpha}}^*)\} \in P(\Phi, g). \quad (10)$$

Если условие (10) не выполняется для всех номеров $n \in N_1 \subseteq N$, то исходная область $P(\Phi, g)$ считается некорректной. Возникает задача уточнения области предпочтений моделью верхнего уровня. В зависимости от ее решения реализуются соответствующие мероприятия, связанные с принятием решения об окончании процедуры формирования оптимальной системы производственно-транспортной логистики. Варьирование перечня переменных и радикальное изменение структуры математической модели связаны не только с использованием различных технологических способов транспортировки продукции $l \in L$, но и выбором вида транспорта.

Выводы. Разработана и обоснована методология направленного имитационного моделирования для отыскания минимума алгоритмической функции на множестве аналитических ограничений. Методология направленного имитационного моделирования позволила исследовать не только внешнюю структуру объекта управления, но и его внутреннюю структуру. Результаты подобных исследований позволяют моде-

лировать системы производственно-транспортной логистики на более высоком качественном уровне и создают условия для повышения эффективности решения прикладных задач.

Сформирован класс математических моделей многопродуктовых транспортных задач, допускающих параметрическую декомпозицию и применение методов негладкой оптимизации для их решения. Класс моделей многопродуктовых транспортных задач может допускать различную физическую трактовку. Подобное обстоятельство расширяет спектр использования полученных результатов.

Решены вопросы информационного обеспечения имитационных моделей и даны практические рекомендации по развитию методологии системной оптимизации для многокритериальных задач нелинейного программирования. Осуществлено дальнейшее развитие методологии системной оптимизации путем возможности варьирования не только структуры ограничений модели, но и осуществления радикальных структурных изменений.

Возможность сопряжения аналитических и имитационных моделей позволяет существенно повысить эффективность используемого математического инструментария.

Список литературы

1. Karakikes I, Nathanail E. Simulation Techniques for Evaluating Smart Logistics Solutions for Sustainable Urban Distribution. *RelStat'2016: 16th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, 19–22 oct. 2016*. Riga: University of Thessaly, 2016. P. 569–578.
2. Persson F., Erlandsson D., Larsson A., Johansson M. Solving location problems with simulation modelling - a case from the construction industry. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*. Linköping: Linköping University, 2013. P. 336–337.
3. Qudoods A., Javaid S., Khalid M.M. A New Method for Finding an Optimal Solution for Transportation Problems. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE)*. 2012. Vol. 4, № 7. P. 1271–1274.
4. Karkula M. Selected aspects of simulation modelling of internal transport processes performed at logistics facilities. *AGH University of Science and Technology*. 2014. Vol. 30, № 2. P. 43–56.
5. Sainathuni B., Parikh P.J., Zhang X., Kong N. The warehouse-inventory-transportation problem for supply chains. *European Journal of Operational Research*. 20 feb. 2014. P. 690–700.
6. Osorio C., Selvam K.K. Solving large-scale urban transportation problems by combining the use of multiple traffic simulation models. *Transport Simulation-ISTS'14: 4th International Symposium*, 14 jun. 2014. Corsica, 2014. P. 272–284.
7. Bander A.S., Morovati V., Basirzadeh H. A Super Non-dominated Point for Multi-objective Transportation Problem. *Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM)*. 2015. Vol. 10, № 1. P. 544 – 551.
8. Kundu P. Some Transportation Problems Under Uncertain Environments. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2015. P. 225–365.
9. Burduk A., Musial K. Optimization of Chosen Transport Task by Using Generic Algorithms. *Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM): 15th IFIP International Conference*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2016. P. 197–205.
10. Ahmed M.M., Khan A.R., Uddin M.S., Ahmed F. A New Approach to Solve Transportation Problems. *Open Journal of Optimization*. 2016. Vol. 5. P. 22–30.
11. Anukokilaa P., Radhakrishnan B., Rajeshwaria M. Multi-objective Transportation Problem by using Goal Programming Approach. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2017. Vol. 117, № 11. P. 393–403.

12. Kaur L., Rakshit M., Singh S. A New Approach to Solve Multi-objective Transportation Problem. *Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM)*. 2018. Vol. 13, №. 1. P. 150–159.
13. Гамбаров Л.А. Параметрическая декомпозиция многоэтапных транспортных моделей. *Вісник економіки і промисловості*. 2014. Випуск 45. С. 239–244.
14. Гамбаров Л.А. Системный подход в вычислительных процедурах решения многоэтапных транспортных задач логистики. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018. Выпуск 7(39), ч. 1. С. 100–110.

References (transliterated)

1. Karakikes I, Nathanail E. Simulation Techniques for Evaluating Smart Logistics Solutions for Sustainable Urban Distribution. *RelStat 2016: 16th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, 19-22 oct. 2016*. Riga: University of Thessaly Publ., 2016, pp. 569–578.
2. Persson F., Erlandsson D., Larsson A., Johansson M. Solving location problems with simulation modelling - a case from the construction industry. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*. Linköping: Linköping University Publ., 2013, pp. 336–337.
3. Qudoods A., Javaid S., Khalid M.M. A New Method for Finding an Optimal Solution for Transportation Problems. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSSE)*. 2012, vol. 4, no. 7, pp. 1271–1274.
4. Karkula M. Selected aspects of simulation modelling of internal transport processes performed at logistics facilities. *AGH University of Science and Technology*. 2014, vol. 30, no. 2, pp. 43–56.
5. Sainathuni B., Parikh P.J., Zhang X, Kong N. The warehouse-inventory-transportation problem for supply chains. *European Journal of Operational Research*. 20 feb. 2014, pp. 690–700.
6. Osorio C., Selvam K.K. Solving large-scale urban transportation problems by combining the use of multiple traffic simulation models.

7. Bander A.S., Morovati V., Basirzadeh H. A Super Non-dominated Point for Multi-objective Transportation Problem. *Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM)*. 2015, vol. 10, no. 1, pp. 544 – 551.
8. Kundu P. Some Transportation Problems Under Uncertain Environments. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. 2015, pp. 225–365.
9. Burduk A., Musial K. Optimization of Chosen Transport Task by Using Generic Algorithms. *Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM): 15th IFIP International Conference*. Wrocław: Wrocław University of Technology, 2016, pp. 197–205.
10. Ahmed M.M., Khan A.R., Uddin M.S., Ahmed F. A New Approach to Solve Transportation Problems. *Open Journal of Optimization*. 2016, vol. 5, pp. 22–30.
11. Anukokilaa P., Radhakrishnan B., Rajeshwaria M. Multi-objective Transportation Problem by using Goal Programming Approach. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2017, vol. 117, no. 11, pp. 393–403.
12. Kaur L., Rakshit M., Singh S. A New Approach to Solve Multi-objective Transportation Problem. *Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM)*. 2018, vol. 13, no. 1, pp. 150–159.
13. Gambarov L. Parametricheskaia dekompozitsiia mnogoetapnykh transportnykh modelei [Parametric decomposition of the multi-phase transport models]. *Вісник економіки і промисловості* [The bulletin of transport and industry economics]. 2014, issue 45, pp. 239–244.
14. Gambarov L. Sistemnyi podkhod v vychislitelnykh protsedurakh resheniia mnogoetapnykh transportnykh zadach logistiki [System approach in computational procedures of solving multistatal transport logistic problems]. *Актуальне наукове дослідження в сучасному світі* [Actual scientific research in the modern world]. 2018, issue. 7(39), part. 1, pp. 100–110.

Поступила (received) 19.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гамбаров Леонід Арамович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0009-5527>; e-mail: gambarov@ukr.net

Пашнев Андрій Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>; e-mail: pashniev@email.ua

Смолін Павло Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1290-9698>; e-mail: spa@kpi.kharkov.ua

Хацько Наталія Євгенівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2543-0280>; e-mail: n.khatzko@gmail.com.

Гамбаров Леонид Арамович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0009-5527>; e-mail: gambarov@ukr.net

Пашнев Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>; e-mail: pashniev@email.ua

Смолин Павел Александрович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1290-9698>; e-mail: spa@kpi.kharkov.ua

Хатцко Наталья Евгеньевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2543-0280>; e-mail: n.khatzko@gmail.com.

Gambarov Leonid Aramovich – doctor of technical sciences, professor, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», professor of the department of software engineering and management information technologies; Kharkov, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0009-5527>; e-mail: gambarov@ukr.net

Pashnev Andrey Anatolyevich – candidate of technical sciences, senior researcher, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», associate professor of the department of software engineering and management information technologies; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>; e-mail: pashniev@email.ua

Smolin Pavel Aleksandrovich – National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», senior lecturer of the department of software engineering and management information technologies; Kharkov, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1290-9698>; e-mail: spa@kpi.kharkov.ua

Khatsko Nataly Eugenyvna – candidate of technical sciences, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», associate professor of the department of software engineering and management information technologies; Kharkov, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2543-0280>; e-mail: n.khatsko@gmail.com.

УДК 004.9

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.04

C. В. ОРЕХОВ, Н. К. СТРАТИЄНКО, Г. В. МАЛИГОН

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ ІТ КОМАНДИ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ КОРПОРАТИВНОЇ КУЛЬТУРИ ТА ТИПУ ОСОБИСТОСТІ

Проведено аналіз сучасних підходів щодо використання поняття корпоративної культури в роботі відділів управління людськими ресурсами на підприємстві зокрема ІТ компанії. Цей аналіз показує, що існує мінімум три основні напрямки використання корпоративної культури згідно її визначенню. Але досі корпоративна культура не була використана як частина методики формування ІТ команди. Представлено новий підхід до формування ІТ команди на основі оцінки типу корпоративної культури організації та типології особистості співробітника. Ідея методу полягає в тому, щоб виділити на першому етапі групу однодумців шляхом визначення оцінки корпоративної культури. Потім із цієї групи вже відокремити ІТ команду згідно типу особистості, який відповідає потрібній кваліфікації або позиції в самій ІТ команді. В таку команду входять програмісти, ВЕБ дизайнери, аналітики, тестувальники, архітектори та технічні письменники. Для реалізації підходу проведено огляд досвіду використання інструментів OSAI та типології Майерс-Бриггс. В результаті спроектовано програмне забезпечення. Програмне забезпечення дозволяє повністю виконати запропонований алгоритм використання анкетування на основі виявлення як рис корпоративної культури організації, так і типу особистості окремого співробітника ІТ компанії. Тестування даного програмного забезпечення проведено на основі даних реальної ІТ компанії та її внутрішньої задачі щодо формування ІТ команди проекту. Доцільність використання оцінки корпоративної культури підтверджується тим фактом, що ІТ команда не є постійною одиницею. Вона завжди змінюється в залежності від потреб в розробці того чи іншого програмного продукту. Вона змінюється в залежності від потреби у виконанні того чи іншого ІТ проекту. Але завдяки оцінці корпоративної культури є змога оперативно досліджувати зміни в особистій поведінці окремих співробітників та окремих ІТ команд з метою покращення якості їх роботи в межах ІТ проектів, що постійно також змінюються.

Ключові слова: ІТ команда, корпоративна культура, метод OSAI, метод MBTI.

C. В. ОРЕХОВ, Н. К. СТРАТИЄНКО, Г. В. МАЛИГОН

РАЗРАБОТКА ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ИТ КОМАНДЫ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ И ТИПА ЛИЧНОСТИ

Проведено анализ современных подходов к использованию понятия корпоративная культура в работе отделов управления человеческими ресурсами на предприятии в частности в ИТ компании. Этот анализ показывает, что существует три основных направления использования корпоративной культуры согласно ее определению. Но до сих пор корпоративная культура не была использована как часть методики формирования ИТ команды. Представлен новый подход к формированию ИТ команды на основе оценки типа корпоративной культуры организации и типологии личности сотрудника. Идея метода состоит в том, чтобы выделить на первом этапе группу единомышленников путем оценки корпоративной культуры. Затем из этой группы выделить уже ИТ команду согласно типу личности, который соответствует нужной квалификации или позиции в самой команде. Для реализации подход был проведен обзор опыта использования инструмента OSAI и типологии Майерс-Бриггс. По результатам спроектировано программное обеспечение. Программное обеспечение полностью реализует предложенный алгоритм использования анкетирования на основе выявления как черт корпоративной культуры организации, так и типа личности отдельного сотрудника ИТ компании. Тестирование данного программного обеспечения проведено на основе данных реальной ИТ компании и ее внутренней задачи по формированию ИТ команды проекта. Целесообразность использования оценки корпоративной культуры подтверждается тем фактом, что ИТ команда не является постоянной единицей. Она всегда меняется в зависимости от потребностей в разработке того или иного программного продукта. Она меняется в зависимости от потребности в выполнении того или иного ИТ проекта. Но благодаря оценке корпоративной культуры появляется возможность оперативно исследовать изменения в личном поведении отдельных сотрудников и отдельных ИТ команд с целью улучшения качества их работы в пределах ИТ проектов, которые постоянно также меняются.

Ключевые слова: ИТ команда, корпоративная культура, метод OSAI, метод MBTI.

© С. В. Орехов, Н. К. Стратієнко, Г. В. Малигон, 2019

S. V. OREKHOV, N. K. STRATIENKO, H. V. MALYHON

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR IT TEAM BUILDING BASED ON ESTIMATING CORPORATE CULTURE AND PERSONALITY TYPE

The survey of modern approaches of using corporative culture notion in human resource management department at an enterprise, for example, in a company of software development was provided. The overview was showed that there are three main directions of using corporative culture according to its definition. But since corporative culture has not been used as a part of methodology of IT team building. New approach of IT team building based on corporative culture and personality type estimation was presented. The method idea is to define the group of employees based on corporate culture estimation. Then the group is being filtered via personality type to form IT team finally. We believe that IT team includes different positions: software programmers, analysts, software architects, testers, WEB designers, technical writers etc. To solve this problem the overview of experience of using OCAI method and the Myers-Briggs typology is given. The software was developed. The software fully realizes proposed algorithm of interviewing for research as properties of corporative culture as personality type analysis of some employees in IT Company. The software testing was provided for real IT company and to form IT team of a project. The appropriateness of using an assessment of corporate culture is confirmed by the fact that the IT team is not a permanent unit. It always changes depending on the needs for the development of a software product. It changes depending on the need for the implementation of an IT project. But thanks to the assessment of corporate culture, it becomes possible to quickly examine changes in the personal behavior of individual employees and individual IT teams in order to improve the quality of their work within IT projects that are constantly changing as well.

Keywords: IT team, corporate culture, OCAI method, MBTI method.

Актуальність. Життєвий потенціал будь-якої організації сховано у її організаційній культурі. Сучасна ІТ компанія це набір ІТ команд, які формуються для реалізації конкретного ІТ проекту. Команда – це динамічна ситуація, в якій члени організації формують відносини у вигляді норм та принципів життя. Дослідження показують, що ІТ команда це група від 5 до 20 співробітників, які поділяють загальні цілі ті цінності та готові до спільної роботи. Їх уміння та можливості взаємозамінні та доповнюють одна іншу [1]. Тому вивчення цього, як власно створювати ІТ команду є актуальною задачею.

Аналіз існуючих методів. Кожний з нас кожен день існує у реальності повсякденного миру у системі соціальних норм та звичаїв. А культура це і є активний процес створення реальності. Таке більш глибоке розуміння культури дає нам щось більше, ніж просто розподіл між суспільствами та організаціями. Кожна організація має свої неповторні особливості, що називаються феноменом «корпоративна культура». Вона виростає і формується в процесі соціальної взаємодії.

Керівник відіграє ключову роль у формуванні цінностей, що об'єднують та направляють організацію. Однак інші члени організації також можуть впливати на процес формування корпоративних цінностей і стилю поведінки, відіграючи роль неформальних лідерів або займаючи якусь особливу позицію.

Поняття організаційної культури зустрічається як в теорії управління, так і в психології і соціології. Але єдиного трактування терміну поки ще не існує. Однак є окреме поняття «організаційна культура» у широкому та вузькому змісті.

Ф. Котлер відмічає, що складно сформулювати дане поняття бо іноді його розуміють як обмін досвідом, історією, порядками та правилами, які характеризують організацію [2].

В. Р. Веснин називає організаційну культуру як сукупність цінностей, переконань, моделей поведінки, які поділяються усіма членами організації. Він вважає, що організаційна культура проявляється в їх діях та зовнішній атрибутиці [3].

За думкою М. Мескона, М. Альберта та Ф. Хедоури [4] «клімат та атмосфера організації і є культура.

Культура відображає звички та очікування в організації, які переважають».

Аналогічне визначення дають А. Томпсон і А. Стрикленд: «внутрішні соціальні сили організації є організаційна культура. Вона представляє собою взаємопов'язану систему цінностей і норм поведінки, які домінують в цій компанії» [5].

Культура – це інтереси та цінності, а також ідеї, які поділяють групи: навичок, традицій, досвіду, комунікативних процесів, страхів, міфів, очікувань, які ви або ваші співробітники переживають [6].

Аналіз різних думок дає можливість сформулювати основне поняття організаційної культури – це базові цінності, які приймаються і поділяються більшістю співробітників в організації. Ці цінності визначають індивідуальність та відмінну рису, як на зовнішньому, так і на внутрішньому рівні самої організації.

Також доцільно зазначити важливість погляду американського дослідника Е. Шейна, який не тільки відзначив, а ще розглянув в основі становлення корпоративної культури приховані зовнішні фактори (навколишній світ, час, простір), які підсвідомо впливають на поведінку співробітників. Далі він відзначає, що існують цілі і цінності людей, що розділяються вже на свідомому рівні (задані цінності, соціальні норми), і тільки потім – зовнішні прояви корпоративної культури, як архітектура і технології, планування і оформлення [7]. Таким чином, можна прийти до висновку, що ефективність реагування організації, як на внутрішні взаємодії, так і на тиск з боку навколишнього світу, прямо залежить від корпоративної культури в організації.

Незважаючи на розуміння всієї важливості культури організації, можна відзначити і її деякі недоліки. Багато авторів відзначають, що ідентифікувати культуру досить складно, тим більше що вона постійно розвивається і ніколи не стоїть на місці. Для розуміння суті будь-якої організації, як культурного феномена, необхідно в першу чергу з'ясувати, які саме процеси, події породили систему понять, цінностей, які поділяються кожним членом компанії. Щоб глибоко розібратися в культурі організації потрібно спостерігати як за простими банальними ситуаціями, так і за більш яскравими процесами побудови реальності. Часом

виявляти ці витоки організаційної культури дуже складно.

Менеджмент культури, так чи інакше, прагне втрутитися і контролювати людину, щоб між його особистими цілями і цілями організації не було ніякої дистанції. Дуже часто керівництво компанії намагається нав'язати будь-які цінності, і співробітнику доводиться їм слідувати, інакше в організації йому довго не протриматися. Таким чином, співробітник попадає у жорсткі рамки та порушення яких – або правил життя організації може грожити йому навіть звільненням. Це свого роду особлива прихована форма тоталітаризму. Наприклад, в японських компаніях підлеглі шанобливо ставляться до керівника, беззаперечно виконують його доручення. Навіть незважаючи на те, що в роботі можуть існувати якісь неприємні явища, співробітники будуть смиренно виконувати свої обов'язки, щоб досягти самоповаги і поваги колег. І це для них є абсолютно природним. Така ситуація з боку може здатися дуже суворою, коли співробітники часом на шкоду собі, без будь-якого опору діють за законами життя організації. Але це знову-таки дає свій ефект на шляху досягнення цілей [6].

Оцінка корпоративної культури. Типологічний аналіз організаційної культури проводиться з метою ідентифікації культури, виявлення її слабких сторін і проблемних зон. Відомо безліч типологій (Ч. Ханди, Г. Хофштеде, Р. Аккофа і ін.), Деякі з яких мають виражений інструментальний характер. Даний аспект дозволяє створювати відповідні методики для подальшого їх застосування в прикладних дослідженнях [8].

Інструмент OCAI Кіма Камерона і Роберта Куїнна займає особливе місце серед цих підходів. Великого поширення опитувальник отримав у зв'язку з тим, що підходить для вивчення як поточного, так і майбутнього стану організаційної культури компанії.

Згідно Камерон і Куїнн (1999), організаційна культура може розглядатися у протистоянні один одному напрямках: концентрація на утриманні за рахунок внутрішніх коштів (внутрішній фокус і інтеграція) або на зовнішніх взаєминах (конкуренція і диференціація), або концентрація на цінностях органічних процесів, що асоціюються з гнучкістю і динамізмом, або на механічних процесах, що визначають стабільність і контроль [8].

Таким чином, згідно з методологією К. Камерона і Р. Куїнна, в залежності від характеру внутрішньокорпоративних відносин, існує чотири типи корпоративної культури: бюрократична, кланова, ринкова і адхократіческа. Користуючись стандартними визначеннями, можна дати коротку характеристику кожному з зазначених базових типів організаційної культури.

Кланова культура – це дружнє місце роботи, де у людей маса спільного. Організація схожа на велику сім'ю. Лідер або глава сприймається як вихователь і навіть як батько. Організація тримається разом завдяки відданості та традиції. Високо цінується обов'язковість. Організація робить акцент на довгостроковій

вигоді вдосконалення особистості, надає значення високого ступеня згуртованості колективу і моральному клімату. Успіх визначається в термінах «добре відчуття до споживачів» і «турбота про людей». Організація заохочує бригадну роботу, участь співробітників в бізнесі і злагоду (рисунок 1).

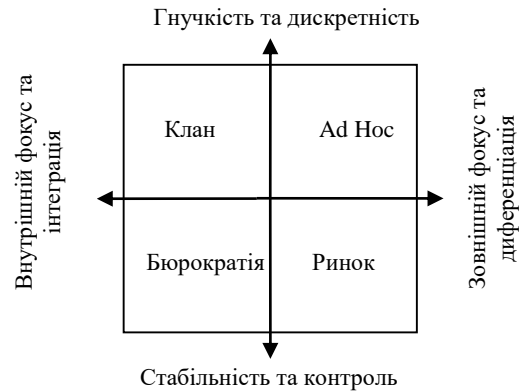


Рисунок 1 – Види корпоративної культури

Адхократіческа культура – це динамічне, підприємницьке і творче місце роботи. Люди готові підставляти власні ідеї і йти на ризик. Лідери вважають новаторами і людьми, готовими ризикувати. Сполучною сутністю організації є відданість експериментування і новаторства. Підкреслюється необхідність діяльності на передньому рубежі. У довгостроковій перспективі організація робить акцент на зростанні і здобутті нових ресурсів. Успіх означає виробництво / надання унікальних і нових продуктів і / або послуг. Важливо бути лідером на ринку продукції або послуг. Організація заохочує особисту ініціативу і свободу.

Ієрархічна культура – це дуже формалізоване і структуроване місце роботи. Тим, що роблять люди, управляють процедури. Лідери пишуться тим, що вони – раціонально мислячі координатори і організатори. Критично важлива підтримка плавного ходу діяльності. Організацію об'єднують формальні правила і офіційна політика. Довгострокові піклування організації полягають у забезпеченні стабільності і показників плавного ходу рентабельного виконання операцій. Успіх визначається в термінах «надійність поставок, календарних графіків і низьких витрат». Управління найманими працівниками стурбоване гарантією зайнятості і забезпеченням довгострокової передбачуваності.

Ринкова культура – це організація, орієнтована на результати, головною турботою якої є виконання поставленого завдання. Люди цілеспрямовані і змагаються між собою. Лідери – тверді керівники і суворі конкуренти. Вони непохитно і вимогливі. Організацію пов'язує воедино прагнення перемагати. Репутація і успіх є спільною турботою. Фокус перспективної стратегії налаштований на конкурентні дії, рішення поставлених завдань і досягнення вимірюваних цілей. Успіх визначається в термінах «проникнення на ринки» і «збільшення частки на ринку». Важливо конкурентне ціноутворення і лідерство на ринку. Стиль

організації – жорстко проведена лінія на конкурентоспроможність.

Для визначення типу культури пропонується відповідати на шість запитань за такими ключовими напрямками: найважливіші характеристики організації; загальний стиль лідерства; управління найманими працівниками; єднальна сутність організації; стратегічні цілі; критерії успіху.

У кожному питанні чотири варіанти відповіді, які представляють собою твердження, що характеризують певний тип культури. Так як в існуючих організаціях зустрічаються кілька типів культури, вірними можуть бути кілька відповідей. Тому відповідь виражається в розподілі 100% між чотирма варіантами. Відповідати на питання необхідно два рази, перший раз виходячи з нинішнього стану організації, другий раз – описуючи кращі характеристики. Перевагою даного методу є формування напрямків, необхідних для приведення корпоративної культури організації до стану, який хочуть отримати з проведенням змін в корпоративній культурі.

Крім аналізу культури в роботі пропонується взяти в розгляд типи особистості співробітників, яких передбачається включити в ІТ команду [8].

Типологія Майерс-Бріггс. Проблема ефективного управління персоналом в сучасному світі стоїть досить гостро, і наслідки цього відчувають на собі тисячі організацій. Дана проблема проявляється в постійній плинності кадрів, у відсутності мотивації і зниженні працездатності у співробітників, в напруженій психологічній атмосфері в колективі. Всі ці фактори призводять до збитків підприємства. У зв'язку з цим потрібно реструктурувати систему управління персоналом в більшості організацій, адже якщо підходити до управління персоналом грамотно, то можна значно підвищити працездатність співробітників. Одним з інструментів збільшення ефективності може служити соціоніка.

Соціоніка – це наука про типи особистості, яка бере свої витoki з вчення Карла Густава Юнга, знаменитого швейцарського психіатра і основоположника аналітичної психології. Юнг припустив, що існує певні типи особистостей, яким характерні певні способи мислення. Знаючи тип мислення іншої людини, можна відразу виділити його слабкі і сильні сторони, а також зрозуміти особливості сприйняття їм інформації з зовнішнього світу.

Існує безліч видів різних психологічних типологій. Одна з найпопулярніших способів визначення особливостей психіки – типологія Майерс-Бріггс (МВТІ). Ця система виникла на основі ідей Юнга, в основу типології взята його робота «Психологічні типи». Система діагностики індивідуальних відмінностей визначає приналежність людини до одного з 16 типів особистості. Визначення типажу особистості проводиться в форматі самодіагностики за допомогою тесту (анкетування). Тест складається з 94 питань з вибором однієї з двох варіантів відповіді. За цим відповідям визначають переваги за чотирма дихотоміями, описаним в теорії Юнга: екстраверсія / інтроверсія

(Extraversion-Introversion), сенсорика / інтуїція (Sensation-Intuition), логіка / етика (Thinking-Feeling), раціональність / ірраціональність (Judging-Perceiving). Поєднання отриманих значень дає 16 різних типів, які кодуються першими буквами показників шкал: ESTJ (реаліст, адміністратор, керівник), ENTJ (командир, підприємець), ISTJ (організатор, інспектор), ENFJ (наставник), ESFJ (вчитель, вихователь, ентузіаст), INTJ (аналітик, провидець, натхненник), INFJ (натхненник, консультант, порадник, гуманіст), ISFJ (виконавець, хранитель, захисник), ENTP (винахідник, шукач, мрійник), ESTP (непосида, маршал, реаліст), ENFP (медіатор, чемпіон), ESFP (політик, діяч), INTP (архітектор, критик, аналітик), ISTP (майстер, умілець), INFP (споглядач, лірик, цілитель), ISFP (вигадник, композитор).

Розглянувши всі типи особистості, можна зробити висновок, що представники різних типів по-різному поведуться в різних ділових ситуаціях, мають свої слабкі і сильні сторони. Уміння своєчасно визначити тип людини, дозволить грамотному менеджеру завчасно оцінити його сильні якості.

Постановка задачі. На основі проведеного дослідження методів були сформульовані функціональні вимоги до майбутнього програмного забезпечення – рисунок 2. Базуючись на аналізі вимог, сформулюємо постановку задачі дослідження в наступному вигляді: на основі анкетування співробітника за двома методами побудувати діаграму самооцінки співробітника свого положення в майбутньої ІТ команді.



Рисунок 2 – Функціональні вимоги

Основна ідея рішення полягає в тому, щоб на першому етапі сформувати набір діаграм співробітників, які відображають їхню думку про існуючу і майбутньої корпоративної культури в ІТ компанії. На основі цих діаграм відбувається відбір перспективних ІТ команд. Далі на основі діаграм типажів (ролей співробітників в проектній команді) виконується остаточно формування ІТ команд для виконання конкретного проекту.

Для рішення поставленої задачі запропонована наступна схема – рисунок 3.

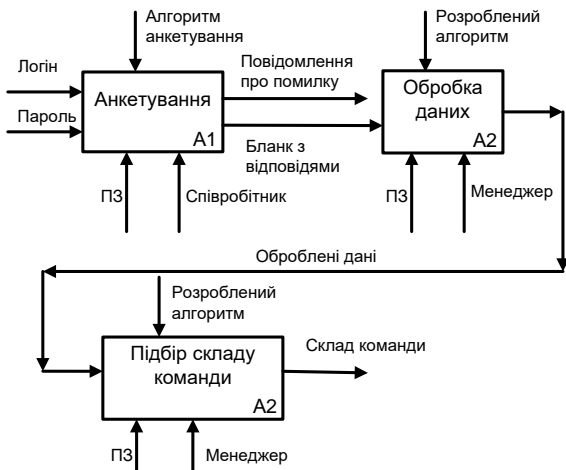


Рисунок 3 – Схема вирішення

Згідно схемі вирішення на першому етапі виконується анкетування кожного співробітника за двома методами. Потім програмне забезпечення виконує обробку даних і на третьому етапі відображається склад ІТ команди по заданому ІТ проекту.

Розробка програмного забезпечення. На рисунках 2, 4–5 представлені основні UML діаграми, що відображають роботу програмного забезпечення. Ці діаграми презентують функціональну структуру програмного забезпечення, де видно два основних користувача (HR менеджер і співробітник) і їх можлива послідовність дій.

Тестування. На підставі рамкової конструкції конкуруючих цінностей К. Камерона і Р. Куїна [8–9] були побудовані діаграми (профілів) організаційної культури команди ІТ-компанії. В анкетуванні взяло участь 7 співробітників, з них 3 співробітника – розробники різного рівня, 2 тестувальника, Project Manager і Team Lead. Опитувані в електронній формі відповідали на поставлені запитання, які дозволяють в подальшому визначити, який стан організаційної культури в компанії зараз, а яке хочуть бачити в майбутньому.

Був побудований і «загальний профіль (культурограма) організації». Профіль «а» або «тепер», відображає актуальний стан корпоративної культури організації; профіль «б» – бажане (переважне) стан корпоративної культури. Відповідна діаграма представлена на рисунку 6.

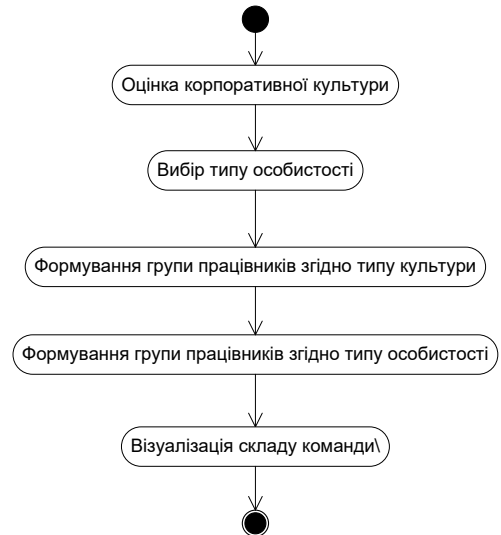


Рисунок 4 – Алгоритм побудови ІТ команди

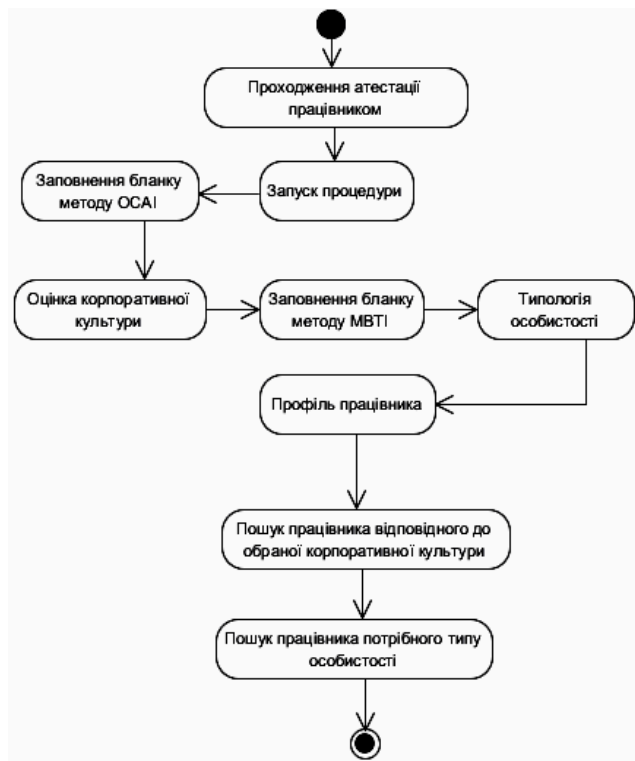


Рисунок 5 – Діаграма дій

Порівняння культуурограм «тепер» і «у майбутньому» показує, що в майбутньому співробітники хочуть щоб в організації переважали риси кланової і адхократическої культур, тобто культур, що характеризуються як гнучкі і дискретні.

Адхократія не використовує централізовану владу і авторитарні взаємини. Яскраво виражений акцент на індивідуальності, заохочення ризику і передбачення майбутнього, оскільки майже кожен працівник адхократическої команди виявляється причетним до спілкування з клієнтами, досліджень та розвитку.

Таким чином, співробітники віддають перевагу клановому типу. Співробітник хотів би, щоб сила, що об'єднує була б віддана справі і мала взаємну довіру, а не формальні правила і процедури. Свого лідера бачать в майбутньому як посібника, вихователя, «батька». Клановий тип культури передбачає згуртованість колективу, турботу компанії про розвиток людських ресурсів.

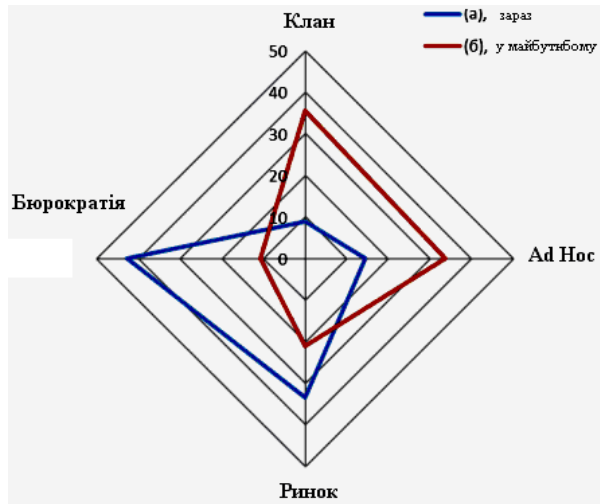


Рисунок 6 – «Культурограма»

Відзначимо, що узгодженість профілів «у майбутньому» нижче, ніж профілів «тепер». Це пов'язано з тим, що профілі «у майбутньому» описують по суті «віртуальну» організацію, в той час як профілі «тепер» представляють оцінку існуючих характеристик даної команди. Так само була зроблена оцінка типу особистості для кожного співробітника [10–11]. Дані представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Посади та типи особистостей

Посада	Тип особистості
Team Lead	INFP
Project Manager	ISTJ
QA engineer	INTP
QA engineer	INFP
Software Engineer	ISTP
Junior Software Engineer	ISFP
Junior Software Engineer	ESTP

У більшості учасників команди тип особистості відповідає займаній посаді, крім Team Lead і QA engineer. Для Team Lead в шкалі TF важливіше буде показник T, який ґрунтується на здатності раціонально приймати рішення. А в якості другого QA engineer більше підходить тип особистості ENTP. Результати тестування представлені у вигляді екранних форм на рисунках 7–9.

Підсумки. Розробка теоретичних знань і практичних рекомендацій на основі корпоративної культури і соціоніки в процесі управління організацією будуть корисні керівникам будь-яких підприємств у вирішенні проблеми ефективного управління персоналом. Саме облік соціально-психологічних особливостей людей і

наявність індивідуального підходу допомагає досягати поставлених цілей.

Рисунок 7 – Введення даних для анкетування

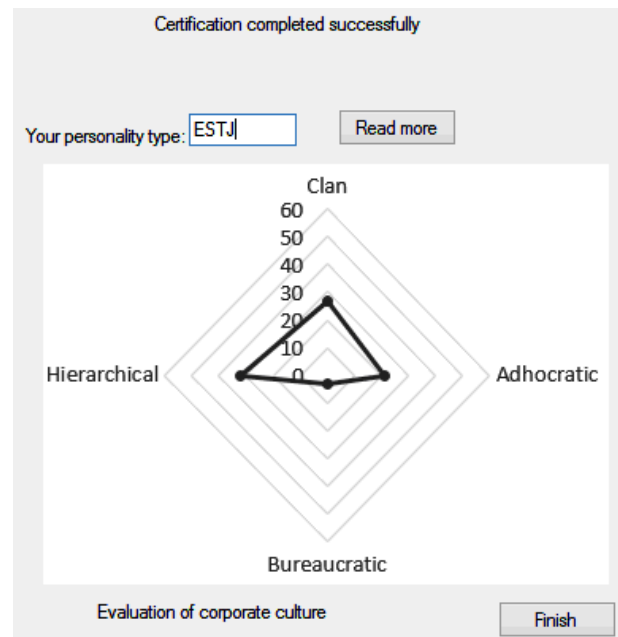


Рисунок 8 – Визначення корпоративної культури

Рисунок 9 – Формування ІТ команди

З усього вищесказаного слід зазначити головне: нова форма організації та управління можуть з'явитися тільки тоді, коли зміниться сама культура, зміняться уявлення, переконання, цінності, правила.

Однак спроби змінити сформовану культуру будь-якого підприємства – це досить складне завдання, подібно до «культурної революції».

«Створення нової корпоративної культури – це не просто винахід нових гасел або призначення нового керівника, це створення абсолютно нового способу життя» [2].

І ніякі методи, і техніки «культурного перевороту» тут не допоможуть, якщо не усвідомлювати, наскільки складно влаштована організаційна культура і яка її природа. Для цього буде потрібно створення зрозумілих усім і розділяються всіма системи нових змістів.

Результати роботи також відображають сучасну тенденцію про формування нового типу робітника «робітник знань» [12]. Особливо ця тенденція помітна при формування ІТ команд.

Список литературы

1. Григорьева, Н.Н. *Управление работой проектных команд*. Москва: МИЭМП, 2007. 36 с.
2. Котлер Ф. *Основы маркетинга*. Москва: Вильямс, 2007. 656 с.
3. Веснин В.Р. *Основы менеджмента: учебник*. Москва: Проспект, 2014. 320 с.
4. Мескон М. Х., Альберт М., Хедоури Ф. *Основы менеджмента*. Москва: Дело, 1997. 704 с.
5. Томпсон А. А., Стрикленд А.Дж. *Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии*. Москва: Банки и биржи, Юнити, 1998. 576 с.
6. Соломанидина Т. О. *Организационная культура компании: Учеб. пособие*. Москва: Инфра-М, 2011. 624 с.
7. Шейн Э. *Организационная культура и лидерство*. Санкт Петербург: Питер, 2002. 336 с.
8. Масилова М. Г. *Организационная культура вуза: нетрадиционные подходы к восприятию и изучению. Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*. Владивосток. 2015. № 1. С. 52–57.
9. Ким С. Камерон, Роберт Э. Куинн. *Диагностика и изменение организационной культуры*. Санкт Петербург: Питер, 2001. 320 с.
10. Юнг К.Г. *Психологические типы*. Санкт Петербург: Азбука, 2001. 288 с.

11. Изабель Бриггс-Майерс. *Введение в типологию*. Киев: Европейское издание. 2014. 23 с.
12. Питер Друкер. *Эффективное управление предприятием*. Москва: William Collins, 2018. 224 с.

References (transliterated)

1. Grigoreva N.N. *Upravlenie rabotoj proektnyh komand*. [Project team work management]. Moscow, MIEMP Publ., 2007. 36 p.
2. Kotler F. *Osnovy marketinga* [Marketing Essentials]. Moscow, Williams Publ., 2007. 656 p.
3. Vesnin V.R. *Osnovy menedzhmenta: uchebnik* [Fundamentals of management]. Moscow, Prospect Publ., 2014. 320 p.
4. Meskon M.H., Albert M., Hedouri F. *Osnovy menedzhmenta*. [Fundamentals of Management]. Moscow, Delo Publ., 1997. 704 p.
5. Thompson, A.A., Strickland, A.J. *Strategicheskij menedzhment. Iskustvo razrabotki i realizacii strategii* [Strategic management. The art of developing and implementing strategies]. Moscow, Banks and stock exchanges, Unity Publ., 1998. 576 p.
6. Solomanidina T. O. *Organizacionnaya kultura kompanii: Ucheb. posobie* [Organizational company culture]. Moscow, Infra-M Publ., 2011. 624 p.
7. Shane E. *Organizacionnaya kultura i liderstvo* [Organizational culture and leadership]. Saint Petersburg, Peter Publ., 2002. 336 p.
8. Masilova M.G. *Organizacionnaya kultura vuza: netradicionnye podhody k vospriyatiju i izucheniju* [Organizational culture of the university: non-traditional approaches to perception and study] Territory of new opportunities. Bulletin of the Vladivostok State University of Economics and Service. Vladivostok, VSU Publ., 2015, no 1, pp. 52–57.
9. Kim S. Cameron, Robert E. Quinn. *Diagnostika i izmenenie organizacionnoj kultury* [Diagnosis and change of organizational culture]. Saint Petersburg, Peter Publ, 2001. 320 p.
10. Jung K.G. *Psihologicheskie tipy* [Psychological types Saint Petersburg, Azbuka Publ, 2001. 288 p.
11. Isabel Briggs Myers. *Vvedenie v tipologiju* [Introduction to typology]. Kyiv, Europeanian Pibl., 1998. 23 p.
12. Peter Druker. *Effektivnoe upravlenie predpriyatim* [Effective enterprise management]. Moscow, William Collins, 2018. 224 p.

Поступила (received) 20.09.19

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Орехов Сергей Валерійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5040-5861>; e-mail: sergey.v.orekhov@gmail.com

Стратієнко Наталія Константинівна – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7925-6687>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua

Малигон Геннадій Васильович – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-2488>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: gmalygon@gmail.com

Орехов Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии та информационных технологий управления; Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5040-5861>; e-mail: sergey.v.orekhov@gmail.com

Стратієнко Наталия Константиновна – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедры программной инженерии та информационных технологий управления; Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7925-6687>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua

Малигон Геннадий Васильевич – аспірант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспірант кафедры программной инженерии та информационных технологий управления; Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-2488>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: gmalygon@gmail.com

Orekhov Sergey Valerievich – PhD, Associate Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnical Institute», Associate Professor of Software Engineering and Management Information Technologies department; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5040-5861>; e-mail: sergey.v.orekhov@gmail.com

Stratienko Nalaliya Konstantinovna – PhD, Professor, National Technical University «Kharkov Polytechnical Institute», Professor of Software Engineering and Management Information Technologies department; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7925-6687>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua

Malyhon Hennadiy Vasilievich – Post graduate, National Technical University «Kharkov Polytechnical Institute», Post graduate of Software Engineering and Management Information Technologies department; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-2488>; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: gmalygon@gmail.com

УДК 378.091.33-027.22

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.05

Д. В. ПРОЧУХАН

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ПІД ЧАС ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО НАВЧАННЯ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ SCRUM

Розглянуто практичний досвід формування професійної комунікативної компетентності студентів Харківського комп'ютерно-технологічного коледжу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» в умовах використання методології Scrum. Застосування зазначеної методології відбулося під час занять з навчальної практики майбутніх техніків-програмістів. Методологію Scrum було успішно інтегровано в проектну-орієнтоване навчання. Власником програмного продукту став керівник практики, який розробив технічне завдання. Під час занять було сформовано міні-групи у складі Scrum-майстра, веб-розробників, тестувальника, які перед початком процесу розробки оцінили кількість необхідних годин на виконання проекту. Студенти розробляли інформаційний сайт протягом місяця. Виконання колективного проекту складалося з чотирьох спринтів тривалістю один тиждень кожний. Під керівництвом Scrum-майстра проводилися нетривалі щоденні наради, на яких кожен учасник розробки доповідав про обсяг виконаної роботи. Здійснювалося коригування і спрямування діяльності команди в єдине русло, виставлення пріоритетів, фокусування на певних видах робіт, своєчасно виявлялися проблеми, поліпшувався командний дух і комунікація в команді. В кінці тижня проводилася годинна нарада під назвою ретроспектива, протягом якої команда звітувала про успіхи і невдачі поточного тижня, обговорювала план дій на наступний тиждень. Аналіз проведеної роботи здійснювався за допомогою Scrum-дошки і відповідних діаграм. Після успішного виконання проектної задачі студентами було проведено презентацію розроблених проектів. Керівник практики виставляв підсумкову оцінку кожній міні-групі. В результаті було сформовано такі риси професійної комунікативної компетентності як вміння використовувати норми ділового спілкування, працювати в команді, налагоджувати сприятливу комунікацію, вміння відстоювати свою думку, обирати власну стратегію спілкування.

Ключові слова: методологія Scrum, професійна компетентність, спринт, ретроспектива, власник продукту, міні-групи.

Д. В. ПРОЧУХАН

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВО ВРЕМЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ SCRUM

Рассмотрен практический опыт формирования профессиональной коммуникативной компетентности студентов Харьковского компьютерно-технологического колледжа Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» в условиях использования методологии Scrum. Применение указанной методологии произошло во время занятий учебной практики будущих техников-программистов. Методология Scrum успешно интегрирована в проектную-ориентированное обучение. Владелец программного продукта стал руководителем практики, который разработал техническое задание. Во время занятий были сформированы мини-группы в составе Scrum-мастера, веб-разработчиков, тестировщика, которые перед началом процесса разработки оценили количество необходимых часов на выполнение проекта. Студенты разрабатывали информационный сайт в течение месяца. Выполнение коллективного проекта состояло из четырех спринтов продолжительностью одна неделя каждый. Под руководством Scrum-мастера проводились непродолжительные ежедневные совещания, на которых каждый участник разработки докладывал об объеме выполненной работы. Осуществлялись корректировки и направление деятельности команды в единое русло, выставление приоритетов, фокусировка на определенных видах работ, своевременно выявлялись проблемы, улучшался командный дух и коммуникация в команде. В конце недели проходило часовое совещание под названием ретроспектива, в течение которого команда докладывала об успехах и неудачах текущей недели, обсуждала план действий на следующую неделю. Анализ проведенной работы осуществлялся с помощью Scrum-доски и соответствующих диаграмм. После успешного выполнения проектного задания студентами была проведена презентация разработанных проектов. Руководитель практики вставлял итоговую оценку каждой мини-группе. В результате были сформированы такие черты профессиональной коммуникативной компетентности как умение использовать нормы делового общения, работать в команде, налаживать благоприятную коммуникацию, умение отстаивать свое мнение, выбирать свою стратегию общения.

Ключевые слова: методология Scrum, профессиональная компетентность, спринт, ретроспектива, владелец продукта, мини-группы.

© Д. В. Прочухан, 2019

D. V. PROCHUKHAN

FORMATION OF PROFESSIONAL COMMUNICATIVE COMPETENCE DURING THE PROJECT-FOCUSED LEARNING IN TERMS OF USING SCRUM METHODOLOGY

The practical experience of formation of professional competence of students of Kharkiv computer-technological college of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" in terms of using Scrum methodology is considered. The application of this methodology took place during the training of future technicians-programmers. The Scrum methodology was successfully integrated into project-based learning. The owner of the software product was the head of practice, who developed the terms of reference. During the lessons, mini-groups were formed consisting of a Scrum master, a web developer, a tester, who before starting the development process estimated the number of hours required to complete the project. Students developed an information website for a month. The group project consisted of four sprints of one week each. Under the leadership of the Scrum master, short daily meetings were held at which each development participant reported on the amount of work performed. Adjustment and direction of the team's activities in a single direction, setting priorities, focusing on certain types of work, timely identified problems, improved team spirit and communication in the team. At the end of the week there was an hour-long meeting called retrospective, during which the team reported on the successes and failures of the current week, discussed the action plan for the next week. The analysis of the work was carried out with the help of the Scrum Board and the corresponding diagrams. At the end of each week, the teacher conducted on going monitoring of the project task, made the necessary comments and suggestions. After the successful completion of the project task, the students had a successful presentation of the developed projects. The head of the practice put the final assessment of each mini-group. As a result, such features of professional communicative competence as the ability to use the norms of business communication, to work in a team, to establish favourable communication, the ability to defend their opinions, to choose their own communication strategy were formed.

Keywords: Scrum methodology, professional competence, sprint, retrospective, product owner, mini-groups.

Вступ. Інформатизація суспільства спричинила бурхливий розвиток ІТ-індустрії. Одним зі шляхів покращення професійної діяльності комп'ютерних фахівців є використання сучасних засобів управління проектами. Методологія Scrum забезпечила організацію ефективного ітеративного процесу розробки в групах зі самоуправлінням. Зважаючи на командний характер виконання проектів, перелік вимог працевдавців до майбутніх фахівців містить не тільки професійні вміння, а й комунікативну компетентність, що передбачає сформовані навички ефективною взаємодії з іншими членами компанії, гнучкість у спілкуванні, організаторські здібності. Наразі актуальним є питання підготовки закладами вищої освіти спеціалістів, що відповідають зазначеним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні і практичні питання ефективності впровадження методології Scrum було розглянуто в роботах Б. Вольфсона [1], Х. Кніберга [2], М. Кона [3], Д. Гріна [4]. За даними звіту Scrum Alliance у 2016 році 21 % проектів, виконаних згідно Scrum, не мали відношення до сфери ІТ [5]. За цією методологією в будівництві було виконано 45 % проектів, в продажах і маркетингу – 31 %, у бухгалтерський обліку – 20 %, у консалтингу – 18 %. К. Хесс в роботі [6] обґрунтувала можливість використання гнучких систем управління проектами в різних сферах життя. Застосування зазначеної методології в освітній діяльності було висвітлено в роботах А. Делхія [7], В. Вейнальда, Г. Грефа. В дослідженні [8] С. Пеха розробив базові принципи, які дозволяють адаптувати Scrum до потреб освітнього процесу. Викладач В. Вейнальдс з Нідерландів успішно застосував зазначену методологію на заняттях хімії в коледжі Ashram. Професор Гарвардської школи бізнесу Г. Такеучі дослідив ефективність роботи студентів створивши «Інноваційну лабораторію», де всі студенти працювали в групах. У. Тарімо розробив концепцію «Computer Supported Scrum Based Agile Pedagogy» (CSAP), яка заснована на Scrum і комп'ютеризації навчального процесу. Т. Яковишина обґрунтувала використання гнучкої методології як чинника модернізації освітнього процесу [9]. В. Тронін досліджував питання впровадження Scrum у закладах вищої

освіти з технічних спеціальностей. Scrum-технологія була ефективно реалізована за допомогою інструментів персоналізованої системи управління навчання Moodle в Національному університеті «Львівська політехніка». А. Чорна дослідила ефективність гнучких методологій в навчанні інженерів-програмістів [10]. Разом і з тим, зважаючи на праці інших вчених, питання використання гнучкої методології Scrum для вдосконалення менеджменту освітнього процесу, підвищення його якості, формування в студентів навичок ефективною взаємодії залишається недостатньо висвітленими. Метою статті є обґрунтування використання зазначеної методології для формування професійної комунікативної компетентності майбутніх техніків-програмістів.

Виклад основного матеріалу. Існуюча освітня система має певні недоліки, що знижують її ефективність у підготовці майбутніх фахівців: відсутність інноваційної методології впровадження новітніх освітніх стандартів, застарілі стратегії управління навчальним процесом, пріоритетність формальних процедур над індивідуальними потребами студентів. Розглянемо використання методології Scrum, в межах якої усуваються зазначені недоліки, а також формується професійна комунікативна компетентність у суб'єктів навчального процесу. Автор погоджується з В. Кругликом, який характеризує комунікативну компетентність як «здатність здійснювати спілкування в умовах професійної діяльності» [11]. Згідно Agile-маніфесту гнучкість і здатність до адаптації в мінливих умовах, змістовна взаємодія між учасниками навчального процесу, розкриття внутрішнього потенціалу особистості студентів, розвиток самоорганізації в групах, вміння делегування іншим певні функції, досягнення високого рівня відповідальності важливіші, ніж виконання формальних процесів [12]. Інноваційність гнучкої методології полягає в тому, що в цій системі відповідальність за навчальний процес передається від педагога до студентів, що призводить до покращення результатів і більш коротких циклів навчання. Студентам надається можливість самостійно формувати освітні орієнтири, брати на себе відповідальність за їх результати. Під час впровадження методології Scrum

учасники навчального процесу повинні дотримуватися наступних принципів: прозорість, перевірка і адаптація. Принцип прозорості полягає в тому, що викладач і студенти досягають під час взаємодії високого рівня відкритості, наочності і зрозумілості. Зазначений принцип необхідний для прийняття студентами правильних рішень і отримання максимального рівня користі для себе. Перевірка потрібна для того, щоб виявити фактори, що перешкоджають процесу навчання. Найбільш ефективна перевірка, що проводиться безпосередньо в аудиторії. Виконання принципу адаптації забезпечує вчасне виявлення відхилень, що можуть привести до неприйняттого результату. Розглянемо впровадження гнучкої методології Scrum у Харківському комп'ютерно-технологічному коледжі Національного технічного Університету «Харківський політехнічний інститут» під час проведення занять з навчальної практики студентів третього курсу спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Під час проходження навчальної практики студенти опановували веб-дизайн, вивчали технології HTML, CSS, Javascript. Майбутнім технікам-програмістам потрібно було виконати проєктне завдання зі створення інформаційного сайту з певного напрямку комп'ютерних наук. Студентам було запропоновано створити ресурс, що містив актуальну інформацію або з синтаксису певної мови програмування (C++, Паскаль, Java, C#, Python), або з використання системи керування базами даних (MySQL, Oracle, Sybase SQL Anywhere, Interbase, Informix, Microsoft SQL Server), або з адміністрування операційної системи (Windows 7/8/10, Linux). Автор, що виконував функції керівника початкової практики, став власником продукту. Викладач виступив у ролі замовника програмного продукту, моделюючи ситуацію, в яку потраплять студенти, працюючи комп'ютерними фахівцями. Перед студентами були поставлені наступні вимоги: створення сайту з адаптивним дизайном, який повинен коректно відображатися на різних типах пристроїв, обов'язкова розробка статичних сторінок з інформацією про розробників та їх контакти, загальні відомості про ресурс, динамічних сторінок з інформацією про обрану предметну галузь, зручний інтерфейс, реєстр контенту і функції пошуку потрібної інформації. Керівник практики здійснював контроль відвідуваності занять, надавав оперативну допомогу при виникненні проблемних ситуацій, оцінював якість розроблених проєктів на кожному етапі розробки. Під час перших двох занять викладачем були висвітлені питання використання методології Scrum в навчальному процесі. Студенти навчалися взаємодіяти в групі, реагувати на зміни, формували вміння розуміти запити власника продукту за допомогою ділових ігор. На третьому занятті відбулося формування міні-груп у кількості 4 студентів для виконання проєктного завдання. За допомогою психометричного тесту було визначено Scrum-майстрів, які під час навчання виконували функції проєктних менеджерів, несли відповідальність за своєчасне виконання завдань проєкту, усунення недоліків, здійснювали моніторинг виконання поточних завдань,

керували плановими нарадами учасників групи, доповідали власнику продукту про проблемні ситуації, пропонували шляхи їх розв'язку. Інші ролі в проєктній команді були розподілені наступним чином: двоє студентів займалися розробкою, а один виконував функції тестувальника. Така організація роботи дозволяє кожному учаснику виявити свої сильні сторони, нівелювавши слабкі. Наступним підготовчим етапом стало визначення людино-годин, необхідних для виконання проєкту. Для розрахунку було застосовано Scrum Poker. За допомогою спеціальних карток студенти визначали ймовірну, на їх думку, тривалість проєкту. Кількість людино-годин обчислювалася як середнє арифметичне значення всіх учасників команди. Якщо певний студент пропонував варіант, що значно відрізнявся від варіантів інших студентів, то він повинен був пояснити свій вибір. Після визначення тривалості проєкту група формувала беклог розробки сайту, що містив всі завдання з урахуванням вимог керівника практики. Учасниками команд було проведено оцінку тривалості кожної задачі. Зважаючи на те, що навчальна практика тривала один місяць, проєктна робота була розділена на 4 спринти тривалістю один тиждень кожний. Під час першого спринту міні-група виконувала такі завдання як створення головної сторінки сайту Другий спринт містив завдання з розробки статичних сторінок. Під час третього спринту команда створювала внутрішні сторінки, а під час четвертого були реалізовані такі функції як пошук на сайті. Беклоги спринтів містили такі завдання як створення горизонтального, вертикального меню, розміщення блоків новин. На кожне завдання була відведена певна кількість людино-годин. Для відображення поточного стану виконання проєкту було використано Scrum-дошку сервісу Trello, що містила 3 стовпчики з наступними назвами: «виконати», «виконується», «виконано». В першому стовпчику розташовувалися завдання спринту. Коли учасник проєктної команди переходив до виконання проєктного завдання, то картка із завданням переміщувалася до стовпчика «виконується». Картка виконаної задачі опинялася в третьому стовпчику «виконано». Якщо у поточному спринті завдання не було виконано, то воно переходило на інший спринт. За допомогою діаграм відслідковувалось кількість людино-годин, які було використано. Якщо проєктна команда не виконувала необхідний обсяг робіт в поточному спринті, то це завдання залишалось у стовпчику «виконується» до наступного спринту, а потім дороблялося групою до кінця. Майбутня оцінка певного студента за результатами проходження навчальної практики залежала від обсягу і складності виконаної роботи. Кожний день відбувалися короточасні наради, протягом яких йшло обговорення результатів роботи. Учасники команди доповідали про виконанні завдання за попередній день і заплановані завдання на поточний день. Під час нарад формувалося вміння спілкуватися, висловлювати власні думки, слухати і чути інших. В кінці кожного спринту відбувалися ретроспективні і оглядові наради. На оглядовій нараді команди доповідали власнику продукту, чому вони навчилися

впродовж останнього спринту, а також звітували про стан виконання завдань поточного беклогу. Відбувався підрахунок кількості виконаних задач, запланованих в беклозі. В доповіді використовувалися такі наочні засоби як презентації, таблиці, графіки. Власник продукту оцінював, чи була досягнена мета спринту, визначена під час планування. Одразу після оглядової наради відбувалися ретроспективні збори, протягом яких відбувався процес пошуку шляхів поліпшення процесу розробки, засобів усунення негативних факторів, що заважають роботі. Впродовж всієї навчальної практики студенти мали можливість виконувати плідну самостійну роботу, користуючись дистанційним курсом, що був створений автором на платформі Moodle [13]. Курс містить необхідні теоретичні і практичні матеріали для опанування веб-дизайну. В системі існують додаткові можливості синхронної і асинхронної взаємодії студентів і викладача, а також студентів між собою. Учасники навчального процесу підвищили свої комунікативні вміння, спілкуючись на форумах і в чаті. Одним з найбільш ефективних засобів комунікації став форум, який дозволив проектній команді обговорювати складні питання створення сайту. Під час останнього етапу навчальної практики студенти показували остаточну версію розробленого сайту власнику продукту. Викладач виставляв підсумкову оцінку кожній групі. Максимальна оцінка, яку могла отримати група з 4 студентів, була 20 балів (кожний студент захистив проект на «відмінно»). Якщо оцінка була нижче, то Scrum-майстер визначав вклад кожного учасника проекту в команду роботу і розподіляв бали згідно обсягу і складності виконаної роботи. Було зроблено порівняльний аналіз успішно виконаних проектів поточного і минулого років. Впровадження методології Scrum призвело до збільшення цього показника на 20 %. Згідно зазначеної методології одним з найважливіших критеріїв для оцінки якості використання проекту є задоволення, отримане студентами під час навчання. Анкетування, проведене серед студентів, показало, що 90 % студентів позитивно сприйняло Scrum.

Перспективи подальших досліджень. Методологія Scrum має великі можливості для використання в таких навчальних дисциплінах як «Розробка клієнт-серверних застосунків», «Технологія створення програмних продуктів», «Конструювання програмного забезпечення». В межах цих дисциплін існує можливість впровадити Scrum під час розробки складних проектних завдань, зберігаючи такі традиційні форми навчання як лекції, лабораторні, практичні роботи. Курсове проектування, що здійснюється в ХКТК НТУ «ХП» під час викладання дисциплін «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Бази даних», «Технології створення програмних продуктів» може бути реалізоване за допомогою гнучкої методології. Під час дипломного проектування також є можливість використати переваги Scrum. Зважаючи на те, що частина студентів проходить практику в ІТ-компаніях, що використовують Scrum в реальних проектах, ці студенти можуть бути долучені до занять, на яких проводиться ознайомлення з принципами гнучкої

методології у якості доповідача, що поділиться своїм досвідом з іншими студентами.

Висновки. В статті розглянуто засоби впровадження методології Scrum в освітній процес ХКТК НТУ «ХП». Обґрунтовано доцільність використання цієї методології для проведення занять з навчальної практики студентів третього курсу. Використання Scrum дозволило підвищити кількість успішно виконаних проектів на 20 %. У студентів було сформовано професійну комунікативну компетентність, що дозволить майбутньому фахівцю бути конкурентоздатним на ринку праці.

Список літератури

1. Вольфсон Б. *Гибкое управление проектами и продуктами*. СПб.: Питер, 2015. 144 с.
2. Kniberg H. *Scrum and XP from the trenches*. InfoQ, 2007. 168 p.
3. Cohn M. *Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum*. Addison-Wesley Prof. Publ., 2009. 504 p.
4. Greene J., Stellman A. *Learning agile: Understanding scrum, XP, lean, and kanban*. Oreilly & Associates Inc., 2014. 448 p.
5. *Scrum Alliance*. URL: <https://www.scrumalliance.org> (дата звернення: 05.09.2019).
6. Hass K. V. *Managing complex projects: a new model*. Management Concepts Inc., 2009. 298 p.
7. Делхий А. *Руководство eduScrum «Правила игры»*. URL: http://eduscrum.nl/file/CKFiles/The_eduScrum_Guide_RU_1.2.pdf. (дата звернення: 05.09.2019).
8. Peha S. *Agile Schools: How Technology Saves Education*. URL: <https://www.infoq.com/articles/agile-schools-education> (дата звернення: 05.09.2019).
9. Яковичина Т. Agile-методологія як чинник модернізації сучасного освітнього простору. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2018. Т. 2, № 19. С. 217–223.
10. Чорна А. В. Agile-методології у процесі навчання інженерів-програмістів. *Інформаційні технології в освіті та науці: збірник наукових праць*. Мелітополь: МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2018. № 10. С. 350–355.
11. Круглик В. С. Структура професійної компетентності майбутнього інженера-програміста. *Педагогічний дискурс: збірник наукових праць*. Хмельницький: ХГПА, 2016. №21. С. 69–75.
12. *A Manifesto for Agile Software Development*. URL: <https://agilemanifesto.org/> (дата звернення: 05.09.2019).
13. Прочухан Д. В. Умови самостійної роботи майбутніх техніків-програмістів під час використання інтерактивних елементів дистанційного курсу. *Теорія і практика управління соціальними системами*. 2019. № 2. С. 85–99.

References (transliterated)

1. Volfson B. *Gibкое управление proektami i produktami* [Flexible project and product management]. St. Petersburg, Piter Publ., 2015. 144 p.
2. Kniberg H. *Scrum and XP from the trenches*. InfoQ Publ., 2007. 168 p.
3. Cohn M. *Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum*. Addison-Wesley Prof. Publ., 2009. 504 p.
4. Greene J., Stellman A. *Learning agile: Understanding scrum, XP, lean, and kanban*. Oreilly & Associates Inc. Publ., 2014. 448 p.
5. *ScrumAllience*. URL: <https://www.scrumalliance.org> (access date: 05.09.2019).
6. Hass K. V. *Managing complex projects: a new model*. Management Concepts Inc. Publ., 2009. 298 p.
7. Delhij A. *Rukovodstvo eduScrum "Pravila igrы"* [Guide eduScrum "Rules of the game"]. URL: http://eduscrum.nl/file/CKFiles/The_eduScrum_Guide_RU_1.2.pdf. (accessed: 05.09.2019).
8. Peha S. *Agile Schools: How Technology Saves Education*. URL: <https://www.infoq.com/articles/agile-schools-education> (accessed: 05.09.2019).
9. Yakovishina T. Agile-metodologiya yak chinnik modernizaciyi suchasnogo osvitnogo prostoru [Agile methodologies in the training

- of software engineers]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk* [Topical issues of the humanities]. 2018, vol. 2, no. 19, pp. 217–223.
10. Chorna A. V. Agile-metodologiyi u procesi navchannya inzheneriv-programisti [Agile methodologies in the training of software engineers]. *Informacijni tehnologiyi v osviti ta nauci: zbirnik naukovih prac* [Information technology in education and science: a collection of scientific papers]. Melitopol, MDPU im. Bogdana Hmel'nyc'kogo Publ., 2018, no. 10, pp. 350–355.
11. Kruglik V. S. Struktura profesijnoyi kompetentnosti majbutnogo inzhenera-programista [Structure of professional competence of the future software engineer]. *Pedagogichnij diskurs: zbirnik naukovih prac* [Pedagogical discourse: a collection of scientific works]. Hmelnickij, HGPA Publ., 2016. No. 21, pp. 69–75.
12. *Manifesto for Agile Software Development*. URL: <https://agilemanifesto.org/> (accessed: 05.09.2019).
13. Prochuhan D. V. Umovi samostijnoyi roboti majbutnih tehnikiv-programistiv pid chas vikoristannya interaktivnih elementiv distancijnogo kursu [Independent working conditions of future technicians-programmers while using interactive elements of the remote course]. *Teoriya i praktika upravlinnya socialnimi sistemami* [The theory and practice of social systems management]. 2019, no. 2, pp. 85–99.

Надійшла (received) 13.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прочухан Дмитро Володимирович – викладач 2 категорії Харківського комп'ютерно-технологічного коледжу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4622-1015>; e-mail: dprochuhan@gmail.com

Прочухан Дмитрій Владимирович – преподаватель 2 категории Харьковского компьютерно-технологического колледжа Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4622-1015>; e-mail: dprochuhan@gmail.com

Prochukhan Dmytro Volodimirovich – category 2 teacher of the Kharkov Computer and Technology College of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"; Kharkov, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4622-1015>; e-mail: dprochuhan@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

УДК 518.5

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.06

О. В. ТОНЦА**МЕТОДИ СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОЛІВ**

Пропонуються конструктивні методи та алгоритми стохастичного моделювання фізико-механічних полів на основі теорії R-функцій та нечіткої логіки, які дозволяють враховувати технічні та технологічні допуски на геометричну та фізичну інформацію, погрешності вимірів, помилки заокруглення, та на основі аналізу їх комплексного впливу на розв'язок робити експертний висновок. При розв'язанні крайових задач математичної фізики та створенні систем дослідження полів різної фізичної природи важливо враховувати технічні та технологічні допуски на геометричну та фізичну інформацію, погрешності виміру фізичних величин та похибки округлення. У зв'язку з цим виникає необхідність розвитку систем розрахунку полів з метою отримання допусків на розв'язок та подальшого експертного висновку.

Обчислювання в існуючих системах розрахунку полів, як правило, мають детермінований характер, а тим часом реальні процеси у певній мірі є стохастичними, містять в собі деяку нечіткість. Для того, щоб врахувати цю нечіткість, доцільно так перетворити існуючу схему дослідження фізичних полів, щоб в результаті багатоваріантного обчислення отримати більш точний «нечіткий» розв'язок, який буде ближче до реальності. Потрібно ввести в схему рішення урахування допусків, тобто джерел нечіткості, що найбільш сильно впливають на результуючий розв'язок. Практика свідчить, що таких джерел, як правило, три: допуски моделі, помилки методу та помилки округлення. Необхідно встановити вплив на розв'язок варіювання цих величин в межах допусків та дослідити можливість побудови допусків на цей розв'язок.

Досліджено зв'язок теорії R-функцій та нечіткої логіки. Доведено, що при необхідному узагальненні законів протиріччя та виключення третього множини функцій нечіткої логіки співпадає з множиною умовних R-функцій. Показано, що функції алгебри логіки є супровідними для умовних R-функцій та множини умовних R-функцій є функціонально замкненою.

На основі результатів досліджень в теорії R-функцій та нечіткій логіці розроблені методи та алгоритми моделювання нечітких областей складної форми. Розроблені нечіткі моделі поля та структури нечітких розв'язків, запропонована методика їх реалізації.

Ключові слова: фізико-механічне поле, крайова задача, теорія R-функцій, нечітка логіка, нечіткість, допуск, розв'язок.

О. В. ТОНЦА**МЕТОДЫ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

Предлагаются конструктивные методы и алгоритмы стохастического моделирования физико-механических полей на основе теории R-функций и нечеткой логики, позволяющие учитывать технические и технологические допуски на геометрическую и физическую информацию, погрешности измерений, ошибки округления и на основе анализа их комплексного воздействия на решение делать экспертное заключение. При решении краевых задач математической физики и создании систем исследования полей различной физической природы важно учитывать технические и технологические допуски на геометрическую и физическую информацию, погрешности измерения физических величин и погрешности округления. В связи с этим возникает необходимость развития систем расчета полей с целью получения допусков на решение и дальнейшего экспертного заключения.

Вычисления в существующих системах расчета полей, как правило, имеют детерминированный характер, а между тем реальные процессы в определенной степени являются стохастическими, содержат в себе некоторую нечеткость. Для того, чтобы учесть эту нечеткость, целесообразно так преобразовать существующую схему исследования физических полей, чтобы в результате многовариантного расчета получить более точное «нечеткое» решение, которое будет ближе к реальности. Нужно ввести в схему решения учета допусков, то есть источников нечеткости, что наиболее сильно влияют на результирующее решение. Практика показывает, что таких источников, как правило, три: допуски модели, ошибки метода и ошибки округления. Необходимо установить влияние на решение варьирования этих величин в пределах допусков и исследовать возможности построения допусков на это решение.

Исследована связь теории R-функций и нечеткой логики. Доказано, что при необходимом обобщении законов противоречия и исключенного третьего множество функций нечеткой логики совпадает с множеством условных R-функций. Показано, что функции алгебры логики являются сопроводительным для условных R-функций и множество условных R-функций является функционально замкнутым.

На основе результатов исследований в теории R-функций и нечеткой логике разработаны методы и алгоритмы моделирования нечетких областей сложной формы. Разработанные нечеткие модели поля и структуры нечетких решений, предложена методика их реализации.

Ключевые слова: физико-механическое поле, крайовая задача, теория R-функций, нечеткая логика, нечеткость, допуск, решение.

О. V. TONITSA**METHODS OF STOCHASTIC MODELING OF PHYSICAL-MECHANICAL FIELDS**

Constructive methods and algorithms of stochastic modeling of physical-mechanical fields are proposed based on the theory of R-functions and fuzzy logic, which allow to take into account technical and technological tolerances for geometric and physical information, measurement errors, rounding errors, and based on the analysis of their complex influence on the development to draw an expert opinion. When solving boundary-value problems of mathematical physics and creating systems for the study of fields of different physical nature, it is important to take into account technical and

© О. В. Тонца, 2019

technological tolerances for geometric and physical information, errors of measurement of physical quantities and errors of rounding. In this regard, there is a need to develop field calculation systems in order to obtain permission for the solution and for further expert judgment.

Calculations in existing field calculation systems tend to be deterministic, but in the meantime, real processes are to some extent stochastic, with some imprecision. In order to take this fuzzy into account, it is advisable to transform the existing scheme of physical field research so that, as a result of multivariate computation, a more accurate "fuzzy" solution will be obtained that is closer to reality. It is necessary to enter into the scheme the decision of tolerance, that is, sources of fuzziness, which have the greatest influence on the resultant decision. Practice shows that there are usually three such sources: model tolerances, method errors, and rounding errors. It is necessary to establish the effect of the solution of variation of these values within the tolerances and to explore the possibility of constructing tolerances for this solution. In this regard, it is of great interest to develop systems for the study of physical and mechanical fields that are oriented towards multivariate solution of boundary value problems to account for the variation of the values under consideration within the specified tolerances.

The relation between the theory of R-functions and fuzzy logic is investigated. It is proved that with the necessary generalization of the laws of contradiction and the exclusion of the third set of functions of fuzzy logic coincides with the set of conditional R-functions. It is shown that functions of logic algebra are concomitant for conditional R-functions and the set of conditional R-functions is functionally closed.

Based on the results of research in the theory of R-functions and fuzzy logic, methods and algorithms for modeling fuzzy domains of complex form have been developed. Fuzzy field models and structures of fuzzy solutions are developed, the method of their realization is offered.

Keywords: physico-mechanical field, boundary value problem, R-functions theory, fuzzy logic, fuzzyness, solution.

Вступ. Існують виробничі задачі, при розв'язанні яких необхідно враховувати і спільно переробляти складну геометричну, логічну та аналітичну інформацію. До таких задач відносяться проблеми математичної фізики, пов'язані з інженерними розрахунками фізико-механічних полів, що визначають основні якісні характеристики виробів. Зростаючий інтерес до розрахунків фізичних полів пояснюється тим, що вони необхідні в теплофізиці, теорії пружності і пластичності, магнітній гідродинаміці та інших галузях науки, досягнення яких мають першорядне значення для науково-технічного прогресу [1, 2]. Дана робота присвячена розвитку інтелектуальних систем дослідження фізичних полів серії «Поле» для врахування технологічних допусків і методичних похибок.

Математичні моделі фізико-механічних полів можуть бути представлені як крайові задачі для рівнянь з частинними похідними при певних крайових умовах. Специфічна особливість поля як об'єкта моделювання – його залежність не тільки від характеру фізичних законів, що враховуються відповідними рівняннями, але і від форми, взаємного розташування тіл, у яких виникають поля, від конфігурації майданчиків їх взаємодії та інших геометричних і фізичних факторів. При дослідженні і вирішенні цих проблем вельми важливо створити ефективні обчислювальні методи, які дозволили б вирішити поставлені завдання і врахувати при цьому геометричну, логічну і аналітичну інформацію. Таку інформацію необхідно приводити до єдиного аналітичного виду, що дозволяє включати її в обчислювальний алгоритм. Особливо актуальною є розробка методів вирішення завдань, які мали б універсальний характер і не вимагали від дослідника глибокого знання теорії. Універсальність дозволяє використовувати методи системного програмування для автоматизації наукових досліджень у математичній фізиці.

До широко відомих універсальних методів відносяться варіаційні та проєкційні методи, які прийнято називати прямими [1]. Їх характерна особливість – зведення крайових задач до систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Наближений розв'язок задачі отримується у вигляді лінійних комбінацій так званих координатних функцій, які задовольняють, якщо це необхідно, крайовим умовам даної задачі, а також вимогам повноти і умов апроксимаційної універсаль-

ності. Побудова координатних функцій, що задовольняють перерахованим умовам для областей практично довільної форми, довгий час залишалася проблематичною. Розглянути це питання з загальних позицій вдалося після створення конструктивного математичного апарату теорії R-функцій [1, 2], який дозволив отримати рішення відповідної математичної задачі у вигляді формули, яку називають структурою рішення і яка містить явну залежність від геометричних і фізичних параметрів. Теоретичні результати, що були отримані, використовувалися при створенні сучасної технології програмування в математичній фізиці, реалізації проблемно-орієнтованих мов і спеціалізованих систем серії "Поле". Користувачі останніх вказують формулювання завдання, вихідні дані, необхідну форму видачі результатів на мові високого рівня, який максимально наближений до загальноприйнятої мови опису постановки задачі і алгоритму її розв'язання. За завданням користувача система "Поле" створює обчислювальну схему, а потім автоматично синтезує робочу програму розв'язання задачі. Досвід застосування проблемно-орієнтованих мов і спеціалізованих систем серії «Поле» показує, що вони істотно спрощують і прискорюють найбільш трудомісткі етапи обчислювальних експериментів: програмування і налагодження модулів, розв'язання задач і аналіз результатів.

При конструюванні на аналітичному рівні розв'язків крайових задач для складних областей зі складним характером умов застосовується метод R-функцій в поєднанні з варіаційними і проєкційними методами. Завдяки тому, що метод R-функцій дозволяє автоматизувати процес перетворення геометричної інформації в аналітичну, результат розв'язання крайової задачі можна розглядати як деяке співвідношення, яке включає всю інформацію про крайову задачу. Однак застосування операцій диференціювання робить такі співвідношення досить громіздкими, важко доступними для огляду і незручними в зверненні. Їх використання при вирішенні крайової задачі неможливе без спеціального апарату формалізації, що дозволяє звести алгоритм розв'язання до послідовності простих операцій. Складні математичні об'єкти об'єднуються засобами алгебри диференціальних кортежів [2], а потім застосовуються звичайні алгебраїчні методи перетворення цих співвідношень.

При розв'язанні крайових задач математичної фізики використовується традиційна схема реалізації прямих методів, яка зводиться до послідовного виконання наступних етапів: облік геометричної інформації; формування розв'язуючих систем лінійних алгебраїчних рівнянь; рішення систем рівнянь або проблеми власних чисел і векторів; обробка результатів обчислень.

Системи серії «Поле» є складними комплексами програм, призначеними для програмування і розв'язання крайових задач, сформульованих для рівнянь з частинними похідними при довільних крайових умовах та складній геометрії області. Організаційно дані системи складаються з двох частин – функціонального і системного наповнення. Інструментальна система «Поле» може бути використана для дослідження і розв'язання крайових задач математичної фізики. Проблемною орієнтацією служить розв'язання крайових задач для диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами без обмежень на характер крайових і початкових умов, форму області та ділянок границі. Вхідні мови системи «Поле» дозволяють вводити всю необхідну інформацію про крайові задачі математичної фізики.

В наш час автоматизація програмування в галузі математичної фізики досягла значного прогресу. Ефект від використання проблемно-орієнтованих мов і спеціалізованих систем полягає в скороченні часу вирішення багатьох науково-технічних завдань, а також у створенні бази для переходу до індустріальних методів і нової технології програмування. Такі мови і системи є інструментальною базою для проведення обчислювальних експериментів, що звільняє математиків і інженерів від рутинної і не відповідної до їх спеціальності роботи по складанню й налагодженню громіздких програм. Для проведення обчислювальних експериментів в галузі математичної фізики в багатьох випадках необхідне глибоке вивчення модельованого процесу або явища, пізнання законів природи, процесів і їх проявів у складній взаємодії. Крім того, при розв'язанні задач математичної фізики доводиться враховувати питання збіжності, стійкості обчислювального процесу, точності обчислень, ефективності застосовуваних методів і т. ін. Ці обставини створюють додаткові труднощі при розробці математичного забезпечення для розв'язання задач математичної фізики. За допомогою системи «Поле» вирішено багато науково-технічних та інженерних задач. Наприклад, проведені розрахунок і оптимізація різних конструкцій, для яких визначаються основні якісні характеристики (міцність, добротність, довговічність, надійність і т. ін.). При розв'язанні таких складних завдань виникає необхідність в проведенні все більш тонких розрахунків температурних, деформаційних, силових та інших фізико-механічних полів з урахуванням різних факторів фізичного і геометричного характеру [6–10].

Для розв'язання приведених завдань використовуються методи і конструктивні засоби теорії R-функцій, що дозволяють з єдиних позицій вирішувати питання обліку і спільної переробки складної геометричної,

логічної та аналітичної інформації, а також системи серії «Поле», характерною особливістю яких є можливість явного завдання на проблемно-орієнтованій мові необхідних фізичних і геометричних параметрів. Це дозволяє проводити різноманітні обчислювальні експерименти, переходити від рішення однієї задачі до іншої, змінюючи при цьому форму розглянутих об'єктів і різні фізичні та математичні параметри. Аналізуючи методи теорії R-функцій і її програмне забезпечення, слід зазначити, що вони представляють собою досить ефективну сукупність засобів для проведення обчислювальних експериментів з розрахунку різних фізико-механічних полів в об'єктах складної форми. Різні тестові приклади, порівняння результатів з точними рішеннями, узгодження рішень реальних завдань з даними фізичних експериментів підтверджують достовірність результатів і свідчать про доцільність застосування описаних програмних і мовних засобів для інженерних розрахунків. Основний напрям розвитку теорії R-функцій пов'язаний зі створенням нових, більш простих і ефективних конструктивних засобів і з розширенням предметної області системи «Поле» [11, 12].

Математична постановка задачі. Розглянемо підходи до вдосконалення систем аналізу фізичних полів. При побудові систем дослідження задач розрахунку полів важливим є облік стохастичного характеру похибок вимірювань, допусків на геометричну та фізичну інформацію і помилок округлення. У зв'язку з цим виникає необхідність у розвитку існуючих систем розрахунку полів для різноманітних завдань з метою отримати допуски на рішення і подальший експертний висновок. Обчислення в системах розрахунку полів, як правило, носять детермінований характер, в той час як реальні процеси в певній мірі є стохастичними, містять в собі деяку нечіткість. Для обліку останньої потрібно так перетворити існуючу схему дослідження фізичних полів, щоб в результаті багатоваріантного розрахунку отримати більш точне «нечітке» рішення, яке буде ближче до реальності. Доцільно ввести в схему розв'язання облік допусків, тобто джерел нечіткості, що найбільш сильно впливають на результуюче рішення. Практика показує, що таких джерел, як правило, три: допуски моделі (на геометричні та фізичні характеристики), помилки методу («усічення» ряду, помилки інтегрування, рішення систем лінійних рівнянь) і похибки округлення [3]. Необхідно встановити комплексний вплив варіювання величин в межах допусків і досліджувати можливості побудови допусків на розв'язок. У зв'язку з цим великий інтерес представляє розробка систем дослідження полів, орієнтованих на різноманітне розв'язання крайових задач з метою врахування варіювання певних величин в межах заданих допусків.

Для розробки нечітких структурних формул рішення нечітких крайових задач необхідно визначити відповідні ізоморфізми в теоріях R-функцій та нечіткої логіки. Необхідно досліджувати в побудованих функціональних множинах питання функціональної замкнутості, повноти (побудови повних систем

функцій), аналітичних уявлень функцій і їх тотожних перетворень.

В результаті досліджень, що були проведені, встановлено зв'язок нечіткої логіки і теорії R-функцій [4]. У нечіткій логіці виконуються всі закони алгебри двозначної логіки, крім закону виключення третього ($x \vee \bar{x} \equiv 1$) і закону суперечності ($x \wedge \bar{x} \equiv 0$). Дослідження показали, що ці закони можна доповнити.

Доповнимо систему тотожностей нечіткої логіки узагальненими законами виключення третього та суперечності:

$$x \vee \bar{x} = \frac{1}{2} + \left| x - \frac{1}{2} \right|;$$

$$x \wedge \bar{x} = \frac{1}{2} - \left| x - \frac{1}{2} \right|,$$

де $\frac{1}{2}$ – центр множини $[0, 1]$.

Тоді будуть мати місце наступні твердження:

Твердження 1. Функції нечіткої логіки є умовними R-функціями на відрізку $[0, 1]$, відповідно до розбиття: $\left[0; \frac{1}{2}\right), \left(\frac{1}{2}; 1\right]$ та $\left[0; \frac{1}{2}\right), \left(\frac{1}{2}; 1\right]$ у тризначному та двозначному випадках.

Наведені функції є умовними R-функціями, оскільки мають властивості R-функцій тільки на деякому відрізку числової осі, зокрема, на відрізку $[0, 1]$.

Твердження 2. Функції алгебри логіки є супроводжуючими для умовних R-функцій, тобто для функцій нечіткої логіки.

Доведено наступні теореми.

Теорема 1. Множина $\{R[0,1]\}$ умовних R-функцій є функціонально замкненою.

Теорема 2. Система R-функцій

$$x_1 \wedge_1 x_2 \equiv \frac{1}{2}(x_1 + x_2 - |x_1 - x_2|)$$

$$x_1 \vee_1 x_2 \equiv \frac{1}{2}(x_1 + x_2 + |x_1 - x_2|)$$

$$\bar{x} = 1 - x$$

є достатньо повною на множині $\{R[0,1]\}$ умовних R-функцій.

Для ілюстрації нечіткості реальної задачі моделювання розглянемо задачу Діріхле для диференціального рівняння загального вигляду. Нехай задані область D і крайові умови з урахуванням допусків:

$$Au = f;$$

$$U|_{\Gamma_i} = \varphi_i^* \Leftrightarrow \varphi \pm \Delta_\varphi;$$

$$D \Leftrightarrow D \pm \Delta_D$$

Змінюючи допуски на геометрію і крайові умови в заданих межах, отримуємо допуски на U , яким має задовольняти розв'язок реальної крайової задачі. Запропонована методика моделювання для завдання аналізу включає в себе наступні етапи: формування допусків на розв'язок; розв'язання реальної крайової

задачі; формування експертного висновку про прийнятність знайденого розв'язку.

Математична модель і методи розв'язання задачі. Розглянемо модель фізичного поля, наприклад задачу Діріхле [1]. Чітку модель поля будемо позначати через m :

$$Au = f;$$

$$U|_{\Gamma_i} = \varphi_i;$$

$$D$$

Її рішення структурним методом буде у вигляді

$$U_n = \sum_{i=1}^n C_i \omega P_i + \Psi,$$

де ω – аналітичний опис області D ;

Ψ – функція, що продовжує крайові умови всередину області;

C_i – невизначені коефіцієнти.

Відповідно до описаних вище джерел нечіткості побудуємо нечітку модель поля [4]:

$$Au = f;$$

$$U|_{\Gamma_i} = \varphi_i \Leftrightarrow (\varphi \pm \Delta_\varphi, \mu_{\varphi^*}(\varphi^m));$$

$$D \Leftrightarrow D \pm \Delta_D, \mu_{D^*}(D^*),$$

яку будемо позначати через M . Для виборки $\{m\} \subset M$ необхідно отримати нечіткий розв'язок.

$$U_n^* = \sum_{i=1}^n C_i \omega^m P_i + \Psi_i(\varphi_i), \mu_{U_n^*}(U_n^m).$$

Через M_1 позначимо модель, що враховує варіювання фізичних величин в межах заданих допусків, а через M_2 – модель, що враховує варіювання геометричних характеристик.

Модель M_1 буде мати вигляд

$$Au = f;$$

$$U|_{\Gamma_i} = \varphi_i \Leftrightarrow (\varphi \pm \Delta_\varphi, \mu_{\varphi^*}(\varphi^m), M(x), D(x), f(x));$$

$$D.$$

Модель M_2 буде виглядати наступним чином:

$$Au = f;$$

$$U|_{\Gamma_i} = \varphi;$$

$$D \Leftrightarrow (D \pm \Delta_D, \mu_{D^*}(D), M(x), D(x), f(x)),$$

де $M(x)$ – математичне очікування,

$D(x)$ – дисперсія,

$f(x)$ – закон розподілу величини в межах допусків.

Помилка в величині параметрів має випадкову природу і обумовлена великою кількістю випадкових факторів. Внаслідок цього можна вважати, що досліджувані величини нормально розподілені [3, 4]. Для вирішення завдання потрібно побудувати стохастичну структуру, процес отримання заданого допуску в якій буде безперервним і стохастичним. Необхідно побудувати стохастичну дискретну апроксимацію, яка буде в границі наближатися до безперервної стохастичною.

Отримуємо нечіткий розв'язок

$$\tilde{U}_n^* = \sum_{i=1}^n \tilde{C}_i \omega^m P_i + \tilde{\Psi}_i(\varphi_i), D(x), \mu_{U_n^*}(U_n^*),$$

де $D(x)$ – дисперсія випадкової величини.

$$D(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i,$$

де m_x – математичне очікування,
 p_i – ймовірність події x_i .

При розв'язанні задачі, що представлена моделлю M_1 , отримаємо ряд систем рівнянь, що відрізняються стовпцем вільних членів. Тому необхідно використовувати метод Гауса для розв'язання рівнянь з кількома правими частинами. При розв'язанні задачі, представленою моделлю M_2 , отримаємо сукупність різних крайових задач. Для підвищення швидкодії процесу їх розв'язання доцільно використовувати розпаралелювання за завданнями [5].

Розглянемо питання формування вибірки та інтервального розв'язку. Як правило, розмитість описується нормальним законом розподілу, де Δ – деякий інтервал довіри. Генеруючи в межах інтервалу довіри випадкові послідовності, формуємо вибірку. Для моделі M_1 генеруємо випадкові послідовності на крайові умови, для M_2 – на геометрію. В результаті реалізації вибірки отримуємо розв'язок, що шукається. Інтервальный розв'язок в дискретному вигляді отримуємо наступним чином. Сканоючи нечітку область D і табулюючи U_n в кожному вузлі деякої дискретної сітки, знаходимо математичне очікування, дисперсію і інтервал довіри. Нечіткість визначається математичним очікуванням і інтервалом довіри.

Опишемо формування вибірки для задачі синтезу і напрацювання допусків на геометрію. В цьому випадку характеристики розв'язку і їх допуски вже задані. Задаємо нижні границі значень функції належності і ймовірності довіри, а також послідовність допусків для геометрії, серед яких повинен міститися допуск, що шукається. Послідовно знаходячи розв'язок для кожного елемента вибірки, перевіряємо значення функції належності. Потім по значенням функції належності для вибірки і заданому значенню довірчої ймовірності оцінюємо прийнятність допуску. Останній інтервал, для якого умови прийнятності допуску будуть виконуватися, є довірчим інтервалом, що шукався.

Функцію належності поточної області по відношенню до еталонної знаходимо за допомогою обчислення поверхневого інтеграла по області, що

досліджується. При розв'язанні задачі, представленою моделлю M_1 , отримаємо сукупність систем рівнянь, що відрізняються стовпцем вільних членів. Тому необхідно використовувати метод Гауса для вирішення рівнянь з кількома правими частинами. При розв'язанні задачі, представленою моделлю M_2 , отримаємо декілька різних систем рівнянь. Для підвищення швидкодії процесу їх розв'язання доцільно використовувати розпаралелювання за завданнями.

Висновки. Запропоновані методи і алгоритми та програмне забезпечення, що розроблене, дозволяє враховувати допуски на фізичну і геометричну інформацію при моделюванні фізико-механічні полів.

Список літератури

1. Рвачев В. Л. *Теория R-функций и некоторые ее приложения*. Киев: Наук. думка, 1982. 550 с.
2. Рвачев В. Л., Шевченко А. Н. *Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов*. Киев: Техника, 1988. 199 с.
3. Шевченко А. Н., Тоница О. В. Моделирование физических полей с использованием теории R-функций и нечеткой логики. *Методы оптимизации технических и информационных систем: Сб. науч. тр.* Киев: НАН Украины. Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. 1995. № 1. С. 64–67.
4. Шевченко А. Н., Тоница О. В. Моделирование геометрических объектов в системах анализа физических полей. *Проблемы бионики*. Харьков: ХНУРЕ. 1998. № 49. С. 130–134.
5. Тоница О. В. Разработка структур решения нечетких краевых задач. *Материалы сьомої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Простір і час сучасної науки». Частина 4*. Київ: Меганом, 2011. С. 28–30.
6. Максименко-Шейко К. В., Шейко Т. И. R-функции в математическом моделировании геометрических объектов, обладающих симметрией. *Кибернетика и системный анализ*. Киев: НАН Украины, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. 2008. Т. 44, № 6. С. 75–82.
7. Sheyko Tatyana I., Maksymenko-Sheiko Kyrylo V., Morozova Anna I. Screw-type symmetry in machine components and design at implementation on a 3D printer. *Journal of Mechanic Engineering*. 2019. Vol. 22, no. 1. P. 60–66.
8. Maksymenko-Sheiko K. V., Litvinova Yu. S., Sheyko T. I., T. I. Sheyko. Mathematical simulation of heat transfer during fluid flow for a fuel element with a polyzonal finned shell. *Journal of Mechanic Engineering*. 2017. Vol. 20, no. 4. P. 58–63.
9. Sheyko T. I., Maksymenko-Sheiko K. V., Litvinova Yu. S., Lisin D. A. R-functions and chevron surfaces in mechanical engineering. *Journal of Mechanic Engineering*. 2017. Vol. 20, no. 2. P. 54–60.
10. Litvinova Yu. S., Maksymenko-Sheiko K. V., Sheyko T. I. Analytical identification of three-dimensional geometric object according to the information about the shape of their sections. *Journal of Mechanic Engineering*. 2017. Vol. 20, no. 1. P. 45–51.
11. Maksymenko-Sheiko K. V., Sheyko T. I. Mathematical Modeling of the Thermal Modes of Electronic Boards With Sources Located According to the Scheme of Sierpinski Carpet. *Journal of Mathematical Sciences*. 2013. Vol. 194, issue 3. P. 330–339.
12. Maksymenko-Sheiko K. V., Sheyko T. I. Mathematical modeling of geometric fractals using R-functions. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2012. Vol. 48, issue 4. P. 614–620

References (transliterated)

1. Rvachev V. L. *Teoriya R-funkcij i nekotorye ee prilozhenija* [Theory of R-functions and some of its applications]. Kiev: Nauk. dumka Publ., 1982. 550 p.
2. Rvachev V. L., Shevchenko A. N. *Problemno orientirovannye jazyki i sistemy dlja inzhenernyh raschetov* [Problem-oriented languages and systems for engineering calculations]. Kiev: Tehnika Publ., 1988. 199 p.
3. Shevchenko A. N., Tonica O. V. Modelirovanie fizicheskikh polej s ispol'zovaniem teorii R-funkcij i nechetkoj logiki [Modeling physical

- fields using the theory of R functions and fuzzy logic.]. *Metody optimizacii tehniceskikh i informacii sistem: Sb. nauch. tr.* Kiev, NAS of Ukraine. VM Glushkov Institute of Cybernetics Publ., 1995, no. 1, pp. 64–67.
4. Shevchenko A. N., Tonica O. V. Modelirovanie geometricheskikh ob'ektov v sistemah analiza fizicheskikh polej [Modeling geometric objects in physical field analysis systems]. *Problemy bioniki*. Kharkov: NURE Publ., 1998, no. 49, pp. 130–134.
 5. Tonica O. V. Razrabotka struktur reshenija nechjotkih kraevykh zadach [Development of structures for solving fuzzy boundary value problems]. *Materialy s'omoyi mizhnarodnoyi naukovo praktychnoyi internet konferentsiyi «Prostir i chas suchasnoyi nauky». Chastyna 4 [Proceedings of the Seventh International Scientific and Practical Internet Conference "Space and Time of Modern Science". Part 4]*. Kiev: Meganom Publ., 2011, pp. 28–30.
 6. Maksymenko-Shejko K. V., Shejko T. I. R-funkcii v matematicheskom modelirovanii geometricheskikh ob'ektov, obladajushchih simmetrijei [R-functions in mathematical modeling of geometric objects with symmetry]. *Kibernetika i sistemnyj analiz*. Kiev: NAS of Ukraine. VM Glushkov Institute of Cybernetics Publ., 2008, vol. 44, no. 6, pp. 75–82.
 7. Shejko Tatyana I., Maksymenko-Sheiko Kyrylo V., Morozova Anna I. Screw-type symmetry in machine components and design at implementation on a 3D printer. *Journal of Mechanic Engineering*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 60–66.
 8. Maksymenko-Sheiko K. V., Litvinova Yu. S., Shejko T. I., Shejko T. I. Mathematical simulation of heat transfer during fluid flow for a fuel element with a polyzonal finned shell. *Journal of Mechanic Engineering*, 2017, vol. 20, no. 4, pp. 58–63.
 9. Shejko T. I., Maksymenko-Sheiko K. V., Litvinova Yu. S., Lisin D. A. R-functions and chevron surfaces in mechanical engineering. *Journal of Mechanic Engineering*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 54–60.
 10. Litvinova Yu. S., Maksymenko-Sheiko K. V., Shejko T. I. Analytical identification of three-dimensional geometric object according to the information about the shape of their sections. *Journal of Mechanic Engineering*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 45–51.
 11. Maksymenko-Shejko K. V., Shejko T. I. Mathematical Modeling of the Thermal Modes of Electronic Boards With Sources Located According to the Scheme of Sierpinski Carpet. *Journal of Mathematical Sciences*, 2013, vol. 194, issue 3, pp. 330–339.
 12. Maksymenko-Shejko K. V., Shejko T. I. Mathematical modeling of geometric fractals using R-functions. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2012, vol. 48, issue 4, pp. 614–620

Надійшла (received) 04.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тоніца Олег Владимирович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних; м. Харків, Україна; e-mail: tonitsa.kmmm@gmail.com

Тоніца Олег Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный технический университет «Харковский политехнический институт», доцент кафедры компьютерной математики и анализа данных; г. Харьков, Украина; e-mail: tonitsa.kmmm@gmail.com

Tonica Oleg Vladimirovych – Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institut", Associate Professor in Department of Computer Mathematics and data analysis; Kharkiv, Ukraine; e-mail: tonitsa.kmmm@gmail.com

УДК 519.2

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.07

В. Л. ЛИСИЦКИЙ, В. С. МЕЖИРИЦКИЙ**МОДЕЛИ СБАЛАНСИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВХОДНЫХ, ВЫХОДНЫХ ПОТОКОВ ПРОДУКТОВ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕРРИТОРИИ**

В работе рассматриваются вопросы повышения эффективности функционирования предприятий аграрной сферы за счет снижения их убытков путем создания интегрированного комплекса моделей сбалансированного планирования входных и выходных потоков продуктов растениеводства логистической системы территории, способной доставлять товар до требуемого места территории, в требуемый момент времени, в требуемом количестве и форме. Объектом сбалансированного планирования является аграрная холдинговая компания, производящая продукты растениеводства для снабжения ими потребителей заданной территории. Задача планирования состоит в определении такого сбалансированного плана обеспечения потребностей потребителей территории в комплексах продуктов растениеводства, при котором в условиях существующей логистической системы территории, действующих ограничений обеспечивается максимальная прибыль агрохолдинга. Построен комплекс моделей потребления, производства, транспортировки комплексов продуктов растениеводства, интегрированных в алгоритмическую модель сбалансированного планирования. Построенная алгоритмическая модель определяет совокупность процедур сбора, хранения, обработки, представления данных с использованием эффективных методов. Может служить теоретической основой для создания информационной технологии сбалансированного планирования входных, выходных потоков продуктов логистической системы территории.

Ключевые слова: модели сбалансированного планирования, входные, выходные потоки продуктов, логистическая система территории, потребители, производители продуктов растениеводства, интегрированный комплекс моделей, информационная технология планирования.

© Л. В. Лисицкий, В. С. Межирицкий, 2019

В. Л. ЛИСИЦЬКИЙ, В. С. МЕЖИРИЦЬКИЙ

МОДЕЛІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПЛАНУВАННЯ ВХІДНИХ, ВИХІДНИХ ПОТОКІВ ПРОДУКТІВ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТЕРИТОРІЇ

У роботі розглядаються питання підвищення ефективності функціонування підприємств аграрної сфери за рахунок зниження їх збитків шляхом створення інтегрованого комплексу моделей збалансованого планування вхідних і вихідних потоків продуктів рослинництва логістичної системи території, здатної доставляти товар до необхідного місця території, в необхідний момент часу, в необхідній кількості і формі. Об'єктом збалансованого планування є аграрна холдингова компанія, що виробляє продукти рослинництва для постачання ними споживачів заданої території. Завдання планування полягає у визначенні такого збалансованого плану забезпечення потреб споживачів території в комплексах продуктів рослинництва, при якому в умовах існуючої логістичної системи території, діючих обмежень забезпечується максимальна прибуток агрохолдингу. Побудований комплекс моделей споживання, виробництва, транспортування комплектів продуктів рослинництва, інтегрованих в алгоритмічну модель збалансованого планування. Побудована алгоритмічна модель визначає сукупність процедур збору, зберігання, обробки, представлення даних з використанням ефективних методів. Може слугувати теоретичною основою для створення інформаційної технології збалансованого планування вхідних, вихідних потоків продуктів логістичної системи території.

Ключові слова: моделі збалансованого планування, вхідні, вихідні потоки продуктів, логістична система території, споживачі, виробники продуктів рослинництва, інтегрований комплекс моделей, інформаційна технологія планування.

V. L. LYSYTSKYI, V. S. MEZHRYTSKYI

MODELS OF BALANCED PLANNING OF INPUT AND OUTPUT FLOWS OF PRODUCTS OF THE LOGISTICS SYSTEM OF THE TERRITORY

The paper considers issues of improving the functioning of agricultural enterprises by reducing their losses by creating an integrated set of models for balanced planning of input and output flows of crop products of the logistics system of the territory, capable of delivering goods to the desired place in the territory, at the right time, in the required quantity and form. The object of balanced planning is an agricultural holding company that produces crop products to supply them to consumers of a given territory. The planning task is to determine such a balanced plan to meet the needs of the territory's consumers in sets of crop products, in which the maximum profit of the agricultural holding is ensured under the existing logistics system of the territory and the existing restrictions. A complex of models of consumption, production, transportation of sets of crop products integrated in the algorithmic model of balanced planning is built. The constructed algorithmic model defines a set of procedures for collecting, storing, processing, presenting data using effective methods. It can serve as a theoretical basis for the creation of information technology for the balanced planning of input and output flows of the products of the territory's logistics system.

Keywords: balanced planning models, input, output flows of products, the logistics system of the territory, consumers, producers of crop products, an integrated set of models, information technology planning.

Введение. На современном этапе развития экономики Украины предприятия аграрной сферы, функционируют в условиях высокого уровня рисков, отсутствия развитой инфраструктуры рынка сельскохозяйственной продукции. Сложившиеся условия развития бизнеса в аграрной сфере, связанные с высокой динамичностью внешней среды предприятий, усложнением конкуренции стремительным развитием информационных технологий (ИТ), глобализацией бизнеса актуализируют стратегические аспекты управления функционированием и развития предприятий. Стратегическое управление помогает осознанно выбирать стратегию развития, соизмерять свой потенциал с реальностью, учитывать действующие ограничения, диктуемые как внешней, так и внутренней средой предприятия.

Отечественная и мировая практика показывает, что большинство предприятий аграрной сферы терпят большие убытки только потому, что не предусмотрели или неправильно спрогнозировали изменения внешней среды, не оценили свои внутренние возможности, ошиблись в выборе стратегии развития. В связи с этим научные исследования, связанные с снижением убытков за счёт учёта динамики конъюнктуры рынков сельскохозяйственной продукции, эффективного использования логистической системы территории (ЛСТ) являются актуальными, представляют несомненный практический интерес. Потому целью данной работы является повышение эффективности функционирования предприятий аграрной сферы за счёт снижения их убытков путём создания интегрированного комплекса моделей сбалансированного планирования входных и выходных потоков продуктов растениеводства ЛСТ, способной доставлять товар до требуемого места

территории, в требуемый момент времени, в требуемом количестве и форме.

Постановка задачи. Объектом сбалансированного планирования является аграрная холдинговая компания (АХК), производящая продукты растениеводства для снабжения ими потребителей (населённых пунктов) заданной территории. АХК является элементом территории, владеет пакетом акций множества $DP = \{DP_j\}$ других предприятий DP_j с целью осуществления по отношению к ним функций контроля и управления. АХК поставяет продукты растениеводства потребителям комплектами $e = \{e_1, \dots, e_r\}$, отражающими структуру потребления населением территории продуктов растениеводства. e_i – вес i -го продукта в комплекте. Вес комплекта равен 1 тонне. Продукты комплекта удовлетворяют требованиям населения до их качества. Комплекты хранятся на множестве $Sk = \{Sk_i\}$ складов Sk_i . Множество $PO = \{PO_s\}$ потребителей продуктов растениеводства определяется множеством населённых пунктов территории.

Известны координаты всех $Sk_i \in Sk$ и всех $PO_s \in PO$, статистическая информация о спросе каждого $PO_s \in PO$ на комплекты продуктов растениеводства, транспортных издержках на каждом этапе логистической цепи поставок на один комплект продуктов растениеводства АХК имеет ограниченные ресурсы (природные, трудовые, информационные, капитал), владеет конечным множеством технологий использования существующей ЛСТ, необходимых для доставки комплектов продуктов растениеводства на все склады $PO_s \in PO$. На рис. 1 представлена общая схема взаимодействия АХК с потребителями продуктов растениеводства территории.

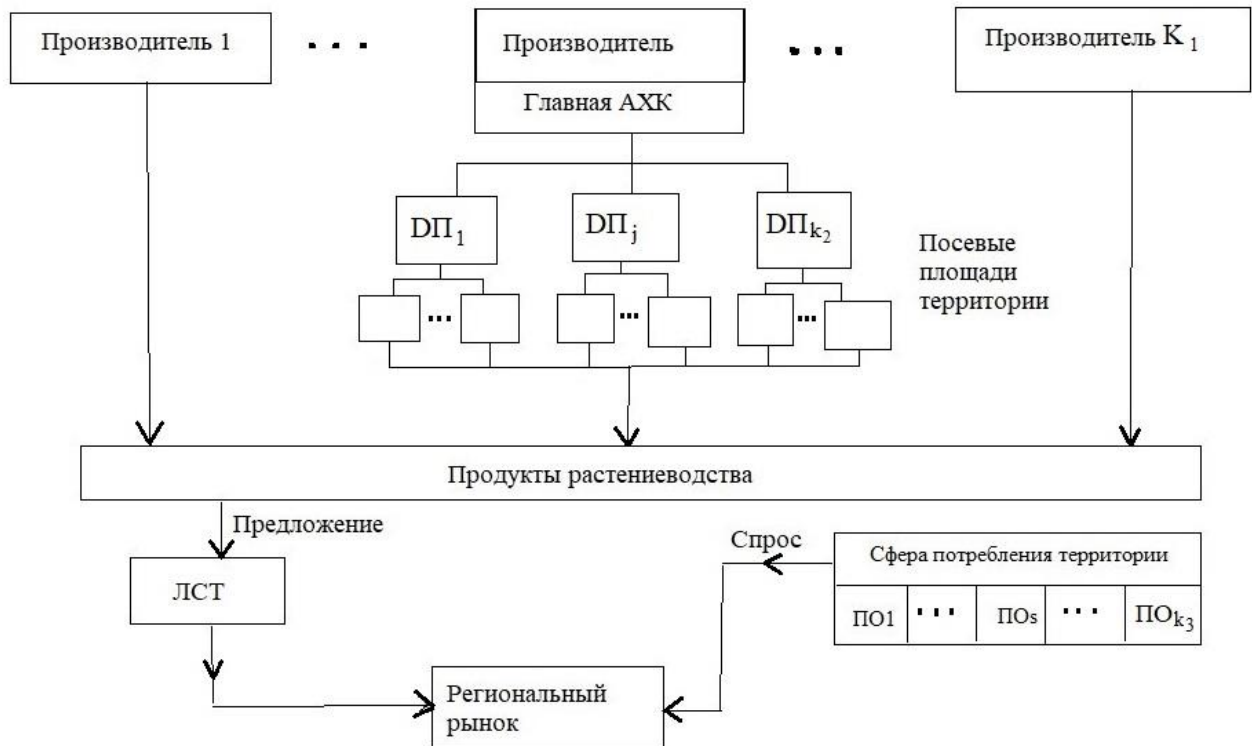


Рисунок 1 – Общая схема взаимодействия АХК с потребителями продуктов растениеводства территории

С учётом ограниченности ресурсов АХК возникает задача определения такого сбалансированного плана обеспечения потребностей потребителей территории в комплексах продуктов растениеводства, при котором в условиях существующей ЛСТ, действующих ограничений обеспечивается максимальная прибыль рассматриваемой АХК.

Традиционные подходы к планированию процессов обеспечения населения территории продуктами, основанные на методах математической статистики, имитационного моделирования, не позволяют создания единой адекватной модели функционирования и развития территориальной системы в силу ограниченности временных, вычислительных и материальных ресурсов. Быстрый рост стоимости транспортных услуг обусловил необходимость жёсткого контроля транспортных издержек, интенсивное повышение научного и практического интереса до применения методов, инструментария современной логики к эффективному планированию обеспечения территориальной системы продуктами [1–15]. Перспективным путём дальнейшего развития основ планирования процессов производства, транспортировки, потребления продуктов является создание интегрированного комплекса моделей оптимизации хозяйственной деятельности отдельных производителей. Этот путь применяется ещё не настолько широко [1, 12, 13, 14, 16, 21, 22, 23].

Алгоритмическая модель сбалансированного планирования. Алгоритмическая модель (АМ) пред-

ставляет собой множество $A = \{A_j\}$ взаимодействующих алгоритмов A_j , образующих определяющую структуру $|AM| = \{A, R \subset A \times A\}$, предназначенную для сбалансированного планирования объёмов входных и выходных продуктов растениеводства ЛСТ, произведённых АХК, максимизирующих её прибыль. Алгоритм $A_1 \in A$ представляет собой алгоритмическую модель планирования выходных объёмов продуктов растениеводства ЛСТ, произведённых АХК. A_1 предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Задание координат (a_j, b_j) , минимально необходимого объёма Q_j комплексов продуктов растениеводства для каждого населённого пункта $ПО_j \in ПО$.

Шаг 2. Задание координат (α_j, β_j) , минимально возможной ёмкости E_j для каждого склада $Сk_j \in Сk$.

Шаг 3. Задание множества ППО = ПО, $k = 1$.

Шаг 4. Определение методом «центра тяжести» координат (x, y) эталонного склада [14].

$$x = \sum_{ПО_j \in ППО} Q_j \cdot a_j / Q, \quad y = \sum_{ПО_j \in ППО} Q_j \cdot b_j / Q, \quad Q = \sum_{ПО_j \in ППО} Q_j \quad (1)$$

Шаг 5. Определение номера Sk склада, наиболее близкого к эталонному складу

$$\min_{Сk_j \in Сk} \sqrt{(x - \alpha_j)^2 + (y - \beta_j)^2} = \sqrt{(x - \alpha_{Sk})^2 + (y - \beta_{Sk})^2} \quad (2)$$

Шаг 6. Формирование множества Пк потребителей $PO_j \in PO$, прикрепляемых к складу Ck_{Sk}

$$P_k = \left\{ PO_j \in PO : \begin{aligned} & T_{Skj}^* \\ & \cdot \sqrt{(\alpha_{Sk} - a_j)^2 + (\beta_{Sk} - b_j)^2} \\ & \cdot Q_j \leq hQ_j \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

T_{Skj}^* – реальные затраты на доставку одного комплекта продуктов растениеводства по прямой от склада с номером Sk до j -го населенного пункта, h – порог минимально допустимых транспортных издержек населения на доставку одного комплекта продуктов растениеводства от склада до населённого пункта.

Шаг 7. Задание множества ППО, $k=k+1$, ППО = PO – PO_k

Шаг 8. Проверка ППО = ∅. Если «нет», то переход к шагу 4. Если «да», то процесс прикрепления населённых пунктов $PO_j \in PO$ к складам $Ck_j \in Ck$, $Ck_0 = \{Ck_{S1}, Ck_{S2}, \dots, Ck_{Sk}\}$, завершается. Вектор $E = \{E_1, E_2, \dots, E_{Sk}\}$ (4) определяет объём входных продуктов растениеводства ЛСТ. Величина

$$Q_b = \sum_{i=1}^k E_{Si}$$

задаёт суммарные потребности территории в продуктах растениеводства.

Алгоритм A_2 определяет алгоритмическую модель планирования производственной деятельности предприятия $DP_t \in DP$ на основе ресурсной модели [14]

$$\begin{aligned} L_t &= Z_t \rightarrow \max, \\ A_t x_t &\leq b_t, \\ B_t x_t &\geq Z_t e, \\ x_t &\geq 0, Z_t \geq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где Z_t – количество комплектов продуктов растениеводства, производимых $DP_t \in DP$;

b_t – вектор ресурсов $D \cap t$, A_t – матрица расходов ресурсов при единичной интенсивности использования технологий выращивания продуктов растениеводства, B_t – матрица производительности технологий выращивания продуктов растениеводства, x_t – вектор интенсивности использования технологий выращивания продуктов растениеводства. Алгоритм A_2 предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Полагает $k = 1$.

Шаг 2. Для DP_k определяют параметры ресурсной модели (5).

Шаг 3. Задачу (5) записывают в канонической форме.

Шаг 4. Для задачи линейного программирования записанной в канонической форме строят М-задачу [14].

Шаг 5. Решают М-задачу М-методом, находят Z_k^* , x_k^* . Величина Z_k^* определяет максимальный объём комплектов продуктов растениеводства, производимых DP_k

Шаг 6. $k = k + 1$. Если Z_k^* определены не для всех $DP_t \in DP$, то переходят к шагу 2. Если для всех, то процесс планирования производства комплектов продуктов растениеводства заканчивается. Величина

$$Q_0 = \sum_{DP_k \in DP} Z_k^*$$

определяет предложение комплектов продуктов растениеводства, обеспечиваемое АХК. Вектор Z – входные объёмы продуктов ЛСТ.

Алгоритм A_3 определяет алгоритмическую модель сбалансированного планирования для случая $Q_b = Q_0$. Алгоритм A_3 предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Определяются параметры закрытой транспортной задачи (ЗТЗ) [24].

$$\begin{aligned} L &= \sum_{DP_i \in DP} \sum_{Ck_j \in SK_0} C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \\ \sum_{DP_i \in DP} X_{ij} &= Z_i^*, \quad \sum_{Ck_j \in SK_0} X_{ij} = E_j \end{aligned}$$

$$\forall_{DP_i \in DP} \forall_{Ck_j \in SK_0} [X_{ij} \geq 0, Z_i^* \geq 0, E_j \geq 0, C_{ij} \geq 0] \quad (6)$$

где C_{ij} – транспортные издержки на доставку одного комплекта продуктов растениеводства от DP_i до Ck_j .

Шаг 2. Для задачи (6) методом Фогеля находится начальный опорный план [24].

Шаг 3. Задача (6) решается методом потенциалов, используя начальный опорный план, полученный методом Фогеля [24]. Для каждого $DP_i \in DP$ и каждого $Ck_j \in Ck_0$ находят поставки

$$X_{ij} = X_{ij}^*,$$

определяющие объёмы входных продуктов растениеводства ЛСТ.

Алгоритм A_4 представляет собой алгоритмическую модель сбалансированного планирования для случая $Q_b < Q_0$. Алгоритм A_4 предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Вводят фиктивный склад с ёмкостью, равной $Q_0 - Q_b$, формируют ЗТЗ (6) с новым множеством Ck_0 .

Шаг 2. Полученную ЗТЗ решают с помощью алгоритма A_3 .

Алгоритм A_5 представляет собой алгоритмическую модель сбалансированного планирования для случая Ck_j . Алгоритм A_5 предполагает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Вводят фиктивное предприятие АХК с предложением объёма комплектов продуктов растениеводства, равного $Q_b - Q_0$, формируют ЗТЗ (6) с новым множеством DP .

Шаг 2. Полученную ЗТЗ решают с помощью алгоритма A_3 .

Структура $|AM|$ алгоритмической модели сбалансированного планирования объёмов входных и выходных продуктов растениеводства ЛСТ имеет вид

$$|AM| = \{A, R \subset A \times A\}, \quad (7)$$

где $A = \{A_j, j = \overline{1, 5}\}$, $R = \{\langle A_1, A_3 \rangle, \langle A_1, A_4 \rangle, \langle A_1, A_5 \rangle, \langle A_3, A_3 \rangle, \langle A_2, A_3 \rangle, \langle A_2, A_5 \rangle, \langle A_3, A_4 \rangle, \langle A_1, A_4 \rangle, \langle A_3, A_5 \rangle\}$ определяет взаимодействия между алгоритмами в процессе сбалансированного планирования.

Модель (7) определяет интегрированную совокупность процедур сбора, хранения, обработки, представления данных с использованием эффективных вычислительных методов, реализация которых путём применения современных технологий и программных средств обработки информации, позволяет создание информационной технологии сбалансированного планирования объёмов входных и выходных продуктов производства ЛСТ на фиксированном временном интервале.

Выводы. Выделены ключевые трудности моделирования процессов производства, транспортировки, потребления продуктов в территориальной системе единой адекватной моделью. Обоснована необходимость применения интегрированного комплекса моделей.

Сформулирована задача формирования с учётом ограниченности ресурсов АХК такого сбалансированного плана удовлетворения потребностей потребителей рассматриваемой территории в продуктах растениеводства, при котором в условиях существующей ЛСТ, действующих ограничений обеспечивается максимальная прибыль АХК.

Построен комплекс моделей потребления, производства, транспортировки комплектов продуктов растениеводства, интегрированных в алгоритмическую модель сбалансированного планирования.

Отмечено, что построенная интегрированная алгоритмическая модель может служить теоретической основой для создания информационной технологии сбалансированного планирования.

Список литературы

1. Клімова І. Г. Логістика як чинник підвищення конкурентоспроможності підприємства. *Держава та регіони*. 2006. № 4. С. 163–166.
2. Гуртов О. І., Прозорова Н. В., Прозоров Р. Г. *Формування логістичних систем в сільському господарстві: методичний довідник*. Харків: Цифрова друкарня № 1, 2013. 259 с.
3. Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. *Стратегическое управление логистикой*. Москва: ИНФРА-М, 2005. 797 с.
4. *Сервіс для знаходження складської мережі Ant logistic* // <https://ant-logistics.com/main.html> (дата звернення: 05.06.2019).
5. Васильців Н. М. Передумови та тенденції розвитку глобальної логістики. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Сер. *Логістика*. Львів, 2010. № 669. С. 267–274.
6. Клімова І. Г. *Проблеми та передумови використання логістики в Україні*. Держава та регіони. 2006. № 3. С. 143–147.
7. Яцюта Олександра. Транспортно-логістична система України в умовах європейської інтеграції. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2016. № 3. С. 89–99.
8. Болдирева Л. М. Структура вантажопотоків сільськогосподарських підприємств. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського*

- господарства ім. П. Василенка: Економічні науки*. Вип. 70. Харків: ХНТУСГ, 2008. С. 24–30.
9. Мороз О. Д. Передумови логістизації економіки України в умовах євроінтеграції. *Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Україна у європейському просторі. Проблеми бізнесу, політики, права»*. Львів: ЛУБП, 2010. С. 258–260.
 10. Родіонова О. Є., Дерев'яно О. Г. *Упровадження інтегрованої системи логістики*. URL: <https://www.ipdo.kiev.ua/files/articles/but8.pdf> (дата звернення: 20.06.2019).
 11. Руденко Р. Г. Інноваційність взаємозв'язків видів забезпечення логістичної діяльності та управління підприємством. *Проблеми науки*. 2007. № 8. С. 8–14.
 12. Чернописька Н. Ю. *Методичні підходи оцінювання логістичної діяльності підприємства*. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Львів, 2008. № 23 (623). С. 265–271.
 13. Сергеев В. И., Левина Т. В. *Проектирование цепей поставок на основе референтной модели операций в цепях поставок*. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2013. 29 с.
 14. Лисицький В. Л., Гернет Н. Д. Структурний та параметричний синтез розподільної підсистеми логістичної системи території. *Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики: Збірник наукових праць*. Львів: ЛНУ, 2016. С. 116–118.
 15. Вордлоу Деніел Л., Вуд Дональд Ф., Джонсон Джеймс, Мерфи Поль Р. *Современная логистика*. Москва: Вильямс, 2002. 624 с.
 16. Бауэрсокс Д. Дж., Клосс Д. Дж. *Логистика: интегрированная цепь поставок*. Москва: Ольбм-бізнес, 2017. 640 с.
 17. Горчелс Л., Мариен Э., Уэст Ч. *Управление каналами дистрибуции*. Москва: Издательский дом Гребенникова, 2005. 248 с.
 18. Линдерс М. Р., Фирон Х. Е. *Управление снабжением и запасами*. Логистика. Санкт-Петербург: Полигон, 1999. 768 с.
 19. Лунгу К. Н. *Линейное программирование*. Руководство к решению задач. Москва: Физматлит, 2005. 128 с.
 20. Лисицький В. Л. *Автоматизація операційних досліджень на базі персональних ЕОМ*. Харків: НТУ «ХПИ», 2003. 114 с.
 21. Bowersox Donald I., Daugherty Patricia I., Droge Cornelia L., Rogers Dale S., Wardlow Daniel L. *Leading Edge Logistics: Competitive Positioning for the 1990's*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management. 1998.
 22. Lynagh Peter M., Murphy Paul R., Poist Richard F. *Career-Related Perspectives Regarding Women in Logistics: A Comparative Analysis*. *Transportation Journal*. 1996. Vol. 36, no. 1. P. 35–42.
 23. Graves St. C., Gutierrez C. J., Pulver M. J., Sidhu H. S., Weihs G. L. *Optimizing Monsabo's Supply Chain Under Uncertain Demand*. *Annual Conference Proceedings Council of Logistics Management*. 1996. P. 501–516.
 24. Годлевский М. Д., Лисицкий В. Л., Стратієнко Н. К. *Исследование операций: решение задач и варианты типовых расчетов*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2016. 183 с.

References (transliterated)

1. Klimova I. H. *Lohistyka yak chynnyk pidvyshchennia konkurentospromozhnosti pidpryiemstva* [Logistics as a factor in increasing the competitiveness of the enterprise]. *Derzhava ta rehiony*. 2006, no. 4, pp. 163–166.
2. Hutorov O. I., Prozorova N. V., Prozorov R. H. *Formuvannia lohistychnykh system v silskomu hospodarstvi: metodychnyi dovidnyk* [Formation of logistic systems in agriculture: a methodological guide]. Kharkiv, Cyfrova drukarnja no. 1 Publ., 2013. 259 p.
3. Stock J. R., Lambert D. M. *Strategic Logistics Management*. New York, MacGraw-Hill Irwin, 2001. 896 p. (Russ. ed.: Stok Dzh. R., Lambert D. M. *Stratehicheskoe upravlenye lohystykoj*. Moscow, INFRA-M Publ., 2005. 797 p.).
4. *Servis dlia znakhodzhenia skladskoi merezhi Ant logistic* // <https://ant-logistics.com/main.html> (accessed 05.06.2019).
5. Vasylytsiv N. M. *Peredumovy ta tendentsii rozvytku hlobalnoi lohistyky* [Preconditions and tendencies of development of global logistics]. *Visnyk Natsionalnoho univertyetu "Lvivska politekhnika". Ser. Lohistyka* [Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Series: Logistics]. Lviv, 2010, no. 669, pp. 267–274.

6. Klimova I. H. Problemy ta peredumovy vykorystannia lohistyky v Ukraini [Problems and prerequisites for the use of logistics in Ukraine]. *Derzhava ta rehiony*. 2006, no. 3, pp. 143–147.
7. Yatsiuta Oleksandra Transportno-lohistychna systema Ukrainy v umovakh yevropeiskoi intehratsii [Transport-logistic system of Ukraine in the conditions of European integration]. *Zovnishnja torhivlja: ekonomika, finansy, pravo*. 2016, no. 3, pp. 89–99.
8. Boldyrieva L. M. Struktura vantazhopotokiv silskohospodarskykh pidpriemstv [The structure of freight flows of agricultural enterprises]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichoho universytetu silskoho hospodarstva im. P.Vasylenka: Ekonomichni nauky* [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture. P. Vasylenko: Economic Sciences]. Issue 70. Kharkiv, KhNTUSH Publ., 2008, pp. 24–30.
9. Moroz O. D. *Peredumovy lohistyzatsii ekonomiky Ukrainy v umovakh yevrointehratsii* [Prerequisites for Logistics of Ukraine's Economy in the Conditions of European Integration]. Materialy VI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Ukraina u yevropeiskomu prostori. Problemy biznesu, polityky, prava" [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Ukraine in the European Space. Business, Politics, Law Issues"]. Lviv: LUBP Publ., 2010, pp. 258–260.
10. Rodionova O. Ye., Derevianko O. H. *Uprovadzhennia intehrovanoi systemy lohistyky* [Implementation of an integrated logistics system]. Available at: <https://www.ipdo.kiev.ua/files/articles/but8.pdf> (accessed 20.06.2019).
11. Rudenko R. H. Innovatsiiniist vzaiemoviazkiv vydiv zabezpechennia lohistychnoi diialnosti ta upravlinnia pidpriemstvom [Innovation in the relationship between logistics and enterprise management]. *Problemy nauky*, 2007, no.8, pp. 8–14.
12. Chornopyska N. Yu. Metodichni pidkhody otsiniuvannia lohistychnoi diialnosti pidpriemstva [Methodical approaches of estimation of logistic activity of the enterprise]. *Visnyk Natsionalnoho uivversytetu "Lvivska politehnika"* [Bulletin of Lviv Polytechnic National University]. Lviv, 2008, no. 23 (623), pp. 265–271.
13. Serheev V. Y., Levina T. V. *Proektirovanie cepej postavok na osnovе referentnoy modeli operacij v cepyah postavok* [Supply chain design based on the reference model of supply chain operations]. Moscow, Nacional'nyj issledovatel'skij universitet "Vysshaja shkola jekonomiki" Publ., 2013. 29 p.
14. Lysytskyi V. L., Hernet N. D. Strukturnyi ta parametrychnyi syntezy rozpodilnoi pidsystemy lohistychnoi systemy terytorii [Structural and parametric synthesis of a specific logic system of a logical system]. *Suchasni problemy prykladnoi matematyky ta informatyky: Zbirnyk naukovykh prats* [Modern Problems of Applied Mathematics and Informatics: Collection of Scientific Papers]. Lviv, LNU Publ., 2016, pp. 116–118.
15. Daniel L. Wardlow, Donald F. Wood, James C. Johnson, Paul R. Murphy, jr *Contemporary Logistics*. Prentice Hall, 1999. 608 p. (Russ. ed.: Vordlou Denyel L., Vud Donald F., Dzhonson Dzhaims, Merfy Pol R. *Sovremennaja lohistyka*. Moscow, Vyliams Publ., 2002. 624 p.).
16. Bowersox Donald J., Closs David J. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. McGraw-Hill College, 1996. 752 p. (Russ. ed.: Bauersoks D. Dzh., Kloss D. Dzh., *Lohistyka. Intehrovanyi lantsiuh postavok*. Moscow, Olimp-biznes Publ., 2017. 640 p.).
17. Gorchels L., Marien E., West Ch. The Manager's Guide to Distribution Channels. McGraw Hill, 2004. 225 p. (Russ. ed.: Gorchels L., Marien Ed., West Ch., *Upravlinnia kanalamy dystributsii*. Moscow, Izdatel'skij dom Grebennikova Publ., 2005. 248 p.).
18. Leenders M., Fearon H. E., Flynn A., Johnson P. F. *Purchasing and Supply Management*. McGraw-Hill/Irwin, 2001. 768 p. (Russ. ed.: Linders M. R., Firon H. E. *Upravlenie snabzheniem i zapasami. Logistika*. Sankt-Peterburg, Poligon Publ., 1999. 768 p.).
19. Lungu K. N. *Linejnoe programmirovaniе. Rukovodstvo k resheniju zadach* [Linear Programming. Guidelines for Resolving and Reserves]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005. 128 p.
20. Lysytskyi V. L. *Avtomatyzatsiia operatsiinykh doslidzhen na bazi personalnykh EOM* [Automation of operations based on personal computer]. Kharkiv: NTU "KhPI" Publ., 2003. 114 p.
21. Bowersox Donald I., Daugherty Patricia I., Droge Cornelia L., Rogers Dale S., Wardlow Daniel L. *Leading Edge Logistics: Competitive Positioning for the 1990's*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management. 1998.
22. Lynagh Peter M., Murphy Paul R., Poist Richard F. Career-Related Perspectives Regarding Women in Logistics: A Comparative Analysis. *Transportation Journal*. 1996, vol. 36, no. 1, pp. 35–42.
23. Graves St. C., Gutierrez C. J., Pulwer M. J., Sidhu H. S., Weihs G. L. Optimizing Monsabo's Supply Chain Under Uncertain Demand. *Annual Conference Proceedings Council of Logistics Management*. 1996, pp. 501–516.
24. Hodlevskiy M. D., Lysytskyi V. L., Stratyenko N. K. *Yssledovaniye operatsiy: reshenye zadach y varyanty tipovykh raschetov* [Operations Research: Problem Solving and Typical Settlement Options]. Kharkov: NTU "KhPI" Publ., 2016. 183 p.

Поступила (received) 17.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лисицький Василь Лаврентійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-0844>; e-mail: lysytskyi@ex.ua

Межирицький Вячеслав Сергійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0106-0369>; e-mail: slavikmel@live.ru

Лисицький Василь Лаврентієвич – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; г. Харьков, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-0844>; e-mail: lysytskyi@ex.ua

Межирицький Вячеслав Сергеевич – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; г. Харьков, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0106-0369>; e-mail: slavikmel@live.ru

Lysytskyi Vasyl Lavrentiiovich – candidate of technical sciences, docent, National technical university «Kharkiv polytechnic institute», Docent of the Department of Software Engineering and Information Technology Management; . Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-0844>; e-mail: lysytskyi@ex.ua

Mezhyrtskyi Viacheslav Serhiyovich – National technical university «Kharkiv polytechnic institute», student; c. Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0106-0369>; e-mail: slavikmel@live.ru

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 519.2

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.08

*Д. В. ГАРМАШ, Ю. І. ДОРОФЄЄВ***РОЗРОБКА ANDROID ДОДАТКУ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ХОЛТЕРІВСЬКОГО МОНІТОРУВАННЯ**

В роботі розглянуті питання розробки програмного забезпечення для підтримки системи холтерівського моніторингу, яке орієнтоване на застосування пристроїв, на базі операційної системи Android. На основі існуючих методів цифрової обробки даних розроблено програмний додаток, який дозволяє проводити моніторинг стану серцево-судинної системи користувача в режимі реального часу та наступною відправкою даних безпосередньо до лікаря-фахівця в зручному для аналізу форматі. Запропоновано метод обробки даних за допомогою алгоритму, в основі якого використано шаблон, складений з метасимволів регулярних виразів, який забезпечує швидке і точне просіювання отриманих даних. В результаті роботи алгоритму формується бінарний файл, який містить тільки необхідні дані для подальшого аналізу. На перших етапах програмний додаток, встановлений на Android пристрої, виконує первинний аналіз файлу і розбиває дані на фрагменти, які відповідають часовим проміжкам тривалістю шістьдесят хвилин кожний. Таким чином, протягом доби формується двадцять чотири фрагмента даних, на основі кожного з яких створюються графіки, що ілюструють роботу серцево-судинної системи пацієнта, які користувач має можливість переглянути. При виникненні критичних показників в роботі серцево-судинної системи, програмний додаток автоматично викликає швидку допомогу та відправляє лікарю дані за останні дві доби у форматі крапкових графіків, оскільки досвід практикуючих лікарів показав, що саме такі графіки є найбільш наочними та інформативними. Також лікар має можливість отримати доступ до даних холтерівського моніторингу серцево-судинної системи користувача в будь-який момент, використавши термінальну частину програми на своєму Android пристрої.

Ключові слова: операційна система Android, методи обробки даних, регулярні вирази, холтерівське моніторингу, метод розробки Android додатків.

*Д. В. ГАРМАШ, Ю. И. ДОРОФЕЕВ***РАЗРАБОТКА ANDROID ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ**

В работе рассмотрены вопросы разработки программного обеспечения для поддержки системы холтеровского мониторинга, которое ориентировано на применение устройств, использующих операционную систему Android. На основе существующих методов цифровой обработки данных разработано программное приложение, которое позволяет проводить мониторинг состояния сердечно-сосудистой системы пользователя в режиме реального времени с последующей передачей данных непосредственно врачу-специалисту в удобном для анализа формате. Предложен метод обработки данных с помощью алгоритма, в основе которого использован шаблон, составленный из метасимволов регулярных выражений, который обеспечивает быстрое и точное просеивание полученных данных. В результате работы алгоритма формируется бинарный файл, который содержит необходимые данные для последующего анализа. На первых этапах программное приложение, установленное на Android устройстве, производит первичный анализ файла и разбивает данные на фрагменты, которые соответствуют временным промежуткам длительностью шестьдесят минут. Таким образом, в течение суток формируется двадцать четыре фрагмента данных, на основе каждого из которых строятся графики, иллюстрирующие работу сердечно-сосудистой системы пациента, которые пользователь имеет возможность просмотреть. При возникновении критических показателей в работе сердечно-сосудистой системы, программное приложение автоматически вызывает скорую помощь и отправляет лечащему врачу данные за последние сорок восемь часов в формате точечных графиков, поскольку опыт практикующих врачей показал, что именно такие графики являются наиболее наглядными и информативными. Также лечащий врач имеет возможность получить доступ к данным холтеровского мониторинга сердечно-сосудистой системы пользователя в любой момент, использовав терминальную часть приложения на своем Android устройстве.

Ключевые слова: операционная система Android, методы обработки данных, регулярные выражения, холтеровское мониторинг, метод разработки Android приложений.

*D. V. HARMASH, Y. I. DOROFIEIEV,***DEVELOPMENT OF AN ADROID APPLICATION TO SUPPORT THE HOLTER MONITORING SYSTEM**

This paper examines the process of software development to implement the system, working on the devices with Android operating system, which is based on Holter monitoring. Application software has been developed using existing methods of digital data processing, that provides the possibility of real-time monitoring of the user's cardiovascular system with subsequent data transfer directly to a specialist doctor in a format, convenient for data analysis. There was proposed an algorithm for processing data, which is based on a template made up of regular expression metacharacters, that provides fast and accurate sifting of the received data. Binary file that is formed as a result of the algorithm work contains the necessary data for subsequent

© Д. В. Гармаш, Ю. І. Дорофєєв, 2019

analysis. At the first stages, the software application installed on the Android device performs the initial analysis of the file and breaks the data into fragments that correspond to time periods of sixty minutes. Thus, twenty-four pieces of data are formed during the day. Based on this data created application builds graphs that illustrate the work of the patient's cardiovascular system, which the user can view. If critical indicators arise in the work of the cardiovascular system, the software application automatically calls an ambulance and sends to the attending physician data for the last forty-eight hours in the format of scatter plots, as the experience of practicing physicians has shown that such plots are the most visual and informative. Also, the attending physician has the opportunity to access the data of Holter monitoring of the user's cardiovascular system at any time, using the terminal part of the application on his Android device.

Keywords: Android operating system, data processing methods, regular expressions, Holter monitoring, Android application development method.

Вступ. Поширеність серцево-судинних захворювань, і, зокрема, ішемічної хвороби серця, в Україні невпинно зростає, що зумовлює необхідність розробки ефективних і сучасних засобів їх діагностики та лікування.

Первинна діагностика ішемічної хвороби серця спирається на запис електрокардіограми (ЕКГ), і лише потім лікар залучає додатково дані аналізу кардіологічних показників, отриманих іншими методами дослідження.

Однією з актуальних проблем кардіології залишається отримання максимально повної інформації про електричний потенціал серця, на підставі якої є можливість розширити діагностику патологічних станів міокарда та його електро-фізіологічних властивостей.

Розвиток комп'ютерних технологій, зокрема, сучасних методів цифрової обробки даних зумовили необхідність розробки та використання в повсякденній практиці лікаря комп'ютерних електрокардіографічних засобів. Цифрові методи обробки сигналів суттєво підвищили якість обробки ЕКГ, дозволили зменшити спотворення, що вносяться у сигнал, та підійти до електрокардіографічної діагностики з позиції кількісної оцінки змін ЕКГ. Разом з тим, тенденція інтенсивного впровадження комп'ютерного аналізу [1, 2] ЕКГ та інших кардіологічних рядів, що намітилася останнім десятиліттям, висуває завдання збільшення точності та чутливості, а також швидкості виявлення функціональних залежностей між традиційними параметрами цих рядів і показниками прийняття рішень при діагностиці ішемічної хвороби серця та інших кардіологічних захворювань.

Метою роботи є дослідження можливості поточного моніторингу та оцінки стану здоров'я людини за допомогою пристроїв, які використовують операційну систему Android, а також розробка Android додатку для підтримки системи холтерівського моніторингу.

Холтерівське моніторування. Холтерівське моніторування – це функціональне дослідження серцево-судинної системи, назване на честь його засновника Нормана Джеффри Холтера. Даний метод дослідження дозволяє проводити безперервну реєстрацію динаміки серця на ЕКГ за допомогою портативного пристрою (холтера). Апарати ЕКГ за свою історію зазнали багату удосконалень. Норман Холтер у 1943 році розробив першу систему реєстрації та передачі електрокардіографічного запису. У 1962 році в оригінальну систему Холтера були внесені зміни, з впровадженням яких метод активно увійшов у клінічну практику. Крім терміна «Холтерівське моніторування» використовується кілька синонімів назви методу: амбулаторне моніторування (АМ), динамічна електрокардіографія, моніторування електрокардіограми [2, 3]. Сьогодні цей

діагностичний метод є основним у дослідженнях та діагностуванні кардіологічних захворювань. Холтерівський діагностичний метод дає можливість відстежувати зміни в роботі серця і артеріального тиску пацієнта протягом 48 годин в умовах його повсякденної активності.

Постановка задачі. У останні роки значно зріс інтерес медичної науки до проблем здоров'я. Ймовірно, це пов'язано з високими темпами зростання захворюваності населення навіть у розвинених країнах. У структурі сучасної захворюваності і смертності переважають хронічні захворювання, у першу чергу серцево-судинні та онкологічні. Однак, медицина в переважній більшості випадків поки не в змозі достатньо швидко та оперативно моніторувати поточний стан здоров'я людини. Тому стає все більш очевидним, що необхідно створювати системи спостереження за поточним станом людини у повсякденному житті, а також приєднувати чи вбудовувати такі системи до мобільних пристроїв: смартфонів, планшетів, фітнес-трекерів і т. і.

Одним з основних напрямків розвитку, що підвищить рівень здоров'я населення, є діагностика здоров'я, комплексне дослідження як функціональних, так і структурних змін в органах і системах людини в режимі реального часу. При цьому, існуючі системи поточного спостереження за станом людини здебільшого знаходяться в спеціалізованих закладах, а пристрої таких систем є достатньо складними та громіздкими.

Отже, метою роботи є створення достатньо простої системи підтримки спостереження за серцево-судинними змінами в організмі людини в режимі реального часу. Для цього необхідно створити такий додаток для мобільних пристроїв, який буде достатньо простим та інформативним для середньо-статистичного користувача, але в той самий час буде виконувати роль пильного спостерігача за поточним станом людини та передавати накопичені дані напряму до лікаря у зручному для швидкого аналізу вигляді.

Вхідні дані. Вихідними даними є отримані від лікаря текстові файли, які містять результати холтерівського моніторування пацієнтів різних вікових груп та різних поточних станів серцево-судинної системи. На рис. 1 та рис. 2 зображено фрагмент подібного файлу, кожен з яких містить від 90000 до 160000 строк з даними, зібраними за одну добу роботи пристрою для холтерівського моніторування. Така різниця зумовлена значними розбіжностями роботи серця у різних людей, а також розпорядком та активністю життєдіяльності [3, 4]. Дані розділено на сім стовпців:

- перший стовпець «Time» відображає час з моменту ввімкнення пристрою;

- другий стовпець «R-R» відображає пікові значення серцевого ритму;
 - третій стовпець «OK?» відображає фазу роботи серця;
 - четвертий стовпець «Тір» відображає спеціальні посткоди;
 - п'ятий, шостий та сьомий стовпці (J70, J80, J90) відображають пікові значення роботи серця у різних фазах.

1	Time	R-R	OK?	Tip	J70	J80	J90
2	0.000	1000	1	??_00	0	0	0
3	9.863	9862	0	??_00	0	0	0
4	11.668	1805	1	?N_01	-250	0	0
5	163.175	151507	0	NA_10	0	0	0
6	163.953	777	0	AA_09	0	0	0

Рис. 1. Структура вхідних даних на початку файлу

24396	18885.680	995	1	NN_01	0	20	45
24397	18886.708	1027	1	NN_01	30	15	35
24398	18887.730	1022	1	NN_01	25	-15	55
24399	18888.743	1012	1	NN_01	5	-5	30
24400	18889.743	1000	1	NN_01	15	0	45
24401	18890.728	985	1	NN_01	0	-10	50
24402	18891.673	945	1	NN_01	5	-5	20

Рис. 2. Структура вхідних даних приблизно в середині файлу

Для первинного аналізу необхідними є наступні дані: інтервал часового проміжку роботи серця, пікові значення серцевого ритму та спеціальні посткоди роботи пристрою. Таким чином, на етапі тестування прийнято рішення зменшити кількість параметрів, які застосовуються для подальшої обробки.

Етапи розробки Android-додатку. Першим етапом є розробка алгоритму, який відокремлює потрібні дані з текстового файлу та зберігає їх у бінарному форматі. Бінарний формат потрібен для спрощення подальшої обробки отриманої інформації. Наступним етапом є безпосередньо розробка Android-додатку [5, 6, 7], який виконує необхідні розрахунки та відображає інформацію щодо поточного стану роботи серцево-судинної системи людини.

За допомогою метасимволів [5, 6, 8] розроблено шаблони пошуку даних у строках текстового файлу. Для пошуку цифрових даних використовується метасимвол [0-9] – це означає одну із цифр заданого діапазону. На рис. 3 та рис. 4 приведено приклади даних, які можуть з'являтися у цьому стовпці.

0.000	1000	1	??_00	0	0	0
9.863	9862	0	??_00	0	0	0
11.668	1805	1	?N_01	-250	0	0
163.175	151507	0	NA_10	0	0	0

Рис. 3. Приклади різних типів даних у файлах

Важливими етапами запропонованого алгоритму є пошук крапки, яка з'являється у числі, а також підрахунок кількості цифр, які розташовані до крапки. Для цього використано метасимвол {1,6} – це означає одну цифру або декілька підряд. Наприклад, вираз

[0-9]{1,6}\. дозволяє здійснювати пошук цифр, що створюють число від 1 до 7 знаків, яке завершується крапкою.

36845.467	787	0	AA_09	0	0	0
36846.275	807	0	AA_09	0	0	0
36847.055	780	0	AA_09	0	0	0
36847.817	762	0	AA_09	0	0	0
36848.580	762	1	AN_01	990	185	

Рис. 4. Приклади різних типів даних у файлах

Наступний вираз [0-9]{1,6}\s дозволяє знайти будь-який вид відступу та означає, що в результаті пошуку будуть знайдені цифри, які можуть створювати число від одного знака до семи знаків та закінчуються метасимволом відступу. Таким чином, вираз [0-9]{1,6}\.[0-9]{1,6}\s дозволяє знайти дані, які відповідають наведеним вище вимогам та розташовані в першому стовпці текстового файлу.

Для того, щоб представлений вище регулярний вираз швидше працював, він розділяється на часткові блоки: ((([0-9]{1,6})\.([0-9]{1,6}))\s). У цьому разі процес пошуку даних поділяється на три частини, що суттєво прискорює виконання пошуку.

Остаточно, у результаті роботи запропонованого алгоритму буде отримано набір відокремлених даних, які вилучені з трьох стовпців текстового файлу та збережені в бінарному файлі.

Тестування Android-додатку. Для перевірки працездатності розробленого додатку застосовано реальні дані, отримані від лікаря. У результаті роботи додатку всі дані поділені на 24 рівних проміжки по одній годині та побудовані впродовж кожної години поточні графіки. Дані для побудови графіку зберігаються у тестовому файлі з періодом, який дорівнює одній годині. За допомогою методу парсингу файлів, який реалізовано на мові C++, дані передаються компоненту Graph View [9, 10, 11]. Результат зображено на рис. 5, де відображено екран Day Activity у стані на восьму годину ранку, тобто наведені результати [12] відображають роботу серця з першої години доби до восьмої.

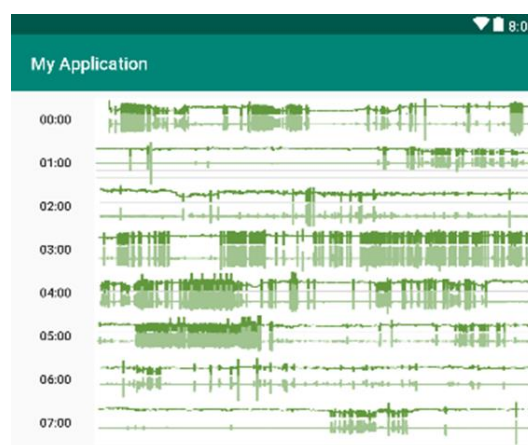


Рис. 5. Результат роботи додатку на екрані Day Activity

Після натискання на напис з годинами на екрані розгортається більш детальний графік роботи серця за

минулу годину, зображений на рис. 6. Таким чином, спеціалізований лікар на підставі наведених даних може оцінити поточний стан роботи серцево-судинної системи людини.

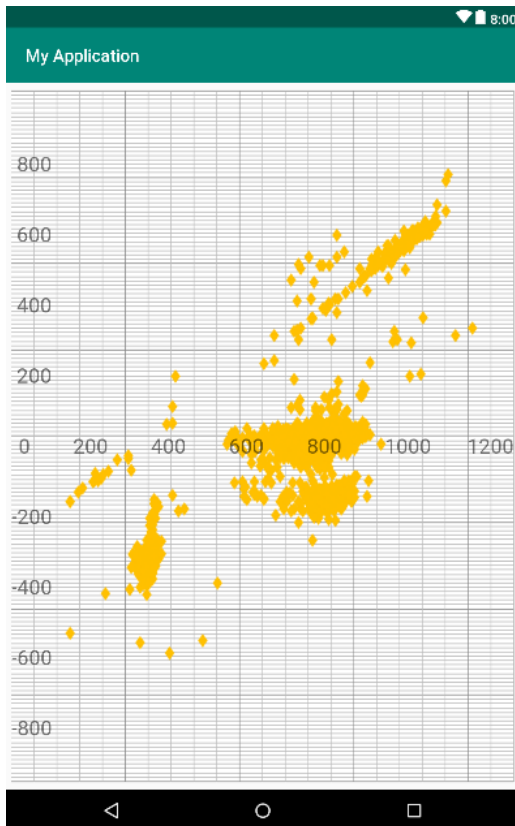


Рис. 6. Детальні дані роботи серця за годину

Висновки. Розроблено програмне забезпечення для пристроїв, що використовують операційну систему Android, яке підтримує систему холтерівського моніторингу, а також дозволяє провести первинну оцінку стану користувача та передати дані безпосередньо до лікаря в зручному для аналізу вигляді. Запропоновано метод обробки та перетворення даних, одержуваних у реальному часі від пристрою для холтерівського моніторингу. За допомогою розробленого додатку лікарі матимуть змогу з власного Android пристрою вести поточний огляд пацієнтів у реальному часі.

Список літератури

- Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S. et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variability as a marker of supatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circle Research*. 1986. Vol. 59, no. 2. P. 178–193. doi: 10.1161/01.RES.59.2.17.
- Grubbs F. E., Beck G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*. 1972. Vol. 14, no. 4. P. 847–854. doi: 10.2307/1267134.
- Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991. Vol. 14, no. 4. P. 482–492. doi: 10.1161/01.

- Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. *Математический анализ сердечного ритма при стрессе*. Москва: Наука, 1984. 965 с.
- Дейтел Х., Дейтел П. Дж., Сантри С. И. *Технологии программирования на Java*. Москва: Бином-Пресс, 2003. 672 с.
- Дейтел П. Дж., Нието Т., Дейтел Х. *Как программировать на XML*. Москва: Бином-Пресс, 2008. 640 с.
- Голощапов А. Л. *Google Android: программирование для мобильных устройств*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. 443 с.
- Ретабоуил С. *Android NDK. Разработка приложений под Android на C/C++*. Москва: ДМК Пресс, 2012. 495 с.
- Дейтел Х., Дейтел П. Дж., Дейтел Э., Моргано М. *Android для разработчиков*. Москва: Бином-Пресс, 2014. 812 с.
- Дарвин Я. Ф. *Android. Сборник рецептов. Задачи и решения для разработчиков приложений*. Москва: Вильямс, 2016. 768 с.
- Марпл С. Л. *Цифровой спектральный анализ и его приложения*. Москва: Мир, 1990. 265 с.
- Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. *Современные проблемы нелинейной динамики*. Киев: Эдиториал, 2000. 244 с.

References (transliterated)

- Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S. et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variability as a marker of supatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circle Research*. 1986, vol. 59, no. 2, pp. 178–193. doi: 10.1161/01.RES.59.2.17.
- Grubbs F. E., Beck G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*. 1972, vol. 14, no. 4, pp. 847–854. doi: 10.2307/1267134.
- Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991, vol. 84, no. 2, pp. 482–492. doi: 10.1161/01.
- Baevsky P. M., Kirillov O. I., Kletsin S. Z. *Matematicheskij analiz serdechnogo ritma pri strasse* [Mathematical analysis of heart rhythm with stress]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 965 p.
- Daytel H., Santri S. I., Daytel P. *Java programming technologies*. 9th Edition, New Jersey, Pearson Education, 2000. 664 p. (Russ. ed.: Daytel H., Santri S. I., Daytel P. *J. Tehnologii programirovaniya na Java*. Moscow, Binom-Press Publ., 2003. 672 p.)
- Daytel P. J., Nieto T., Daytel H. *XML How to program*. 1st edition New Jersey, Pearson Education, 2000. 934 p. (Russ. ed.: Daytel P.J., Nieto T., Daytel H. *Kak programmirovat na XML*. Moscow, Binom-Press Publ., 2008. 640 p.)
- Goloshchapov A. L. *Google Android: Programmirovanie dlya mobilnyh ustrojstv* [Google Android. Programming for mobile gadget]. Sankt-Peterburg, BVH-Peterburg Publ., 2012. 442 p.
- Retabouil S. *Android NDK Beginner's Guide*. 1st ed. Birmingham of Packt Publishing Ltd, 2012. 436 p. (Russ. ed.: Retabouil S. *Android NDK. Razrabotka prilozhenij pod Android na C/C++*. Moscow, DMK Press Publ., 2012. 495 p.)
- Daytel H., Daytel P. J., Daytel E., Morgano M. *Android for developers*. 3d ed. New Jersey, Pearson Education, 2014. 812 p. (Russ. ed.: Daytel H. *Android dlya razrabotnikov*. Moscow, Binom-Press Publ., 2014. 809 p.)
- Darwin I. *Android Cookbook, Problems and Solutions for Android Developers*. 2nd ed. Sebastopol of O'Reilly Media, 2016. 664 p. (Russ. ed.: Darwin I. *Android. Sbornik receptov. Zadachi i resheniya dlya razrabotnikov prilozhenij*. Moscow, Vilyams Publ., 2016. 768 p.)
- Marple S. L. *Cifrovoy spektralnyj analiz i ego prilozheniya* [Digital spectral analysis and its applications]. Moscow, Mir Publ., 1990. 265 p.
- Malinetsky G. G., Potapov A. B. *Sovremennyye problemy nelinejnoj dinamiki* [Modern problems of nonlinear dynamics]. Kiev, Editorial Publ., 2000. 244 p.

Надійшла (received) 31.06.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гармаш Данііл Васильович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-2989>; e-mail: daniilharmash@gmail.com

Дорофеев Юрий Иванович – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7964-1286>; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu

Гармаш Даниїл Васильевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; м. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-2989>; e-mail: daniilharmash@gmail.com

Дорофеев Юрий Иванович – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры системного анализа и информационно-аналитических технологий; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7964-1286>; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu

Harmash Daniil Vasilyevich – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-2989>; e-mail: daniilharmash@gmail.com

Dorofiev Yuri Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of System Analysis and Informative-Analytical Technologies; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7964-1286>; e-mail: dorofeev@kpi.kharkiv.edu.

UDC 004.827

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.09

D. E. DVUKHHLAVOV, T. O. RIABUKHA

DEVELOPMENT OF A DATABASE STRUCTURE FOR STORING MODELS FOR DETERMINATED ALPHABETES CLASSES RECOGNITION BASED ON THE SET OF HETEROGENEOUS CHARACTERISTIC

The objects and situations recognition is important problem in such areas as the definition of the types of air objects according to various sources of information, diagnosis of patients on the results of the survey and analysis, diagnostics of different equipment or technic types. Under the recognition refers to the process of obtaining the initial information about the affiliation of each studied element to a class based on analyze of the incoming information about studied elements of the environment, using methods to transform input data environment into output. The paper presents a model of the recognition process, which is characterized by the decision making of the class object based on the analysis of a set of quantitative and qualitative characteristics of which information can be obtained from various sources. The article presents a formalized set-theoretic model of the recognition process. According to the model, to attribute an object or situation to a certain class, it is necessary to define a set of feature groups of different types that allow to identify objects (situations) of a particular class. To perform recognition process experts based on experience or on the basis of statistical data must define a fuzzy affiliation function of the object of observation to each class with a set of values [0,1]. In the article shown representation of such function for quantitative characteristic in the form of a histogram. For qualitative attributes determined own values for each value. The new result of researches is a data structure for storing of the recognition process model, which allows to store together diverse characteristics and affiliation functions of different types at the same database tables. The proposed structure can be used in the process of the development of recognition systems software. It should be noted that will provide increased reliability of data storage by reducing the components of the database structure but also increased the complexity of the procedures and algorithms for saving and selecting the data.

Keywords: objects and situations recognition system, recognition systems software, recognition process model representation, structure database for store quantitative and qualitative characteristic.

Д. Е. ДВУХГЛАВОВ, Т. О. РЯБУХА

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ МОДЕЛІ РОЗПІЗНАВАННЯ КЛАСІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО АЛФАВІТУ НА ОСНОВІ НАБОРУ РІЗНОРІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Задача розпізнавання об'єктів та ситуацій є актуальною у таких сферах, як визначення типів повітряних об'єктів за даними різних джерел інформації, діагностика стану хворих за результатами опитування та аналізів, діагностика стану техніки різного призначення. Під розпізнаванням розуміється процес отримання вихідної інформації про приналежність кожного досліджуваного елемента до певного класу на основі аналізу вхідної інформації про досліджувані елементи середовища, застосовуючи методи перетворення вхідної інформації у вихідну. В роботі представлена модель процесу розпізнавання, характерною рисою якої є здійснення розпізнавання на основі аналізу набору кількісних та якісних ознак, інформація про які може бути отримана від різних джерел. В статті представлена формальна теоретико-множинна модель процесу розпізнавання. Згідно моделі, для віднесення об'єкту або ситуації до певного класу необхідно визначити набір груп ознак різних типів, що дозволяють ідентифікувати об'єкти (ситуації) певного класу. Для проведення розпізнавання експерти на основі досвіду або на основі статистичних даних мають задати нечітку функцію належності об'єкту спостереження до кожного класу із множиною значень [0,1]. В статті розглядається представлення такої функції для кількісних ознак у вигляді гістограми. Для значень якісних ознак визначається власне значення для кожного значення. Новим результатом досліджень є розроблена структура даних для зберігання моделі процесу розпізнавання, яка дозволяє зберігати сумісно зберігати різномірні характеристики та функції належності різного виду в одних і тих же таблицях. Запропонована

© D. E. Dvukhhlavov, T.O. Riabuha, 2019

структура може бути використана в процесі побудови програмного забезпечення систем розпізнавання. При цьому слід зазначити, що реалізація такого рішення забезпечує підвищення надійності зберігання даних за рахунок зменшення компонентів структури бази даних, але збільшує складність алгоритмів процедур збереження та витягу даних.

Ключові слова: система розпізнавання об'єктів та ситуацій, програмне забезпечення систем розпізнавання, представлення моделі процесу розпізнавання, структура бази даних для хранения кількісних та якісних характеристик.

Д. Э. ДВУХГЛАВОВ, Т. О. РЯБУХА

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО АЛФАВИТА НА ОСНОВЕ НАБОРА РАЗНОРОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Задача распознавания объектов и ситуаций актуальна в таких сферах, как определение типов воздушных объектов по данным различных источников информации, диагностика состояния больных по результатам опроса и анализов, диагностика состояния техники различного назначения. Под распознаванием понимается процесс получения исходной информации о принадлежности каждого исследуемого элемента к определенному классу на основе анализа входящей информации об исследуемых элементах среды, применяя методы преобразования входной информации в выходную. В работе представлена модель процесса распознавания, характерной чертой которой является осуществление распознавания на основе анализа набора количественных и качественных признаков, информация о которых может быть получена от различных источников. В статье представлена формальная теоретико-множественная модель процесса распознавания. Согласно модели, для отнесения объекта или ситуации к определенному классу необходимо определить набор групп признаков различных типов, позволяющих идентифицировать объекты (ситуации) определенного класса. Для проведения распознавания эксперты на основе опыта или на основе статистических данных имеют определенную функцию принадлежности объекта наблюдения до каждого класса с множеством значений $[0,1]$. В статье рассматривается представление такой функции для количественных признаков в виде гистограммы. Для значений качественных признаков определяется собственное значение для каждого значения. Новым результатом исследований является разработанная структура данных для хранения модели процесса распознавания, которая позволяет совместно хранить разнородные характеристики и функции принадлежности различного вида в одних и тех же таблицах. Предложенная структура может быть использована в процессе построения программного обеспечения систем распознавания. При этом следует отметить, что реализация такого решения обеспечивает повышение надежности хранения данных за счет уменьшения компонентов структуры базы данных, но увеличивает сложность алгоритмов процедур сохранения и извлечения данных.

Ключевые слова: система распознавания объектов и ситуаций, программное обеспечение систем распознавания, представление модели процесса распознавания, структура базы данных для хранения количественных и качественных характеристик.

Introduction. Nowadays reality define necessary of widely using of automation systems, which executed analytical information processing, for effective decisions making. In set of tasks need supporting such systems have to be included recognition situations task.

The theoretical basis of recognition objects or situations presents in [1]. Modern recognition situations methods base on fuzzy sets [2], functionality ordinal networks [3], Bayesian approach [4] and neural networks [5]. The tasks of recognizing objects and situations, the tasks of recognition are relevant in medicine [6], in military affairs [3, 7], in operational management [8]. A special area is the recognition of situations in the flow of multimedia [9, 10].

The difficulty of using some methods, in particular Bayesian approach and neural networks, is that their using requires the recognition data set over a long period. To obtain such a set is not always possible. Some part of the methods works only with quantitative characteristics of objects or situations, which are taken values in continuous range. Therefore, more and more the recognition of situations or objects relies on methods based on the formalized expert knowledge.

The purpose of the article. In [11] was presented approach to recognition objects and situations, which allow to represent data for identification of different nature. However, when developing the appropriate software implementation of the proposed approach, the task of organizing the storage of a process recognition model in the computer's memory became needful. You can see below that this task is not trivial. Result of researches of way of solving this task presents in this article.

The essence of the task of recognition objects situations and. The objects or situations recognition task is to make conclusion about the class of observed objects

(situation) by analyzing their characteristics (parameters and relationships with other objects subject area).

The concept of "class" is a set of observed objects or situations, which is characterized by the laws of manifestation of properties.

The features of the observed situation, presented in recognition system as a set of characteristics $\{X_1, \dots, X_L\}$, where L – number of characteristics used to identify situations of a certain type. The list of features is common to all type situations, but these symptoms manifest themselves differently in different classes of situations.

The term "alphabet" means disjoint set of classes:

$$A_m = \{K_1^m, K_2^m, \dots, K_{M_m}^m\}, \quad (1)$$

where K_i^m – classes of alphabet A_m ;

M_m – number of alphabet classes.

Common tasks of this type is to determine the general condition. For example: initial examination of patients with the help of a survey in the emergency department or determining the type of aircraft or ship in accordance with various technical information.

The formalization of source data. Based on the analysis of characteristics used in the detection, we can conclude that their composition is diverse in terms of mathematical properties values.

In many cases the set of possible values of the characteristic is a subset of the real numbers:

$$X_k \in [X_{k_{\min}}, X_{k_{\max}}], \quad (2)$$

where X_k – k -th characteristic used to identify classes of objects in the m -th alphabet;

$X_{k_{\min}}, X_{k_{\max}}$ – minimum and maximum possible values of attributes for objects that are recognized.

Such characteristics are called quantitative. For example, for the recognition of aircraft objects types such characteristics are speed and altitude, in medical diagnostic – are temperature and human height.

Characteristics that take value from a specified list and do not have any order structure, are called qualitative:

$$X_k \in [z_1^k, z_2^k, \dots, z_{z_k}^k], \quad (3)$$

where z_p^k – p -th possible value of k -th characteristics used to identify classes of objects in the m -th alphabet;

$$N_k^{miq} = \left\{ \left(X_k, \mu^{miq}(X_k) \right) \right\}, \quad (5)$$

where $\mu^{miq}(X_k)$ – degree of belonging to i -th class situations according to values of characteristic X_k^m as part of q -th alternative group of characteristic.

One approach to knowledge representation pattern of display values in the form of quantitative characters is the use of histograms (see fig. 1). This presentation is easy for understanding, and also allows a satisfactory degree of reliability to pass basic laws of the subject area and is easy

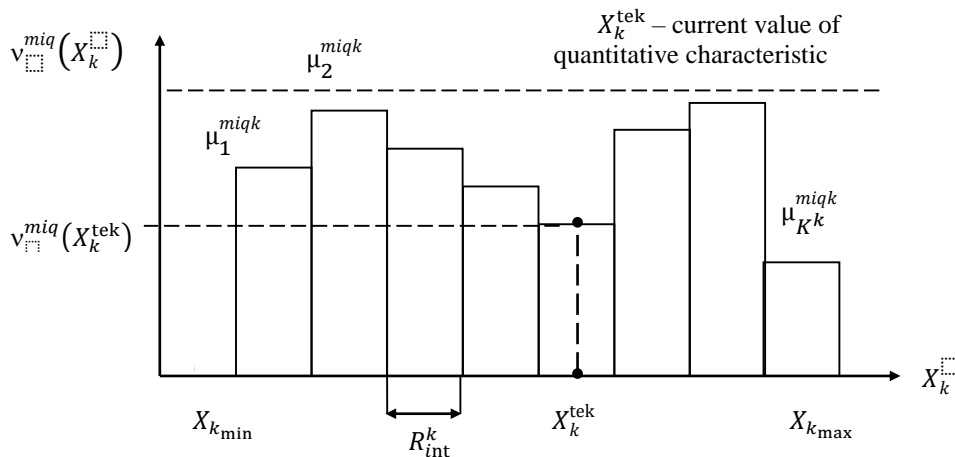


Fig. 1. Graphic illustration of the formalization of the laws of manifestation quantitative characteristics values using histograms

Z_k – total number of possible values of this characteristic.

To assign a situation to a class, it is necessary to analyze it more carefully and select a class for it in accordance with the rules.

When solving the problem of recognizing an air object, the characteristics should be taken into account: the size of the group of aircraft or the nature of the maneuver.; in medicine – the overall functional state or the nature of employment.

The basis for constructing rules of measures of proximity of objects observed classes alphabet is to define the set of alternative groups characteristics, patterns of manifestation which will be analyzed. Formally, this can be determined by the following expression:

$$K_i^m = \bigcup_{q=1}^{Q_i} G_q = \bigcup_{q=1}^{Q_i} \bigcap_{k \in R_{iq}} X_k, \quad (4)$$

where G_q – alternative group characteristics q , which allows to make recognition;

Q_i – number of alternative groups characteristics used to identify i -th class situation;

R_{iq} – set of indexes of q -th alternative characteristics group, used to identify the i -th class situations.

For each characteristic used for recognition i -th class situations as part of q -th group, experts determined the pattern of values characteristics appearance for a particular situations as fuzzy set N_k^{miq} , which can be presented as shown in formula (5):

in processing.

To construct a histogram certain features expert must set the width of the interval R^k or their number K^k . In the last case the width of the interval is calculated according to formula:

$$R^k = \frac{X_{k_{min}} - X_{k_{max}}}{K^k}. \quad (6)$$

For each histogram interval, the expert must determine the value of the situation belonging to a particular class. The values of the membership function for quantitative attributes are determined by the formula:

$$\mu^{miq}(X_k) = \begin{cases} \mu_1^{miqk} & \left| X_k \in \left[X_{k_{min}}, X_{k_{min}} + R_{int}^k \right] \right. \\ \mu_2^{miqk} & \left| X_k \in \left[X_{k_{min}} + R_{int}^k, X_{k_{min}} + 2 * R_{int}^k \right] \right. \\ \dots \\ \mu_{K_{int}^k}^{miqk} & \left| X_k \in \left[X_{k_{max}} - R_{int}^k, X_{k_{max}} \right] \right. \end{cases} \quad (7)$$

where μ_s^{miqk} – the function that is part of the situation that affiliates to the i -th class of the alphabet m , if the value of the characteristic consisting of the q -th group is the interval s .

There is also another well-known variant of displaying characteristics – the use of LR-intervals [3], trapezoidal functions with key points (A, 0), (B, 1), (C, 1), (D, 0), where A and D correspond to the boundaries of the

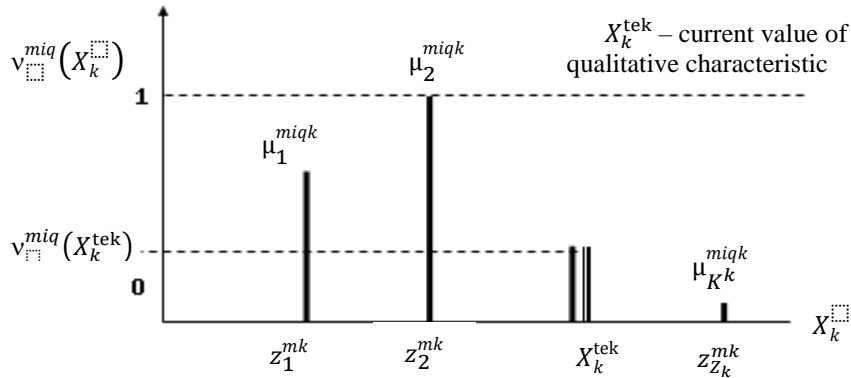


Fig. 2. Graphic illustration formalize patterns of display values of quality features

possible trait values, B and C – the range of the most possible values. But presented variational allow to transform LR-interval as histograms.

In order to assign a trapezoid interval, which is used in the LR-interval model, it is necessary to know the histogram interval. However, the use of the proposed model for formalization of quantitative characteristics allows to consider more complex patterns of onset, and, therefore, to provide more accurate situation recognition.

To formalize of the appearance regularities of qualitative attributes in the objects of a certain class expert must determine the extent possible assignment object to a class for all possible values of certain properties. Function values on qualitative characteristics shall look as present below:

$$\mu^{miq}(X_k) = \begin{cases} \mu_1^{miqk} | X_k = z_1^{mk}; \\ \mu_2^{miqk} | X_k = z_2^{mk}; \\ \dots \\ \mu_{Z_k}^{miqk} | X_k = z_{Z_k}^{mk}. \end{cases} \quad (8)$$

Graphic illustration representing regularities of quality characteristics values presented in fig. 2.

The general list of classes of alphabet is a list of characters, by which the identification occurs. The description of the patterns of characters in the object form a formalized description of the authentication process.

A description of the appearance regularities of characteristics in classes of a given alphabet is a formalization of the initial stage of recognition. For further situations recognition it is necessary to establish rules for attributing to a particular class of situations, depending on the specific values of characteristics.

The recognition procedure. The class definition of the object observed made in the following order:

- getting a set $\{X_1^{tek}, X_2^{tek}, \dots, X_L^{tek}\}$ – set of characteristics values of particular observed situation;

- determination of the degree of truth, which shows the correspondence of the current value of the attribute to the experts, describing the patterns of its occurrence in situations of the i -th class of the m -th alphabet, when the characteristic is considered as part of the q -th alternative

group of features;

- determination of measures that characterize the closeness of the situation according to the i -th class of the m -th alphabet, determine the degree of truth of alternative signs by results;

- determining generalized measures of proximity situation $\omega(K_i^m)$ to classes of m -th alphabet;

- determining class K^{m*} of situation according to the set rules of decision making about the class of object or of situation.

Evaluation of truth quantitative trait determined according to formula:

$$v^{miq}(X_k^{tek}) = \mu_s^{miqk}, \quad \text{if } X_k^{tek} \in \begin{cases} X_{k_{\min}} + (s - 1) * R_{int}^k, \\ X_{k_{\min}} + s * R_{int}^k \end{cases} \quad (9)$$

Maximal value of quantitative characteristic according to last interval of histogram, i.e.

$$v^{miq}(X_k^{tek} = X_{k_{\max}}) = \mu_{k_{int}^k}^{miqk}. \quad (10)$$

Evaluation of truth qualitative characteristics will be determined in accordance with rule:

$$v^{miq}(X_k^{tek}) = \mu_s^{miqk} | X_k^{tek} = z_s^k. \quad (11)$$

According to fuzzy sets theory:

$$v(X_1 \cap X_2) = \min\{v(X_1), v(X_2)\}; \quad (12)$$

$$v(X_1 \cup X_2) = \max\{v(X_1), v(X_2)\}. \quad (13)$$

Defining measures proximity object to the i -th class of m -th alphabet degrees of truth for signs of alternative G_q carried out according to the rules of crossing the fuzzy sets. The result is:

$$\omega^{mi}(G_q) = \min_{k \in R_{iq}} \{v^{miq}(X_k^{tek})\}. \quad (14)$$

Defining measures proximity object classes alphabet

is made by applying the rules of association of fuzzy sets. The merger assessments proximity of the object to a class, the value is:

$$\omega(K_i^m) = \max_q \{ \omega^{mi}(G_q) \}. \quad (15)$$

The basic rule is used to make decisions about the class object of observation is the following:

$$K^{m*} = \arg \max_i \{ \omega(K_i^m) \}. \quad (16)$$

Under this rule class of situation is one measure which is close to the maximum.

To ensure the required probability recognition results using a rule the following form:

$$K^{m*} = \arg \max_i \{ \omega(K_i^m) \} | \omega(K_i^m) \geq \delta. \quad (17)$$

According to this rule in determining the class of situation are considered, a measure of intimacy which exaggerates set to δ . The value threshold δ lies in the range [0,1].

To prohibit the decision of this class of object in such conditions, the following rule is used:

$$\exists i \forall j [(\omega(K_i^m) - \omega(K_j^m) > \Delta) \wedge (i \neq j)] \rightarrow K^{m*} = K_i^m. \quad (18)$$

The value Δ called typical margin. Its importance also is in the range [0,1]. Usually this value is equal 0.1–0.2.

In case of dissatisfaction with the requirements of the rules of decision-making about the class object carried refusal of recognition.

Representation recognition process model in database. Presented above model is the basis for the design and implementation of an appropriate system of recognition of objects or situations. It should be noted that the nature of the subject area is not important because the system will be set up as a general purpose system. It should also be noted

that the problem to be solved relates to intellectual tasks. Therefore, one should say that it is necessary to develop a knowledge base which is part of the intellectual system, the structure of which can be found for example in [12]. But from a technological point of view would be recognition system developers to design database structure. The set of tables should ensure storage of all elements of the process model identification – alphabet classes; a list of characteristics that occur in an object or situation; group structure characteristics to detect certain classes alphabet; fuzzy function reflecting the level of capabilities signs of objects of a certain class (histogram origin for quantitative characteristics and tables belonging to qualitative characteristics). These elements constitute part of declarative knowledge. Another procedural component consists inference algorithms.

The structure of the tables of a relational database is presented at fig. 3.

Use of this structure implies that it will be introduced about the alphabet (table «alphabets») and characteristics of objects (situations) that are used to detect (table «characteristic»).

Table "char_in_alph" is allowed to set relation between alphabet and binding characteristics, determining the list of characteristics that are used in a recognition alphabet. This is determined by the type of performance at specific recognition alphabet – quantitative or qualitative. For example, in medical diagnostics temperatures can be viewed as vague description of the possible values of "high", "critical" and "normal" or a numerical value in the range of 34.5 to 41.5 degrees. Thus, the link between the alphabet and feature sure to specify the type of characteristics (field "type") and the unit of measurement characteristics (field "unit_id"). This field is proposed to fill by choosing a certain value of the units set (table "units"). If the submitted quantitative characteristics, you should enter a range of values – fill "min_value" and «max_value». For qualitative characteristics of these fields remain empty and continue the processing are not considered.

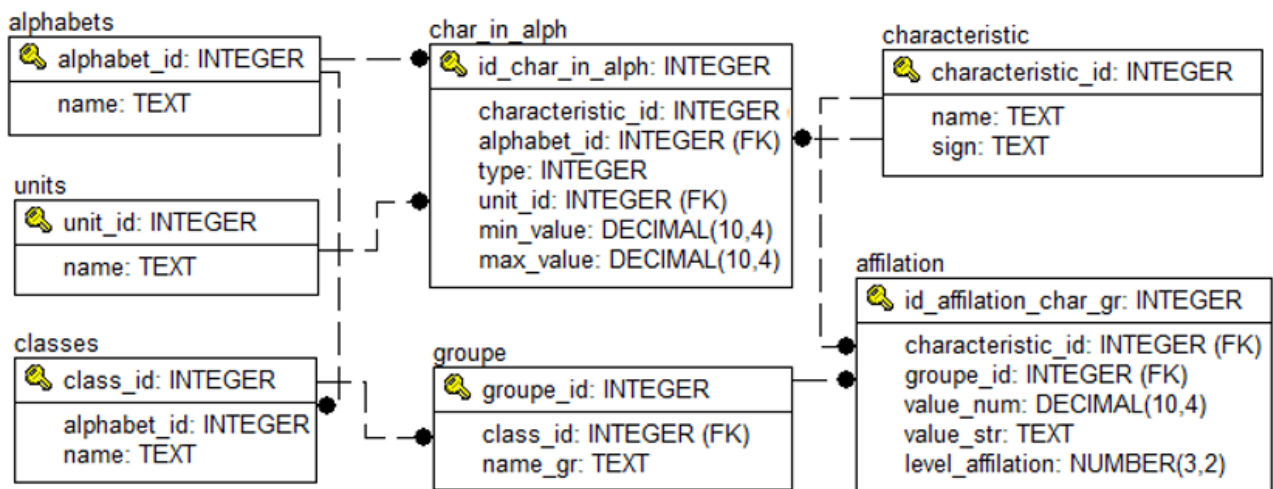


Fig. 3. Set of relative database tables for storing recognition model process

Next step is determining the list of classes that form the alphabet (table «classes») and specifying the characteristics of the groups to be used for recognition. It may be believed that each group corresponds to a single source of information about the objects that will be considered in the system of recognition. Also, groups can be created, if necessary to determine several variants belonging to the class object for one group of attributes. For example, the class "fighter" may include items that are not maneuvering, moving at medium altitude and speed with 2000–2500 km/h and objects, which maneuvering and moving below the average height at speeds of 800–1400 km/h.

The last table in the structure – table «affiliations». This structure allows to store membership functions both quantitative and qualitative values. This is achieved by using two fields for storing values – "value_str" and "value_num" and the field "level_affiliation" for storing the value of the function of affiliation to a particular class for a particular value of a certain characteristic. Using two fields (for text and for number values) allows storing affiliation functions of both types – and histogram and a set of values. When storing histogram each record of this table (for quantitative characteristics) will contain a value filled "value_num" and "level_affiliation", that reflect the right value of a histogram intervals. For qualitative attributes will be filled with couples "value_str" and "level_affiliation" for all possible values.

Immediately it should be noted that the organization of filling such a structure requires the implementation of complex algorithms input component recognition model and its future use.

Conclusions. Based on the analysis of the results of the initial stages of designing the object and situation recognition system, it can be concluded that the presence in the model of characteristics of different types complicates the process of designing the data structure for their storage model and algorithms for storing and using data. The main problematic issue here is finding a compromise in determining how to store a description of the characteristics and functions of class belonging, whether jointly or separately. The structure and complexity of the algorithms depend on the choice of storage method, since in fact the data and the algorithms for processing them only in the aggregate are knowledge of recognition processes. In addition, outside of the introduction to the development of software systems of this class, an important issue is to create an interface that is easy to understand and use by users without special knowledge. Creating software with such capabilities need a very much time.

References

1. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. *Методы распознавания*. М.: Высшая школа, 2004. 261 с.
2. Вятчинин Д. А. *Нечеткие методы автоматической классификации*. Минск: УП «Технопринт», 2004. 219 с.
3. Грачев В. М., Попрыгин А. Н. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сетью. *Сб. научн. тр. ХВУ*. Х.: ХВУ. 1995. Вып. 8. С. 49–54.
4. Вагис А. Гупал А. Эффективность байесовских процедур распознавания. *ITHEA International Scientific Society*. 2008. URL: http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf (accessed 15.09.2019).

5. Барский А. Б. *Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений*. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
6. Голоскоков А. С., Мельник К. В. Процедура діагностування стану серцево-судинної системи пацієнту на основі нечіткої логіки. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Тематичний випуск: *Інформатика і моделювання*. Х.: НТУ «ХПІ». 2008. № 49. С. 101–104.
7. Павленко М. А. Метод формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами. *Системы управления, навигации и зв'язку*. – К.: ДП «ДНДІ НІУ». 2012. Вип. 2 (22). С. 86–92.
8. Андрушко І. В. Розпізнавання передаварійних та аварійних ситуацій діагностованих промислових об'єктів на основі логіко-статистичних інформаційних моделей. *Штучний інтелект*. 2008. № 4. С. 309–316.
9. Singh V, Pongpaichet S, Jain R. Situation recognition from multimodal data. *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Multimedia Retrieval (ICMR 2016)*. 2016. P. 1–2.
10. Chetty G., Yamin M. *A Novel Multimodal Data Analytic Scheme for Human Activity Recognition*. URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-55355-4_47.pdf (accessed 15.09.2019).
11. Dvukhglavov D. E., Muzyka O. V., Hlazkov S. O. Model of the situations recognition in conditions dissimilar and incomplete data. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Х.: НТУ «ХПІ». 2016. № 37 (1209). С. 17–21.
12. Довбиш А. С. *Основи проектування інтелектуальних систем*. Суми: Вид-во СумДУ. 2009. 171 с.

References (transliterated)

1. Gorelik A. L., Skripkin V. A. *Metody raspoznavaniya* [The Recognition Methods]. Moscow, Vysshaja Shkola Publ., 2004. 261 p.
2. Vjatchenin D. A. *Nechetkie metody avtomaticheskoy klassifikacii* [Indistinct Methods of Automatic Classification]. Minsk, UP "Technoprint" Publ., 2004, 219 p.
3. Grachev V. M., Poprygin A. N. *Metodika raspoznavaniya klassov vozdushnykh ob'ektov v ASU PVO s ispol'zovaniem odnorodnoy funkcional'noj seti* [Technique of air objects classes recognition in AirDefense ACS with use of uniform functional network]. *Sb. nauchn. tr. KhVU* [Collection of scientific papers of Kharkov Military University]. Kharkov, KhMU Publ., 1995, no. 8, pp. 49–54.
4. Vagis A., Gupal A. *Jeffektivnost' bajesovskih procedur raspoznavaniya* [Efficiency of Bayesian procedures of recognition]. *ITHEA International Scientific Society*, 2008. Available at: http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf (accessed 15.09.2019).
5. Barskij A. B. *Nejronnyeseti: raspoznavanie, upravlenie, prinyatireshenij* [Neural networks: recognition, management, decision-making]. Moscow, Finansyand Statistika Publ., 2004. 176 p.
6. Goloskokov A. Ye., Mel'nik K. V. *Procedura diagnostovannya stanu serdcevo-sudynnoyi systemy paciyentu na osnovi nechitkoj logiky* [The procedure of diagnosing the state of patient cardiovascular system based on fuzzy logic]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. *Tematychnyy vypusk: Informatyka i modelyuvannya* [Special issue: Informatics and modeling]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2008, no. 49, pp. 101–104.
7. Pavlenko M. A. *Metod formalizacii znaniy o processe raspoznavaniya situacij narushenija pravil dvizheniya vozdushnymi sudami* [Method of knowledge formalization of process of recognition of the movement rules violation by aircrafts situations]. *Systemy upravlinnya, navigaciyi i zvyazku* [Control systems, navigation and communication]. Kyiv, GE "CSRI N&C" Publ., 2012, no. 2 (22), pp. 86–92.
8. Andrushko I. V. *Rozpiznavannya peredavarijn'x ta avarijn'x sy'tuacij diagnostovany'x promy'slovy'x ob'jektiv na osnovi logiko-statysty'chny'x informacijny'x modelej* [Recognition of pre-accident and emergency situations of diagnosed industrial objects on the basis of logical and statistical information models]. *Shtuchny'j intelekt* [Artificial Intelligence]. 2008, no. 4, pp. 309–316.
9. Singh V, Pongpaichet S, Jain R. Situation recognition from multimodal data. *Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Multimedia Retrieval (ICMR 2016)*. 2016, pp. 1–2.
10. Chetty G., Yamin M. *A Novel Multimodal Data Analytic Scheme for Human Activity Recognition*. Available

at: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-55355-4_47.pdf (accessed 15.09.2019).

11. Dvukhglavov D. E., Muzyka O. V., Hlaskov S. O. Model of the situations recognition in conditions dissimilar and incomplete data. *Visnyk NTU «KhPI»: zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'j analiz, upravlinnya ta informacijni tehnologiyi.* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI", 2016, no. 37 (1209), pp. 17–21.
12. Dovby'sh A. S. *Osnovy' proektuvannya intelektual'ny'x sy'stem.* Sumy', SumGU Publ., 2009, 171 p.

Received 30.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Двухглавов Дмитро Едуардович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (095) 120-30-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Двухглавов Дмитрий Эдуардович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (095) 120-30-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Dvukhhlavov Dmytro Eduardovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department «Software engineering and management information technology»; tel.: (067) 839-12-41; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3361-3212>; e-mail: ddimae72@gmail.com

Рябуха Тетяна Олегівна – студентка магістратури, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

Рябуха Татьяна Олеговна – студент магистратуры, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

Riabukha Tatiana Olegivna – student of magistracy, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (098) 043-09-48; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-0619>; e-mail: tanyanice97@gmail.com

УДК 004.93

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.10

Ю. В. ПАРЖИН, М. Н. СОЛОЩУК, Н. Ю. ЛЮБЧЕНКО

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ В НЕЙРОМОРФНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ НЕЙРОНОВ

Рассматривается системный принцип построения детекторных искусственных нейронных сетей (ДНС). Этот принцип основан на определении и детектировании структурных элементов распознаваемых образов, а также их производных и производных характеристик. Непроизводные структурные элементы, а также их качественные и количественные характеристики определяются эмпирически. Эти элементы и их характеристики детектируются специфическими нейронами-детекторами ДНС на этапе сенсорного восприятия. Процесс детектирования производных структурных элементов основан на открытии Дэвидом Хьюбелом (David Hubel) и Т. Визелем (Torsten Wiesel) избирательной реакции нейронов первичной зрительной коры мозга на определенные стимулы. Однако производных структурных элементов и их характеристик недостаточно для решения задачи классификации образов. Это связано с тем, что в процессе обучения нейрона-детектора класса образов происходит потеря информации, которая не содержит устойчивых признаков классификации. Эта потеря информации отражает обобщающую способность ДНС и ведет к уменьшению ее разрешающей способности. Для увеличения разрешающей способности ДНС необходима дополнительная информация. Эта информация может быть получена в результате формирования производных характеристик структурных элементов распознаваемого образа. Формирование производных характеристик отражает процесс информационного анализа, осуществляемого нейронами-анализаторами ДНС, которые, по мнению авторов, являются информационными моделями биологических нейронов-анализаторов. Тогда процесс информационного синтеза реализуется единичными производными нейронами-детекторами ДНС. Эти нейроны-детекторы реагируют на цельные образы. Построение информационных моделей нейронов основывается на выдвинутых авторами гипотезах нейронного кода, объясняющих информационную сущность реакций нейронов.

Ключевые слова: детекторная нейронная сеть, нейрон-детектор, нейрон-анализатор, нейроморфная модель нейрона, искусственная нейронная сеть, искусственный интеллект.

Ю. В. ПАРЖИН, М. М. СОЛОЩУК, Н. Ю. ЛЮБЧЕНКО

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ В НЕЙРОМОРФНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ НЕЙРОНІВ

Розглядається системний принцип побудови детекторних штучних нейронних мереж (ДНМ). Цей принцип заснований на визначенні та детектуванні структурних елементів образів, що розпізнаються, а також їх непохідних та похідних характеристик. Непохідні структурні елементи, а також їх якісні та кількісні характеристики визначаються емпірично. Ці елементи і їх характеристики детектуються специфічними нейронами-детекторами ДНМ на етапі сенсорного сприйняття. Процес детектування непохідних структурних елементів ґрунтується на відкритті Дэвидом Хьюбел (David Hubel) і Т. Візель (Torsten Wiesel) виборчої реакції нейронів первинної зорової кори мозку на певні стимули. Однак непохідних структурних елементів і їх характеристик недостатньо для вирішення задачі класифікації образів. Це пов'язано з тим, що в

© Ю. В. Паржин, М. Н. Солощук, Н. Ю. Любченко, 2019

процесі навчання нейрона-детектора класу образів відбувається втрата інформації, яка не містить стійких ознак класифікації. Ця втрата інформації відображає узагальнюючу здатність ДНМ і веде до зменшення її роздільної здатності. Для збільшення роздільної здатності ДНМ необхідна додаткова інформація. Ця інформація може бути отримана в результаті формування похідних характеристик структурних елементів образу, що розпізнається. Формування похідних характеристик відображає процес інформаційного аналізу, здійснюваного нейронами-аналізаторами ДНМ, які, на думку авторів, є інформаційними моделями біологічних нейронів-аналізаторів. Тоді процес інформаційного синтезу реалізується одиничними похідними нейронами-детекторами ДНМ. Ці нейрони-детектори реагують на цілісні образи. Побудова інформаційних моделей нейронів ґрунтується на висунутих авторами гіпотезах нейронного коду, що пояснюють інформаційну сутність реакцій нейронів.

Ключові слова: детекторна нейронна мережа, нейрон-детектор, нейрон-аналізатор, нейроморфна модель нейрону, штучна нейронна мережа, штучний інтелект.

Y. V. PARZHIN, M.M. SOLOSHCHUK, N.Y. LIUBCHENKO

ANALYSIS OF INFORMATION IN NEUROMORPHIC INFORMATION MODELS OF NEURONS

The article discusses the systemic principle of constructing of detector artificial neural networks (DNN). This principle is based on the determination and detection of structural elements of recognizable patterns, as well as their non-derivative and derivative characteristics. Non-derivative structural elements, as well as their qualitative and quantitative characteristics, are determined empirically. These elements and their characteristics are detected by specific neurons-detectors of the DNN at the stage of sensory perception. The process of detecting of non-derivative structural elements is based on the discovery by David Hubel and Torsten Wiesel of the selective response of neurons in the primary visual cortex to certain stimuli. However, non-derivative structural elements and their characteristics are not enough to solve the problem of image classification. This is due to the fact that in the process of training of a neuron-detector of a class of images, information is lost that does not contain stable classification features. This loss of information reflects the generalizing ability of the DNN and leads to a decrease in its resolution. To increase the resolution of the DNN, additional information is needed. This information can be obtained as a result of the formation of derived characteristics of the structural elements of a recognizable image. The formation of derived characteristics reflects the process of information analysis, which is carried out by neurons-analyzers of the DNN. According to the authors, these neurons-analyzers are information models of biological neurons-analyzers. Then the process of information synthesis is implemented by the single derivatives neurons-detectors of the DNN. These neurons-detectors respond to whole images. The construction of information models of neurons is based on the hypotheses of the neural code put forward by the authors, which explain the information essence of the reactions of neurons.

Keywords: detector neural network, neuron-detector, neuron-analyzer, neuromorphic model of a neuron, artificial neural network, artificial intelligence.

Введение. В работе [1] были сформулированы гипотезы нейронного кода, позволившие выдвинуть детекторный подход к построению искусственных нейронных сетей (ИНС) – детекторных ИНС (ДНС). Если принять тезис о том, что наше субъективное восприятие образов внешнего мира связано с возбуждением нейронов-детекторов, то возникает вопрос: какую информацию они передают другим нейронам и достаточно ли этой информации для формирования внутренней картины окружающего мира? Однозначно ответить на этот вопрос не представляется возможным ввиду отсутствия экспериментальных данных. Однако можно построить гипотетические модели, имеющие определенное математическое обоснование и не противоречащие результатам современных исследований нейрофизиологии и нейропсихологии.

В многочисленных исследованиях, например, [2–5], делаются выводы о том, что на уровне распознавания отдельных образов существуют не только детекторы данных образов и их структурных элементов, но и детекторы их качественных и количественных характеристик. Назовем детекторы образов или их структурных элементов *структурными детекторами*, а детекторы их качественных и количественных характеристик – *характеристическими детекторами*.

Структурные детекторы реагируют на отдельные образы или их элементы такие как, например, отрезок, конец отрезка, угол, треугольник, прямоугольник, лицо человека и т.д. Реакции структурных детекторов могут быть инвариантны относительно определенных характеристик. Подобная инвариантность формируется в процессе встречного обучения структурного детектора [1].

К первичным или *базовым* характеристикам, детектируемым на уровне системы восприятия и распознавания зрительных образов, например, относятся:

длина и ориентация отрезков контура изображения, их местоположение в зрительном поле, направление и скорость движения отрезков, цвет, величина углов и др. Базовые характеристики формируются простыми нейронами-детекторами на основе информации поступающей от рецепторов системы восприятия. Реакции характеристических детекторов каждой характеристики инвариантны относительно значений других характеристик.

Системный принцип построения нейронных сетей. Если ДНС состоит только из нейроэлементов (НЭ) – детекторов, то неизбежно возникают проблемы их взаимосвязи, образования нейронных структур для обработки информации и формирования внутреннего представления объектов и процессов воспринимаемого мира. Данные проблемы ярко проявляются в коннекционных моделях нейронных сетей, которые, несмотря на все усилия многочисленных исследователей, так и не стали платформой создания «сильного» ИИ [6].

Действительно, наш мозг способен не только воспринимать отдельные информационные признаки внешних образов и, как предполагают некоторые исследователи, «мозаично» или даже голографично объединять их в реакции детекторов, но и сравнивать эти признаки, осуществлять анализ воспринимаемой информации. Без анализа информации невозможно представить какую-либо интеллектуальную деятельность. Очевидно, что анализ информации является базовой функцией мозга и осуществляется не только в результате сознательной деятельности в процессе функционирования репрезентативной системы мозга, но и бессознательно в процессе формирования презентативной картины окружающего мира презентативной системой [7]. Можно сформулировать следующее утверждение.

Системность – взаимосвязь анализа и синтеза

информации является основным принципом формирования нейронных структур мозга и обработки информации в этих структурах.

Если синтез информации осуществляется нейронами-детекторами, то анализ – декомпозиция информации в результате формирования вторичных или производных характеристик, должен осуществляться нейронами другого типа – нейронами-анализаторами.

К производным характеристикам, формируемым нейронами-анализаторами на уровне распознавания зрительных контурных образов, могут относиться: количество отрезков и углов; соотношение длин отрезков и величин углов; направление изменения ориентации отрезков при выборе системой внимания начальной точки и направления обхода контура и др. Производные характеристики формируются на основе реакций детекторов базовых характеристик либо структурных детекторов [7].

Структурный НЭ-детектор d_i «срабатывает», когда на его входы поступают сигналы соответствующие его концепту $Con(d_i)$, сформированному в процессе обучения с «учителем» [1]. Очевидно, что с информационной точки зрения нет обоснованной необходимости в том, чтобы в реакции детектора содержалась какая-либо иная информация кроме информации о самом факте его возбуждения с определенным уровнем. Информацией о возбуждении конкретного детектора, которая может восприниматься другими нейронами, является «адрес» детектора. Информация об уровне возбуждения детектора кодируется частотной или амплитудной реакцией. Частотные значения уровней возбуждения детекторов необходимы для их конкурентной борьбы (WTA-конкуренции) за право участия в дальнейшей обработке информации.

Детекторы одного типа и уровня обработки информации должны быть сгруппированы в модули. Идея модульной организации мозга была выдвинута в работах В. Маунткастла и Д. Хьюбела [8, 2].

Логично предположить, что структурные детекторы в модулях упорядочены по «адресам». Степень различия «адресов» детекторов в модуле определяется уровнем различия их концептов Con . Например, при «захвате» нового детектора командный нейрон модуля (нейрон новизны) посылает управляющий сигнал «захвата» «свободному», не активированному нейрону с «адресом», определяемым в зависимости от разности длины нового входного вектора \bar{X} и концепта минимальной длины, принадлежащего детектору класса [1]. Таким образом, подобный модуль детекторов будет содержать детекторы примеров или экземпляров одного класса. Назовем такой модуль *классовым*. Структурные детекторы в данном модуле будут находиться в *родовидовых* отношениях, определяемых взаимосвязью концептов. Структурные детекторы классовых модулей, расположенных последовательно в рефлекторной дуге, находятся в отношении «часть-целое».

Характеристические детекторы в модулях также должны быть упорядочены по «адресам», но, в отличие от структурных детекторов, они должны находиться в

линейной взаимосвязи образуя не родовидовые отношения, а *качественные шкалы*. Качественные шкалы могут состоять из двух – бинарные шкалы или большего количества элементов – n -арные шкалы. Примером бинарной шкалы может служить шкала типа «право-лево», а n -арной – «мало-много», цветовая шкала и др.

Идея адресной упорядоченности структурных и характеристических детекторов в модуле основана на результатах исследований системы восприятия цвета, проведенных Е. Н. Соколовым и С. Зеки [9, 10].

В процессе обучения с «учителем» и установления взаимосвязи с детекторами репрезентативной системы качественные шкалы характеристических детекторов репрезентативной системы приобретают вербальный смысл, а также образуют основу *количественных шкал* репрезентативной системы, например, шкалы счета [1].

Гипотеза о кодировании «адреса» пресинаптического нейрона и идея адресной упорядоченности детекторов в модуле позволяют говорить о возможности *разделения адресной реакции на составные части*. Основной операцией анализа информации, осуществляемой нейронами-анализаторами, должна быть простейшая *операция сравнения*. Результатом сравнения является определение значений *совпадения* либо *различия* информационных составляющих анализируемых реакций нейронов-детекторов.

Таким образом, должны существовать, по меньшей мере, два типа нейронов-анализаторов: *анализаторы совпадений* и *анализаторы различий*. Данные анализаторы должны быть специфичными для каждого типа характеристик.

При формировании производных характеристик должен соблюдаться принцип их *максимального разделения*. Известно, что в системе восприятия и распознавания зрительных образов разделены: система распознавания структуры образа – система «что», система локализации образа в зрительном поле – система «где», система восприятия цвета и др. [5, 9]. В свою очередь, в каждой из этих систем существуют отдельные каналы анализа. Известны каналы анализа базовых характеристик: направлений ориентации и движения; яркости, темноты, интенсивности света и др. Очевидно, что дифференциация производных характеристик должна усиливать дивергенцию информативных признаков распознавания и повышать многообразие реакций детекторов.

Известно, что рецепторы и афферентные нейроны системы восприятия осуществляют градуальное либо частотное кодирование базовых характеристик воспринимаемых образов [2, 11]. Известно также о существовании нейронов суммирующих и вычитающих входные частотные сигналы [12]. Очевидно, что функции рецепторов и афферентных нейронов системы восприятия, как и их местоположение и взаимосвязь, заданы генетически и не меняются в процессе обучения. Так как амплитудные и частотные реакции данных нейронов свидетельствуют о степени прямого либо относительного воздействия внешних раздражителей на сенсорную систему, то на следующем шаге обработки

информации значения данных частотных (амплитудных) реакций должны быть зафиксированы детекторами. Каждый такой детектор будет реагировать только на определенную частоту (амплитуду) входного сигнала. На начальных этапах восприятия информации эту функцию могут выполнять биполярные нейроны-детекторы, вероятно преобразующие, например, частотный код в адресный код.

Схема взаимосвязи сенсорного нейрона с частотным кодированием базовой характеристики и модуля характеристических детекторов его частотной реакции с адресным кодированием приведена на рис. 1, где \bar{X} – входной вектор сигналов;

a – сенсорный нейрон с частотным кодированием основной информационной составляющей выходного сигнала;

d_i – характеристические детекторы с адресным кодированием основной информационной составляющей выходного сигнала (в данном примере возбуждается только детектор d_1);

$y(b')$ – частотная составляющая реакции $y(a', b')$ сенсорного нейрона a ;

$y'(a')$ – адресная составляющая реакции $y'(a', b')$ характеристического детектора d_1 .

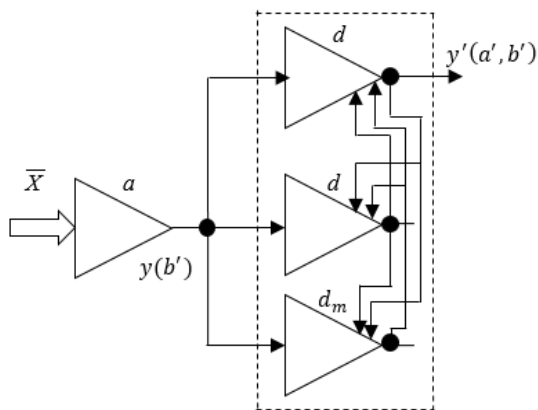


Рис. 1. Схема взаимосвязи сенсорного нейрона a с характеристическими детекторами $d_1 - d_m$

НЭ-детектор d_1 возбуждается и на его выходе формируется сигнал $y'(a', b')$ при выполнении следующих условий.

1. Адресная составляющая $y(a')$ выходного сигнала сенсорного нейрона a принадлежит его концепту $Con(d_1)$.

2. Возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП), формируемый частотной составляющей $y(b')$ реакции сенсорного нейрона a , в точности равен эталонному значению пороговой величины g^* . Данная величина является аналогом порога возбуждения нейрона $et(d_1)$.

3. Предположим, что уровень насыщения в частотной реакции любого НЭ-детектора d_i данного модуля, а, следовательно, и максимальный уровень его возбуждения в точности соответствует его пороговой величине g^* . Тогда, если ВПСП d_i превышает значение его пороговой величины, то уровень его частотной

реакции не изменяется и, следовательно, в соответствии с правилом WTA-конкуренции [1], данный детектор будет тормозиться выходным сигналом другого детектора с более высоким значением частотной реакции. В результате WTA-конкуренции в модуле останется возбужденным только один детектор с максимальным уровнем возбуждения.

Таким образом, на последующих этапах обработки информации будут интегрироваться и сравниваться не частотные, а адресные реакции детекторов.

Информационные модели нейронов-анализаторов. Рассмотрим информационную модель нейрона-анализатора совпадений – НЭ-анализатор совпадений a_m .

Определение совпадений осуществляется в результате сравнения адресных реакций структурных либо характеристических детекторов. Данная операция является n -арной, но в ней участвуют выходные сигналы только одного типа детекторов определенного уровня обработки информации. Очевидно, что не существует двух нейронов с полностью идентичными адресными реакциями, но могут существовать нейроны с идентичными составляющими адресной реакции. Детекторы с одинаковыми адресными частями, например, могут находиться в различных пространственных модулях, выполняющих одни и те же функции обработки информации. Так, например, в стриарной коре содержатся колонки нейронов, реагирующих на одну и ту же ориентацию отрезков в одном составном рецептивном поле [2]. Нейроны различных ориентационных колонок, реагирующие на стимулы в одном и том же составном рецептивном поле, образуют пространственный модуль, размеры которого, по оценке Д. Хьюбела, составляют примерно 2×2 мм. Если принять гипотезу адресной упорядоченности нейронов в модуле, то логично предположить, что нейроны-детекторы одной и той же ориентации в различных пространственных модулях будут иметь одинаковые адресные составляющие, совпадение которых может быть определено нейронами-анализаторами. В данном случае можно говорить о пространственном сравнении реакций одновременно возбужденных детекторов, находящихся в модулях, имеющих различное пространственное расположение.

Очевидно, что существует также *временное сравнение* реакций, когда сигналы поступают последовательно из одного модуля. Примером временного сравнения может служить последовательность возбуждений одного структурного детектора образа в течение времени его *экспозиции*.

Под экспозицией воспринимаемого образа (от лат. expositio – выставление на показ), в данном случае, будем понимать период времени, в течение которого образ находится в фокусе внимания.

Предположим, что нейрон-анализатор совпадений a_m осуществляет пространственное сравнение адресных реакций. В этом случае на входы анализатора a_m одновременно поступают сигналы от n детекторов одного типа и уровня обработки информации, образу-

ющие входной вектор \bar{X} . Анализатор a_m будет возбуждаться при любом количестве сигналов во входном векторе, если их адресная составляющая $x_i(a)$ принадлежит концепту $Con(a_m)$ [1].

Отличительной особенностью НЭ-анализаторов, по сравнению с НЭ-детекторами, должно быть то, что при одинаковых уровнях возбуждения пресинаптических детекторов, амплитуды ВПСП анализаторов могут быть не идентичными. Данные ВПСП должны зависеть от адресных составляющих входных сигналов. Тогда, одинаковые адресные составляющие в анализаторах совпадения должны вызывать одинаковые локальные ВПСП, которые будут ими интерпретироваться как «единичные» ВПСП. Различные адресные составляющие должны вызывать в анализаторах различия разные локальные ВПСП, амплитуда которых будет зависеть от положения детектора на линейной шкале порядка характеристических детекторов в модуле.

В зависимости от количества совпадающих адресов формируется уровень возбуждения анализатора a_m , который будет определять частотную составляющую $y(b')$ его реакции $y(a', b')$. Таким образом, анализатор a_m осуществляет преобразование информации, кодируемой адресными составляющими реакций пресинаптических нейронов-детекторов, в частотный код значения числа совпадающих реакций. Работа анализатора совпадений похожа на работу сенсорного нейрона и практически сводится к суммированию входных сигналов (ВПСП). Структурная схема НЭ-анализатора совпадений a_m представлена на рис. 2, где

\bar{X} – входной вектор сигналов;

A – блок определения адресов пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(a)$;

B – блок определения уровней возбуждения пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(b)$;

C – блок памяти концепта $Con(a_m)$;

$K1$ – компаратор, осуществляющий установление принадлежности входного вектора $\bar{x}(a)$ концепту $Con(a_m)$;

h_1 – сигнал торможения, формируемый $K1$ в случае несовпадения входного вектора $\bar{x}(a)$; с концептом $Con(a_m)$. Сигнал h_1 «сбрасывает» значения A и B ;

D – блок формирования $g' = \sum x_i(b) | x_i(a) \in Con(a_m)$;

Σ – сумматор, вычисляющий значение $\Delta g = g_0 + g'$;

F – блок памяти значения g_0 ;

G – блок памяти значения g^* – порога возбуждения НЭ-анализатора;

$K2$ – компаратор, осуществляющий установление превышения значения Δg величины g^* ;

H – блок формирования выходного сигнала $y_i(a', b')$.

Представим процесс формирования частотной составляющей $y(b')$ реакции НЭ-анализатора совпадений a_m в формальном виде:

Представим процесс формирования частотной составляющей $y(b')$ реакции НЭ-анализатора совпадений a_m в формальном виде:

$$y(b') = (g_0 + g') > g^*, \quad (1)$$

$$g' = \sum x_i(b) | x_i(a) \in Con(a_m), \quad (2)$$

где g' – величина, определяющая вклад «единичных» сигналов входного вектора, принадлежащих $Con(a_m)$, в суммарный ВПСП;

g_0 – базовая величина – аналог потенциала покоя (rp);

g^* – пороговая величина.

Величины g_0 и g^* , в данной модели в отличие от модели НЭ-детектора [1], необходимы для устойчивой работы НЭ-анализатора в режиме фоновой активности НЭ-детекторов.

На следующем этапе происходит детектирование значения частотной реакции НЭ-анализатора характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Таким образом, в процессе анализа и синтеза информации осуществляется чередование видов кодирования базовых информационных составляющих реакций нейроэлементов – «адрес-частота-адрес», осуществляемых последовательностью НЭ-детекторов и НЭ-анализаторов.

Теперь рассмотрим структуру и функционирование НЭ-анализаторов различий a_d , являющихся информационными моделями соответствующих нейронов-анализаторов.

Операция установления различия адресных составляющих реакций детекторов, в результате их сравнения, является бинарной операцией. Очевидно,

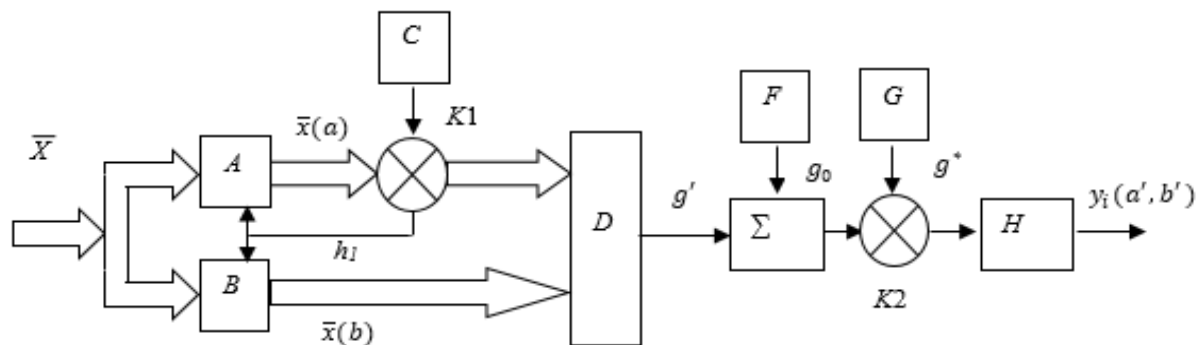


Рис. 2. Структурная схема НЭ-анализатора совпадений a_m

что имеет смысл говорить о различии реакций только характеристических детекторов только одной характеристики.

Допустим, что НЭ-анализатор различий осуществляет пространственное сравнение реакций. В принципе, данный анализатор является мультиполярным НЭ, но одновременно могут сравниваться реакции только двух характеристических НЭ-детекторов.

Так как характеристические НЭ-детекторы имеют линейную адресную упорядоченность в модулях, то различие адресов двух детекторов в различных пространственных модулях можно выразить с помощью некоей меры, например, с использованием натуральных чисел и направления (вектора) изменения адресных значений.

Таким образом, различие имеет две информационные составляющие:

- величину или модуль различия mod ;
- направление изменения сравниваемых величин или вектор различия vec .

Следовательно, в соответствии с принципом максимального разделения характеристик, должны существовать два типа НЭ-анализаторов различия: *анализатор модуля различия* $a_d(mod)$ и *анализатор вектора различия* $a_d(vec)$.

Структурная схема НЭ-анализатора модуля различия $a_d(mod)$ аналогична схеме, представленной на рис. 2. Данный НЭ также функционирует в соответствии с условиями (1) и (2). Предположим, что на входы $a_d(mod)$ поступает входной вектор \bar{X} , состоящий из сигналов $x_1(a,b)$ и $x_2(a,b)$, где $x_i(a)$ – адресные, $x_i(b)$ – частотные составляющие сигналов, и $x_1(b) = x_2(b)$.

Адресные составляющие сигналов $x_1(a)$ и $x_2(a)$, в случае их принадлежности к концепту $Con(a_d(mod))$, вызывают локальные постсинаптические потенциалы (ЛПСП), соответственно: LPP_1 и LPP_2 . $Con(a_d(mod))$ представляет собой память «адресов» НЭ-детекторов, которые могут участвовать в операции сравнения. Допустим, что $LPP_1 > LPP_2$.

НЭ-анализатор $a_d(mod)$ в блоке интерпретации и суммирования D всегда интерпретирует большее значение ЛПСП, в данном случае LPP_1 , как ВПСП, а меньшее значение – как тормозящий постсинаптический потенциал (ТПСП), в данном случае это LPP_2 . Тогда, мембранный потенциал (МП) mp НЭ-анализатора, вычисляемый блоком D , будет равен:

$$mp = LPP_1 - LPP_2. \quad (3)$$

Таким образом, значение различия «адресов» пресинаптических детекторов $x_1(a)$ и $x_2(a)$ определяет величину МП и кодируется частотной реакцией $y(b')$ НЭ-анализатора $a_d(mod)$. Пороговая величина g^* для данного НЭ должна составлять значение минимально возможной разности ВПСП и ТПСП.

Далее осуществляется процесс детектирования значения частотной реакции НЭ-анализатора $a_d(mod)$ характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Значение вектора различия, в отличие от модуля различия, является бинарной величиной. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(vec)$ представлена на рис. 3. Предположим, что вектор различия может принимать значения, интерпретируемые репрезентативной системой, например, как «уменьшение-увеличение». Анализатор вектора различия является НЭ того же уровня обработки информации, что и анализатор модуля различия, следовательно, на входы $a_d(vec)$ поступают те же сигналы, что и на входы $a_d(mod)$.

Отличительной особенностью $a_d(vec)$ является отсутствие суммации ЛПСП. Анализатор вектора различия, в случае принадлежности адресных составляющих входных сигналов $x_1(a)$ и $x_2(a)$ концепту $Con(a_d(vec))$, только сравнивает LPP_1 и LPP_2 и определяет направление изменения их величины относительно выбранной точки начала вектора pb . При сравнении, выбор LPP_i в качестве pb либо точки конца вектора pe осуществляется системой внимания [7]. Например, структурный элемент воспринимаемого

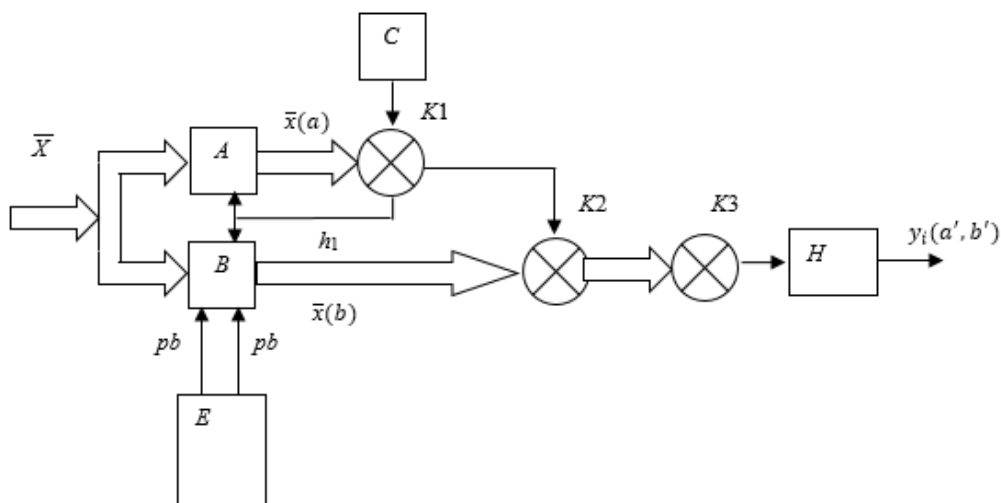


Рис. 3. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(vec)$

образа, находящийся в фокусе внимания, будет определяться как pb вектора.

В данном анализаторе преодоление пороговой величины g^* связано с выполнением условия $LPP_1 \neq LPP_2$. Частотная реакция $a_d(ves)$, формируемая блоком H может принимать бинарное значение: $y_1(b')$ – в случае $LPP_{pb} > LPP_{pe}$ либо $y_2(b')$ – в случае $LPP_{pb} < LPP_{pe}$. В первом случае реакция будет соответствовать значению характеристики «уменьшение», а во втором – «увеличение». Частотная реакция анализатора $a_d(ves)$ детектируется характеристическим детектором в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Структурная схема НЭ-анализатора вектора различия $a_d(ves)$ представлена на рис. 3, где

\bar{X} – входной вектор сигналов;

A – блок определения адресов пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(a)$;

B – блок определения уровней возбуждения пресинаптических НЭ и формирования входного вектора $\bar{x}(b)$ в соответствии с сигналами управления $pb - pe$;

E – система внимания, осуществляющая формирование управляющих сигналов, задающих точки $pb - pe$ во входном векторе сигналов;

C – блок памяти концепта $Con(a_d(ves))$;

$K1$ – компаратор, осуществляющий установление принадлежности входного вектора $\bar{x}(a)$ концепту $Con(a_d(ves))$;

h_1 – сигнал торможения, формируемый $K1$ в случае несовпадения входного вектора $\bar{x}(a)$ с концептом $Con(a_d(ves))$. Сигнал h_1 «сбрасывает» значения A и B ;

$K2$ – компаратор, осуществляющий проверку выполнения условия $LPP_1 \neq LPP_2$;

$K3$ – компаратор, осуществляющий сравнение LPP_{pb} и LPP_{pe} ;

H – блок формирования выходного сигнала $y_i(a', b')$.

Определение и выбор точек $pb - pe$ имеет большее значение не только для формирования вектора различия сравниваемых величин, но и для формирования линейного порядка элементов в векторе входных сигналов структурных детекторов [7]. Так, еще на этапе формирования презентации отрезка, его концы воспринимаются как детектируемые зрительные стимулы, локализирующие местоположение отрезка в зрительном поле и ограничивающие его длину [2]. В работе [7] было указано не только на роль детектирования концов отрезков, но и обосновано значение выбора из них точек $pb - pe$. Выбор данных точек, в частности, позволяет говорить об ориентации отрезка не в пределах 180° , а о направлении ориентации отрезка в ориентационной системе координат презентативной системы в пределах 360° . То есть, в данной системе координат отрезок определенной ориентации, в зависимости от выбора точек $pb - pe$, может быть представлен двумя противоположными направлениями ориентации. Возможно, что именно этим объясняется наличие двух циклов изменения ориентации в модуле первичной зрительной коры, который был описан

Д. Хьюбелом в работе [2]. О возможном наличии подобной ориентационной избирательности в стриарной коре может говорить и существование детектирования дирекционной избирательности движения зрительного стимула.

Очевидно, что определение точек $pb - pe$ в векторе входных сигналов структурных детекторов может осуществляться не только системой внимания, но и другими механизмами, которые будут рассмотрены в следующих работах.

Элементы входного вектора сигналов НЭ, линейно упорядоченные относительно точек $pb - pe$, назовем *модам*. Определим, что существуют *структурные моды* и *характеристические моды* определенной характеристики. Тогда, вектор входных сигналов можно назвать *модальным вектором*. Роль модального вектора и его формирование также рассмотрим в следующих работах.

Заключение. Представленные в статье теоретические положения дополняют и уточняют принципы построения ДНС [1, 7]. Данные положения являются самостоятельным результатом и не зависят от степени их адекватности современным представлениям нейрофизиологии. Попытка объяснения представленных информационных моделей с точки зрения нейрофизиологии и нейропсихологии лишь показывает возможности изложенного в статье подхода и определяет направления исследований. Представленные результаты позволяют построить ДНС, моделирующую функционирование стриарной коры мозга по распознаванию двумерных статических контурных изображений на основе применения процедур встречного обучения [1].

Список литературы

1. Паржин Ю. В. Детекторный принцип построения искусственных нейронных сетей как альтернатива коннекционистской парадигме. *Системы управления, навигации та зв'язку: зб. наук. пр.* Полтава: Полтавський національний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. Вип. 4 (44). С. 80–101.
2. Hubel D. H. *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library a Division of NPHLP New York, 1988, 256 p.
3. Klatzky R. L. *Human Memory: Structures and Processes*. W H Freeman & Co; 2nd edition, 1980. 358 p.
4. Pribram K. *Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall. 1971, 432 p.
5. Соколов Е. Н. Очерки по психофизиологии сознания. Часть 1. Сферическая модель когнитивных процессов. Глава 2. От карты детекторов – к карте памяти и карте семантических единиц. *Вестник Московского университета*. Москва: МГУ. 2019. Серия 14. Психология. № 3. С. 3–27.
6. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson, 3 edition, 2008. 936 p.
7. Parzhin Y. *Principles of modal and vector theory of formal intelligence systems*. URL: arXiv:1302.1334v1; CoRR abs/1302.1334 (дата обращения: 30.09.2019).
8. Edelman G. M., Mountcastle V. B. *The mindful brain. Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function*. The MIT Press. 1978. 135 p.
9. Данилова Н. Н. *Психофизиология: учебник для вузов*. Москва: Аспект Пресс, 2004. 368 с.
10. Zeki S. The construction of colours by the cerebral cortex. *Proc. Roy. Inst. Gt. Britain* 56, 1984. P. 231–257.
11. Erickson R. P. Stimulus coding in topographic and non-topographic efferent modalities: On the significance of the activity of individual sensory neurons. *Psychol. Rev.* 1968. V. 75 (6). P. 447–465.

12. Жуков В. В., Пономарева Е. В. *Физиология нервной системы: учебное пособие*. Калининград: Калининградский университет, 1999. 64 с.

References (transliterated)

1. Parzhin Y. V. Detektornyj princip postroenija iskusstvennyh neyronnih setej kak al'ternativa konnektionistskoj paradigme [Detector principle of constructing artificial neural networks as an alternative to the connectionist paradigm]. *Sistemy upravlinnja, navigacii' ta zv'jazku: zb. nauk. pr.* [Management, navigation and communication systems: a collection of scientific papers]. Poltava: Poltavsk'kyj nacional'nyj universytet imeni Jurija Kondratjuka Publ., 2017, issue. 4 (44), pp. 80–101.
2. Hubel D. H. *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library a Division of HPHLP New York, 1988. 256 p.
3. Klatzky R. L. *Human Memory: Structures and Processes*. W H Freeman & Co; 2nd edition. 1980. 358 p.
4. Pribram K. *Languages of the brain; experimental paradoxes and principles in neuropsychology*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 1971. 432 p.
5. Sokolov E. N. Oчерки по психифизиологии soznaniija. Chast' 1. Sfericheskaia model' kognitivnyh processov. Glava 2. Ot karty detektorov – k karte pamjati i karte semanticheskikh edinic [Essays on the psychophysiology of consciousness. Part 1. Spherical model of cognitive processes. Chapter 2. From the map of detectors to the memory card and the map of semantic units] *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Bulletin of the Moscow University]. Moscow: MGU Publ., 2019, series 14, Psihologij, no. 3, pp. 3–27.
6. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson, 3 edition, 2008. 936 p.
7. Parzhin Y. *Principles of modal and vector theory of formal intelligence systems*. URL: arXiv:1302.1334v1; CoRR abs/1302.1334 (accessed 30.09.2019).
8. Edelman G. M., Mountcastle V. B. *The mindful brain. Cortical Organization and the Group-Selective Theory of Higher Brain Function*. The MIT Press. 1978. 135 p.
9. Danilova N. N. *Psihofiziologija: uchebnik dlja vuzov* [Psychophysiology: a textbook for universities] Moscow: Aspekt Press Publ., 2004. 368 p.
10. Zeki S. The construction of colours by the cerebral cortex. *Proc. Roy. Inst. Gt. Britain* 56, 1984, pp. 231–257.
11. Erickson R. P. Stimulus coding in topographic and non-topographic efferent modalities: On the significance of the activity of individual sensory neurons. *Psychol. Rev. Publ.*, 1968, issue. 75 (6), pp. 447–465.
12. Zhukov V. V., Ponomareva E. V. *Fiziologija nervnoj sistemy: uchebnoe posobie* [Physiology of the nervous system: a training manual] Kaliningrad: Kaliningradskij universitet Publ., 1999. 64 p.

Поступила (received) 04.10.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Паржин Юрій Володимирович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Солощук Михайло Миколайович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Любченко Наталія Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інформатики та інтелектуальної власності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net

Паржин Юрий Владимирович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Солощук Михаил Николаевич – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Любченко Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net

Parzhin Yuri Vladimirovich – doctor of technical sciences, senior researcher, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5727-1918>; e-mail: pargin59@gmail.com

Soloshchuk Mykhaylo Mykolayovych – doctor of philosophy of technical sciences, professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-5101>; e-mail: solo@insart.com

Liubchenko Nataliia Yuriivna – doctor of philosophy of technical sciences, associate professor, department of computer science and intellectual property, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4575-4741>; e-mail: n_lubchenko@ukr.net

М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, Т. Є. ГОНЧАРЕНКО, Г. О. БУРЛАКОВ, Д. К. МАЛЕЦЬ

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛЕЙ ЗРІЛОСТІ

Стисло розглянуті основні етапи еволюції поняття якості виробу та послуги, починаючи з системи Тейлора до концепції тотального менеджменту якості TQM (Total Quality Management). Зважаючи на універсальний характер стандартів серії ISO-9000, вони були застосовані в області програмної інженерії. Шляхи підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ) розглядаються на основі моделей зрілості. Основними моделями зрілості є: CMMI (Capability Maturity Model Integration) та SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI реалізована у двох варіантах – дискретному і безперервному. Першому відповідає поняття «рівень зрілості», а другому – «рівень можливості». З цими поняттями пов'язана оцінка поточного стану ПР ПЗ організації та окремих фокусних областей. На відміну від моделі CMMI модель зрілості SPICE реалізована тільки в одному варіанті – безперервне подання. Ця модель визначає тільки поняття «рівень можливості» окремо взятих процесів. Аналогом фокусної області моделі CMMI є поняття процесу моделі SPICE, який складається з практик. Основним недоліком моделі CMMI є те, що вона не урахує особливості організації розробника ПЗ. З іншого боку, при використанні моделі SPICE по відношенню до окремого процесу експерти можуть використовувати наступну інформацію: методологію управління проектом; модель життєвого циклу ПР ПЗ; особливості предметної області; цілі організації. На основі розглянутої структури та проведеного порівняльного аналізу цих моделей виявлені окремі їх властивості, які дозволили сформулювати шляхи підвищення зрілості ПР ПЗ. Основними з них є: формалізація моделей зрілості; розробка математичних моделей підвищення рівня зрілості як окремих процесів, так і всього ПР ПЗ; формування дискретної моделі зрілості на основі SPICE; використання методології колективного експертного оцінювання вихідного стану окремих фокусних областей моделі CMMI і процесів моделі SPICE.

Ключові слова: якість, процес розробки програмного забезпечення, модель зрілості, фокусна область, практика, формалізація моделей зрілості, методологія колективного експертного оцінювання.

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, Т. Е. ГОНЧАРЕНКО, Г. А. БУРЛАКОВ, Д. К. МАЛЕЦ

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ЗРЕЛОСТИ

Кратко рассмотрены основные этапы эволюции понятия качества изделия и услуги, начиная с системы Тейлора до концепции тотального менеджмента качества TQM (Total Quality Management). Учитывая универсальный характер стандартов серии ISO-9000, они были применены в области программной инженерии. Пути повышения качества процесса разработки программного обеспечения (ПР ПО) рассматриваются на основе моделей зрелости. Основными моделями зрелости являются: CMMI (Capability Maturity Model Integration) и SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI реализована в двух вариантах – дискретном и непрерывном. Первому соответствует понятие «уровень зрелости», а второму – «уровень возможности». С этими понятиями связана оценка текущего состояния ПР ПО организации и отдельных фокусных областей. В отличие от модели CMMI модель зрелости SPICE реализована только в одном варианте – непрерывное представление. Эта модель определяет только понятие «уровень возможности» отдельно взятых процессов. Аналогом фокусной области модели CMMI является понятие процесса модели SPICE, который состоит из практик. Основным недостатком модели CMMI является то, что она не учитывает особенности организации разработчика ПО. С другой стороны, при использовании модели SPICE по отношению к отдельному процессу эксперты могут использовать следующую информацию: методологию управления проектом; модель жизненного цикла ПР ПО; особенности предметной области; цели организации. На основе рассмотренной структуры и проведенного сравнительного анализа этих моделей выявлены отдельные их свойства, которые позволили сформулировать пути повышения зрелости ПР ПО. Основными из них являются: формализация моделей зрелости; разработка математических моделей повышения уровня зрелости как отдельных процессов, так и всего ПР ПО; формирование дискретной модели зрелости на основе SPICE; использование методологии коллективного экспертного оценивания исходного состояния отдельных фокусных областей модели CMMI и процессов модели SPICE.

Ключевые слова: качество, процесс разработки программного обеспечения, модель зрелости, фокусная область, практика, формализация моделей зрелости, методология коллективного экспертного оценивания.

M. D. GODLEVSKIY, T. YE. GONCHARENKO, G. O. BURLAKOV, D. K. MALETS

WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF SOFTWARE BASED ON MODELS OF MATURITY

The basic evolution stages of the product and services quality concept are briefly discussed starting with the Taylor's system concept total quality management TQM (Total Quality Management). Given the universal nature of the ISO-9000 standard series, they were applied in the field of software engineering. The ways of the quality improvement of the software development process (DP software) are considered on the basis of maturity models. The two main maturity models are: CMMI (Capability Maturity Model Integration) and SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination). CMMI is implemented in two versions - discrete and continuous. The first one corresponds to the concept of "maturity level," and the second - to the "opportunity level". The assessment of the current state of the DP software organization and individual focus areas relate respectively to these concepts. In contrast to the CMMI model, the SPICE maturity model is implemented in only one version - continuous presentation. This model defines only the concept of "opportunity level" of individual processes. The equivalent of the focus area of the CMMI model is the concept of the SPICE model process which consists of certain operations. The main disadvantage of the CMMI model is that it does not specify a software developer's organization. On the other hand, when using the SPICE model in relation to an individual process, experts may use the following information: project management methodology; model of the life cycle of DP software; features of the subject area; organization goals. On the basis of the considered structure and the comparative analysis of these models, their individual properties were identified, which made it possible to define the ways of DP software maturity improvement. The main of these are: the formalization of maturity models; the development of mathematical models for increasing the level of maturity of both individual processes and the whole DP software; creating a discrete maturity model based on SPICE; using the methodology of collective expert assessment of the initial state of individual focus areas of the CMMI model and the processes of the SPICE model.

Keywords: quality, software development process, maturity model, focus area, operations, maturity model formalization, collective expert assessment methodology.

Вступ. У ринковій економіці проблема якості є важливим фактором підвищення рівня життя, соціальної, економічної та політичної безпеки країни. Якість – комплексне поняття, яке характеризує ефективність усіх сторін діяльності складної системи. Важливою складовою усієї системи якості є якість продукції та наданих послуг. З часом поняття якості зазнало значну еволюцію. Перший етап відповідав початковим задачам системного підходу до управління якістю. Це система Тейлора – управління якістю окремо взятого виробу (послуги). Другий етап відповідав управлінню процесами. Наголос з інспекції та виявлення дефектів було перенесено на їх попередження шляхом виявлення причин дефектів та їх усунення на основі вивчення процесів і управління ними. Третій етап характеризується концепцією тотального контролю якості – TQC (Total Quality Control) на окремих етапах проектування та виробництва продукції та подання послуг. На четвертому етапі почався перехід від тотального контролю якості до тотального менеджменту якістю – TQM (Total Quality Management). У цей відрізок часу з'явилася серія нових міжнародних стандартів на системи якості – стандарти ISO-9000. Якщо TQC – це управління якістю з метою виконання заданих вимог, то TQM – це управління цілями та вимогами.

Зважаючи на універсальний характер стандартів серії ISO-9000, вони були застосовані в області програмної інженерії для вирішення задач підвищення якості розробки програмних систем (ПС). Запорукою цього є запровадження у практиці організацій-розробників ПС підтримуючих процесів життєвого циклу (ЖЦ) ПС: «гарантування якості», «управління якістю», «верифікація і валідація». Термін «гарантування якості» відповідає терміну «Software Quality Assurance» (SQA), який використовується закордоном, а «верифікація і валідація» – «Verification and Validation» (V&V). SQA пов'язано з двома видами діяльності: запровадження стандартів якості і відповідних процедур у розробці ПС; оцінка прихильності цим стандартам і процедурам. Об'єктом дослідження SQA є процеси ЖЦ ПС, а не програмні продукти. Для контролю якості програмних продуктів призначено процес V&V. Для забезпечення цілеспрямованого підходу до вирішення задачі гарантії якості ПС та удосконалення процесів ЖЦ ПС SQA інтегрується з процесом управління якістю.

На теперішній час велика кількість наукових досліджень присвячені оцінюванню стану процесу розробки програмного забезпечення (ПР ПЗ). Деякі з них присвячені окремим процесам, інші розглядають цю проблему на рівні всього ПР ПЗ організації. У більшості використовуються відповідні моделі на вербальному рівні. Тому постало питання аналізу шляхів підвищення якості ПР ПЗ на основі математичного моделювання.

Постановка задачі. Покращення процесу розробки програмного забезпечення (Software Process Improvement, SPI) [1, 2] це сукупність дій, які спрямовані на поліпшення характеристик ПР у результаті виконання

деякого набору заходів. Важливим моментом є той факт, що критеріями успіху цих дій є характеристики ПР, а не характеристики програмного забезпечення, яке розробляється. Серед підходів до покращення ПР можна виділити такі, які базуються на: стандарті ISO-9001:2000 [3], понятті моделі зрілості [4, 5], технології Six Sigma [6].

У подальшому у роботі шляхи підвищення якості ПР ПЗ будемо розглядати на основі моделей зрілості, які базуються на таких фундаментальних поняттях:

1. Процес – послідовність дій, які виконуються із заданою метою і використовуються розробниками для створення і супроводу ПЗ і пов'язаних з ним продуктів:
 - планів проекту;
 - проектних документів;
 - сценаріїв тестування і т. і.
2. Здатність процесу – результати, які можна очікувати, якщо організація дотримується даного технологічного процесу. Це поняття відноситься до майбутніх проектів і базується на характеристиках технологій, які досягнуті на попередніх проектах.
3. Продуктивність процесу – фактичні результати, які досягнуті організацією, що дотримується даного процесу. Це поняття асоціюється з вже виконаними проектами.
4. Зрілість технології – ступінь визначеності, керованості, контрольованості та ефективності технології. Це індикатор повноти технології і ступеня послідовності організації в її застосуванні на всіх проектах.
5. Фокусна область – відповідає за категорію дій, пов'язаних з окремою дисципліною процесу розробки ПЗ: обробка вимог; проектування або конструювання ПЗ і т. і.
6. Практика – окрема дія у межах відповідної фокусної області/процесу.

Двома основними моделями зрілості є:

- Capability Maturity Model Integration – CMMI;
- Software Process Improvement and Capability dEtermination – SPICE.

CMMI реалізована у двох варіантах – дискретному і безперервному. Першому відповідає поняття «рівень зрілості», а другому – «рівень можливості». З цими поняттями пов'язана оцінка поточного стану ПР ПЗ організації та окремих фокусних областей відповідно. У якості прикладу опис фокусної області PMC (Project Monitoring and Control) моделі CMMI представлено у таблиці 1. PMC1 та PMC2 – цілі фокусної області PMC. На третьому рівні кожна з цілей має практики. Перша – сім практик, друга – три практики.

На відміну від моделі CMMI модель зрілості SPICE реалізована тільки в одному варіанті – безперервне подання. Ця модель визначає тільки поняття «рівень можливості» окремо взятих процесів. Тому модель зрілості SPICE не дозволяє зробити оцінку ПР ПЗ організації в цілому.

Таблиця 1 – Приклад опису фокусної області моделі CMMI

PMC – виконання моніторингу і контролю проекту (з метою коригування дій, якщо рівень виконання проекту відрізняється від плану)									
PMC1 – фактичний рівень виконання проекту і його просування контролюється відносно плану проекту							PMC2 – коригувальні дії знаходяться під спеціальним управлінням аж до завершення проекту		
1. Моніторинг фактичних значень параметрів і заданих в плані проекту	2. Моніторинг зобов'язань щодо осіб, зазначених у плані проекту	3. Моніторинг ризиків щодо ризиків, визначених у плані проекту	4. Моніторинг управління даними проекту щодо плану проекту	5. Моніторинг участі зацікавлених сторін щодо плану проекту	6. Періодичне оцінювання ходу проекту, рівня виконання і виникнення проблем	7. Оцінювання досягнень проекту та результатів на окремих контрольних точках проекту	1. Збір і аналіз проблем, і визначення коригувальних дій по їх усуненню	2. Впровадження коригувальних дій по виконаним проблемам	3. Управління коригувальними діями до завершення проекту

Аналогом фокусної області моделі CMMI є поняття процесу моделі SPICE, який складається з практик. У якості прикладу у таблиці 2 представлена структура документування SUP1 категорії SUP (Support category). Процеси цієї категорії забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту.

Таблиця 2 – Приклад опису процесу моделі SPICE

SUP1 – процес документування	
Практики	SUP1.1 – розробити політику документування
	SUP1.2 – розробити стандарти документування
	SUP1.3 – визначити вимоги до документації
	SUP1.4 – розробити документацію
	SUP1.5 – перевірити документацію
	SUP1.6 – розповсюдити документацію
	SUP1.7 – підтримувати документацію

Моделі зрілості CMMI та SPICE описано на вербальному рівні. Це не дозволяє реалізувати автоматизацію процесу покращення якості ПР ПЗ. Основним недоліком моделі зрілості CMMI є те, що вона не урахує особливості організації розробника ПЗ, такі як: методології розробки і управління проектами, цілі та предметну область діяльності організації. Модель CMMI використовується для зовнішнього аудиту. Вона забезпечує атестацію ПР ПЗ організації з отриманням відповідного сертифікату.

З іншого боку при використанні моделі SPICE по відношенню до окремого процесу експерти можуть використовувати наступну інформацію: методологію управління проектом; модель життєвого циклу ПР ПЗ; особливості предметної області; цілі організації. Але не існує моделі зрілості на базі SPICE, яка інтегровано урахує ці особливості відносно всього ПР ПЗ організації. Все це зумовлює пошук шляхів підвищення

якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі зрілості CMMI та SPICE.

Структура та порівняльний аналіз моделей CMMI та SPICE. Для того, щоб визначити шляхи підвищення якості ПР ПЗ на основі моделей зрілості

CMMI та SPICE необхідно попередньо проаналізувати їх структуру та провести порівняльний аналіз. Це дозволить виявити окремі властивості кожної з цих моделей, провести їх формалізацію і розробити відповідні математичні моделі, на базі яких легше визначити шляхи підвищення якості ПР ПЗ.

Розглянемо більш детально структуру моделі зрілості CMMI. Як було підкреслено вище, безперервне подання моделі CMMI використовує рівні можливості для опису стану процесів організації щодо окремої фокусної області. Фактично рівні можливості оцінюють якість окремих процесів організації. Виділяють чотири рівня можливостей (від 0 до 3): 0 – неповний, 1 – виконуваний, 2 – керований, 3 – певний. Характеристика кожного рівня можливостей наведена в [4]. Для оцінки рівня можливостей окремої фокусної області у роботі [7] запропоновано проводити оцінку рівня можливості окремих практик фокусних областей з урахуванням вагових коефіцієнтів важливості практик.

Перейдемо до опису структури дискретного подання моделі CMMI (табл. 3). Стисла характеристика кожного рівня зрілості цієї моделі представлена у таблиці 4. Вважається, що першому (початковому) рівню зрілості моделі CMMI відповідає кожна організація розробник ПЗ. Цей рівень характеризується відсутністю фокусних областей і успіх проектів повністю залежить від досвіду співробітників. Другому рівню зрілості відповідають сім фокусних областей. У якості прикладу перелічимо

Таблиця 3 – Структури моделі CMMI

Рівень зрілості									
2		3			4			5	
Категорії									
Управління проектами	Підтримка	Управління процесами	Управління проектами	Інженерія	Підтримка	Управління процесами	Управління проектами	Управління процесами	Підтримка
Кількість фокусних областей									
4	3	3	2	5	1	1	1	1	1
Цілі та практики фокусних областей									

Таблиця 4 – Стисла характеристика рівнів зрілості CMMI

Рівень	Стисла характеристика
1. Початковий	В організації мало чи зовсім не має спільних процесів. Успіх проектів повністю залежить від досвіду співробітників.
2. Повторювальний	В організації впроваджені стандартні процеси управління проектами. Є спроби створити фундамент для подальшого підвищення рівня зрілості.
3. Визначений	Крім впровадження стандартів для процесів управління проектами ведеться робота по стандартизації у виробничій діяльності.
4. Керований	Реалізовано зворотній зв'язок по управлінню. Відбувається вимірювання всіх аспектів процесів управління проектами та виробництва. Реалізовано сховище ключових знань, отриманих в проектах.
5. Оптимізуючий	Впроваджено замкнутий цикл виконання процесів, вимірювання та безперервного покращення.

ці області. Категорія управління проектами містить у собі наступні фокусні області: моніторинг та контроль проекту; планування проекту; управління вимогами; менеджмент угод з постачальниками. Категорія підтримка містить у собі фокусні області: управління конфігурацією; вимірювання та аналіз; оцінка якості товарів та процесів. Для того, щоб ПР ПЗ організації досягнув другого рівня зрілості, необхідно всім практикам мати рівень можливості не нижче другого. Третьому рівню зрілості відповідають вісімнадцять фокусних областей. До семи фокусних областей другого рівня зрілості додаються ще одинадцять, які відповідають чотирьом категоріям. Категорія управління процесами містить наступні фокусні області: визначення організаційного процесу; фокусування на процесах організації; організаційний тренінг. Категорія управління проектами містить дві фокусні області: інтегроване управління проектами; управління ризиками. Категорія інженерія складається з наступних фокусних областей: інтеграція продукту; розробка вимог; технічні рішення; валідація; верифікація. Категорія підтримка має тільки одну фокусну область – аналіз та вибір рішень. Для того, щоб ПР ПЗ організації досяг третього рівня зрілості, необхідно всім практикам мати третій (максимальний) рівень можливості. Необхідно підкреслити, що досягти третього рівня зрілості відповідно моделі CMMI є ціллю багатьох організацій розробників ПЗ. На четвертому рівні зрілості додаються ще дві фокусні області – організаційна ефективність процесу та кількісне

управління проектом, яким відповідають категорії управління процесами та управління проектами відповідно. На п'ятому рівні зрілості додаються ще дві фокусні області. Це організаційне управління ефективністю і аналіз причин та вибір варіантів, які відповідають категоріям управління процесами та підтримка. Як і для третього рівня зрілості всі практики четвертого та п'ятого рівнів зрілості повинні мати третій рівень можливості.

Перейдемо до опису структури еталонної моделі SPICE, яка може бути застосована до будь-якої організації розробника ПЗ, що організує процеси придбання, поставки, розробки, використання, розвитку та підтримки ПЗ. Ця модель не залежить від певної організаційної структури управління, моделі життєвого циклу ПЗ, технології програмування. Як видно з таблиці 5, усі процеси еталонної моделі об'єднуються у три групи, які містять п'ять категорій процесів.

Група основних процесів життєвого циклу складається з наступних категорій процесів:

- процеси, що безпосередньо пов'язані зі споживачем (Customer-supplier category – CUS);
- процеси, що встановлюють вимоги до системи і програмного продукту, процеси реалізації та супроводу (Engineering category – ENG)

Група допоміжних процесів життєвого циклу має тільки одну категорію процесів. Це процеси, які забезпечують і підвищують продуктивність інших процесів проекту (Support category – SUP).

Таблиця 5 – Структура еталонної моделі SPICE

Групи процесів еталонної моделі				
Основні процеси		Допоміжні процеси	Організаційні процеси	
Категорії процесів				
CUS	TNG	SUP	MAN	ORG
Кількість процесів/підпроцесів				
8	8	8	4	8
Практики				

Група організаційних процесів життєвого циклу складається з наступних категорій процесів:

- процеси запуску проекту та управління його ресурсами (Management category – MAN);
- процеси, що визначають бізнес-цілі організації та розвивають продукти, ресурси і процеси, що дозволяють досягти бізнес-цілі (Organization category – ORG).

У якості прикладу розглянемо структуру категорії ENG. До неї відносяться процес супроводу системи та програмного забезпечення і підпроцеси процесу розробки:

- аналіз вимог до розробки системи;
- аналіз вимог до програмного забезпечення;
- проектування програмного забезпечення;
- конструювання програмного забезпечення;
- інтеграція програмного забезпечення;
- тестування програмного забезпечення;
- інтеграція та тестування системи.

Еталонна модель має два виміри:

- 1) «процес» – містить твердження про призначення процесів;
- 2) «можливість» – містить набір атрибутів, які придатні до будь-якого процесу, що представляють вимірні характеристики, необхідні для управління процесом і підвищення можливості його виконання.

Атрибути процесів це їх риси, які оцінюються за відповідною шкалою, на якій визначається ступінь володіння процесом відповідною рисою (табл. 6).

Таблиця 6 – Ступінь володіння рисою

Позначення	Найменування	Характеристика
N	Не володіє	0%15%
P	Володіє частково	16%50%
L	Володіє в основному	51%85%
F	Володіє повністю	86%100%

У еталонній моделі SPICE використовується дев'ять атрибутів, які визначають рівень можливості процесу/під процесу. Це наступні атрибути:

1. Виконання процесу.
2. Управління виконанням.
3. Управління робочими продуктами.
4. Визначення процесу.
5. Забезпечення процесу ресурсами.
6. Вимірювання.
7. Кількісне управління процесом.
8. Зміна процесу.
9. Безперервне удосконалення.

На основі володіння рисами атрибутів у табл. 7 визначені рівні можливості окремих процесів еталонної моделі SPICE.

Таблиця 7 – Рівні можливості моделі SPICE

Атрибути	Рівень можливості				
	1	2	3	4	5
1	L/F	F	F	F	F
2		L/F	F	F	F
3		L/F	F	F	F
4			L/F	F	F
5			L/F	F	F
6				L/F	F
7				L/F	F
8					L/F
9					L/F

На основі вербальної репрезентації структури моделей зрілості CMMI та SPICE наведемо їх порівняльний аналіз. При цьому відзначимо їх спільні риси і те, що їх відрізняє. В першу чергу необхідно підкреслити, що фокусні області моделі CMMI і процеси SPICE складаються з окремих практик та існує багато фокусних областей і практик, які мають спільне (однакове) призначення. Наприклад, такі як «Validation» і «Verification». Необхідно підкреслити, що рівень зрілості CMMI складається з «кубиків» (табл. 3), якими є окремі фокусні області (з відповідними рівнями можливості), а рівень можливості моделі SPICE формується з окремих «кубиків» (табл. 7), якими є дев'ять атрибутів з відповідними ступенями володіння рисами (табл. 6). Необхідно підкреслити, що рівень можливості моделі SPICE більш детально опрацьований і їх 6 (від 0 до 5). Використання дев'яти атрибутів дозволяє більш адекватно охарактеризувати кожен рівень по відношенню до конкретних процесів. В свою чергу рівнів можливості моделі CMMI тільки чотири (від 0 до 3) і вони не мають атрибутів, які з різних сторін характеризують кожен рівень. Все це говорить, що модель SPICE краще використовувати для конкретних процесів. Якщо необхідно характеризувати ПР ПЗ організації, то необхідно використовувати модель CMMI. Спільним для обох моделей є те, що первинна документація описує їх тільки на вербальному рівні.

Шляхи підвищення якості ПР ПЗ на основі моделей CMMI та SPICE.

1. Подальші кроки підвищення якості ПР ПЗ пов'язані з формалізацією моделі CMMI і використанням математичного моделювання. На теперішній час у роботах [7–9] введені дискретні змінні, які визначають

рівень можливості окремих практик. Розроблено критерій, який є інтегральним показником підвищення рівня зрілості ПР ПЗ і є функцією ступеня належності ПР ПЗ до певного рівня зрілості [7]. На основі цієї функції розроблена математична модель нелінійного програмування з адитивною цільовою функцією, яка дозволяє керівнику організації розробника ПЗ побудувати оптимальну стратегію підвищення рівня зрілості ПР ПЗ в умовах обмежених ресурсів. Роботи [8–12] є подальшим розвитком дослідження [7] шляхом використання теорії корисності і розробки математичних моделей, які базуються на ковзному плануванні. Це дозволило за рахунок спрощеної динамічної моделі зменшити розмірність задачі, а за рахунок статичної моделі підвищити точність результату. Статична модель є задачею багатокритеріальної оптимізації і у роботі [8] розглянуто три постановки задачі, одна з яких була використана при розробці відповідної інформаційної технології. Тому один з напрямків підвищення рівня зрілості ПР ПЗ є розгляд наступних постановок статичної моделі:

- дослідження моделі, яка спрямована на компромісне рішення щодо різних категорій моделі СММІ і двох груп функцій корисності;
- вирішення задачі, в якій визначається компромісне рішення між ступенем досягнення поставленої мети (цільового профайла) і необхідними для цього інтегральними ресурсами (фінанси і час).

2. Розробка плану управління якістю ПР ПЗ пов'язана з різного роду ризиками. Аналіз та управління проектними ризиками є загально визнаною методологією реалізації проектів і перетворилося у невід'ємну частину ведення бізнесу. Можна перелічити низку переваг, які дає аналіз ризиків керівництву ІТ-компанії: більш глибоке розуміння специфіки проекту, яке дозволяє формувати більш реалістичні плани і бюджети проекту; розуміння природи ризиків і їх потенційні наслідки; можливість оцінки резервів для забезпечення зменшення впливу ризиків на виконання проекту тощо. Все це говорить, що у подальшому необхідно, при формалізації моделі СММІ для управління якістю ПР ПЗ, урахувати різного роду ризики.

3. На теперішній час для вирішення задачі покращення якості ПР ПЗ на основі математичних моделей було використано тільки моделі СММІ. Однак, на основі попереднього аналізу виявлено, що модель зрілості SPICE більш адекватно описує окремі процеси ПР ПЗ. Тому однією з задач, яку у подальшому доцільно вирішувати, є використання вербального опису моделі SPICE для розробки математичних моделей управління якістю окремих процесів. Як було підкреслено вище, при управлінні якістю ПР ПЗ на основі моделі зрілості СММІ не враховуються:

- особливості методології управління проектами і моделі ЖЦ ПР ПЗ, які використовуються в організації;
- особливості предметної області;
- цілі ІТ- організації.

Тому є доцільним розробка на основі моделі SPICE нової моделі зрілості, яка буде враховувати ці особливості для управління якістю не окремого процесу, а всього ПР ПЗ ІТ- організації.

4. Якщо на базі моделі зрілості SPICE розробити нову модель, яка буде враховувати ті недоліки, які притаманні моделі СММІ при оцінці зрілості ПР ПЗ організації, то ми будемо мати модель для внутрішнього аудиту. З іншого боку, модель зрілості СММІ використовується для зовнішнього аудиту, який необхідний компанії при залученні нових об'ємів робіт. Тому одним з досліджень шляхів підвищення якості ПР ПЗ є пошук компромісного рішення між оцінкою ПР ПЗ на основі цих двох моделей.

Список літератури

1. Persse J. R. *Process Improvement Essentials*. O'Reilly, 2006. 352 p.
2. Poulin L. A. *Reducing risk with software process improvement*. Auerbach Pubs, 2005. 288 p.
3. Schlickman J. *ISO 9001:2000 Quality Management System Design*. Artech House, 2003. 406 p.
4. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Pubs, 2009. 406 p.
5. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley, 2003. 688 p.
6. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook*. 5-th Ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018. 20 p.
7. Годлевский М. Д., Брагинский И. Л. Динамическая модель и алгоритм управления качеством процесса разработки программных систем на основе модели зрелости. *Проблемы информационных технологий*. Херсон: ОЛДИ-Плюс. 2012. С. 6–13.
8. Годлевский М. Д., Голоскокова А. А. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків. 2015. № 3/2 (75). С. 23–29.
9. Годлевский М. Д., Рубин Э. Е., Голоскокова А. А. Динамическая модель планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. № 58 (1167). С. 3–6.
10. Годлевский М. Д., Рубин Э. Е., Голоскокова А. А. Улучшение качества процесса разработки программного обеспечения на основе методов последовательного анализа вариантов и локальной оптимизации. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. № 55 (1097). С. 5–10.
11. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Chipizhenko A. A. *Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model*. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 51 (1272). С. 32–37.
12. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 55 (1276). С. 26–30.

References (transliterated)

1. Persse J. R. *Process Improvement Essentials*. O'Reilly, 2006. 352 p.
2. Poulin L. A. *Reducing risk with software process improvement*. Auerbach Publ., 2005. 288 p.
3. Schlickman J. *ISO 9001:2000 Quality Management System Design*. Artech House Publ., 2003. 406 p.
4. Mutafelija B. *Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards*. Auerbach Publ., 2009. 406 p.

5. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Addison-Wesley Professional Publ., 2003. 688 p.
6. Pyzdek T., Keller P. A. *The Six Sigma Handbook. 5-th Ed.* New York, McGraw-Hill Education Publ., 2018. 20 p.
7. Godlevskiy M.D., Braginskiy I. L. Dinamicheskaya model i algoritm upravleniya kachestvom protsessa razrabotki programmnyh sistem na osnove modeli zrelosti [Dynamic model and quality management algorithm for the development of software systems based on the maturity model]. *Problemy informatsionnykh tekhnologiy* [Information Technology Issues]. Herson, OLDI-Plyus Publ., 2012, pp. 6–13.
8. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A. Sintez staticheskikh modelej planirovaniya uluchsheniya kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya [Synthesis of static planning models for improving the quality of the software development process]. *Skhidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tekhnologij* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. Kharkiv, PP «Tehnologichnij centr» Publ., 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
9. Godlevskiy M. D., Rubin E. E., Goloskokova A. A. Dinamicheskaya model' planirovaniya uluchsheniya kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya [A dynamic planning model for improving the quality of the software development process]. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 3–6.
10. Godlevskiy M. D., Rubin E. E., Goloskokova A. A. Uluchshenie kachestva processa razrabotki programmnogo obespecheniya na osnove metodov posledovatel'nogo analiza variantov i lokal'noj optimizacii [Improving the quality of the software development process based on methods of sequential analysis of options and local optimization]. *Visnyk NTU «KhPI»: zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2014, no. 55 (1097), pp. 5–10.
11. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Chipizhenko A. A. Medium-term planning information technology for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 51 (1272), pp. 32–37.
12. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model. *Visnyk NTU "KhPI": zb. nauk. pr. Seriya: Sy'stemny'janaliz, upravlinnya ta informacijnitexnologiyi* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 55 (1276), pp. 26–30.

Надійшло (received) 05.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Годлевський Михайло Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Гончаренко Тетяна Євгенівна – кандидат педагогічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувачка кафедри іноземних мов, тел. (057)707-63-32; e-mail: tatianagoncharenko1806@gmail.com

Бурлаков Георгій Олександрович – «SheerChain» ОУ, головний виконуючий директор; тел.(050) 400-60-70; e-mail: george@sheerchain.com

Малець Дмитро Костянтинівич – Technorely Inc., головний виконуючий директор; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: dmitriy@technorely.com

Годлевский Михаил Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Гончаренко Татьяна Евгеньевна – кандидат педагогических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующая кафедрой иностранных языков, тел. (057)707-63-32; e-mail: tatianagoncharenko1806@gmail.com

Бурлаков Георгий Александрович – «SheerChain» ОУ, главный исполнительный директор; тел.(050) 400-60-70; e-mail: george@sheerchain.com

Малец Дмитрий Константинович – Technorely Inc., главный исполнительный директор;; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: dmitriy@technorely.com

Godlevskiy Mykhaylo Dmytrovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of Department of Software Engineering and Management Information Technologies; тел.: (057) 707-65-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Goncharenko Tetiana Yevhenivna – Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of Foreign Languages Department; phone.: (057) 707-64-32; e-mail : tatianagoncharenko1806@gmail.com

Burlakov Heorhii Oleksandrovych – «SheerChain» ОУ, Chief Executive Officer; тел.: (050) 400-60-70; e-mail: george@sheerchain.com.

Malets Dmytro Kostyantynovych – Technorely Inc Chief Executive Officer; тел.: (095) 509-71-30; e-mail: dmitriy@technorely.com

I. V. LIUTENKO, O. I. KURASOV, D. A. LUKINOVA, S. I. YERSHOVA, A. O. SEMANIK

USING THE AGGREGATED CRITERIA TO EVALUATE THE SOFTWARE TESTS QUALITY

An approach to evaluating the software tests quality using aggregated quality criteria is proposed. The article considers the finding of such characteristics of software tests that can be used to judge their quality and their need for improvement. The subject of the study is the formation of a software tests quality evaluation system, which can be used in the software development process. It is proposed to consider a software test as a multiattribute object. It is emphasized that it is necessary to take into account both quantitative and qualitative characteristics of tests and test coverage, which greatly complicates the construction of a model for evaluating the software tests quality. Various approaches to solving the problem of evaluating complex, multiattribute objects are considered. The problem of comparing and ordering complex objects taking into account different criteria is considered. The choice of the method of sequential aggregation of classified states to solve the problem of multi-criteria selection and assessment is justified. The stages of the procedure for solving the estimation problem using the method of sequential aggregation of classified states are considered. An activity diagram is constructed that reflects an algorithm for constructing a hierarchical system of criteria. The criteria for evaluating software tests are given, which belong to three groups - efficiency, coverage, and software implementation. For a hierarchical system of criteria aggregation, a set of indicators, their qualitative gradations with corresponding numerical intervals, are allocated. At the highest level of the hierarchy, it is proposed to use three composite criteria that correspond to the groups of efficiency, coverage and implementation, which will allow to obtain an integral indicator of the software tests quality. The resulting integral indicator includes five quality classes, each of which corresponds to a multitude of low-level indicator estimates. Tests quality evaluation will improve the testing process, which purpose is to ensure the specified quality of the software being developed.

Keywords: software, testing, quality, evaluation, assessment criteria, multiattribute object, aggregated criterion.

І. В. ЛЮТЕНКО, О. І. КУРАСОВ, Д. А. ЛУКІНОВА, С. І. ЄРШОВА, А. О. СЕМАНІК

ВИКОРИСТАННЯ АГРЕГОВАНИХ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ТЕСТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Пропонується підхід до оцінки якості тестів програмного забезпечення з використанням агрегованих критеріїв якості. Розглядається знаходження таких характеристик тестів програмного забезпечення, за якими можна судити про їхню якість і необхідність доопрацювання. Предметом дослідження є формування системи оцінювання якості програмних тестів, яку можливо використовувати в процесі розробки програмного забезпечення. Запропоновано розглядати тест програмного забезпечення як багатоозначковий об'єкт. Підкреслюється, що необхідно враховувати як кількісні, так і якісні характеристики тестів і тестового покриття, що істотно ускладнює побудову моделі оцінки якості програмних тестів. Розглянуто різні підходи до вирішення задачі оцінювання складних, багатоозначкових об'єктів. Розглядається проблема порівняння й упорядкування складних об'єктів з урахуванням різних критеріїв. Обґрунтовано вибір методу послідовного агрегування станів, що класифікуються для розв'язання задачі багатокритеріального вибору і проведення оцінювання. Розглянуто етапи процедури вирішення задачі оцінювання з використанням методу послідовного агрегування станів, що класифікуються. Наведена діаграма діяльності, яка відображає алгоритм побудови ієрархічної системи критеріїв. Розглянуті критерії оцінювання програмних тестів, які відносяться до трьох груп – ефективності, покриття і програмної реалізації. Для ієрархічної системи агрегування критеріїв виділено набір показників, їх якісні градації з відповідними чисельними інтервалами. На вищому рівні ієрархії запропоновано використовувати три складених критерія, які відповідають групам ефективності, покриття і реалізації, що, в свою чергу, дозволить отримати інтегральний показник якості програмних тестів. Отриманий інтегральний показник включає п'ять класів якості, кожному з яких відповідає множина оцінок показників нижнього рівня. Оцінка якості програмних тестів дозволить поліпшити процес тестування, метою якого є забезпечення заданого рівня якості програмного забезпечення, що розробляється.

Ключові слова: програмне забезпечення, тестування, якість, оцінювання, критерії оцінки, багатоозначковий об'єкт, агрегований критерій.

И. В. ЛЮТЕНКО, А. И. КУРАСОВ, Д. А. ЛУКИНОВА, С. И. ЕРШОВА, А. А. СЕМАНИК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРЕГИРОВАННЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕСТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Предлагается подход к оценке качества тестов программного обеспечения с использованием агрегированных критериев качества. Рассматривается нахождение таких характеристик тестов программного обеспечения, по которым можно судить об их качестве и необходимости доработки. Предметом исследования является формирование системы оценивания качества программных тестов, которую возможно использовать в процессе разработки программного обеспечения. Предложено рассматривать тест программного обеспечения как многопризнаковый объект. Подчеркивается, что необходимо учитывать как количественные, так и качественные характеристики тестов и тестового покрытия, что существенно усложняет построение модели оценки качества программных тестов. Рассмотрены различные подходы к решению задачи оценивания сложных, многопризнаковых объектов. Рассматривается проблема сравнения и упорядочения сложных объектов с учетом разных критериев. Обоснован выбор метода последовательного агрегирования классифицируемых состояний для решения задачи многокритериального выбора и проведения оценивания. Рассмотрены этапы процедуры решения задачи оценивания с использованием метода последовательного агрегирования классифицируемых состояний. Приведена диаграмма деятельности, которая отражает алгоритм построения иерархической системы критериев. Рассмотрены критерии оценивания программных тестов, которые относятся к трем группам – эффективности, покрытия и программной реализации. Для иерархической системы агрегирования критериев выделен набор показателей, их качественные градации с соответствующими численными интервалами. На высшем уровне иерархии предложено использовать три составных критерия, которые соответствуют группам эффективности, покрытия и реализации, что, в свою очередь, позволит получить интегральный показатель качества программных тестов. Полученный интегральный показатель включает пять классов качества, каждому из которых соответствует множество оценок показателей нижнего уровня. Оценка качества тестов позволит улучшить процесс тестирования, целью которого является обеспечение заданного качества разрабатываемого программного обеспечения.

Ключевые слова: программное обеспечение, тестирование, качество, оценивание, критерии оценки, многопризнаковый объект, агрегированный критерий.

Introduction. Much of modern software (SW) is a complex, multi-component system with a large amount of software code, which can include a wide range of components that perform a variety of tasks. A list of functional and non-functional requirements is advanced to the software systems themselves (SS), which complex programming logic is often implemented for, which must work with special conditions and restrictions.

The complexity of this task makes software testing an important step in the development of the software systems of any type and scope. First, it prevents and corrects defects which make it impossible to use the application, that again keeps users out of achieving their own goal. Secondly, testing is necessary to verify the compliance of the software product with the requirements that have been put forward by the customer and stakeholders.

The right approach to testing will allow to supply the customer with a quality product, but this requires a responsible approach to the organization of testing, design and development of software tests. Software test quality evaluation will provide an opportunity to create such a complex of tests for various purposes, which will allow to control the quality of the software with the least expenses for testing.

Formulation of the problem. The purpose of the study is to define the criteria for assessing the quality of tests, which will allow to exclude the subjectivity of the expert. The relevance of the work is due to the fact that software testing, as well as the other stages of software development, is performed in conditions of limited time and financial resources. This means that voluminous and detailed testing of the entire SS is unprofitable and sometimes impossible. Requirements, software components differ in priority and complexity, which can be expressed in quantitative and qualitative terms.

This means that the priority and complexity of the test object (in this case an individual component of the SS or requirement) requires an appropriate amount of software tests. A test group that was formed without these characteristics cannot be considered qualitative, because incorrectly defined testing priorities lead to waste of time and cost, which is not guaranteed by the sufficient reliability of the SS that was released after such tests. The purpose of the study is to find indicators that can determine the value and usefulness of the software tests that are offered for software testing.

The problem of multi-criteria selection is formed as follows. There are many options A_1, \dots, A_p , each of which is characterized by specific criteria K_1, \dots, K_m . Each criterion K_i has a scale $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{g_i}\}$, $i = 1, \dots, m$, which has in most cases ordered discrete numeric or verbal gradations. It is necessary, based on the preferences of the decision maker, to choose one or more of the best options from the set presented.

The main difficulty is that both quantitative and qualitative indicators of varying degrees of importance need to be analyzed, many of which greatly complicate the comparison of tests and test coverage. An additional fact is that there is no single quality assessment model to evaluate the quality of the tests.

In the case of evaluating many objects with several dozen properties, there is a problem that comparing only one attribute value becomes impossible, and attempts to reduce the number of evaluation criteria leads to a decrease in the quality of the final result by pulling it away from the reality. Such conditions require finding a method that would solve the problem of multicriteria selection in the large space by reducing the number of dimensions, based on the rules of the subject area and the specifics of the objects being compared. The reduction in the number of measurements will be used to aggregate multiple criteria to one to obtain a grading scale that depends on the preferences of the decision maker (DM).

Existing methods for solving the problem. The solution to a similar problem can be constructed on the basis of the problem of finding the extremum of one or more utility (value) functions [1]. To complete the task, it is necessary to derive a generalized criterion from many numerical criteria by minimizing them and finding a weighted sum. With a large number of criteria, this method is too time-consuming because it requires the domain analyst to spend a great deal of time in deriving the approximate utility function, as well as the importance factors (weights) that must be assigned to each property taken into account, which in itself is a task of ambiguous solution. Another disadvantage of this method is that the use of aggregated indicators does not allow you to reproduce the input data, which implies the inability to easily explain the results of the comparison [2]. The use of coarse sets in the classification of multi-criteria objects is to use the sets of rules defined by DM to classify alternatives to a particular class with varying degrees of accuracy. The method is complex enough because a large number of classification rules complicates their analysis. In addition, the method requires pre-debugging on the prepared data sets [3].

Often, methods are based on pair-wise comparisons of objects to organize objects as a whole or by many criteria. Complete ordering of objects occurs when you can compare all pairs of variants and DM preferences are transitive. If some of the pairs cannot be compared, partial ordering will be obtained. In methods of analytical hierarchy [4] variants are ordered according to their priority index, which is consistently calculated by pairwise comparison of variants, criteria of their evaluation and participants in relation to the global goal of the problem being solved. The disadvantage is the sensitivity to the context of the choice, which leads to a dramatic change in ordering after adding / excluding a particular variant. In [5] there are two main methods of comparison: the first is the direct sorting of objects by given classes, which is the most popular method of classification due to ease of use, and the second is an interactive classification procedure that provides a description of DM preferences through the utility function, which is weighted sum of many scalar criteria.

Given the poor structure of the problem, the methodology of verbal analysis of solutions can be used. According to this methodology, the properties of variants

are described using qualitative criteria that have verbal formulations of gradations on the rating scales [6].

To solve the problem of multicriteria selection, the "PAKS" method (sequential aggregation of classified states) was selected. This method is characterized by the use of verbal analysis methods to reduce the dimension space of the criteria. The method was chosen because hierarchical evaluation of complex qualitative criteria will allow to obtain meaningful and understandable evaluation with the least time spent on building an evaluation system for DM [7]. The "PAKS" decision procedure has three steps.

The first step is to build a hierarchical system of aggregated criteria by "ISKRA" (hierarchical convolution of criteria and attributes) taking into account the beliefs of DM. The process of construction is to create integral indicators that characterize the properties of options that are selected based on domain concepts, which aggregate the initial characteristics. The procedure for aggregation of indicators is consistent, that is, the obtained sets of criteria are grouped in series into new groups of the next level of the hierarchy, and so on up to a single integral criterion of the highest level, if necessary.

In the second step, the sequential classification task performs a consistent scale construction of each composite criterion, which consists of using a combination of grading estimates of the output indicators as classified objects. Classes are graded scores of the composite criterion, so that every combination of gradations of the original scores will match some gradation of scores on the composite criterion scale [8]. In the general case, virtually any method of ranking or classification of multi-criteria alternatives can be used to construct scales of composite criteria, which allows to present each gradation of the composite criterion scale in the form of a combination of gradations of baseline scores.

In the third stage, the final solution of the problem of selection in the obtained space of complex criteria of smaller dimension using the method of "ARAMIS" (aggregation and ranking of alternatives to multipurpose ideal situations) [9], which allows to rank objects described by many periodic quantitative and / or qualitative attributes K_1, \dots, K_m , without constructing individual object rankings. Multi-criteria objects A_1, \dots, A_p are considered as points of a metric space of multisets with some metric, which are compared and ordered in terms of relative proximity to the best (ideal) object A_+ or worst (anti-ideal) A_- in that space. The best and worst objects (which may also be hypothetical) have the highest and lowest scores by all criteria, respectively. All objects are ordered by proximity to the best object A_+ , by distance from the worst object A_- or by the value of relative proximity to the best object.

Fig. 1 shows a diagram of the activity of solving the multicriteria selection problem with a consistent reduction in the dimension of the feature space.

To obtain a comprehensive assessment of the test quality, it is necessary to consider a large number of criteria that can be attributed to the groups of efficiency, coverage and software implementation

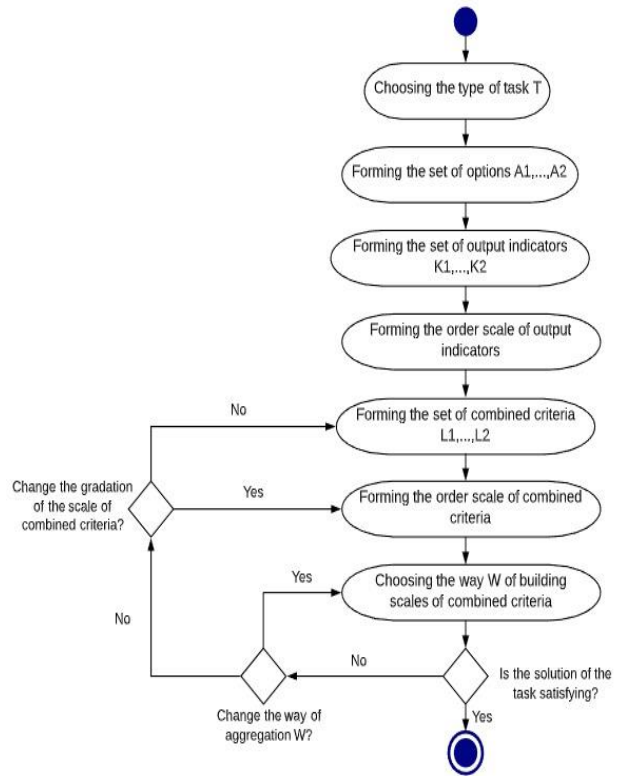


Fig. 1. Diagram of the algorithm for building a hierarchical system of criteria

On the other hand, to cover a larger volume of software projects requires a set of criteria with which the evaluation process remains relevant to the specifics of the individual project. Creating higher level criteria allows you to create new, more general levels of composite criteria by reducing the number of combinations of grading criteria. Detailed metrics can be grouped in their essence, making it possible to obtain an integrated Quality Score. For numeric metrics, you can enter qualitative gradations that match a certain range of values. Practice shows that the success of software testing depends on the quality of test planning and implementation. Testing performance can be estimated from a relatively small number of indicators.

The first indicator is the ratio of not intercepted in the latest software version bugs to the number of bugs found (found and fixed / not intercepted). This indicator may characterize the thorough testing of different use cases of SS. Completely covering all variants of data, conditions and actions is an almost impossible task, so there is a risk that the user may perform an unchecked sequence of actions that will disrupt the normal operation of the software. Finding data that has not yet been intercepted should be accompanied by adjusting program logic and introducing new warning tests, which will help to reduce the ratio. It is worth noting that bugs found at the testing stage for various reasons may not be documented and, in turn, not corrected, which makes it untouched.

This indicator in percentage terms can be calculated by the following formula:

$$E_1 = \frac{N}{M} \cdot 100, \quad (1)$$

where E_1 – the ratio not intercepted in the latest software version bugs to the number of all bugs found;

N – the current number of bugs not intercepted after testing;

M – the total number of bugs that have been detected since the last test started.

The second indicator is the proportion of bugs that were repeated in the release – these bugs were fixed in previous versions, but became relevant again after the release and the first use the new software version. This indicator differs from the previous one in that it may indicate a problem of lack of regression testing, while the first indicator is more relevant for determining the quality of functional testing introduced in the latest version. The indicator can be calculated by the following formula:

$$E_2 = \frac{N_r}{M_r} \cdot 100, \quad (2)$$

where E_2 – the number of bugs that were repeated in the release;

N_r – the number of repeated bugs;

M_r – the total number of fixed bugs.

The disadvantage is the complexity of the calculation due to the existence of system dependencies of the new and previously developed program code, which makes possible the situation when the new functionality doesn't work due to previously found defects in the old one [10].

The amount of functionality coverage should show how comprehensively the capabilities of the software have been tested. For each project, you can determine your own, satisfactory coverage level. The metric can be calculated as the ratio of the number of opportunities tested to the total number of opportunities.

The total number of functional requirements covered can be calculated using the requirements trace matrix. In the simplest form, this matrix is a table on the rows of which the functional requirements for the application are placed, and on columns the test scenarios. In the special circumstances of the project, columns and rows with additional information may be added. Related features and scripts should be marked at the intersection of the row and column, so that testers get clear information about the current coverage. One test scenario for one function is considered sufficient coverage, so it is necessary to break down the complex requirements into atomic components. This approach simplifies the analysis of congestion or lack of tests [11].

Also, when evaluating a test coverage, a feature coverage indicator can be used, which is calculated as the ratio of the number of features tested to the total number of features. For the needs of a particular project, those functions that represent complex operations of an application's business logic can be included in the list of functions.

Most software tests are software-implemented, which makes it possible to evaluate them as a separate software system with its own interconnected components. When evaluating tests as code, you can use the following code properties:

1) compliance with the rules of programming language (conventions) - this indicator affects the ease of perception of the program code, which is important when accompanied by several developers;

2) code purity - the structural simplicity of the code (for example, the adequate amount of method or class), the absence of unnecessary structures (imports, variables) left after the code is modified or refactored, as well as those structures that interfere with code maintenance and analysis ("Magic numbers", duplicates) [12]. These metrics can be measured as the volume of violations per 1000 lines of test code.

Table 1 – Test evaluation criteria

Indicator	Qualitative grading / order of stickiness	Interval
1. Amount of not intercepted bugs (%)	High / 2	(80;100]
	Middle / 1	(30;80]
	Low / 0	[0;30]
2. Amount of returned bugs (%)	High / 2	[50;100]
	Middle / 1	(20;50)
	Low / 0	[0;20]
3. Test coverage of capabilities (%)	High / 0	(60;100]
	Middle / 1	(20;60]
	Low / 2	[0;20]
4. Test coverage of software features (%)	High / 0	(60;100]
	Middle / 1	(20;60]
	Low / 2	[0;20]
5. Compliance with programming language standards (violations per thousand pages of code)	High / 0	[0;10]
	Middle / 1	[10;20]
	Low / 2	More than 20
6. Purity of code (violations per thousand pages of code)	High / 0	[0;5]
	Middle / 1	[5;15]
	Low / 2	More than 15

Simulation results. Table 1 lists the main evaluation criteria, their qualitative gradations, together with the corresponding numerical intervals.

The order of stickiness is given in ascending order (0 is the best, 1 is satisfactory, 2 is bad) and is used for two levels of the hierarchy.

It was proposed to use three composite criteria at the top level of the hierarchy – efficiency, coverage and implementation.

The performance criterion included the amount of bugs not intercepted (%) and the number of bugs returned (%).

The coverage criterion included test capability coverage (%) and test feature coverage (%).

The implementation criterion included compliance with the rules of programming language (violations per thousand pages of code) and purity of code (violations per thousand pages of code).

Table 2 lists the gradations of the aggregated criteria and the corresponding tuples of the graded subordinate criteria.

Table 2 – Composite test quality criteria

Criterion	Gradation / order of stickiness	Corteges of child estimates
Efficiency	High / 0	<0;0>, <0;1>, <1;0>, <2;0>, <0;2>
	Middle / 1	<1;2>, <2;1>, <1;1>
	Low / 2	<2;2>
Coverage	High / 0	<0;0>, <0;1>, <1;0>, <0;2>
	Middle / 1	<1;2>, <1;1>, <2;0>
	Low / 2	<2;2>, <2;1>
Realization	Good / 0	<0,0>;<0,1>;<1,0>
	Satisfactory / 1	<1,2>;<2,1>;<1,1>;<2,0>;<0,2>
	Needs adjustments/2	<2,2>

Integral Quality Score can be represented as five consecutive quality classes, each of which corresponds to a set of tuples of second-level metrics (<Performance, Coverage, Realization>).

The first class corresponds to <0; 0; 0>.

The second class corresponds to <0; 0; 1>, <0; 0; 2>, <0; 1; 0>, <0; 1; 1>, <1; 0; 0>, <1; 0; 1>, <1; 0; 2>.

The third class corresponds to <0; 1; 2>, <0; 2; 1>, <0; 2; 2>, <0; 2; 0>, <1; 1; 0>, <1; 1; 1>, <1; 1; 2>, <1,2,0>.

The fourth class corresponds to <2; 0; 1>, <2,0,0>, <1,2,1>, <1,2,2>, <2; 0; 2>, <2; 1; 0>.

The fifth grade corresponds to <2; 2; 2>, <2; 2; 1>, <2; 2; 0>, <2; 1; 2>, <2; 1; 1>.

Conclusions. Developing an approach for software tests quality evaluation can in the long term improve test results, reduce the time and other resources spent on finding defects in the software system and quickly eliminate the shortcomings of the current testing approach. The obtained results confirm the possibility to use the indicators that can be used to evaluate the overall quality of software tests. These include test performance metrics, test coverage of software capabilities and its software code, namely

functions, as well as metrics that make it feasible to use the tests themselves. For these criteria, metrics were formed, the intervals of which were defined as qualitative indicators, which were used to create a hierarchical system of criteria that allows to obtain an integral quality index.

References

- Петровский А. Б. *Теория принятия решений*. Москва: Издательский центр «Академия», 2009. 398 с.
- Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с.
- Doumpos M., Zopounidis C. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 245 p.
- Köksalan M., Ulu C. An interactive approach for placing alternatives in preference classes. *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 144, no. 2, pp. 429–439.
- Ларичев О. И. *Вербальный анализ решений*. Москва: Наука, 2006. 181 с.
- Ройзензон Г. В. Способы снижения размерности признакового пространства для описания сложных систем в задачах принятия решений. *Новости искусственного интеллекта*. 2005. № 1. С. 18–28.
- Петровский А. Б., Ройзензон Г. В. Многокритериальный выбор с уменьшением размерности пространства признаков: многоэтапная технология ПАКС. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2012. № 4. С. 88–103.
- Фуремс Е. М. Модифицированный метод экспертной номинально-порядковой классификации. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2010. № 4. С. 81–93.
- Петровский А. Б., Тихонов И. П. Фундаментальные исследования, ориентированные на практический результат: подходы к оценке эффективности. *Вестник РАН*. 2009. Т. 79. № 11. С. 1006–1011.
- Important Software Test Metrics and Measurements*. URL: <http://www.softwaretestinghelp.com/software-test-metrics-and-measurements> (access date: 23.01.2019).
- Gotel O., Cleland-Huang J., Hayes, J., Zisman A., Egyed A. *Software and Systems Traceability*. London: Springer, 2012. 152 p.
- A *SLOC Counting Standard*. URL: <http://csse.usc.edu/TECHRPTS/2007/usc-csse-2007-737/usc-csse-2007-737.pdf> (access date: 03.06.2019).

References (transliterated)

- Petrovskiy A. B. *Teoriya prinyatiya resheniy* [The decision theory]. Moscow, "Akademiya" Publ., 2009. 398 p.
- Saaty T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy* [The making decisions. Hierarchy analysis method]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1993. 278 p.
- Doumpos M., Zopounidis C. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 245 p.
- Köksalan M., Ulu C. An interactive approach for placing alternatives in preference classes. *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 144, no. 2, pp. 429–439.
- Larichev O. I. *Verbalnyy analiz resheniy* [The verbal decision analysis]. Moscow, Nauka Publ. 2006. 181 p.
- Royzenzon G. V. Spособy snizheniya razmernosti priznakovogo prostranstva dlya opisaniya slozhnyih sistem v zadachah prinyatiya resheniy [Ways to reduce the dimension of feature space for describing complex systems in decision-making problems]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News]. 2005, no. 1, pp. 18–28.
- Petrovskiy A. B., Royzenzon G. V. Mnogokriterialnyy vybor s umensheniem razmernosti prostranstva priznakov: mnogoetapnaya tehnologiya PAKS [Multi-criteria selection with reduced dimension of feature space: multi-stage PAKS technology]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2012, no. 4, pp. 88–103.
- Furms Y. M. Modifitsirovannyiy metod ekspertnoy nominalno-poryadkovoy klassifikatsii [The modified method of expert nominal ordinal classification]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2010, no. 4, pp. 81–93.

9. Petrovskiy A. B., Tihonov I. P. Fundamentalnyie issledovaniya, orientirovannyye na prakticheskiy rezultat: podhodyi k otsenke effektivnosti [Result-oriented basic research: approaches to evaluating effectiveness]. *Vestnik RAN* [RAS Bulletin]. 2009, vol. 79, no. 11, pp. 1006–1011.
10. *Important Software Test Metrics and Measurements*. URL: <http://www.softwaretestinghelp.com/software-test-metrics-and-measurements> (access date: 23.01.2019).
11. Gotel O., Cleland-Huang J., Hayes, J., Zisman A., Egyed A. *Software and Systems Traceability*. London: Springer, 2012. 152 p.
12. *A SLOC Counting Standard*. URL: <http://csse.usc.edu/TECHRPTS/2007/usc-csse-2007-737/usc-csse-2007-737.pdf> (access date: 03.06.2019).

Received 05.09.2018

Відомості про авторів /Сведения об авторах/ About the Authors

Лютенко Ірина Вікторівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4357-1826>; e-mail: liv@kpi.kharkov.ua

Курасов Олексій Ігорович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2518-577X>; e-mail: kurasov.oleksii@gmail.com

Лукінова Дарина Андріївна – фізична особа-підприємець; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3644-9972>; e-mail: dasha.lutenko@gmail.com

Єршова Світлана Іванівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3893-117X>; e-mail: svetlana.ershova.2016@gmail.com

Семаник Анастасія Олександрівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студентка; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0653-5359>; e-mail: bilenko.anastasiia1@gmail.com

Лютенко Ірина Вікторівна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4357-1826>; e-mail: liv@kpi.kharkov.ua

Курасов Алексей Игоревич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2518-577X>; e-mail: kurasov.oleksii@gmail.com

Лукинова Дарина Андреевна – физическое лицо-предприниматель; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3644-9972>; e-mail: dasha.lutenko@gmail.com

Єршова Светлана Ивановна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3893-117X>; e-mail: svetlana.ershova.2016@gmail.com

Семаник Анастасия Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студентка; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0653-5359>; e-mail: bilenko.anastasiia1@gmail.com

Liutenko Iryna Victorivna – Candidate of Engineering Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor, Department of Software Engineering and Management Information Technology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4357-1826>; e-mail: liv@kpi.kharkov.ua

Kurasov Oleksii Igorovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2518-577X>; e-mail: kurasov.oleksii@gmail.com

Lukinova Daryna Andriivna – entrepreneur; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3644-9972>; e-mail: dasha.lutenko@gmail.com

Yershova Svitlana Ivanivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Lecturer in Department of Software Engineering and Management Information Technology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3893-117X>; e-mail: svetlana.ershova.2016@gmail.com

Semanyk Anastasiia Oleksandrivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0653-5359>; e-mail: bilenko.anastasiia1@gmail.com

N. V. BORYSOVA, K. V. MELNYK

EFFICIENCY ESTIMATION OF METHODS FOR SENTIMENT ANALYSIS OF SOCIAL NETWORK MESSAGES

The results of effectiveness evaluating of machine learning methods for sentiment analysis of social network messages are presented in this paper. The importance of the sentiment analysis problem as one of the important tasks of natural language processing in general and textual information processing in particular is substantiated. A review of existing methods and software for sentiment analysis are made. The choice of classifiers for sentiment analysis of texts for this research is substantiated. The principles of functioning of a Naïve Bayesian Classifier and classifier based on a recurrent neural network are described. Classifiers were sequentially trained in two corpora: first, in the RuTweetCorp corpus, the corpus of short messages from the social network Twitter, and then on the Slang corpus, the corpus of messages from social networks Facebook and Instagram and posts from the Pikabu website, second corpus have been marked up the tonality of slang words. Information about the tonality of slang words was taken from the youth slang dictionary obtained as a result of the survey of users. The separation of texts by tonality was carried out into three classes: positive, negative and neutral. The efficiency of these classifiers was evaluated. Efficiency evaluation was carried out according to standard metrics Recall, Precision, F-measure, Accuracy. For the naive Bayesian classifier, after training on the first corpus, the following metric values were obtained: Recall = 0,853; Precision = 0,869; F-measure = 0,861; Accuracy = 0,855; and after training on the second corpus such values were obtained: Recall = 0,948; Precision = 0,975; F-measure = 0,961; Accuracy = 0,960. For the classifier based on a recurrent neural network, after training on the first corpus, the following metric values were obtained: Recall = 0,870; Precision = 0,878; F-measure = 0,874; Accuracy = 0,861; and after training on the second corpus such values were obtained: Recall = 0,965; Precision = 0,982; F-measure = 0,973; Accuracy = 0,973. These results prove that additional training on the second corpus increased the efficiency of classifiers by 10–11%.

Keywords: sentiment analysis, social networks messages analysis, machine learning, text classification, naïve Bayesian classification, recurrent neural network, efficiency estimation

Н. В. БОРИСОВА, К. В. МЕЛЬНИК

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ СЕНТИМЕНТ-АНАЛІЗУ ПОВІДОМЛЕНЬ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

У роботі представлено результати оцінки ефективності методів машинного навчання для сентимент-аналізу повідомлень соціальних мереж. Обґрунтовано актуальність задачі сентимент-аналізу як однієї з важливих задач обробки природної мови взагалі та обробки текстової інформації зокрема. Проведено огляд існуючих методів сентимент-аналізу та програмних продуктів, що вирішують цю задачу. Обґрунтовано вибір класифікаторів для сентимент-аналізу текстів у межах дослідження. Описано принципи роботи наївного байєсівського класифікатора та класифікатора на основі рекурентної нейронної мережі. Класифікатори було послідовно навчено на двох корпусах: спочатку на корпусі RuTweetCorp – корпусі коротких повідомлень соціальної мережі Twitter, а потім на корпусі Slang corpus – корпусі повідомлень соціальних мереж Facebook та Instagram і постів з сайту Pikabu, у якому розмічено тональність сленгових слів. Інформацію про тональність сленгових слів було взято із словника молодіжного сленгу, отриманого у результаті опитування користувачів. Розподіл текстів за тональністю здійснювався на три класи: позитивні, негативні й нейтральні. Проведено оцінку ефективності роботи цих класифікаторів. Оцінка ефективності здійснювалась за стандартними метриками Recall, Precision, F-measure, Accuracy. Для наївного байєсівського класифікатора після навчання на першому корпусі були отримані наступні значення метрик: Recall = 0,853; Precision = 0,869; F-measure = 0,861; Accuracy = 0,855; а після навчання на другому корпусі такі значення: Recall = 0,948; Precision = 0,975; F-measure = 0,961; Accuracy = 0,960. Для класифікатора на основі рекурентної нейронної мережі після навчання на першому корпусі були отримані наступні значення метрик: Recall = 0,870; Precision = 0,878; F-measure = 0,874; Accuracy = 0,861; а після навчання на другому корпусі такі значення: Recall = 0,965; Precision = 0,982; F-measure = 0,973; Accuracy = 0,973. Отримані результати довели, що додаткове навчання на другому корпусі підвищило ефективність роботи класифікаторів на 10–11%.

Ключові слова: сентимент-аналіз, аналіз повідомлень соціальних мереж, машинне навчання, класифікація текстів, наївний байєсівський класифікатор, рекурентна нейронна мережа, оцінка ефективності

Н. В. БОРИСОВА, К. В. МЕЛЬНИК

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ СЕНТИМЕНТ-АНАЛИЗА СООБЩЕНИЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В работе представлены результаты оценки эффективности методов машинного обучения для сентимент-анализа сообщений социальных сетей. Обоснована актуальность задачи сентимент-анализа как одной из важных задач обработки естественного языка вообще и обработки текстовой информации в частности. Проведен обзор существующих методов сентимент-анализа и программных продуктов, решающих эту задачу. Обоснован выбор классификаторов для сентимент-анализа текстов в рамках исследования. Описаны принципы работы наивного байесовского классификатора и классификатора на основе рекуррентной нейронной сети. Классификаторы были последовательно обучены на двух корпусах: сначала на корпусе RuTweetCorp – корпусе коротких сообщений социальной сети Twitter, а затем на корпусе Slang corpus – корпусе сообщений социальных сетей Facebook и Instagram и постов с сайта Pikabu, в котором размечена тональность сленговых слов. Информация о тональности сленговых слов была взята из словаря молодежного сленга, полученного в результате опроса пользователей. Разделение текстов по тональности осуществлялось на три класса: позитивные, негативные и нейтральные. Проведена оценка эффективности работы этих классификаторов. Оценка эффективности осуществлялась по стандартным метрикам Recall, Precision, F-measure, Accuracy. Для наивного байесовского классификатора после обучения на первом корпусе были получены следующие значения метрик: Recall = 0,853; Precision = 0,869; F-measure = 0,861; Accuracy = 0,855; а после обучения на втором корпусе такие значения: Recall = 0,948; Precision = 0,975; F-measure = 0,961; Accuracy = 0,960. Для классификатора на основе рекуррентной нейронной сети после обучения на первом корпусе были получены следующие значения метрик: Recall = 0,870; Precision = 0,878; F-measure = 0,874; Accuracy = 0,861; а после обучения на втором корпусе такие значения: Recall = 0,965; Precision = 0,982; F-measure = 0,973; Accuracy = 0,973. Полученные результаты доказывают, что дополнительное обучение на втором корпусе повысило эффективность работы классификаторов на 10–11%.

Ключевые слова: сентимент-анализ, анализ сообщений социальных сетей, машинное обучение, классификация текстов, наивный байесовский классификатор, рекуррентная нейронная сеть, оценка эффективности

Introduction. The task of analyzing the tonality of the text or sentiment analysis is the task of determining the emotional attitude of the author to a certain object, which is described in the text. This task is one of the most relevant NLP tasks. The sentiment analysis is used for assessing the quality of goods and services according to the Internet user reviews, for identifying the criminally significant content, for determining the authorship of texts, for predicting various economic indicators, for generating of texts with a pre-established emotional coloring. The amount of information in electronic form increases exponentially. So, it is not possible to analyze it manually, therefore, there is a need for automatic methods and tools of analyzing textual information, including methods and tools for automated sentiment analysis.

Last researches and publications analysis. The analytical review of different sources has showed great interest of researchers to the task of sentiment analysis [1, 3, 7–9, 11]. In a basic this task is the task of texts classifying. The result of the task is a set of texts, where texts or elements are divided into two (positive, negative), three (positive, neutral, negative), five (positive, rather positive, neutral, rather negative, negative) or more classes. There are many methods, which can be used for resolving this task. It can be divided into several groups. The first group includes methods based on rules and dictionaries that use pre-compiled emotive dictionaries and linguistic rules for searching of emotive words. The first step of the process of assigning the text to definite class is a search of words from emotive dictionaries. The second step is assigning the all found word its tonality or weight from the dictionary. Then the overall tonality of the text is calculated by summing the tonality values of each found word. The second group includes machine learning methods with a teacher, which used a pre-trained classifier to determine the tonality of new texts. The classifier is trained on a specially selected collection of texts with definite type of tonality. The third group includes machine learning methods without a teacher. In this case, the methods determine the tonality of the terms that have the greatest weight. The frequency of these terms should be greatest in certain text and at the same time it should be present in a small number in the texts throughout the collection. Then the tonality of the entire text is determined by using the tonality of the terms. The combination of different methods from different groups is perspective way to obtain a better result.

The aforementioned methods are widely used in appropriate software for text sentiment analysis, such as «Analytical Courier» [13], «RCO Fact Extractor SDK» [10], «VAAL» [14], «Eureka Engine» [3], SentiStrength [12], etc. They have quite good functionality, but are not without some drawbacks, especially related to the analysis of inflected languages with a rich morphology.

Therefore, **the purpose of the work** is to verify the efficiency of various methods of social network messages sentiment analysis.

The main material. The task of sentiment analysis of social networks messages is basically the same as a classification task. Let's consider this task in the context of the separation of texts into three categories: positive tonality, neutral and negative. Formally, this task can be

represented as follows: if we denote by $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ a set of emotionally colored words and phrases, and $S = \{s_1, s_2, s_3\}$ is a set of three classes of tonality of texts, then the task of determining the emotional attitude of the author to a certain object, event or the process of the real world looks like this: $f: W \rightarrow S$ is to find a mapping of one set to another.

In this research, to solve the problem of sentiment analysis of texts in the proposed formulation, two approaches were analyzed and their efficiency was estimated, namely, a Naïve Bayesian Classifier and a classifier based on recurrent neural network. The Naïve Bayesian Classifier was chosen because it trains and works faster than all other classifiers, and at the same time it solves the problem quite effectively. A recurrent neural network, in comparison with other types of neural networks, is best suited for working with texts, since it can use its internal memory to process sequences of arbitrary length, it can process output data of arbitrary length, new information in it can be used to obtain the following state of hidden layers, it contains feedbacks that allow to save information.

A detailed algorithm for solving the classification problem by using the Naïve Bayesian Classifier is considered in [5]. Let's consider using of the Naïve Bayesian Classifier for sentiment analysis. Let's introduce the necessary notation. If T is a social media training message text template, then T_j is a j -th text from training template T . Previously it was indicated that w_i is a presence of definite word or word combination in set W . Denote the presence or absence of w_i in the T_j as w_{ij}

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & w_i \in T_j \\ 0, & w_i \notin T_j \end{cases}$$

Then x_{iz} is a number of appearance of w_i in z -th text tonality class, where $z = \overline{1,3}$ is a number of text tonality class $s_z \in S$. Let's s_{zj} is output class of T_j text. Denote number of appearance of z -th text tonality class in training template T as y_z .

Taking into account the introduced notation, the classification algorithm for sentiment analysis using the Bayesian Classifier has the following steps.

I. Training of the Naïve Bayesian Classifier:

1. Calculate the number of appearance of w_i for each text tonality class separately

$$x_{iz} = \sum_{i \in W, j \in T} w_{ij}, z = \overline{1,3}.$$

2. Calculate number of appearance of s_z in training template T

$$y_z = \sum_{j \in T} s_{zj}, z = \overline{1,3}.$$

3. Calculate conditional probability $P(w_i/s_z)$ of occurrence w_i in z -th text tonality class

$$P(w_i/s_z) = \frac{x_{iz}}{\sum_{z=1}^3 x_{iz}}.$$

4. Calculate probability $P(s_z)$ of T_j -th text assignment to the z -th text tonality class

$$P(s_z) = \frac{y_z}{\sum_{z=1}^3 y_z}.$$

II. Using of the Naïve Bayesian Classifier:

1. Calculate conditional probabilities $P(s_z/\{w_{ij+1}\})$ of T_{j+1} -th text

$$P(s_z/\{w_{ij+1}\}) = P(s_z) * \prod_z P(w_i/s_z).$$

2. Define output class s_{zj+1} of the T_{j+1} -th text. Denote R_z as the conditional probability of the output class of T_{j+1} -th text

$$R_z = P(s_z/\{w_{ij+1}\}),$$

$$s_{zj+1} = \arg \max_{z=1,3} R_z.$$

As mentioned earlier, in addition to the Naïve Bayesian Classifier, the efficiency of the classifier based on recurrent neural network was also evaluated in this paper. We used an architecture for neural network called a simple recurrent neural network or Elman network [4]. This is the recurrent neural network version that very easy to implement and train. The network has an input layer x , hidden layer s (also called context layer or state) and output layer y . Input to the network in time t is $x(t)$, output is denoted as $y(t)$, and $s(t)$ is state of the network (hidden layer). Input vector $x(t)$ is formed by concatenating vector representing current word, and output from neurons in context layer s at time $t-1$. Then input, hidden and output layers are computed as follows:

$$x(t) = w(t) + s(t-1),$$

$$s_j(t) = f\left(\sum_i x_i(t)u_{ij}\right),$$

$$y_k(t) = g\left(\sum_j s_j(t)v_{kj}\right),$$

where $f(z)$ is sigmoid activation function:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

and $g(z)$ is softmax function

$$g(z_m) = \frac{e^{z_m}}{\sum_k e^{z_k}}$$

For initialization, $s(0)$ can be set to vector of small values. In the next time steps, $s(t+1)$ is a copy of $s(t)$. Input vector $x(t)$ represents word in time t encoded using 1 – of – N coding and previous context layer – size of vector x is equal to size of vocabulary V plus size of context layer.

Networks are trained in several epochs, in which all data from training corpus are sequentially presented. Weights are initialized to small values. After each epoch, the network is tested on validation data. If log-likelihood of validation data increases, training continues in new epoch. If no significant improvement is observed, learning rate is halved at start of each new epoch. After there is again no significant improvement, training is finished.

Output layer $y(t)$ represents probability distribution of next word given previous word $w(t)$ and context $s(t-1)$. Softmax ensures that this probability distribution is valid: $y_m(t) \geq 0$ for any word m and $\sum_k y_k(t) = 1$.

At each training step, error vector is computed according to cross entropy criterion and weights are updated with the standard backpropagation algorithm:

$$error(t) = desired(t) - y(t),$$

where $desired(t)$ is a vector using 1 – of – N coding representing the word that should have been predicted in a particular context and $y(t)$ is the actual output from the network [6].

The Naïve Bayesian Classifier and the classifier based on the recurrent neural network were trained on the same data set – the Russian-language corpus of short texts RuTweetCorp [18], consisting of 114 911 positive, 111 923 negative and 107 990 neutral entries for time period from the end of November 2013 to the end of February 2014. Each text in the corpus has the following attributes: publication date; author's name; Tweet text; the class to which the text belongs (positive, negative, neutral); the number of messages added to favorites; the number of retweets (the number of copies of this message by other users); number of friends of the user; the number of users who have this user in friends (number of followers); the number of lists the user is in [18, 20]. After training, the sentiment analysis of new texts was made by both classifiers. The results of classifiers efficiency evaluation after training on the RuTweetCorp corpus are presented in the Table 1.

Also in the research, it was decided to test the hypothesis that the efficiency of classifiers will increase if they are additionally trained on the social networks messages corpus [17], in which the tonality of slang words have been marked up. A similar hypothesis but with another formulation was provided in the [15]. Taking into account the tonality of slang words is important, since at the present stage of the development of the linguistic culture of society, the use of slang words is more and more noticeable, they enter both the everyday speech of almost all segments of the population and the media space,

especially the Internet media space. In addition, according to numerous linguistic studies, slang words and expressions are used to create the effect of novelty, unusualness; transmission of a certain mood of the speaker; giving the statement concreteness, liveliness, expressiveness, brevity, imagery, i.e. it can be fully used for sentiment analysis of texts.

Let's called the second corpus as Slang corpus. It consists of social networks Facebook and Instagram messages as well as the messages and posts from Pikabu web-site. It contains approximately 150000 words [17]. The emotional tone was tagged for each slang word in Slang corpus. Information about slang words' emotional tones were taken from youth slang dictionary [16], that contains approximately five thousand slang words (1493 positive, 1344 negative and 2141 neutral words). The results of classifiers efficiency evaluation after additional training on the Slang corpus are also presented in the table 1.

The experiment steps are represented in Figure 1 in IDEF0 notation. The functional modeling of the training process by using IDEF0 notation consists of two stages. The first stage shows the process of training the classifier on the RuTweetCorp corpus. After that, the calculation of efficiency is carried out. At the second step, the slang corpus is using for classifier training. Then numerical calculations and analysis of the results are carried out.

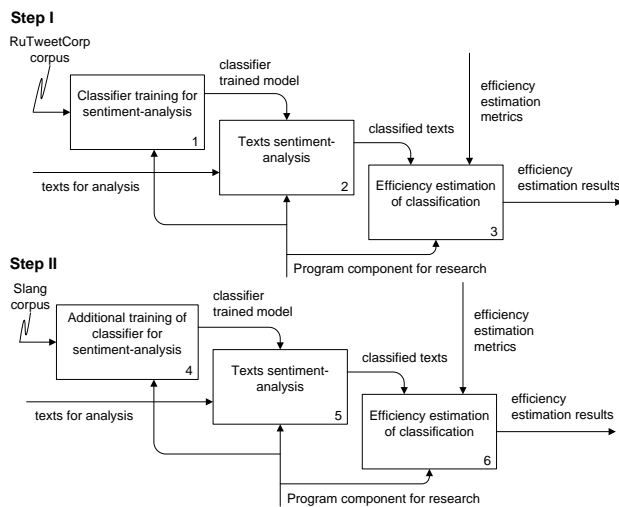


Fig. 1. The experiment steps in IDEF0 notation

As you can see, the input data is marked up corpuses, and the result is the numerical values of the Recall, Precision, Accuracy, F-measure metrics to estimate the classification efficiency.

Results and discussion. To assess the quality of the obtained classification results, generally accepted metrics were used: *Recall*, *Precision*, *F – measure*, *Accuracy*. For the calculation of metrics the values of the following parameters were calculated:

- *TP* is the number of true positive results;
- *TN* is the number of true negative results;
- *FP* is the number of false positive results;
- *FN* is the number of false negative results.

Precision is the proportion of objects classified as *X* that really belong to class *X*:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Recall is the proportion of all objects of class *X* classified as belonging to class *X*:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

F – measure is the harmonic mean between *Precision* and *Recall*:

$$F - measure = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Accuracy is the proportion of right classified objects in the all classified objects:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

The results of classifiers efficiency evaluation after training on two corpuses are presented in the Table 1. In this table NBC means Naïve Bayesian Classifier, and RNNC means Classifier based on Recurrent Neural Network.

Table 1 – Efficiency estimation of classification results

Metrics	Corpus RuTweetCorp		Slang corpus	
	NBC	RNNC	NBC	RNNC
Recall	0,853	0,870	0,948	0,965
Precision	0,869	0,878	0,975	0,982
F-measure	0,861	0,874	0,961	0,973
Accuracy	0,855	0,861	0,960	0,973

As the efficiency estimation results analysis shows with additional training on the second Slang corpus the efficiency of classifiers increased by 10–11%, which confirms the research hypothesis proposed earlier.

Conclusions. A comparison of the efficiency estimation results of the Naïve Bayesian Classifier with the results obtained by other researchers on the RuTweetCorp corpus [20] showed that the discrepancies are insignificant. However, it is not possible to compare the efficiency of the classifier based on recurrent neural network with similar ones due to the lack of references to such researches with the RuTweetCorp corpus.

References

1. Ameer H., Jamoussi S., Hamadou A.B. A New Method for Sentiment Analysis Using Contextual Auto-Encoders. *Journal of Computer Science and Technology*. 2018. Volume 33, issue 6. P. 1307–1319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11390-018-1889-1>.
2. *Eureka Engine*. URL: <http://eurkacengine.ru/ru/description> (access date: 15.09.2019).
3. Huang M., Zhuang F., Zhang X. et al. Supervised representation learning for multi-label classification. *Machine Learning*, 2019. Volume 108, issue 5. P. 747–763. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10994-019-05783-5>.
4. Elman J. L. Finding Structure in Time. *Cognitive Science*. 1990. Volume 14, issue 2. P. 179–211.

5. Melnyk K. V., Borysova N. V. Improving the quality of credit activity by using scoring model. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. Volume 2. P. 60–70. DOI 10.15588/1607-3274-2019-2-7. e-ISSN 1607-3274.
6. Mikolov T., Karafiat M., Burget L., Cernocky J., Khudanpur S. Recurrent neural network based language model. *Proceedings 11th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH 2010)*. Makuhari, Chiba, Japan, 2010. P. 1045–1048.
7. Nguyen-Trang T., Vo-Van T. A new approach for determining the prior probabilities in the classification problem by Bayesian method. *Advances in Data Analysis and Classification*. 2017. Volume 11, issue 3. P. 629–643. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11634-016-0253-y>.
8. Pang B., Lee L., Vaithyanathan Sh. Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques. *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP'02), Association for Computational Linguistics*. Volume 10. 2002. P. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.3115/1118693.1118704>.
9. Rahimi Z., Noferesti S., Shamsfard M. Applying data mining and machine learning techniques for sentiment shifter identification. *Language Resources and Evaluation*. 2019. Volume 53, issue 2. P. 279–302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10579-018-9432-0>.
10. *RCO Fact Extractor SDK*. URL: http://www.rco.ru/?page_id=3554. (access date: 15.09.2019).
11. Rubtsova Y. Automatic Term Extraction for Sentiment Classification of Dynamically Updated Text Collections into Three Classes. *Proceedings of International Conference on Knowledge Engineering and the Semantic Web (KESW 2014), Communications in Computer and Information Science*. Volume 468. P. 140–149. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-11716-4_12.
12. *SentiStrength – sentiment strength detection in short texts*. URL: <http://sentistrength.wlv.ac.uk/#About> (access date: 15.09.2019).
13. *System «Analytical Courier»*. URL: http://www.iteco.ru/solutions/business_intelligence_products/analytical_courier (access date: 15.09.2019).
14. *VAAL project*. URL: <http://www.vaal.ru> (access date: 15.09.2019).
15. Wu L., Morstatter F., Liu H. SlangSD: building, expanding and using a sentiment dictionary of slang words for short-text sentiment classification. *Language Resources and Evaluation*. 2018. Volume 52, issue 3. P. 839–852. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10579-018-9416-0>
16. Борисова Н. В., Ніфтілін В. В. Автоматизоване створення електронного словника. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2017*. Ч. I. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. С. 32.
17. Борисова Н. В., Ніфтілін В. В. Застосування методів корпусної лінгвістики для дослідження особливостей використання сучасного молодіжного сленгу. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018*. Ч. I. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 27.
18. *Корпус коротких текстів RuTweetCorp*. URL: <http://study.mokoron.com> (access date: 15.09.2019).
19. Романов А. В., Васильєва М. І., Куртукова А. В., Мещеряков Р. В. Анализ тональности текстов с использованием методов машинного обучения. *Proceedings of the R. Piotrowski's Readings in Language Engineering and Applied Linguistics. CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2233. Saint Petersburg, Russia, 2017. P. 86–95.
20. Рубцова Ю. В. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора. *Программные продукты и системы*, 2015. № 1 (109). С. 72–78. DOI: 10.15827/0236-235X.109.072-078.
- vol. 108, issue 5, pp. 747–763. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10994-019-05783-5>.
4. Jeffrey L. Elman. Finding Structure in Time. *Cognitive Science*. 1990, vol. 14, issue 2, pp. 179–211.
5. Melnyk K. V., Borysova N. V. Improving the quality of credit activity by using scoring model. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019, vol. 2, pp. 60–70. DOI 10.15588/1607-3274-2019-2-7. e-ISSN 1607-3274.
6. Mikolov T., Karafiat M., Burget L., Cernocky J., Khudanpur S. Recurrent neural network based language model. *Proceedings 11th Annual Conference of the International Speech Communication Association (INTERSPEECH 2010)*. Makuhari, Chiba, Japan, 2010, pp. 1045–1048.
7. Nguyen-Trang T., Vo-Van T. A new approach for determining the prior probabilities in the classification problem by Bayesian method. *Advances in Data Analysis and Classification*. 2017, volume 11, issue 3, pp. 629–643. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11634-016-0253-y>.
8. Pang B., Lee L., Vaithyanathan Sh. Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques. *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP'02), Association for Computational Linguistics*. Vol. 10. 2002, pp. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.3115/1118693.1118704>.
9. Rahimi Z., Noferesti S., Shamsfard M. Applying data mining and machine learning techniques for sentiment shifter identification. *Language Resources and Evaluation*, 2019, vol. 53, issue 2, pp. 279–302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10579-018-9432-0>.
10. *RCO Fact Extractor SDK*. Available at: http://www.rco.ru/?page_id=3554. (accessed 15.09.2019).
11. Rubtsova Y. Automatic Term Extraction for Sentiment Classification of Dynamically Updated Text Collections into Three Classes. *Proceedings of International Conference on Knowledge Engineering and the Semantic Web (KESW 2014), Communications in Computer and Information Science*. Vol. 468. Pp. 140–149. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-11716-4_12.
12. *SentiStrength – sentiment strength detection in short texts*. Available at: <http://sentistrength.wlv.ac.uk/#About> (accessed 15.09.2019).
13. *System «Analytical Courier»*. Available at: http://www.iteco.ru/solutions/business_intelligence_products/analytical_courier (accessed 15.09.2019).
14. *VAAL project*. Available at: <http://www.vaal.ru> (accessed 15.09.2019).
15. Wu L., Morstatter F., Liu H. SlangSD: building, expanding and using a sentiment dictionary of slang words for short-text sentiment classification. *Language Resources and Evaluation*. 2018, vol. 52, issue 3, pp. 839–852. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10579-018-9416-0>.
16. Borysova N. V., Niftilin V. V. Avtomatyzovane stvorennia elektronnoho slovnyka [Automated creation of electronic dictionary]. *Informacyni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ia: tezy dopovidei XXV Mizhnarodnoi naukovo-practychnoi konferencii MicroCAD-2017*. Ch. I [Proceedings of XXV International scientific-practical conference in Information technologies: science, engineering, technology, education, health MicroCAD-2017. Part I]. Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, p. 32.
17. Borysova N. V., Niftilin V. V. Zastosuvannia metodiv korpusnoi lingvistiki dlia doslidzhennia osoblyvostey vykorystannia suchasnogo molodizhnogo slengu [Using of corpus linguistics methods to study the features of using modern youth slang]. *Informacyni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ia: tezy dopovidei XXV Mizhnarodnoi naukovo-practychnoi konferencii MicroCAD-2018*. Ch. I [Proceedings of XXV International scientific-practical conference in Information technologies: science, engineering, technology, education, health MicroCAD-2018. Part I]. Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, p. 27.
18. *Korpus korotkih tekstov RuTweetCorp* [Short texts corpus RuTweetCorp]. Available at: <http://study.mokoron.com> (accessed 15.09.2019).
19. Romanov A. V., Vasilieva M. I., Kurtukova A. V., Meshcheriakov R. V. Analiz tonalnosti tekstov s ispolzovaniem metodov mashinnogo obuchenii [Sentiment Analysis of Text Using Machine Learning Techniques]. *Proceedings of the R. Piotrowski's Readings in Language Engineering and Applied Linguistics. CEUR Workshop Proceedings*. Vol.-2233. Saint Petersburg, Russia, 2017, pp. 86–95.

References (transliterated)

1. Ameer H., Jamoussi S., Hamadou A.B. A New Method for Sentiment Analysis Using Contextual Auto-Encoders. *Journal of Computer Science and Technology*. 2018, vol. 33, issue 6, pp. 1307–1319. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11390-018-1889-1>.
2. *Eureka Engine*. Available at: <http://eurckacengine.ru/ru/description> (accessed 15.09.2019).
3. Huang M., Zhuang F., Zhang X. et al. Supervised representation learning for multi-label classification. *Machine Learning*. 2019,

20. Rubtsova Yu. V. Postroenie korpusa tekstov dlia nastroyki tonovogo klassifikatora [Constructing a corpus for sentiment classification training]. *Programnye produkty i sistemy* [Program products and

systems]. 2015, no. 1 (109), pp. 72–78. DOI: 10.15827/0236-235X.109.072-078.

Received 25.09.2019

Відомості про авторів /Сведения об авторах/ About the Authors

Борисова Наталія Володимирівна (Borysova Natalia Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Мельник Каріна Володимирівна (Melnyk Karina Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

Борисова Наталья Владимировна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры интеллектуальных компьютерных систем; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Мельник Карина Владимировна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

Borysova Natalia Volodymyrivna – Candidate of Engineering Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor, Department of Computer Science and Intellectual Property; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8834-2536>; e-mail: borysova.n.v@gmail.com

Melnyk Karina Volodymyrivna – Candidate of Engineering Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor, Department of Software Engineering and Management Information Technology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

УДК 004.272.26: 004.272.34: 519.876.5

DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.14

С. В. ШЕВЧЕНКО, В. О. ГУЖВА, В. Д. МАЛИШ, І. Ю. МОРКВА

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Метою роботи є формування підходу до попереднього обґрунтування вибору типу архітектури системи обробки даних і управління. Архітектура системи являє собою способи побудови та організації її функціонування в процесі виконання програм обробки даних і управління. Якість архітектури може бути розглянуто з позицій прийнятих критеріїв ефективності таких як, наприклад, продуктивність, обсяги ресурсів, вартість обробки та інші. Вихідними даними для прийняття рішень по вибору кращою архітектури є характеристики даних задач, алгоритми обробки, характеристики прийнятих типів архітектури обчислювальних пристроїв, умови і вимоги до організації обчислювальних процесів і процесів управління, процедури обробки, їх характеристики і параметри, особливості програмного середовища, інструментальних засобів розробки і модифікації програмних рішень. Наявність невизначеності, викликані майбутніми аспектами функціонування системи обробки даних і умовами її використання, а також зовнішніми і внутрішніми факторами, що постійно змінюються, призводить до необхідності використання підходів формування архітектури системи обробки даних з позицій зменшення ризику прийняття необґрунтованих рішень. Тому виникають потреби в обробці даних у складі робочого навантаження, яке змінюється у часі, що проявляється як у сукупності задач обробки та їх вихідних даних, так і в необхідних процедурах обробки. Ці умови формують середовище обробки даних, для якого може бути поставлена у відповідність система обробки з адекватною архітектурою. Ступінь адекватності архітектури такої системи може бути оцінена з позицій обраних критеріїв і рівнів їх узгодження. Варіанти архітектури системи, що відповідають узгодженим рішенням, складають підмножину, яка надає обґрунтовані варіанти вибору рішень, що можуть прийматися з оцінками ефективності. З огляду на зростаючий інтерес замовників до побудови обчислювальних систем на основі хмарних технологій, обґрунтування та вибір архітектури системи обробки даних з використанням послуг хмарних обчислень набуває особливої актуальності. Підготовка подібних систем до застосування може займати кілька хвилин. Тому для поліпшення якості обґрунтування попереднього вибору архітектури системи обробки даних пропонується використовувати процедури апарату нечіткої логіки. Для ілюстрації підходу пропонується приклад чисельних розрахунків та аналіз отриманих результатів.

Ключові слова: архітектура, комп'ютерна система, обробка даних, критерії, нечітка логіка, алгоритм.

© С.В. Шевченко, В. О. Гужва, В. Д. Малиш, І. Ю. Морква, 2019

С. В. ШЕВЧЕНКО, В. А. ГУЖВА, В. Д. МАЛИШ, І. Ю. МОРКВА

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Целью работы является формирование подхода к предварительному обоснованию выбора типа архитектуры системы обработки данных и управления. Архитектура системы представляет собой способы построения и организации ее функционирования в процессе выполнения программ обработки данных и управления. Качество архитектуры может быть рассмотрено с позиций принятых критериев эффективности, таких как, например, производительность, объемы ресурсов, стоимость обработки и другие. Исходными данными для принятия решений по выбору предпочтительной архитектуры являются характеристики данных обрабатываемых задач, алгоритмы обработки, характеристики приемлемых типов архитектуры вычислительных устройств, условия и требования к организации вычислительных процессов и процессов управления, процедуры обработки, их характеристики и параметры, особенности используемой программной среды, инструментальных средств разработки и модификации программных решений. Наличие неопределенностей, вызванных будущими аспектами функционирования системы обработки данных и условиями ее использования, а также динамически изменяющимися внешними и внутренними факторами, приводит к необходимости использования подходов формирования искомой архитектуры с позиций уменьшения риска принятия необоснованных решений. Поэтому возникающие потребности в обработке данных в составе динамически формируемой рабочей нагрузки, которая проявляется как в составе обрабатываемых задач и их исходных данных, так и в требуемых процедурах обработки, формируют динамически изменяющуюся среду обработки, для которой может быть поставлена в соответствие система обработки с адекватной архитектурой. Степень адекватности архитектуры такой системы может быть оценена с позиций выбранных критериев и уровнем их согласования. Варианты архитектуры системы, соответствующие согласованным решениям, объединяются в подмножество, предоставляющее обоснованные варианты выбора принимаемых решений с оценками эффективности. Учитывая растущий интерес заказчиков к построению вычислительных систем на основе облачных технологий, обоснование и выбор архитектуры системы обработки данных с использованием услуг облачных вычислений приобретает особую актуальность. Подготовка подобных систем к применению может занимать несколько минут. Поэтому для улучшения качества обоснования предварительного выбора архитектуры системы обработки данных предлагается использовать процедуры аппарата нечеткой логики. Для иллюстрации подхода предлагается пример численных расчетов и анализ полученных результатов.

Ключевые слова: архитектура, компьютерная система, обработка данных, критерии, нечеткая логика, алгоритм.

S. V. SHEVCHENKO, V. O. GUZHVA, V. D. MALYSH, I. Y. MORKVA

SUBSTANTIATION OF THE PRELIMINARY SELECTION OF ARCHITECTURE OF DATA PROCESSING SYSTEM USING FUZZY LOGIC

The purpose of the work is to formulate an approach to the preliminary justification for choosing the type of architecture of the data processing and control system. System architecture is a way of constructing and organizing its functioning in the execution of data processing and control programs. The quality of the architecture can be viewed from the standpoint of accepted efficiency criteria such as, for example, productivity, volume of resources, cost of processing and others. Initial data for making decisions on the choice of the best architecture are the characteristics of these problems, processing algorithms, characteristics of acceptable types of architecture of computing devices, conditions and requirements for the organization of computing processes and control processes, processing procedures, their characteristics and parameters, features of the software environment, development tools and modification of software solutions. The uncertainty caused by the future aspects of the data processing system's functioning and conditions of use, as well as constantly changing external and internal factors, necessitates the use of approaches to design the data processing architecture from the standpoint of reducing the risk of making unreasonable decisions. Therefore, there is a need for data processing as part of a workload that changes over time, manifesting itself in the totality of data processing tasks and their input, and in the necessary processing procedures. These conditions form a data processing environment for which a processing system with an adequate architecture can be used. The degree of adequacy of the architecture of such a system can be estimated from the standpoint of the selected criteria and the degree of their agreement. The system architecture options that match the agreed solutions are a subset that provides sound decision choices that can be made with efficiency evaluations. Given the growing interest of customers in the development of cloud-based computing systems, the justification and choice of data processing system architecture using cloud-computing services is of particular relevance. It may take a few minutes to prepare such systems for application. Therefore, to improve the quality of justification for the previous choice of architecture of the data processing system, it is proposed to use the procedures of the fuzzy logic. An example of numerical calculations and an analysis of the results obtained are offered to illustrate the approach.

Keywords: architecture, computer system, data processing, criteria, fuzzy logic, algorithm.

Вступ. Визначення архітектури комп'ютерної системи обробки даних для виконання процесів обробки даних, а також процесів управління їх виконанням в обраних умовах с позицій ряду критеріїв ефективності, має постійне актуальне значення, враховуючи впровадження нових автоматизованих технологічних процесів, розробку та використання нових зразків комп'ютерної техніки та обладнання, нових інформаційних технологій, появу та широке розповсюдження застосування хмарних обчислень з використанням віртуальних обчислювальних систем [1]–[4].

Відповідність вимогам до архітектури таких систем є визначальним чинником, який обумовлений зростанням складності нових технологічних процесів і задач управління ними, розробкою нових програмних рішень, що реалізують процедури обробки даних та управління. Ступінь відповідності можна оцінити за допомогою обраного набору критеріїв.

Таким чином, виникає необхідність розглянути

формалізацію процедури вибору архітектурних рішень для побудови системи обробки даних серед визначених варіантів.

На етапі проектування комп'ютерної системи слід зазначити наявність невизначеності особливостей її майбутнього використання та ряду вимог до її організації, які не дозволяють чітко визначити перевагу однієї архітектури перед іншою [5]. Внаслідок цього можна вважати за доцільне виконувати оцінку відповідності архітектури комп'ютерної системи, що використовується в певних умовах, з позицій теорії нечіткої логіки [6]. Для виконання розрахунків та проведення аналізу отриманих результатів необхідним є відповідна розробка прикладного програмного забезпечення.

Актуальність вирішення зазначених задач значно підвищується при оцінці пропозицій віртуальних засобів комп'ютерної обробки даних, що пропонуються сервісами хмарних технологій різних провайдерів та рівнів [3].

Типовий набір характеристик якості архітектури хмарної комп'ютерної системи містить види процесорів, що пропонуються для використання у складі віртуальної обчислювальної системи, їх кількість, тактову частоту, обсяги пристроїв оперативної пам'яті, кеш-пам'яті, зовнішньої пам'яті, їх пропускну спроможність та час доступу, канали зв'язку, їх характеристики, надійність, вартість окремих компонентів, пристроїв та системи в цілому, умови використання і т. п. [4].

Для оцінки конкретних варіантів архітектури необхідно уточнювати і адаптувати набір характеристик до обчислювального навантаження, яке очікується при застосуванні системи в певних умовах.

Як правило, критерії якості архітектури комп'ютерної системи визначаються вимогами технічного завдання та функціональним призначенням конкретних систем. Їх характеристики потрібно уточнювати в процесі проектування, що може призвести до необхідності повторного проведення оцінок доступних варіантів.

Постановка задачі. Ринкові умови в економіці накладають додаткові вимоги до потрібного рівня конкурентоздатності суб'єкта ринкових відносин. Це відображається у необхідності підтримки ефективності управління на всіх етапах його діяльності і, перш за все, при формуванні управлінських рішень в результаті вирішення задач обробки даних. Тому виконання процесів обробки даних комп'ютерною системою з архітектурою, що відповідає умовам застосування та робочому навантаженню системи, є однією з необхідних умов забезпечення необхідного рівня ефективності обробки та конкурентоздатності суб'єкта ринкових відносин.

Однією з відмінних особливостей прийняття рішень при виборі архітектури комп'ютерної системи для обробки даних в певних умовах є характеристики робочого навантаження, що визначаються сукупністю задач, які надходять в систему на обробку в певний період часу. Так, визначення архітектури може виконуватися для робочого навантаження, що сформоване одноразовим набором задач, або задачами деякого класу, або потоком незалежних задач, або задач, для яких характерним є повторюваність відповідних процедур вирішення та управління, наявність взаємозв'язків окремих етапів вирішення, що вимагає координації і синхронізації розрахунків. Тому від якості процесів вирішення та достовірності отриманих результатів істотно залежить ефективність процесів обробки даних та управління і ефективність використання комп'ютерної системи обробки даних відповідного рівня в цілому.

Складність вибору архітектури комп'ютерної системи обумовлена наявністю та дією ряду невизначених чинників з необхідністю обліку багатьох факторів, що безпосередньо впливають на ефективність обробки даних. Серед них – склад задач та обсяги обробки, складність алгоритмів обробки і управління та побудови відповідних програмних модулів, частота обробки або випадковість ініціювання процедур обробки, поява задач розподіленої обробки,

їх ініціювання, синхронізація та координація, стан макроекономічних факторів, що впливають на умови та необхідність вирішення відповідних наборів задач, прогнозування тенденцій та виникнення зазначених умов та ін.

Для вирішення задачі обґрунтування вибору архітектури комп'ютерної обчислювальної системи при відомих параметрах процесів обробки даних можуть бути використані традиційні процедури, що відповідають задачам розподілу навантаження виконання обробки даних згідно наявним ресурсам системи з оцінкою значень критеріїв якості для різних варіантів.

Врахування можливості появи в системі обробки даних задач з невизначеними заздалегідь умовами вирішення та характеристиками що заздалегідь невідомі, вимагає застосовувати апарат теорії ймовірності, та математичної статистики, проводити оцінку середніх значень, ідентифікацію законів розподілу випадкових величин та визначення їх характеристик, що може бути реалізовано лише при наявності достатніх статистичних даних та обчислювальних ресурсів. Ця ситуація може змінити склад та рейтинг критеріїв ефективності варіантів вибору і безумовно призвести до втрат, обумовлених, з одного боку, або вартістю невикористаних надмірних обчислювальних ресурсів для вирішення поточних задач обробки даних, або, навпаки, збитками внаслідок відмов або затримок у вирішенні відповідних задач з втратою актуальності та адекватності управлінських рішень внаслідок відсутності вказаних ресурсів.

Попереднє обґрунтування доцільних варіантів архітектури системи обробки даних з використанням якісних методів, здатних відобразити невизначеності ринку, потреби клієнтів, недостатність статистичної інформації, нечислові, нечіткі поняття і оцінки може значно скоротити кількість рішень, що мають бути використані у подальшому визначенні значень окремих характеристик та параметрів системи обробки даних. Тому для вирішення даної задачі перевагу мають методи, що ґрунтуються на використанні штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів, нечітко-множинних підходів [5]. Доцільність застосування апарату теорії нечітких множин визначається тим, що ефективність впровадження і використання інформаційних систем в значній мірі визначається експертними оцінками. Нечітке моделювання подання значень оцінок експертів дозволяє приблизити результати до реальних процедур і, у подальшому, отримати чисельну інтерпретацію нечітких, лінгвістичних понять і оцінок для їх обробки і прийняття необхідних управлінських рішень [6]–[10].

Таким чином, виникає необхідність запропонувати підхід та процедури оперативного вибору архітектури комп'ютерної системи обробки даних, що відповідає потребам застосування с позицій ряду критеріїв ефективності, склад, рейтинг і значення яких може змінюватися в умовах динамічних змін робочого навантаження системи обробки даних та доступних пропозицій обчислювальних ресурсів особливо в умовах хмарних обчислень.

Багатокритеріальний аналіз альтернатив.

Будемо вважати, що відома множина варіантів архітектури побудови системи обробки даних $P = \{P_i, i \in I\}$, $I = \{1, 2, \dots, m\}$, множина обраних критеріїв якості архітектури $G = \{G_j, j \in J\}$, $J = \{1, 2, \dots, n\}$.

Багатокритеріальний аналіз альтернатив базується в упорядкуванні елементів множини P за критеріями множини G [7].

Для оцінки якості варіанту архітектури можуть бути використані критерії, які найбільш точно відображують з позицій експертів особливості використання системи обробки даних і управління в реальних умовах. У якості прикладу наведемо наступні критерії якості: G_1 – частота ініціалізації процедур обробки даних; G_2 – витрати ресурсів на ініціалізацію; G_3 – трудомісткість внесення змін до процедур обробки даних; G_4 – врахування рівня важливості виконання процедур; G_5 – підтримка процедур обробки даних даною архітектурою; G_6 – врахування впливу ступеню зв'язку між процедурами обробки даних.

Множина обраних критеріїв є відкритою з можливістю внесення змін та урахуванням вимог до конкретної архітектури системи. Крім того, кожний критерій може розглядатися як згортка окремих показників на більше низькому рівні ієрархії.

Для побудови моделі прийняття рішень будемо використати метод нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів, що дозволяє врахувати описані вище особливості архітектури автоматизованого комплексу обробки даних [8].

Позначимо $\mu_{G_i}(P_j)$ число з інтервалу $[0, 1]$, яким варіант архітектури системи обробки даних P_j оцінюють за критерієм якості G_i , $i \in I$, $j \in J$. Чим більше число $\mu_{G_i}(P_j)$, тим краще система з архітектурою P_j за критерієм G_i . Тоді на підставі оцінок варіантів архітектури системи за кожним критерієм G_i , $i \in I$ можна сформувати нечіткі множини G_i^{\sim} на універсальній множині P :

$$G_i^{\sim} = \{P_j: \mu_{G_i}(P_j), j \in J\}, i \in I \quad (1)$$

де значення $\mu_{G_i}(P_j)$ можна інтерпретувати як ступінь приналежності елемента P_j , $j \in J$, нечіткій множині G_i^{\sim} , $i \in I$.

Ступені приналежності до нечітких множин (1) будемо знаходити, використовуючи побудову функцій приналежності на основі парних порівнянь Сааті [9]. Експерт для кожної пари варіантів архітектури по критеріям множини G оцінює перевагу одного варіанта перед іншим. Парні порівняння задаються у вигляді матриці $A_{G_j} = \{\alpha_{li}^{G_j}\}$, елементи якої $\alpha_{li}^{G_j}$ – це оцінка переваги архітектури комп'ютерної системи P_l , $l \in I$, перед архітектурою P_i , $i \in I$, згідно критерію G_j , $j \in J$, з використанням шкали Сааті [8].

Після визначення всіх елементів матриці A_{G_j} , $j \in J$, ступені приналежності, необхідні для формування нечіткої множини (1), можуть бути визначені наступним чином [7]:

$$\mu_{G_j}(P_i) = \frac{1}{\alpha_{1i}^{G_j} + \alpha_{2i}^{G_j} + \dots + \alpha_{mi}^{G_j}} \quad (2)$$

Відповідно до принципу Беллмана – Заде [7], кращою буде альтернатива, яка найбільшою мірою одночасно задовольняє всім критеріям. Тому нечітка множина, яка визначається у вигляді перетину нечітких множин за окремими критеріями, може бути використана у якості сукупності доцільних варіантів архітектури комп'ютерної системи обробки даних та управління з інтегральними оцінками ефективності

$$D^{\sim} = G_1^{\sim} \cap G_2^{\sim} \cap \dots \cap G_n^{\sim}. \quad (3)$$

Тоді, згідно змісту операції перетину нечітких множин, маємо

$$D^{\sim} = \{P_i^{\sim}: \operatorname{argmin}(\mu_{G_j^{\sim}}(P_i)), i \in I\} \quad (4)$$

Якщо в результаті цих дій вагомі переваги елементів за обраними показниками не спостерігаються, то використовуються оцінки коефіцієнтів важливості критеріїв $\{\gamma_j\}$, $j \in J$. Для їх визначення застосовуються процедури, аналогічні наведеним при формуванні функцій, що визначають ступінь приналежності.

Підхід до визначення пріоритетів рішень з урахуванням коефіцієнтів важливості критеріїв повинен забезпечувати збільшення різниці між варіантами по більш важливим критеріям і відповідно зменшення різниці по менш важливим. Для цього застосовуються операції концентрації і розтягування нечітких множин шляхом зведення значення функції приналежності в позитивну ступінь більше 1 при концентрації елементів і в ступінь менше 1 при розтягуванні елементів за значеннями показників. В такому разі можемо отримати наступний результат:

$$D^* = G_1^{\sim \gamma_1} \cap G_2^{\sim \gamma_2} \cap \dots \cap G_n^{\sim \gamma_n} = \{P_i^*: \operatorname{argmin}(\mu_{G_j^{\sim}}^{\gamma_j}(P_i)), i \in I\}, \quad (5)$$

де $\{\gamma_j\}$, $j \in J$, коефіцієнти відносної важливості критеріїв множини G після операції нормалізації їх значень

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n. \quad (6)$$

Тоді, відповідно до результатів обчислень згідно виразу (5), кращою буде система з архітектурою

$$P^* = \operatorname{argmax}(\mu_{D^*}(P_i), i \in I). \quad (7)$$

Приклад розрахунків. У якості прикладу розрахунків за наведеним підходом розглянемо множину можливих варіантів архітектури $P = \{P_1, P_2, \dots, P_4\}$ з позицій вище наведених критеріїв ефективності $G = \{G_1, G_2, \dots, G_6\}$.

Нехай оцінки експертів по зіставленню варіантів архітектури за кожним критерієм представлені матрицями у наступному вигляді

$$A_{G_1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}, A_{G_4} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_{G_2} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}, A_{G_5} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 \\ 5 & 3 & 2 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A_{G_3} = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}, A_{G_6} = \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/7 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \end{pmatrix}.$$

Застосовуючи процедури (1) та (2), отримаємо наступні нечіткі множини

$$G_1^{\sim} = \{P_1: 0.39, P_2: 0.39, P_3: 0.14, P_4: 0.07\},$$

$$G_2^{\sim} = \{P_1: 0.60, P_2: 0.21, P_3: 0.12, P_4: 0.08\},$$

$$G_3^{\sim} = \{P_1: 0.43, P_2: 0.09, P_3: 0.43, P_4: 0.06\},$$

$$G_4^{\sim} = \{P_1: 0.08, P_2: 0.23, P_3: 0.49, P_4: 0.19\},$$

$$G_5^{\sim} = \{P_1: 0.08, P_2: 0.19, P_3: 0.23, P_4: 0.49\},$$

$$G_6^{\sim} = \{P_1: 0.06, P_2: 0.40, P_3: 0.14, P_4: 0.40\}.$$

Склад отриманих множин не дозволяє віддати перевагу окремим варіантам архітектури.

Нехай експертне порівняння критеріїв має вигляд

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 4 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 6 & 3 & 5 \\ 2 & 1/2 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/6 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

Тоді, виконуючи вищезазначені дії, отримаємо наступні коефіцієнти важливості критеріїв

$$\gamma_1 = 0.15, \gamma_2 = 0.34, \gamma_3 = 0.26,$$

$$\gamma_4 = 0.05, \gamma_5 = 0.13, \gamma_6 = 0.07.$$

Таким чином, експерти вважають найбільш важливими критеріями витрати ресурсів на ініціалізацію G_2 і трудомісткість внесення змін до процедур обробки даних G_3 .

З урахуванням важливості критеріїв, відповідно до (4), отримуємо такі нечіткі множини

$$G_1^{\sim\gamma_1} = \{P_1: 0.885, P_2: 0.885, P_3: 0.769, P_4: 0.706\};$$

$$G_2^{\sim\gamma_2} = \{P_1: 0.816, P_2: 0.537, P_3: 0.430, P_4: 0.363\};$$

$$G_3^{\sim\gamma_3} = \{P_1: 0.829, P_2: 0.585, P_3: 0.829, P_4: 0.529\};$$

$$G_4^{\sim\gamma_4} = \{P_1: 0.888, P_2: 0.933, P_3: 0.967, P_4: 0.923\};$$

$$G_5^{\sim\gamma_5} = \{P_1: 0.728, P_2: 0.808, P_3: 0.829, P_4: 0.913\};$$

$$G_6^{\sim\gamma_6} = \{P_1: 0.819, P_2: 0.939, P_3: 0.872, P_4: 0.939\}.$$

Результати проведеного аналізу та порівнянь представлені графіком, зображеним на рис.1.

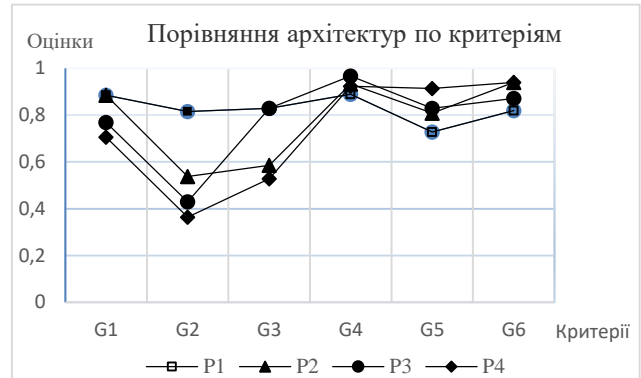


Рис. 1. Оцінки варіантів архітектури системи з урахуванням важливості критеріїв

Операція перетину отриманих нечітких множин $D^* = G_1^{\sim\gamma_1} \cap G_2^{\sim\gamma_2} \cap \dots \cap G_6^{\sim\gamma_6}$ приводить до наступного результату

$$D^* = \{P_1: 0.728, P_2: 0.537, P_3: 0.430, P_4: 0.363\}.$$

Таким чином, отримані результати дозволяють оцінити різниці по рейтингу варіантів архітектури і свідчать про перевагу системи обробки даних з архітектурою P_1 при дотриманні прийнятих умов аналізу.

Крім того, з'являється можливість провести дослідження зміни рейтингів варіантів, що порівнюються, при зміні окремих оцінок порівнянь по критеріям, при яких визначається перевага одного з варіантів.

Для демонстрації цих дій наведемо результати аналізу змін архітектури P_3 по критерію G_2 витрати ресурсів на ініціалізацію та їх вплив на інтегральну оцінку ефективності варіанту архітектури, рис. 2.



Рис. 2. Оцінки ефективності варіантів архітектури системи з урахуванням змін архітектури P_3 по критерію G_2

Легко бачити, що, якщо при порівнянні архітектури P_1 та P_3 перевага останньої по критерію G_2 буде більше, ніж 2.5, то архітектура P_3 системи обробки даних стає більш доцільною.

Висновки. Порівняння варіантів архітектури для автоматизованого комплексу системи обробки даних і управління показує, що застосування запропонованого підходу дозволяє отримати кількісні оцінки якості рішень, провести необхідні дослідження впливу окремих факторів та значень показників, що використовувалися для проведення розрахунків, врахувати особливості призначення і використання системи, склад та зміст задач обробки даних і управління, важливість їх своєчасного вирішення та можливість внесення змін, вплив обраної сукупності критеріїв якості, оцінок експертів та їх співвідношень на кінцевий результат та ін. В результаті використання розглянутих процедур з позицій зроблених припущень з'являється можливість отримати кількісне обґрунтування доцільності використання обраної архітектури комп'ютерної системи обробки даних і управління та виконати дослідження впливу окремих факторів на кінцевий результат.

Отримані результати можна вважати попередніми оцінками варіантів архітектури системи обробки даних, які дозволяють скоротити кількість варіантів, що розглядаються і які мають бути уточнені при деталізації характеристик і параметрів системи обробки даних для використання в конкретних умовах.

Список літератури

1. Amazon EC2. URL: <https://aws.amazon.com/ru/ec2> (дата звернення: 15.04.2019).
2. Welcome to IBM Cloud. URL: <https://cloud.ibm.com> (дата звернення: 17.09.2019).
3. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com> (дата звернення: 17.09.2019).
4. Cloud Computing and Cloud Storage Architectures. URL: <https://www.seagate.com/gb/en/tech-insights/cloud-compute-and-cloud-storage-architecture-master-ti/> (дата звернення: 17.09.2019).
5. Подорожний И. В., Светличный А. Н., Подлеснов А. В. Введение в контейнеры, виртуальные машины и docker // *Молодой ученый*. 2016. № 19. С. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/123/33873/> (дата звернення: 16.04.2019).
6. Соловьев А. М. Особенности распределенных АСУ ТП. *Информационные системы и технологии*. 2016. Т. 97, № 5. С. 50–56.
7. Андриевская Н. В., Резников А. С., Черанев А. А. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления. *Фундаментальные исследования*. 2014. Ч. 7, №. 11. С. 1445–1449.

8. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. Москва: Физматлит, 2004. 546 с.
9. Подиновский В. В., Ногин В. Д. *Парето-оптимальные решения многокритериальных задач*. Москва: Наука, 1982. 464 с.
10. Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь, 1993. 454 с.
11. Forman E. H., Selly M. A. *Decision By Objectives*. World Scientific Press, 2001. 420 p. URL: <https://doi.org/10.1142/4281> (дата звернення: 17.09.2019).
12. Овезгельдыев А. О., Петров Э. Г., Петров К. Э. *Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации*. Київ: Наук. думка, 2002. 164 с.

References (transliterated)

1. Amazon EC2. URL: <https://aws.amazon.com/ru/ec2> (accessed: 15.04.2019).
2. Welcome to IBM Cloud. URL: <https://cloud.ibm.com> (accessed: 17.09.2019).
3. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com> (accessed: 17.09.2019).
4. Cloud Computing and Cloud Storage Architectures. URL: <https://www.seagate.com/gb/en/tech-insights/cloud-compute-and-cloud-storage-architecture-master-ti/> (accessed: 17.09.2019).
5. Podorozhnyy I. V., Svetlichnyy A. N., Podlesnov A. V. Vvedeniye v konteynery, virtual'nyye mashiny i docker [Introduction to containers, virtual machines and docker]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2016, no. 19, pp. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/123/33873/> (accessed 16.04.2019).
6. Solov'yev A. M. Osobennosti raspredelennykh ASU TP [Features of distributed process control systems]. *Informatsionnyye sistemy i tekhnologii* [Information Systems and Technologies]. 2016, vol. 97, no. 5, pp. 50–56.
7. Andriyevskaya N. V., Reznikov A. S., Cheranov A. A. Osobennosti primeneniya neyro-nechetkikh modeley dlya zadach sinteza sistem avtomaticheskogo upravleniya [Features of the application of neuro-fuzzy models for the synthesis of automatic control systems]. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic research]. 2014, part 7, no. 11, pp. 1445–1449.
8. Nogin V. D. *Prinyatiye resheniy v mnogokriterial'noy srede: kolichestvennyy podkhod* [Decision making in a multi-criteria environment: a quantitative approach]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2004. 546 p.
9. Podinovskiy V. V., Nogin V. D. *Pareto-optimal'nyye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto-optimal solutions of multicriteria problems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 464 p.
10. Saati T. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Decision Making. Hierarchy Analysis Method]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993. 454 p.
11. Forman E. H., Selly M. A. *Decision By Objectives*. World Scientific Press, 2001. 420 p. URL: <https://doi.org/10.1142/4281> (accessed: 17.09.2019).
12. Ovezgel'dyyev A. O., Petrov E. G., Petrov K. E. *Sintez i identifikatsiya modeley mnogofaktornogo otsenivaniya i optimizatsii* [Synthesis and identification of multivariate estimation and optimization models]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 2002. 164 p.

Надійшла (received) 22.09.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шевченко Сергій Васильович – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Гузєва Віктор Олексійович – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com

Малиш Валерія Дмитрівна – бакалавр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Морква Іван Юрійович – студент магістратури, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com

Шевченко Сергій Васильевич – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Гужва Віктор Алексеевич – кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com.

Малыш Валерія Дмитрієвна – бакалавр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри "Програмна інженерія та інформаційні технології управління"; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Морква Іван Юрьевич – студент магістратури, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», бакалавр кафедри "Програмна інженерія та інформаційні технології управління"; тел.: (057) 707-64-74; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com

Shevchenko Sergiy – Candidate of Technical Science, Professor at NTU "KhPI", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor, Department of Software Engineering and Information Technologies of Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3831-5425>; e-mail: sv-shevchenko@ukr.net

Viktor Guzhva – Candidate of Technical Sciences, Professor at NTU "KhPI", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Software Engineering and Information Technology Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4480>; e-mail: guzhva.v.a@gmail.com

Malysh Valeriy Dmitrovna – Bachelor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Bachelor of the Department of Software Engineering and Information Technologies of Management; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9335-1285>; e-mail: malysh.valeriya@gmail.com

Ivan Morkva – Master's student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", bachelor of department "Software Engineering and Information Technologies of Management"; tel.: (057) 707-64-74; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6508-7894>; e-mail: ivan.morkva@gmail.com

ЗМІСТ

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ТЕОРІЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	3
<i>Goloskokov A. E., Yakovenko A. A.</i> Assessment of the complex system condition (on the example of an it company) ...	3
УПРАВЛІННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ.....	10
<i>Куценко О. С., Одарченко М. А.</i> Розв’язання матричного рівняння Сільвестра спектральним методом	10
УПРАВЛІННЯ В ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	14
<i>Гамбаров Л. А., Пашнев А. А., Смолин П. А., Хацько Н. Е.</i> Разработка методических основ повышения эффективности математического инструментария решения задач производственно-транспортной логистики	14
<i>Орехов С. В., Стратієнко Н. К., Малигон Г. В.</i> Розробка програмного забезпечення для вирішення задачі побудови ІТ команди на основі оцінки корпоративної культури та типу особистості	22
<i>Прочухан Д. В.</i> Формування професійної комунікативної компетентності під час проектно-орієнтованого навчання в умовах використання методології Scrum	29
МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	34
<i>Тоница О. В.</i> Методи стохастичного моделювання фізико-механічних полів	34
<i>Лисицкий В. Л., Межирицкий В. С.</i> Модели сбалансированного планирования входных, выходных потоков продуктов логистической системы территории	39
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	45
<i>Гармаш Д. В., Дорофеев Ю. І.</i> Розробка Android додатку для системи підтримки холтерівського моніторингу	45
<i>Dvukhhglaov D. E., Riabukha T. O.</i> Development of a database structure for storing models for determinated alphabets classes recognition based on the set of heterogeneous characteristic	49
<i>Паржин Ю. В., Солощук М. Н., Любченко Н. Ю.</i> Анализ информации в нейроморфных информационных моделях нейронов	55
<i>Годлевський М. Д., Гончаренко Т. Є., Бурлаков Г. О., Малець Д. К.</i> Шляхи підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделей зрілості.....	63
<i>Liutenko I. V., Kurasov O. I., Lukinova D. A., Yershova S. I., Semanik A. O.</i> Using the aggregated criteria to evaluate the software tests quality.....	70
<i>Vorysova N. V., Melnyk K. V.</i> Efficiency estimation of methods for sentiment analysis of social network messages	76
<i>Шевченко С. В., Гужва В. О., Малиш В. Д., Морква І. Ю.</i> Обґрунтування попереднього вибору архітектури системи обробки даних з використанням нечіткої логіки.....	81

CONTENT

SYSTEM ANALYSIS AND DECISION-MAKING THEORY	3
<i>Goloskokov A. E., Yakovenko A. A.</i> Assessment of the complex system condition (on the example of an it company)	3
CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS.....	10
<i>Kutsenko O. S., Odarchenko M. A.</i> Solving the Sylvester matrix equation by the spectral method.....	10
MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS.....	14
<i>Gambarov L. A., Pashniev A. A., Smolin P. O., Khatsko N. E.</i> Methodical basic of efficiency increasing of mathematical tool in problems solution for industrial transportation logistic	14
<i>Orekhov S. V., Stratienco N. K., Malyhon H. V.</i> Software development for it team building based on estimating corporate culture and personality type.....	22
<i>Prochukhan D. V.</i> Formation of professional communicative competence during the project-focused learning in terms of using Scrum methodology.....	29
MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING	34
<i>Tonitsa O. V.</i> Methods of stochastic modeling of physical-mechanical fields	34
<i>Lysytskyi V. L., Mezhyrtskyi V. S.</i> Models of balanced planning of input and output flows of products of the logistics system of the territory.....	39
INFORMATION TECHNOLOGY	45
<i>Harmash D. V., Dorofieiev Y. I.</i> Development of an Adroid application to support the holter monitoring system.....	45
<i>Dvukhhglaov D. E., Riabukha T. O.</i> Development of a database structure for storing models for determined alphabets classes recognition based on the set of heterogeneous characteristic	49
<i>Parzhin Y. V., Soloshchuk M. M., Liubchenko N. Y.</i> Analysis of information in neuromorphic information models of neurons.....	55
<i>Godlevskiy M. D., Goncharenko T. Ye., Burlakov G. O., Malets D. K.</i> Ways to improve the quality of the process of development of software based on models of maturity	63
<i>Liutenko I. V., Kurasov O. I., Lukinova D. A., Yershova S. I., Semanik A. O.</i> Using the aggregated criteria to evaluate the software tests quality	70
<i>Borysova N. V., Melnyk K. V.</i> Efficiency estimation of methods for sentiment analysis of social network messages	76
<i>Shevchenko S. V., Guzhva V. O., Malysh V. D., Morkva I. Y.</i> Substantiation of the preliminary selection of architecture of data processing system using fuzzy logic	81

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ».
СЕРІЯ: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ**

Збірник наукових праць

№ 2'2019

Наукові редактори: М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна
О. С. Куценко, д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна
Технічний редактор: М. І. Безменов, канд. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний за випуск М. І. Безменов, канд. техн. наук, професор

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ ТА ВИДАВЦЯ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Підп. до друку 01.11.2019 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 10,0. Облік.-вид. арк. 11,22.
Тираж 100 пр. Зам. № 212. Ціна договірна.

Друкарня «ФОП Пісня О. В.»
Свідоцтво про державну реєстрацію ВО2 № 248750 від 13.09.2007 р.
61002, Харків, вул. Гіршмана, 16а, кв. 21, тел. (057) 764-20-28