



3 (209)  
2022

ISSN 2663-2586 (Online)  
ISSN 2663-2578 (Print)

# Cyber- netics



КІБЕРНЕТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

and

COMPUTER  
ENGINEERING

## Editorial board

Gritsenko V.I. — Editor-In-Chief (International Research and Training Center for International Technologies and Systems, Kyiv, Ukraine)

Kozak L.M. — Deputy Editor-In-Chief (*IRTCITS*, Kyiv, Ukraine)

### Computer Science and Information Technologies:

Abdel-Badeeh M. Salem (*Ain Shams University, Cairo, Egypt*), Abraham A. (*Machine Intelligence Research Labs, Washington, USA*), Fainzilberg L.S. (*IRTCITS, Kyiv, Ukraine*), Gorbunovs A. (*Riga Technical University, Riga, Latvia*), Gubarev V.F. (*Institute of Space Research, Kyiv, Ukraine*), Rachkovskij D.A. (*IRTCITS, Kyiv, Ukraine*), Wunsch D.C. (*Missouri University of Science & Technology, Rolla, USA*)

### Applied Mathematics:

Anisimov A.V. (*T. Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine*), Chikrii A.O. (*Glushkov Institute of Cybernetics, Kyiv, Ukraine*), Gupal A.M. (*Glushkov Institute of Cybernetics, Kyiv, Ukraine*), Kogut P.I. (*Dnipropetrovsk State University, Dnipro, Ukraine*), Mordukhovich Boris (*Wayne University, Detroit, USA*), Vlahavas I. (*Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece*)

### Technologies of medical diagnostics and treatment:

Azarhov O.Yu. (*Priazovsky State Technical University, Mariupol, Ukraine*), Belov V.M. (*IRTCITS, Kyiv, Ukraine*), Kovalenko O.S. (*IRTCITS, Kyiv, Ukraine*), Rybak I. (*Drexel University College of Medicine, Philadelphia, USA*), Yavorsky O.V. (*Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine*)

### Biology:

Antomonov M.Yu. (*Marzyeyev Institute of Public Health, Kyiv, Ukraine*), Ermakova I.I. (*IRTCITS, Kyiv, Ukraine*), Knigavko V.G. (*Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine*), Navakatikyan M., (*National Centre for Classification in Health, Sydney, Australia*)

The journal is included in the List of Scientific Professional Editions of the Ministry of Education and Science of Ukraine (MESU) for PhD applicants, category “B”, in biological and medical sciences, (order of the MES of Ukraine № 409, 17.03.2020), technical and physical-mathematical sciences (order of the MES of Ukraine № 1188, 24.09.2020)

The journal is included in Google Scholar, information resource Scientific Periodicals of Ukraine (V.I. Vernadsky NLU), ULRICHS WEB, Crossref (DOI), ROAD, DOAJ, Index Copernicus, Electronic Journals Library (Germany)

Certificate of State Registration KB № 12649-1533P, 14.05.2007

## Editorial address:

**International Research and Training Center  
for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of  
Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine  
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187**

Phone: 503 95 62. E-mail: [kvt.journal@kvt-journal.org.ua](mailto:kvt.journal@kvt-journal.org.ua), <http://kvt-journal.org.ua/>

Executive secretary *Pezentsali H.O.*

Editor *Charchiyan N.A.*

Computer layout *Tupalskiy O.V.*

Web-master *Voychenko O.P.*

Підп. до друку 17.10.2022. Формат 70×108/16. Гарн. Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 10,33. Обл. вид. арк. 9,84. Тираж 61. Зам. №

---

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України  
01024, Київ 4, вул. Терещенківська, 4.

Свідцтво про внесення до Державного реєстру суб'єкта видавничої справи  
Серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

# Cybernetics and Computer Engineering

3 (209)/2022

SCIENTIFIC JOURNAL ▪ FOUNDED IN 1965 ▪ PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR ▪ KYIV

## CONTENTS

### Informatics and Information Technologies

VOLKOV O.Ye., BOGACHUK Yu.P., LINDER Ya.M., TARANUKHA V.Yu., VOLOSHENYUK D.O. Means for a Classification Technology of Synthetic Radar Images of Objects Having Complex Shapes .....	5
STEPASHKO V.S., SAVCHENKO-SYNIAKOVA Ye.A., PIDNEBESNA H.A. Problem of Constructing an Ontological Metamodel of Iterative Group Method of Data Handling Algorithms .....	21

### Intelligent Control and Systems

GRITCENKO V.I., SUKHORUCHKINA O.N. From Command Control to the Autonomy of Mobile Robots .....	33
--	----

### Medical and Biological Cybernetics

KOVALENKO O.S., AVERYANOVA O.A., MARESOVA T.A., NENASHEVA L.V., KUPMAN L.A., DVORNITSKA D.O. The Use of Telemedicine Technologies to Create a Medical Information System for Medical and Social Care .....	45
КІФОРЕНКО С.І., БЕЛОВ В.М., ГОНТАР Т.М., КОЗЛОВСЬКА В.О., ОБЕЛЕЦЬ Т.А. Методологічні аспекти використання нормометричного шкалювання для багатовимірного оцінювання резервів здоров'я .....	63

To Attention of Authors .....	81
-------------------------------	----

# Cybernetics and Computer Engineering

3 (209)/2022

SCIENTIFIC JOURNAL ▪ FOUNDED IN 1965 ▪ PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR ▪ KYIV

## CONTENTS

### Informatics and Information Technologies

VOLKOV O.Ye., BOGACHUK Yu.P., LINDER Ya.M., TARANUKHA V.Yu., VOLOSHENYUK D.O. Means for a Classification Technology of Synthetic Radar Images of Objects Having Complex Shapes .....	5
STEPASHKO V.S., SAVCHENKO-SYNIAKOVA Ye.A., PIDNEBESNA H.A. Problem of Constructing an Ontological Metamodel of Iterative Group Method of Data Handling Algorithms .....	21

### Intelligent Control and Systems

GRITCENKO V.I., SUKHORUCHKINA O.N. From Command Control to the Autonomy of Mobile Robots .....	33
---	----

### Medical and Biological Cybernetics

KOVALENKO O.S., AVERYANOVA O.A., MARESOVA T.A., NENASHEVA L.V., KUPMAN L.A., DVORNITSKA D.O. The Use of Telemedicine Technologies to Create a Medical Information System for Medical and Social Care .....	45
KIFORENKO S.I., BELOV V.M., HONTAR T.M., KOZLOVSKA V.O., OBELETS T.A. Methodological Aspects of Using Normometrical Scaling for Multidimensional Assessment of Health Reserves .....	63

To Attention of Authors .....	81
-------------------------------	----

# Кібернетика 3 (209)/2022 та обчислювальна техніка

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ ■ ЗАСНОВАНИЙ У 1965 р. ■ ВИХОДИТЬ 4 РАЗИ НА РІК ■ КИЇВ

## ЗМІСТ

### Інформатика та інформаційні технології

ВОЛКОВ О.Є., БОГАЧУК Ю.П., ЛІНДЕР Я.М., ТАРАНУХА В.Ю., ВОЛОШЕНЮК Д.О. Засоби для технології класифікації синтезованих радіолокаційних образів для об'єктів складної форми .....	5
СТЕПАШКО В.С., САВЧЕНКО-СИНЯКОВА Є.А., ПІДНЕБЕСНА Г.А. Побудова онтологічної метамоделі ітераційних алгоритмів методу групового урахування аргументів .....	21

### Інтелектуальне керування та системи

ГРИЦЕНКО В.І., СУХОРУЧКІНА О.М. Від командного керування до автономності мобільних роботів .....	33
---	----

### Медицина та біологічна кібернетика

КОВАЛЕНКО О.С., АВЕРЬЯНОВА О.А., МАРЕСОВА Т.А., НЕНАШЕВА Л.В., КУМΠΑН Л.О., ДВОРНІЦЬКА Д.О. Методи телемедичних технологій для ство- рення медичної інформаційної системи медико-соціальної допомоги .....	45
КІФОРЕНКО С.І., БЕЛОВ В.М., ГОНТАР Т.М., КОЗЛОВСЬКА В.О., ОБЕЛЕЦЬ Т.А. Методологічні аспекти використання нормометричного шкалю- вання для багатовимірного оцінювання резервів здоров'я .....	63
До уваги авторів .....	81



# Informatics and Information Technologies

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.005>

CC BY-NC

**VOLKOV O.Ye.<sup>1</sup>**, PhD (Engineering), Senior Researcher,  
Director

<https://orcid.org/0000-0002-5418-6723>, e-mail: alexvolk@ukr.net

**BOGACHUR Yu.P.<sup>1</sup>**, PhD (Engineering),  
Senior Researcher of the Intelligent Control Department

ORCID: 0000-0002-3663-350X, e-mail: dep185@irtc.org.ua

**LINDER Ya.M.<sup>2</sup>**, PhD (Phys&Math),

Docent of the Intelligent Software Systems Department

<https://orcid.org/0000-0003-1076-9211>, e-mail: dep185@irtc.org.ua

**TARANUKHA V.Yu.<sup>2</sup>**, PhD (Phys&Math),

Assistant of Mathematical Informatics Department

<https://orcid.org/0000-0002-9888-4144>, e-mail: taranukha@ukr.net

**VOLOSHENYUK D.O.<sup>1</sup>**, PhD (Engineering),

Researcher of the Intelligent Control Department

<https://orcid.org/0000-0003-3793-7801>, E-mail: p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

<sup>1</sup>International Research and Training Center for Information Technologies

and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine

and the Ministry of Education and Science of Ukraine,

40, Acad. Glushkova av., Kyiv, 03187, Ukraine

<sup>2</sup>Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Faculty of Computer Sciences and Cybernetics,

4d, Acad. Glushkova av., Kyiv, 03022, Ukraine

## MEANS FOR A CLASSIFICATION TECHNOLOGY OF SYNTHETIC RADAR IMAGES OF OBJECTS HAVING COMPLEX SHAPES

---

**Introduction.** Currently, research into the synthesis of wave images of reflected sound and radio signals has been actively carried out, due to the fact a successful attempt to determine the type of an object for which there is such an image requires either a very large sample base or an intelligent recognition tool. An attempt is made to analyze and recognize the type of an object of a complex shape (using ships as example) with the aim of its further use in applied tasks such as creation of homing heads for anti-ship missiles.

© VOLKOV O.Ye., BOGACHUK Yu.P., LINDER Ya.M., TARANUKHA V.Yu., VOLOSHENYUK D.O., 2022

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Cyb. and Comp. Eng. 2022. № 3 (209)

5

*The purpose of the paper is to simplify and speed up the process of classifying objects having complex shapes based on their reflected radar images. For this purpose, we consider synthesized images generated on the basis of facet models. Then, on the basis of synthesized images, recognition is performed using neural networks.*

*Results. It is shown that the method developed for recognition of synthesized images has high reliability, and allows for building of a technology in the future. The elaborated model of image generation provides for a possibility of conducting experiments exclusively in a digital form, making thereby expensive live experiments unnecessary.*

*Conclusions. Despite very good results from a mathematical point of view, and in spite of the available convenient tools, such as faceted models for creating radar images, the task still requires further research, since the final product (technology) must be applied in the area where the cost of an error is very high. As for now, the development of the neural network approach looks the most promising.*

**Keywords:** facet model, remote sensing, underlying surface, radar image.

## INTRODUCTION

Currently, research is actively being conducted in the field of synthesis of wave images for reflected sound waves and recognition of the resulting images [1]. These studies mainly concern systems and means of location, both passive and active, based on sound waves. The next stage in this line of inquiry is the transition to active object location using radio waves.

Decimeter and centimeter range radars have wide practical applications in tasks related to onboard radar stations (RS) of aircraft and, most importantly, cruise missiles. At the same time, under the conditions of modern military confrontation anti-ship missiles (AShMs) are at the same time the most common and the most effective means for destroying ships.

Special attention should be paid to the complexity of the AShM electronics, which should allow target search and identification, and long-distance route planning without the need for prior course planning and/or external targeting. To these ends, the USA has adopted LRASM AShM (since 2018), which meets all the specified requirements. In Ukraine, the Neptune AShM was developed and consequently adopted in 2020 which is a subsonic low-altitude AShM designed to destroy not only ships with a displacement of up to 5,000 tons but also ground targets. It was developed by the Luch a State Kyiv Design Bureau, on the basis of the Soviet Kh-35 missile, in which development industrial enterprises of Ukraine once participated.

The key component of AShM electronics, which gives the missiles such capabilities, is a radar-based homing head (HH), owing to the use of phased array antennas (PAAs) [2]. It was the development of antenna arrays (AA) that led to increased AShM capabilities. Furthermore, the transition to digital antenna arrays (DAA) increased the capabilities of missile technology.

Compared to a similar task of the active location of high-speed objects using radio waves the task of location (targeting) of ships has a number of features that complicate the development and possible use of such means. This is most strongly manifested in the task of determining specific parameters, first of all the shape of high-speed maneuvering objects. In the case of air-borne object, a high-speed maneuvering object is usually an airplane, observing it for a certain period of time, in addition to the distance, speed, and maneuverability assessment gives the value of such parameters as the average value of the effective scattering



surface or radar cross-section (RCS) and its dispersion [3]. The dispersion value is an important parameter for recognition, as it contains averaged information about the geometric properties of the aircraft. Yet, for both sea and river ships due to their much slower speed of movement and much lower maneuverability, the power of the reflected signal, which is a function of the RCS, has a much less informative variance since the objects are hit with waves mainly from one of the directions. In addition, there are other features requiring that the task of researching the radar image of ships must be set and solved as a separate task, and not just based on the results obtained for aircrafts.

## **PROBLEM STATEMENT**

Let us consider the case when radio waves from the decimeter and centimeter ranges are used to find and track a target. The research approach for this case is based on the construction of models that reproduce the surface of the target, first of all, on faceted models [4]. It is expected that it will be possible to classify objects on the basis of emulating the signals reflected from these facet models.

A number of points are not considered in this paper, such as basic transformations [5] of the time-frequency image, generalized features [6, 7], and Doppler effects [8]. The main element of this study is the RCS of the target as in [4, 9–11].

However, as noted above, the average RCS and its variance are not always good sources of information. In our study, it is assumed that the reflectance calculated from the surface (facet) model can provide enough information for the identification of the characteristics of the object and, possibly, the complete identification of the object. For this purpose we developed a surface model of the object and a method of synthesizing the signal reflected from it.

To do this, an analysis of behavior of the value of the amplitude of the reflected signal from the surface of model was conducted. For convenience, it is assumed that the system of the emitter and sensor is monostatic, that is, the source of radio emissions and the receiver are so close that the distance between them can be neglected, or even the same physical antenna is used, which alternately works for emission and for reception at different time intervals.

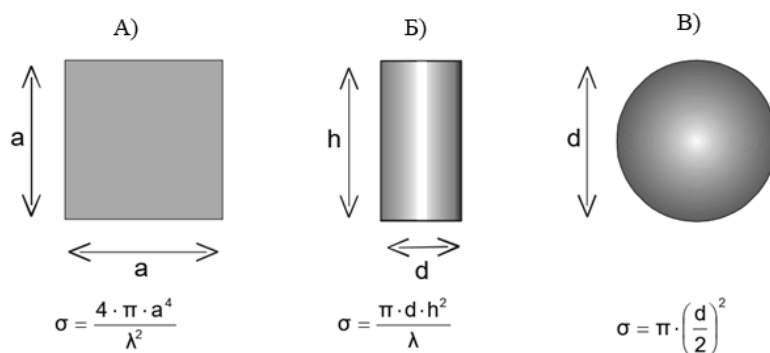
It is further assumed that the distortions induced by the model do not destroy the effectiveness of the features that will be used for object recognition in the future.

**The purpose of the paper** is to create means for the technology of classification of synthetic radar images for objects having complex shapes. It is based on RCS and temporal characteristics of the amplitude of the synthesized radar image.

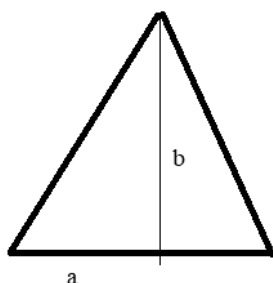
## **GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SURFACE MODELS**

For many simple shapes, there are analytical formulas that allow obtaining RCS values for shape at a given angle. It is assumed that the final RCS can be constructed as the sum of elementary forms RCSs. Thus, Fig. 1 shows: a) a flat square plate perpendicular to the direction of emission, b) a cylinder, and c) a sphere. At the same time it is assumed that the wavelength ( $\lambda$ ) is much smaller than the linear dimensions of the object (elementary form), and the distance  $D$  is so large that the wave can be considered flat.

The dependence of RCS on the angle of emission is called the scatter diagram of the target.



**Fig. 1.** Some simple forms and their RCS, where  $a$  is the side of the square,  $h$  is the height of the cylinder, and  $d$  is the diameter (of the cylinder or the sphere).



**Fig. 2.** Triangular plate:  $a$  is the base,  $b$  is the height.

When the angle of incidence of the wave is not the right angle ( $90^\circ$ ), the formula for reflection from the plate at angle  $\alpha$  takes the following form:

$$\sigma = \frac{4\pi a^4}{\lambda^2} \left( \frac{\sin(x)}{x} \right)^2 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

$$x = \frac{2\pi a \sin \alpha}{\lambda} \quad (2)$$

Since the surface model will most likely be formed as a faceted model, and will consist of triangles, it is necessary to give the formula for the triangular area (Fig. 2).

$$\sigma_{trg} = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

The value (3) is calculated for perpendicular exposure. However, under the condition where emission hits at an angle, the formula becomes much more complicated.

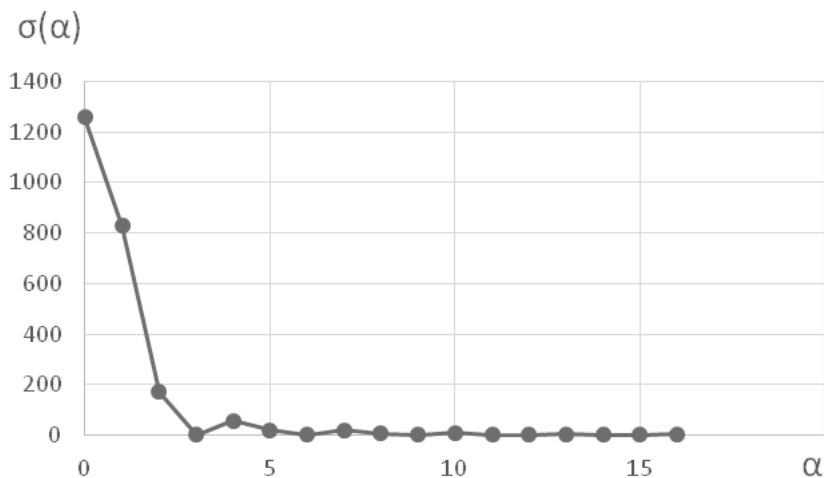
$$\sigma(\theta, \varphi) = \frac{\sigma_{trg} \cdot (\cos \varphi \cos \theta)^2}{[(k \sin \varphi \cos \theta)^2 - (k b \sin \theta)^2]^2} \times \left[ \begin{aligned} &[(\sin(k \sin \varphi \cos \theta))^2 - (\sin(k b \sin \theta))^2]^2 + \\ &+ (k b \sin \theta)^2 + \\ &\left( \frac{(\sin(2k \sin \varphi \cos \theta))}{2k \sin \varphi \cos \theta} - \frac{\sin(2k b \sin \theta)}{2k b \sin \theta} \right)^2 \end{aligned} \right] \quad (4)$$

where  $\theta, \varphi$  are the corresponding angles at which wave falls at the facet,  $k$  – coefficient of multiplicity ( $k=1 \dots n$ ),  $a, b$  – dimensions of triangle, as before.

Using this formula it is possible to calculate the RCS of any faceted model element by element if all the facets are reduced to a triangular form. At the same time, the effects related to the phase of the reflected signal can also be taken into account since when RCS is calculated by this method, the exact spatial coordinates of each facet are known, along with the distances that affect the phase in which the signal will arrive at the antenna.

However, a better alternative would be to directly calculate the RCS by using the ray tracing method. In addition to the fact that exist ready-made free and commercial libraries for this method it, among other things, theoretically allows the use of non-triangular elements in the surface model, provided that there is a formula for them that describes reflection (scattering).

For example, for a square plate, when the projection of the beam onto the plane of the plate is parallel to one of the sides, the RCS values  $\sigma$  (depending on the angle  $\alpha$ ) obtained by the ray tracing method are shown in Fig. 3.



**Fig. 3.** An RCS ( $\sigma(\alpha)$ ) graph depending on the angle  $\alpha$ .

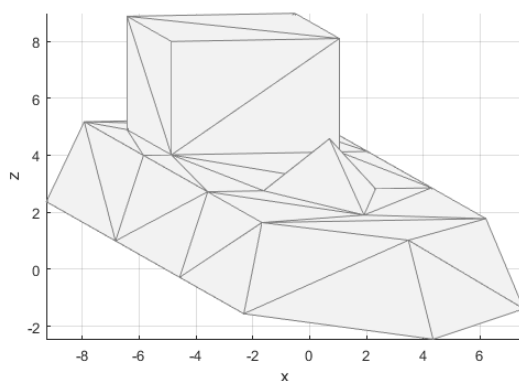
## A SHIP MODEL AND ITS REFLECTED SIGNAL

A number of features, such as basic transformations of the time-frequency image [5], generalized features [6, 7], and Doppler effects [8] are not considered in this work. The main element of this study is the RCS target as in [4, 9–11].

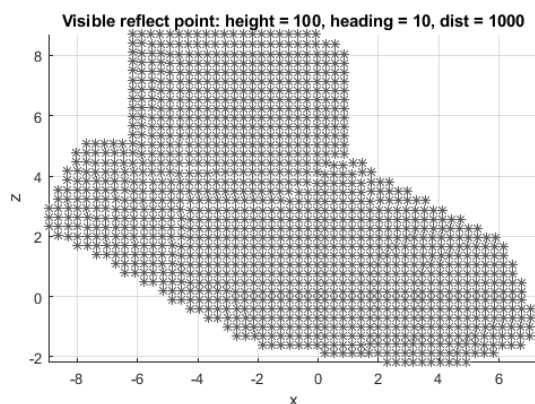
Fig. 4 shows a simplified faceted model of a ship, Fig. 5 displays visible reflective (scattering) points (minimum reflective elements) are displayed, and Fig. 6 presents the reflected signal, and Fig. 7 depicts the envelope of the signal.

As can be seen from Fig. 5, 6, and 7 there is a certain dependence between the angle from which the scanning wave enters and the shape of the reflected signal. The following parts of the signal corresponding to highly informative features are of particular interest:

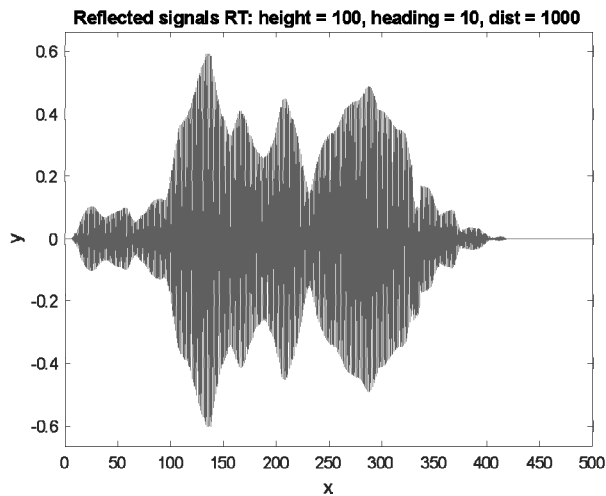
- the time interval before the wave has completely covered the ship;
- the time interval when the wave has not completely covered the ship.



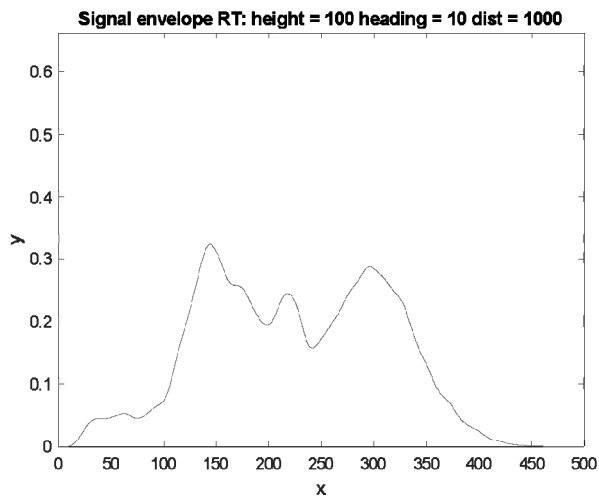
**Fig. 4.** A ship model.



**Fig. 5.** Visible minimal reflection elements (reflection points).



**Fig. 6.** Structure of the reflected signal.



**Fig. 7.** Envelope of the reflected signal.

Potentially, these parts of signal contain significantly more information compared to the criterion that is based on the frequency correlation of fluctuations of the RCS of the target during discrete tuning of the emitter frequency (as proposed in [7]).

## **SIMULATED SIGNAL RECOGNITION**

Recurrent Neural Networks (RNNs) are a special class of supervised machine learning models. They consist of a sequence of nodes with hidden states that have nonlinear interaction. RNNs are mainly used with time series such as: speech recognition [9], automatic anomaly detection in time series [10] etc. They serve a good alternative to the ARIMA model [11].

In a recurrent neural network, connections among nodes form loops. Every cell contains a hidden state that is updated at each iteration using its previous values. Such a structure creates the internal state of the network and works as a memory.

The RNN equation is:

$$\begin{cases} s_t = f(U \cdot x_t + W \cdot s_{t-1}), \\ h_t = g(V \cdot s_t) \end{cases} \quad (5)$$

where  $x$  is the input vector,  $s$  is the hidden vector of RNN layer values, lower indices  $t$  and  $t-1$  represent moments of time,  $h$  — the output vector of RNN layer values,  $U$  — the weight matrix of the transition from the input layer to the hidden layer,  $V$  — the weight matrix of the transition from the hidden layer to the output layer,  $W$  — the weight matrix of the transition of the states of the hidden layer from the previous to the current moments of time,  $g$  and  $f$  — the activation functions for the initial and hidden layers, respectively.

Due to such architecture, RNNs are able to:

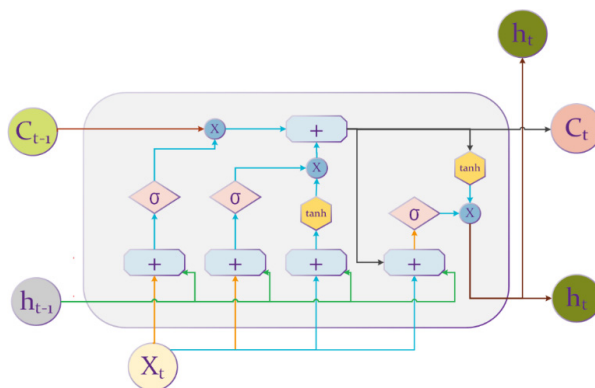
- recognize regularities, characteristics and dependencies in sequential and time series data;
- store, remember and process complex signals for a long period of time;
- match the input sequence with the output sequence at the current time step and predict the sequence at the next time step;
- reproduce any target dynamics after the training process, even with adjusted accuracy.

However, RNNs are prone to explosive growth (or vanishing) of gradient during training, making it difficult for such neural networks to learn long-term dependencies.

In order to solve this problem, Long Short Term Memory networks (LSTMs) were proposed in [12]. Their distinguishing feature is the existence of special memory blocks in the periodic hidden layer which accumulate information about the state. Each memory block has self-connected memory cells that store the temporary state of the network and special multiplicative units called gates that can control the flow of information. These cells and gates allow the LSTM to capture the gradient at a node and prevent it from disappearing. The structure of one LSTM cell is shown in Fig. 8.

By default, the activation function of all gateways is sigmoid. The output value ranges from 0 to 1 and represents the percentage of information that is allowed to pass out. The shape of the activation function is important and can significantly affect the efficiency of neural network.

The hyperbolic tangent function is the default activation function for the output gate of an LSTM cell. The main advantage provided by this function is that it is symmetric about the zero of coordinate system, which helps with the error backpropagation process.



**Fig. 8.** LSTM node structure

Every LSTM layer is characterized by:

- the matrix  $W_f$  and vector  $b_f$  which are the parameters of the forgetting gate;
- the matrix  $W_c$  and vector  $b_c$  which are the parameters of the input gate;
- the matrix  $W_o$  and vector  $b_o$  which are the parameters of the output gate;
- subindices  $t$  and  $t-1$  denote moments of time for each element.

The detailed procedure of an LSTM cell can be explained as follows using notation from (5):

In the first step, the LSTM must decide what to forget. To this end, information about the previous state of the memory is processed through the forgetting gate  $f_t$

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f). \quad (6)$$

In the second step, the input gate  $i_t$  decides what should be updated. In addition, the candidate vector  $C_t^*$  is updated:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i). \quad (7)$$

$$C_t^* = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c). \quad (8)$$

In the next step, the memory state  $C_t$  is updated as a combination of the two parts above:

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot C_t^*. \quad (9)$$

Finally, the output gate  $o_t$  is used to control the output  $h_t$ :

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o). \quad (10)$$

$$h_t = o_t \times \tanh(C_t). \quad (11)$$

Therefore, every LSTM layer is characterized by:

- the matrix  $W_f$  and vector  $b_f$  which are the parameters of the forgetting gate;
- the matrix  $W_c$  and vector  $b_c$  which are the parameters of the input gate;
- the matrix  $W_o$  and vector  $b_o$  which are the parameters of the output gate.

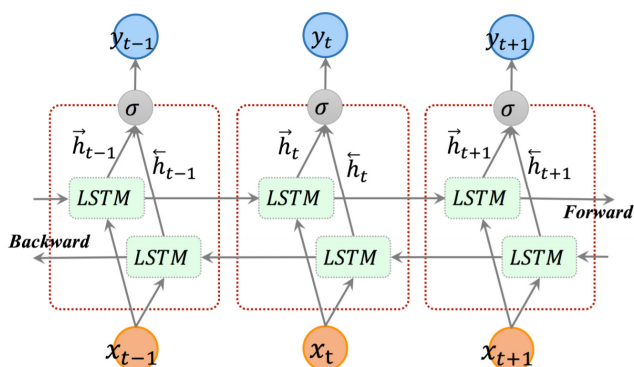


Fig. 9. A bidirectional LSTM Architecture [14]

To increase the performance and learning speed of LSTM neural networks, bidirectional LSTM neural networks were proposed in the study [13]; they can improve the performance of the model for sequence classification tasks. In tasks where all temporal states of the input sequence are available bidirectional LSTMs train two networks instead of one: the first network is trained on the input sequence and the second on the reverse copy of the input sequence. This can provide additional context for the network and lead to a more comprehensive study of the task.

The output sequence  $h^{fw}$  of the first network is iteratively computed using inputs in the forward direction in the time range from  $t = 0$  to  $t = T$ . At the same time, the inverse sequence  $h^{bw}$  is computed using the inverse time range from  $t = T$  to  $t = 0$ . Both forward and reverse sequences are calculated using the standard LSTM state update equations (6)–(11). The bidirectional LSTM layer generates an output vector  $y$  in which each element is calculated using the following equation:

$$y = \omega(h^{fw}, h^{bw}) \quad (12)$$

where function  $\omega$  is used to concatenate the two output sequences. It can be a union function, a summation function, an averaging function, or a multiplication function.

Another extension of LSTM multilayer neural networks is the "Attention" mechanism [15]. The "Attention" mechanism in the deep learning model is a model that mimics the attention of the human brain. When people observe images, they are not looking at every pixel in the image. Instead, they selectively focus their attention on some important parts of the image while ignoring other unimportant parts of the same image.

## THE CLASSIFIER INPUT

A set of reflected radar signals was generated for every ship model. For every angle of observation the reflected signal was simulated (in 2 degree increments), thus generating 180 samples for each ship. Table 1 provides information regarding the parameters of the output radar signal, as well as the location of the homing head relative to the ship.



**Table 1.** Simulation parameters

Name in code	Value Parameter	Description
Location		
dist	1000 m	Distance to the homing head
phi	-90°	Angle between the vector from the ship to the seeker head and the Ox axis
theta	5°	Angle between the vector from the ship to the seeker head and the plane OxOy
rotation_angle	Changes in 2° increments from 0 to 360	Ship course
Heading Signal Parameters (Stored in the global GP dictionary variable)		
w	1 GHz	Signal frequency
length	100 ns.	The duration of the signal
dt	0.05 ns.	Discretization
phi	0	Phase shift

The following steps were taken for data post-processing:

- All generated signals were aligned to the maximal of them to be in a matrix for training the neural network.
- All signals were replaced by their envelopes using an operator that calculates the absolute value of the Hilbert transformation [16] to eliminate high-frequency components of the signal that do not carry useful information.
- The discretization was reduced by a factor of 0.05 (by 20 times) to increase the learning speed of the neural network.
- The data is divided into a training set and a test data set randomly in a ratio of 4:1 to ensure the quality of the developed recognition algorithms.

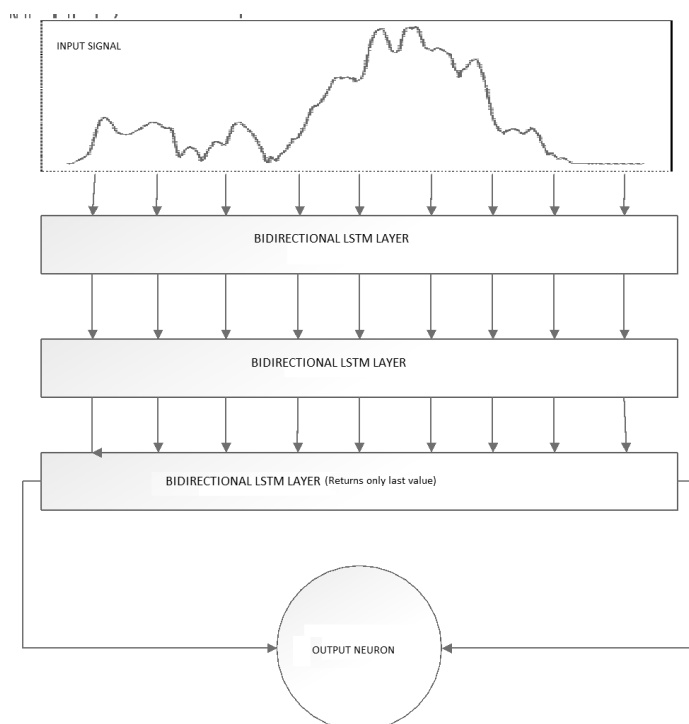
## THE CLASSIFIER NEURON NETWORK MODEL

A neural network model based on sequential bidirectional layers of the LSTM type (Bidirectional LSTM) was used. The last layer of the network consists of one neuron and determines the type of ship that the seeker head "sees" (civilian or military). The network architecture is shown in Fig. 10.

The optimizer "Adam" [17] was chosen with the learning speed parameter  $lr = 10^{-4}$ . The quality function is the root mean square error value. Its equation has the form

$$\text{MSE}(y, y^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \quad (13)$$

where  $y$  and  $y^*$  are the expected and available output vectors,  $y_i$  and  $y_i^*$  are components of vectors,  $n$  — the number of values in each of vectors. The optimizer tries to make MSE as small as possible. The major advantage of the MSE function is that it is differentiable, so instead of subgradients one can use normal gradients.



**Fig. 10.** Architecture of the developed model

## CLASSIFICATION RESULTS

Neural network training was conducted on 10 ship models. A military ship is considered a positive class (“1”) and a civilian ship is considered a negative class (“0”).

As characteristics of classification quality, we will use the following:

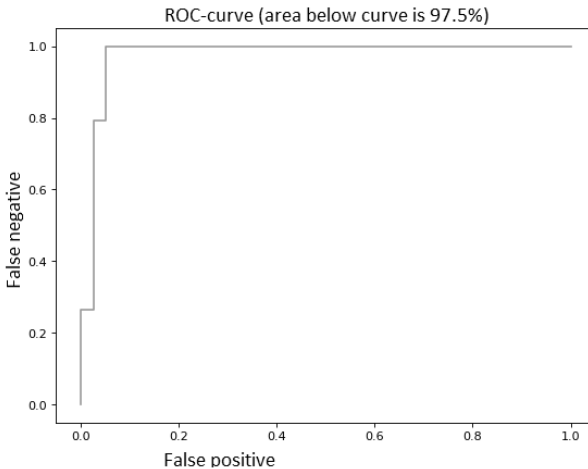
ROC curve – a graph that is created by plotting the true positive rate (TPR) against the false positive rate (FPR). To quantify the ROC curve we also calculated the area under it (50% means a random guess, 100% is a 100% guess). This curve shows how the false positive and false negative rate will change when the cutoff threshold is changed.

A cutoff threshold  $T_{cut}$  must be determined to calculate accuracy, sensitivity, and specificity. If the output of the last neuron of the model is less than  $T_{cut}$  we believe that the model has recognized the signal as belonging to the negative class. If the output of the last neuron of the model is greater than or equal to  $T$  we believe that the model recognized the signal as belonging to the positive class. We used a standard cut-off threshold of  $T_{cut} = 0.5$ , which provides a balance in the recognition of both positive and negative classes.

Maximum correlation criterion was chosen as the control method of classification.

**Table 2.** Classifier quality assessment

Parameter	Neural network	Maximum correlation
Accuracy	94.4%	55%
Sensitivity	100%	54%
Specificity	89%	56%
Area under the ROC-curve	98%	Not calculated

**Fig. 11.** ROC curve and the area under it for the neural network.

Maximum correlation criterion showed very poor performance so the area under the ROC-curve was not calculated.

As can be seen from the table all reflected signals from warships were correctly recognized by the neural network, and therefore these ships were potentially destroyed. At the same time, only 89% of signals from civilian ships were correctly recognized and remained afloat. Another 11% of civilian ships were mistakenly identified as military.

Fig. 11 displays the ROC curve of the recognition results of two ships. This curve is convex and is close enough to the ideal recognition curve. Therefore, we consider the recognition result to be satisfactory.

The biggest problem in the recognition experiment was created by the civilian ship model "Her Majesty's Hospital Ship Britannic". This is probably due to the large number of different components of noticeable size on the upper deck. They cause a complex envelope shape and complex envelopes are more typical for modern warships.

In accordance with the given task the article demonstrates the method of constructing a model of objects and radar reflections from them and considers the general principles of the synthesis technique of reflective characteristics of complex surfaces for short wavelengths. It is shown why and exactly how such a model is built, and the existence of a significant difference in signal characteristics for different angles is clearly demonstrated. The main advantage of such a model is the possibility of conducting experiments exclusively in digital form, without the need for expensive field experiments.

## CONCLUSIONS

According to the results of the software experiments, it is possible to assert the success of the approach for the available data and under the introduced restrictions, however we believe that it is necessary to continue the research in order to increase the accuracy because the conditions of use of the systems that will utilize this developing technology (or its elements) have a very high price of mistake. Further research should continue in the direction of creating an optimal recognition system, most likely it will be based on neural networks.

## REFERENCES

1. Volkov O.Ye., Taranukha V.Yu., Linder Ya.M., Komar M.M., Volosheniuk D.O. Devising an acoustic method for investigation of a complex form object parameters. *Cyb. and Comp. Eng.* 2021, № 4 (206), pp. 39–53.
2. Voskresensky D.I. (ed.) Microwave devices and antennas. Design of phased antenna arrays Textbook for universities. - 4th edition, revised and enlarged. - Moscow: Radiotekhnika, 2012. - 744 p. (in Russian)
3. Kalinin T.V., Bartsevich A.B., Petrov S.A., Khrestinin D.V. Software package for modeling radar recognition systems, *Software Products and Systems*. 2017. V. 30, no. 4. pp. 733–738 (in Russian).
4. Khrichov V.S., Legenkiy M.M. A faceted model of an object of a folding mold for the opening of an electromagnetic rosette. Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin. Series "Radiophysics and electronics", (2019). V. 28, pp. 44–52. (in Russian)
5. Chen V.C., Hao Ling. Time-Frequency transforms for radar imaging and signal analysis. Artech House, 2002, 234 p. ISBN 978-1580532884
6. Rihaczek A.W., Hershkowitz S.J. Theory and practice of radar target identification. Artech House, 2000, 738 p. ISBN 978-1580530811
7. Konovalyuk M.A., Kuznetsov Yu.V., Baev A.B. Identification of parameters of a multi-point target from a complex radar image in broadband radar. *3rd International Conference "Acousto-optical and radar methods of measurement and information processing" (ARMIMP- 2009)*, Suzdal, September 22–24, 2009, p. 48–52. (in Russian)
8. Munoz-Ferreras J.M., Perez-Martinez F. On the Doppler Spreading Effect for the Range-Instantaneous-Doppler Technique in Inverse Synthetic Aperture Radar Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. Vol. 7, No. 1, pp. 180–184, Jan. 2010.
9. Graves A., Mohamed A., Hinton G.. Speech Recognition with Deep Recurrent Neural Networks. ICASSP. *IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.* Vol. 38, 2013, pp. 6645–6649 doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638947.
10. Malhotra P., Vig L., Shroff G., Agarwal P. Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series. European Symposium on Artificial Neural Networks. *Computational Intelligence and Machine Learning*. Bruges (Belgium), 22–24 April 2015, pp. 89–94
11. Siami-Namini S., Siami Namin A. Forecasting Economics and Financial Time Series: ARIMA vs. LSTM. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.06386>
12. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-term Memory. *Neural Comput.*, 1997, V. 9, pp. 1735–1780. doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
13. Schuster M., Paliwal K.. Bidirectional recurrent neural networks. *Signal Process. IEEE Trans.* vol. 45, Dec. 1997, pp. 2673–2681, doi: 10.1109/78.650093.
14. Cui Z., Ke R., Pu Z., Wang Y. Deep Bidirectional and Unidirectional LSTM Recurrent Neural Network. *Network-wide Traffic Speed Prediction*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.02143>
15. Bahdanau D., Cho K., Bengio Y. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. Sep. 2014. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.0473>
16. Bracewell R. The Fourier Transform and Its Applications, 2nd ed. McGraw-Hill. Jan. 1978, 444 p.

17. Kingma D.P., Ba J. Adam: A Method for Stochastic Optimization. <https://arxiv.org/abs/1412.6980>.

Received 27.05.2022

ЛІТЕРАТУРА

1. Volkov O.Ye, Taranukha V.Yu, Linder Ya.M., Komar M.M., Volosheniuk D.O. Devising an acoustic method for investigation of a complex form object parameters. *Cyb. and Comp. Eng.* 2021. № 4 (206) pp. 39–53.
2. Воскресенский Д.И. (ред.) Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток Учебное пособие для вузов. 4-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Радиотехника, 2012. 744 с.: ил. ISBN 978-5-88070-311-1.
3. Калинин Т. В., Барцевич А.В, Петров С.А, Хрестинин Д.В Программный комплекс моделирования системы радиолокационного распознавания. *Программные продукты и системы*. 2017. Т. 30, № 4. с. 733–738
4. Хричов В. С., Легенький М. М. (2019). Фасетна модель об'єкту складної форми для розрахунку електромагнітного розсіяння. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка»*. (28). с. 44–52.
5. Victor C. Chen, Hao Ling, Time-Frequency transforms for radar imaging and signal analysis, Artech House, 2002. 234 p. ISBN 978-1580532884
6. August W. Rihaczek, Stephen J. Hershkowitz, Theory and practice of radar target identification, Artech House, 2000. 738 p. ISBN 978-1580530811
7. Коновалюк М.А., Кузнецов Ю.В., Баев А.Б. Идентификация параметров многоточечной цели по комплексному радиолокационному изображению в широкополосной радиолокации, 3-я международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP-2009), РНТОРЭС им. А.С. Попова, г. Суздаль, 22-24 сентября 2009 г., с. 48–52.
8. J.M. Munoz-Ferreras, F. Perez-Martinez. On the Doppler Spreading Effect for the Range-Instantaneous-Doppler Technique in Inverse Synthetic Aperture Radar Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. Vol. 7. No. 1. pp. 180–184, Jan. 2010.
9. A. Graves, A. Mohamed, G. Hinton. Speech Recognition with Deep Recurrent Neural Networks. ICASSP, *IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process.* Proc. vol. 38. 2013. pp. 6645–6649 doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638947.
10. P. Malhotra, L. Vig, G. Shroff, and P. Agarwal, “Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series. European Symposium on Artificial Neural Networks. *Computational Intelligence and Machine Learning*. Bruges (Belgium), 22–24 April 2015, pp. 89–94
11. S. Siami Namini, A. Siami Namin. Forecasting Economics and Financial Time Series: ARIMA vs. LSTM. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.06386>
12. S. Hochreiter and J. Schmidhuber. Long Short-term Memory. *Neural Comput.* Vol. 9. pp. 1735–1780, 1997, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
13. M. Schuster, K. Paliwal. Bidirectional recurrent neural networks. *Signal Process.* IEEE Trans., vol. 45, Dec. 1997, pp. 2673–2681, doi: 10.1109/78.650093. [Електронний ресурс]
14. Cui R. Ke, Y. Wang. Deep Bidirectional and Unidirectional LSTM Recurrent Neural Network for Network-wide Traffic Speed Prediction. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.02143>
15. D. Bahdanau, K. Cho, Y. Bengio. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. Sep. 2014. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.0473>
16. Bracewell R. The Fourier Transform and Its Applications, 2nd ed, McGraw-Hill. Jan. 1978, 444 p.
17. Kingma Diederik, Ba Jimmy (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. <https://arxiv.org/abs/1412.6980>.

Отримано 27.05.2022

Волков О.Є.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, старший дослідник,  
директор  
<https://orcid.org/0000-0002-5418-6723> e-mail: alexvolk@ukr.net

Богачук Ю.П.<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
старш. наук. співроб. відд. інтелектуального керування  
ORCID: 0000-0002-3663-350X, e-mail: dep185@irtc.org.ua

Ліндер Я.М.<sup>2</sup>, канд.фіз.-мат.наук,  
доцент кафедри інтелектуальних програмних систем  
<https://orcid.org/0000-0003-1076-9211>, e-mail: dep185@irtc.org.ua

Тарануха В.Ю.<sup>2</sup>, канд.фіз.-мат.наук,  
асистент кафедри математичної інформатики  
<https://orcid.org/0000-0002-9888-4144>, e-mail: taranukha@ukr.net

Волошенюк Д.О.<sup>1</sup>, канд.техн.наук,  
наук. співроб. відд. інтелектуального керування  
<https://orcid.org/0000-0003-3793-7801>, e-mail: p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

<sup>1</sup> Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
та систем НАН України та МОН України,

40, пр. Акад. Глушкова, м. Київ, 03187, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
факультет комп'ютерних наук та кібернетики,  
4д., пр. Акад. Глушкова, м. Київ, 03022, Україна

## ЗАСОБИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СИНТЕЗОВАНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ОБРАЗІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

**Вступ.** Наразі активно проводяться дослідження синтезу хвильових образів відбитих звукових та радіосигналів, оскільки успішне визначення типу об'єкта, для якого є такий образ, вимагає або дуже великої бази зразків, або інтелектуального засобу для розпізнавання. Проводиться спроба виконати аналіз та розпізнавання типу об'єкта складної форми (на прикладі кораблів) з розрахунку на подальше використання у прикладних задачах, як то створення головок самонаведення для протикорабельних ракет.

**Метою статті** є спрощення та прискорення процесу класифікації об'єктів складної форми за їхніми відбитими радіолокаційними образами. Для цього вводяться до розгляду синтезовані образи, згенеровані на основі фацетних моделей. На основі синтезованих образів виконується розпізнавання за допомогою нейромереж.

**Результати.** Показано, що розроблений метод розпізнавання для синтезованих образів має високу надійність та дає змогу у подальшому будувати технологію на його основі. Наявна модель генерації образів надає можливість проведення експериментів виключно у цифровому вигляді, без необхідності дорогих натурних експериментів.

**Висновок.** Попри дуже хороші результати з математичної точки зору та наявність зручних засобів, як то фацетних моделей для створення радіолокаційних образів, задача вимагає подальшого дослідження, оскільки кінцевий продукт (технологія) має застосовуватись у галузі, де ціна помилки дуже висока. На поточний момент часу найперспективнішим може вважатись розвиток нейромережевого підходу.

**Ключові слова:** фацетна модель, дистанційне зондування, синтезований образ об'єкта, радіолокаційне зображення

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.021>

CC BY-NC

**STEPASHKO V.S.**, DSc (Engineering), Prof.,

Head of the Department of Information Technologies of Inductive Modeling,

<https://orcid.org/0000-0001-7882-3208>, e-mail: [stepashko@irtc.org.ua](mailto:stepashko@irtc.org.ua)

**SAVCHENKO-SYNIAKOVA Ye.A.**, PhD (Engineering),

Senior Researcher, the Department of Information Technologies of Inductive Modeling,

<https://orcid.org/0000-0003-4851-9664>, e-mail: [savchenko\\_e@meta.ua](mailto:savchenko_e@meta.ua)

**PIDNEBESNA H.A.**, PhD (Engineering),

Researcher, the Department of Information Technologies of Inductive Modeling

<https://orcid.org/0000-0002-5735-9861>, e-mail: [pidnebesna@ukr.net](mailto:pidnebesna@ukr.net)

International Research and Training Center for Information Technologies

and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine

and the Ministry of Education and Science of Ukraine,

40, Akad. Hlushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

---

## **PROBLEM OF CONSTRUCTING AN ONTOLOGICAL METAMODEL OF ITERATIVE GROUP METHOD OF DATA HANDLING ALGORITHMS**

---

**Introduction.** Data volumes are permanently increasing and some new approaches are needed for storage and processing them considering the development and improvement of modern computers. This puts forward new requirements to automatic data processing tools and intelligent systems for analyzing information with taking into account its semantics.

The advantage of iterative group method of data handling (GMDH) algorithms is that they are able to work with a large number of arguments. The generalized iterative GMDH algorithm includes various former modifications of these algorithms. For example, algorithms of multilayer and relaxation types as well as varieties of iterative-combinatorial (hybrid) algorithms are diverse particular cases of the generalized one.

Metamodeling is the construction of generalized models of a certain group of objects (software tools, mathematical models, information systems). An ontological metamodel of the iterative GMDH algorithms was built using the Protege tools in order to structure knowledge in this subject area.

**The purpose of the paper** is to analyze the developed iterative GMDH algorithms and propose an approach to structuring knowledge on iterative GMDH algorithms by building an ontological metamodel of this subject area.

**Results.** A retrospective analysis of the developed iterative GMDH algorithms is carried out in the paper, their advantages and disadvantages are indicated. It is shown that the generalized iterative algorithm, whose special cases are both known and new varieties of multilayer, relaxation and iterative-combinatorial GMDH algorithms, makes it possible to compare the effectiveness of various algorithms and solve real modeling problems. Based on the results of this study, an ontological metamodel of iterative GMDH algorithms has been developed.

**Conclusions.** *Classic iterative GMDH algorithms allow processing large datasets. The generalized iterative algorithm allows forming typical architectures of previously developed modifications of these algorithms when setting up various operating modes of this algorithm. The construction of an ontological metamodel based on this one allows structuring knowledge on the available iterative algorithms making it possible to automate the design and use of specialized software tools for specific applied tasks.*

**Keywords:** *inductive modeling, GMDH, iterative algorithms, mathematical model, metamodeling, subject area, ontology.*

## INTRODUCTION

The rapid development of modern systems and technologies puts forward new requirements for automatic data processing and intelligent systems for analyzing information taking into account its semantics.

Now there are new trends of supporting the processes of searching, processing and using knowledge for business: knowledge management, data management, data engineering, data mining, ontology building and many others.

The artificial intelligence technologies and intelligent computer systems are actively developing. The internal structure of such systems is a reflection of knowledge in the form of models of a subject area which are fed to the input of the system in a formal form.

Information semantic technologies based on ontologies make it possible to build applied systems for analyzing and modeling complex objects, systems and processes of various natures. To develop such systems, the results of structuring knowledge on a certain area of human activity are used helping to solve tasks of analysis and design of the structure of knowledge bases and functionality.

One of effective methods for constructing models of complex objects and systems based on observational data is the group method of data handling (GMDH) [1–3] built on the principles of induction, that is sequential generalization of partial phenomena (from specific to general ones). This method allows automatic finding unknown patterns of functioning of an object or process under study, information about which is implicitly contained in a data set.

An analysis of the subject area of inductive modeling will allow structuring knowledge on the main stages of this process, the data nature, applied methods and conditions of the effective use of the built models.

Ontological analysis explains the structure of knowledge and forms a conceptual dictionary as the basis of any knowledge representation system for a particular domain [4]. Such an analysis of the subject area is the first step towards the development of knowledge-based systems.

**The purpose of the paper** is to analyze the developed iterative GMDH algorithms, to propose an approach to structuring knowledge on these algorithms by building an ontology of this subject area, and to build an ontological meta-model of the algorithms.

## THE TASK OF STRUCTURING KNOWLEDGE ON METHODS OF CONSTRUCTING MODELS FROM EXPERIMENTAL DATA

Building models is one of prerequisites for creating artificial intelligence tools designed to identify knowledge in data for further analysis and processing, as well as forecasting and decision making.



Currently, hundreds of algorithms have been developed to obtain knowledge from data, but there are still many unsolved problems in the field of computer modeling and data analysis. Modern data mining packages contain numerous modules for collection and preprocessing, feature selection and construction, classification, approximation, optimization, pattern detection, clustering, visualization etc.

To identify knowledge that describes a particular subject area, their formalization is required. To do this, it is necessary to perform a detailed analysis of this area and to structure knowledge on the main stages of the processes which it is composed of, on the data nature, on methods used to process the data, and on the conditions of effective application of the resulting models.

In [4], the issues are considered on the role of ontology in the field of artificial intelligence research, the importance of their use for describing and structuring knowledge of a subject area. Ontological analysis clarifies the structure of knowledge, forms a conceptual dictionary as the basis of any knowledge representation system for a particular domain. The ontological analysis of the subject area is the first step to the development of efficient knowledge-based systems.

GMDH as a typical method of inductive modeling is an effective means of discovering knowledge from experimental data, which has proven itself over more than 50 years of application in various fields. One of fundamental varieties of GMDH is the class of iterative algorithms. The most known among them is the classical multilayer iterative GMDH algorithm. Nowadays, a whole range of iterative algorithms have been developed, each of which has its own peculiarities. Based on these algorithms, a generalized iterative GMDH algorithm was developed [5, 6]. By adjusting its parameters, different special cases of iterative algorithms may be obtained. In order to structure knowledge on these algorithms and their tuning modes, it is planned to build an ontological metamodel of the iterative GMDH algorithms.

The design and development of intelligent computer technologies based on the creation of high-performance computing tools for inductive modeling in order to significantly expand the possibilities of building models of complex processes of various nature remains an important area of research [7]. The basis of it is the results of structuring knowledge of the subject area in order to design the appropriate structures of knowledge bases, functional support and intelligent interface tools. Therefore, it is necessary to analyze the subject area of inductive modeling, the main stages of the process of building models from data, the methods used and the conditions for their effective application, as well as the construction of ontological models of inductive modeling tools based on the performed analysis.

That is why the task was set in the paper to investigate the iterative GMDH algorithms and build their ontological metamodel to structure knowledge in this subject area.

## **METAMODELING. ONTOLOGY AS A METAMODEL OF A SUBJECT AREA**

The prefix *meta* means a superstructure to some object. For example, metadata is data on data which is some additional generalized information about data. Metadata refers to data or information about information. Meta-knowledge in the field of artificial intelligence is a part of the knowledge base that defines the structure of data about the subject area. A meta-model in informatics is a model that describes another model i.e. transitive relations between models [8].

*Metamodeling* is the analysis of processes, the design and development of frames, decision rules, constraints, models and theories that can be applied to generalized models of intelligent software and information systems.

The term *metamodeling* is used to summarize the problems that arise in different areas at all stages: data collection, processing, object management for automation purposes, simplification and streamlining, in order to form a common structure that still has a certain level of flexibility and extensibility.

If we have a set of objects, we can build a model of each of them (objects of the same class, close to functions, but performing different operations), but it is better to build a generalized model or metamodel of this group of objects. Such a metamodel is a generalized model of this class, set or group of objects. When we modify this general model by some parameters, it will describe any particular object of this group.

The main question of metamodeling [9]: how to design the elements on which the metamodel is based? These features should combine characteristics of a data set and relevant aspects of the learning model. Such characteristics of a data set should not be limited to a simple enumeration of the number and type of attributes and the number of objects.

The concept of *metamodel* is closely related to the concept of *ontology* [10]. The purpose of modeling can be considered as an explicit description (in the form of structures and rules), that is as a model of a specific subject area.

Metamodels and ontologies are used to describe and analyze relationships between concepts, limit complexity, and structure information [11]. This is an explicit formalized description of how a domain-specific model is built. Typically, a metamodel is ontology but not every ontology can be explicitly presented as a metamodel. Ontologies are often distinguished by their level of generality from meta-ontologies (top-level ontologies) to the ontological domain and to applied ontologies.

The latter can describe a specific task, its structure, data types, restrictions etc., but they do not contain a specific implementation, they are not tied to software. This ensures the principle of interoperability which facilitates the use of formalized knowledge by many users in accordance with their goals.

In many areas, standard ontologies are being developed to formalize the basic concepts of the subject area and the relationships between them. They are used to analyze the subject area, define common dictionaries (thesauri) for sharing by specialists of specific domains and for annotating information in their area, facilitate its reuse, expansion by integrating several existing ontologies of one subject area [12].

In this article, we consider iterative GMDH algorithms in order to determine their general structure and constituent elements, describe rules of their application for the possibility of the automated use of this knowledge.

## MAIN TYPES OF ARCHITECTURES OF ITERATIVE GMDH ALGORITHMS

A review and a comparative analysis of typical architectures of iterative GMDH algorithms are presented here. The classical multilayer iterative algorithm MIA [1] is the most widespread among them. As it is evident from the Fig. 1, it is of neural network type with some original features: pairwise connections to nodes of any hidden layer; selection of best nodes on any layer; number of layers is not predefined.

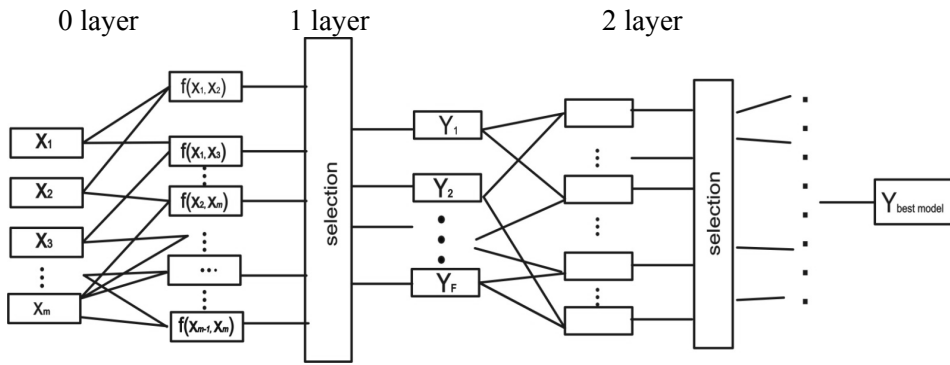


Fig. 1. Scheme of the classical multilayered algorithm (MIA)

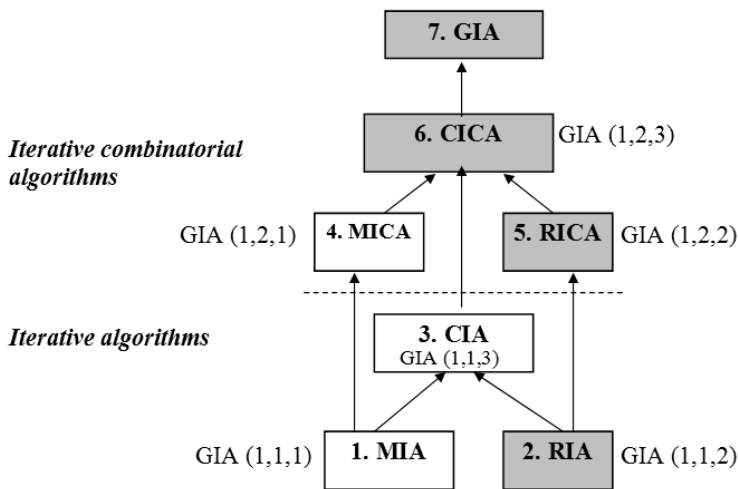


Fig. 2. Hierarchy of the developed iterative GMDH algorithms [13]

However, MIA has its own significant drawbacks: the possibility of losing informative and/or including non-informative arguments, exponential growth of the degree of the polynomial. To overcome these shortcomings, some modifications of MIA were implemented.

To date, seven standard implementations of iterative GMDH algorithms with different properties are known [13], schematically presented on the Fig. 2.

The first group of algorithms consists of the following iterative GMDH algorithms:

- 1) MIA – Multilayered Iterative Algorithm;
- 2) RIA – Relaxation Iterative Algorithm;
- 3) CIA – Combined Iterative Algorithm.

In each of the named algorithms, it is possible to apply combinatorial optimization of the complexity of transfer functions of the nodes; this can be abbreviated as *optimization of partial descriptions*. Then we get three new algorithms with the obvious common name *iterative-combinatorial* ones. Hence the second group of algorithms is iterative-combinatorial GMDH algorithms:

- 4) MICA – Multilayered Iterative-combinatorial Algorithm;
- 5) RICA – Relaxation Iterative-combinatorial Algorithm;
- 6) CICA – Combined Iterative-combinatorial Algorithm;
- 7) GIA – Generalized Iterative Algorithm.

Thus, the Generalized Iterative Algorithm (GIA) GMDH developed in [5] is a generalization of all six of the above algorithms.

In MIA GMDH, the problem of constructing an optimal model is solved inductively: models of a gradually complicated structure are built, and the process of complication has the character of iterations, when the best previous results are used in the next layer (iteration). The complication occurs according to a single rule, which allows building an arbitrarily complex model from a large number of variables (arguments) that characterize the modeling object.

RIA is a modification of the iterative algorithm MIA, in which pairs are formed from intermediate and initial arguments [14, 15]. Taking into account the primary arguments on each layer, this algorithm eliminates the possibility to lose informative arguments.

CIA is an iterative algorithm in which pairs are possible both from intermediate arguments and from intermediate and initial ones, so it combines the two previous ones, MIA and RIA.

To eliminate the disadvantage of the basic algorithm, namely the exponential growth of the polynomial degree, it was proposed in [16] to use an exhaustive search of variants of a partial model, the so-called MICA, described in detail in [3].

The RICA proposed in [17] makes it possible to improve the MIA GMDH generator of structures and obtain new variants that allow to not losing informative arguments that can be eliminated at previous stages of modeling.

## **CONSTRUCTION OF AN ONTOLOGICAL METAMODEL OF ITERATIVE GMDH ALGORITHMS**

The complex developed in [18] can be called a metaprogram. It contains many variants of algorithms that generalize other algorithms and allow the author of the simulation to build his own algorithm from separately programmed modules of the complex, as well as compare the results with other algorithms and explore its properties.

It was shown in [19] that the successful solution of the problem of modeling complex objects, processes, and systems based on data significantly depends on the choice of an optimal method and, consequently, on familiarity with modeling methods. First of all, it is important for a data-driven modeling specialist who must decide which method will be most effective in a particular case, as well as for a user who wants to apply the available modeling methods.

Functional and interactive structures of an integrated set of tools for the study and application of modeling methods based on the observation data have been developed and implemented. Computer tools are designed for experimental discovery of knowledge about the comparative advantages and disadvantages of modeling methods and its components. The computer complex has the ability to use recurrent parameter estimates in order to increase the efficiency of modeling methods.

In [5], a generalized iterative algorithm for inductive modeling was developed. This is one software product, which in its structure contains seven different software products with various properties, and this product is a metamodel of

the GMDH iterative algorithms.

The software structure described in [20] is built on the principle of meta-modeling and is intended for the implementation and launch (execution) of several GMDH algorithms. A key component of the software structure that distinguishes it from libraries of aggregated functions/methods is the kernel, which is implemented in accordance with the object-oriented paradigm.

In [21], the problem of metamodeling is considered as one of the problems of artificial intelligence. The author used methods for solving such specific tasks as: estimation of parameters of nonlinear transfer functions by gradient methods; development of heterogeneous nodes using genetic algorithms with niching schemes; inductive choice of optimal models of the GMDH multilayer measure using external criteria based on partitioning a given data set; improving the ability to generalize the network system by combining multiple models; visualization of useful properties of multidimensional processes due to evolutionary search based on genetic algorithms with special fitness functions.

The study of the classical multilayer iterative GMDH algorithm and its modifications showed that if to structure the knowledge about these algorithms in one ontological metamodel, this will allow to implement such a metamodel once and get results using different algorithms, setting up its various parameters.

Let us first consider the architecture of the generalized iterative algorithm GIA GMDH [5] based on various modifications of the classical iterative GMDH algorithm. For further development of architectures of iterative algorithms, the following ideas are introduced here [22]: selection of primary arguments (addition on each layer of initial arguments) and implementation of combinatorial optimization of the structure of particular models. The idea of optimization [23] means that each neuron implements a sorting or other GMDH algorithm.

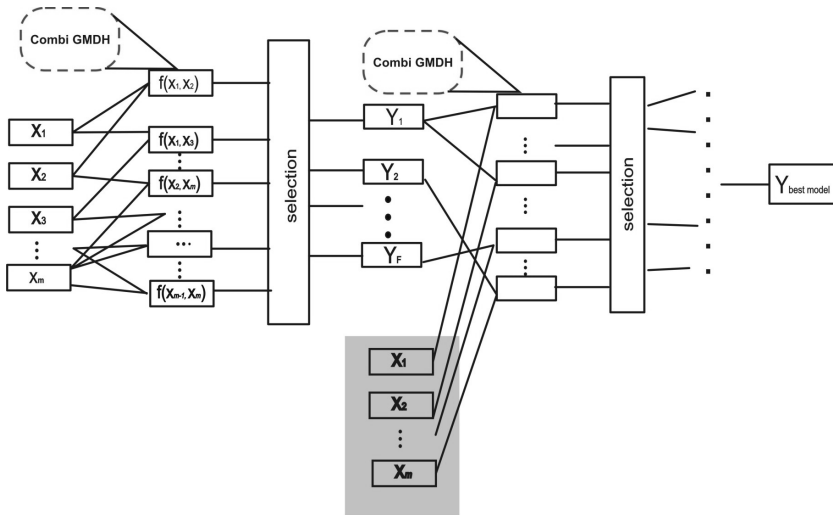
The hybrid architecture of the GIA algorithm developed in [24] provides its new properties: restoration of informative arguments sifted out at the first stages of the algorithm, elimination of non-informative arguments remaining at the first stages, avoidance of “degeneration” (repetition) of the structures of partial models. Thus, it is possible to generalize the main structures of the previously developed iterative GMDH algorithms and simultaneously obtain their new variants. Fig. 3 shows the scheme of operation of the GIA GMDH [5].

The general scheme of the GIA GMDH architecture and, accordingly, the hierarchy of the main types of iterative algorithms built using the Protégé ontologist is shown in Fig. 4.

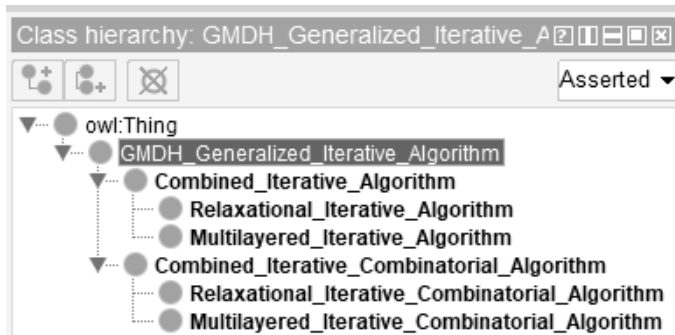
Each of the algorithms has its own peculiarities in these components. It is necessary to have a description of different options in one general ontological structure in order to be able to obtain different types of algorithms by combining them.

The main principle of ontological analysis is the generalization of the task at the top level and its detailing at the lower levels of the hierarchy. That is, the upper level defines the basic principle of building a model, and the lower ones determine the procedures and methods of forming a model.

The purpose of developing an ontological metamodel of iterative algorithms is to build such a software tool that will allow to automatically configure this metaprogram as a metamodel of iterative algorithms with defining an algorithm that is most adequate to a specific object by adjusting the control parameters.



**Fig. 3.** Generalized iterative algorithm GIA GMDH [5]



**Fig. 4.** Hierarchy of main types of the iterative GMDH algorithms

The software package that describes this generalized iterative GMDH algorithm can be called a metaprogram that generalizes many algorithms and allows the author of the simulation to build his own algorithm from the programmed modules of the complex, compare the results with other algorithms, and explore its properties. In fact, this is one software product, which in its structure contains seven different software products with different properties, i.e. this software product is a meta-model of iterative GMDH algorithms.

## CONCLUSIONS

The article considers the problem of constructing the ontological metamodel of the iterative GMDH algorithms allowing to automatically discover dependencies in data with minimal user intervention.

In order to generalize the knowledge on iterative GMDH algorithms, a review of their typical variants was performed which showed that the advantage of these algorithms is that they allow working with large data samples, since their basic peculiarity is the pairwise consideration of input variables.

The review showed that the generalized iterative algorithm GIA GMDH can be called a metamodel of iterative ones since it includes all previously developed their variants. Building a metamodel of iterative algorithms allows generalizing knowledge on the main stages of the process of building models from data, the methods used and the conditions for their effective usage.

The formed knowledge on iterative GMDH algorithms is organized in the ontological metamodel built by means of the tool Protege.

It is planned to develop in future a concept and modeling tools based on the inductive approach which will allow transferring the principles have worked out in the field of inductive modeling to solving metamodeling problems. This will allow automating the process of designing software tools for efficient model building, taking into account in the form of an ontological metamodel the experience gained in the development and application of inductive modeling algorithms.

## REFERENCES

1. Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. *Noise-immunity of modeling*. Kiev: Naukova dumka, 1985. 216 p. (In Russian).
2. Ivakhnenko, A.G. Group method of data handling as competitor for the method of stochastic approximation. *Soviet Automatic Control*, 1968, no 3, pp. 58–72 (In Russian).
3. *Spravochnik po tipovym programmam modelirovaniya* / Red. Ivakhnenko A.G. Kiev: Tekhnika, 1980. 184 p. (In Russian).
4. Chandrasekaran B., Josephson J.R., Benjamins, R.V., Ontologies. What are ontologies, and why do we need them?" *IEEE Intelligent Systems and their Applications*. 1999, V. 14. Iss. 1. pp. 20–26. DOI: 10.1109/5254.747902.
5. Stepashko V.S., Bulgakova A.S., The Generalized Iterative Algorithm of the Group Method of Data Handling. *Upravlyayushchie Sistemy i Mashiny*, 2013, no 2, pp. 5–17 (In Russian).
6. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. Construction and Research of the Generalized Iterative GMDH Algorithm with Active Neurons. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. AISC book series, Volume 689. Berlin: Springer, 2017, pp. 474–491.
7. Ruy F.B., Guizzardi G., Falbo R.A., Reginato C.C., Santos V.A. From reference ontologies to ontology patterns and back. *Data & Knowledge Engineering*, 2017, 109, pp. 41–69. DOI: 10.1016/j.datak.2017.03.004.
8. Savchenko Ye., Stepashko V. Metamodeling and metalearning approaches in inductive modeling tools. Preprint, [online]. Available at: <<https://easychair.org/publications/preprint/6L1W>> [Accessed 23 Apr. 2018].
9. Flach P. *Machine learning: the art and science of algorithms that make sense of data*, Cambridge University Press, 2012. 396 p. (In Russian)
10. Savchenko Ye.A., Stepashko V.S., "Analysis of approaches to metalearning and meta-modeling". *Inductive modeling of complex systems, Coll. sciences works*. Kyiv: IRT-CITS, 2017, Iss. 9, pp. 86–94 (In Ukrainian).
11. Pidnebesna H.A. Conceptual development of ontology for the design of inductive modeling. *Inductive modeling of complex systems. Coll. sciences works*. Kyiv: IRTCITS, 2013, 5, pp. 248–256 (In Ukrainian).
12. Valkman Yu.R. Ontologies: formal and informal. Report at the seminar "Pattern computer". 08.11.2011, [online]. Available at: <http://www.irtc.org.ua/image/seminars/archive/int> [Accessed 18.12.2017] (In Russian).
13. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. Construction and Research of the Generalized Iterative GMDH Algorithm with Active Neurons. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. AISC book series, 2017, V. 689, Berlin: Springer, pp. 474–491.
14. Pavlov A.V., Kondrashova N.V. On the Convergence of the Generalized Relaxation Iterative Algorithm for the Method of Group Consideration of Arguments. *Upravlyayushchie Sistemy i Mashiny*, 2012, no 3 (239), pp. 24–29, 38 (In Russian).

15. Pavlov A.V. "Generalized Relaxation Iterative GMDH Algorithm". *Inductive modeling of complex systems, Coll. sciences works*. Kyiv: IRTCITS, 2011, Iss. 4, pp. 121–134 (In Ukrainian).
16. Ivakhnenko N.A., Marchev A.A. Self-organization of a mathematical model for long-term planning of construction and installation works. *Automation*. 1978, no. 3, pp. 12–18 (In Russian).
17. Sheludko O.I. GMDH algorithm with orthogonalized complete description for model synthesis based on the results of the planned experiment. 1974, no 5, pp. 32–42 (In Russian).
18. Yefimenko S., Stepashko V. Technologies of Numerical Investigation and Applying of Data-Based Modeling Methods". *Proceedings of the II International Conference on Inductive Modelling ICIM-2008*, 15-19 September 2008, Kyiv, Ukraine. Kyiv: IRTCITS, pp. 236–240.
19. Yefimenko, S.M. Stepashko, V.S. Computer tests as an instrument for effectiveness investigation of modeling algorithms. *Proceedings of International Workshop on Inductive Modeling (IWIM 2007)*, Prague: Czech Technical University, pp. 123–127.
20. Tyryshkin A.V., Andrakhanov A.A., Orlov A.A. GMDH-based Modified Polynomial Neural Network Algorithm", *Chapter 6 in Book GMDH-methodology and implementation in C* (With CD-ROM). London: Imperial College Press, World Scientific, 2015, pp. 107–155.
21. Kordik P. Why Meta-learning is Crucial for Further Advances of Artificial Intelligence? [online]. Available at: <<https://chatbotslife.com/why-meta-learning-is-crucial-for-further-advances-of-artificial-intelligence-c2df55959adf>> [Accessed 18 Dec. 2020].
22. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V., "Hybrid Algorithms for Self-Organizing Models for Predicting Complex Processes". *Inductive modeling of complex systems. Coll. sciences works*. Kyiv: IRTCITS, 2010, pp. 236–246 (In Ukrainian).
23. Ivakhnenko A.G., Ivakhnenko G.A., Muller J.-A. Self-Organization of Neuronets with Active Neurons. *Patt. Recognition and Image Analysis*. 1994, 4 (4), pp. 177–188.
24. Bulgakova O.S., Stepashko V.S. Comparative Analysis of the Efficiency of Iterative GMDH Algorithms Using Computational Experiments. *Visnyk CHDTU*. 2011, no 1, pp. 41–44 (In Ukrainian).

Received 23.06.2022

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. *Помехоустойчивость моделирования*. Киев: Наук. думка. 1985. 215 с.
2. Ивахненко О.Г. Метод группового учета аргументов – конкурент метода стохастической аппроксимации. *Автоматика*. 1968. № 3. С. 58–72.
3. Справочник по типовым программам моделирования / Под ред. Ивахненко А.Г. Киев: Техника, 1980. 184 с.
4. Chandrasekaran B., Josephson J. R., Benjamins R. V. Ontologies. What are ontologies, and why do we need them? *IEEE Intelligent Systems and their Applications*. 1999. Vol. 14. Iss. 1. P. 20–26. DOI: 10.1109/5254.747902.
5. Степашко В.С., Булакова А.С. Обобщенный итерационный алгоритм метода группового учета аргументов. *VCuM*, №2. 2013. С. 5–17.
6. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. Construction and Research of the Generalized Iterative GMDH Algorithm with Active Neurons. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. AISC book series, Volume 689. Berlin: Springer, 2017. P. 474–491.
7. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. Construction and Research of the Generalized Iterative GMDH Algorithm with Active Neurons. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. AISC book series, Volume 689. Berlin: Springer, 2017, pp. 474–491.
8. Ruy F.B., Guizzardi G., Falbo R.A., Reginato C.C., Santos V.A. From reference ontologies to ontology patterns and back. *Data & Knowledge Engineering*, 2017, 109, pp. 41–69. DOI: 10.1016/j.datak.2017.03.004.



9. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М: ДМК-Пресс. 2015. 400 с.
10. Савченко Є.А., Степашко В.С. Аналіз підходів до метанавчання та метамодельовання. *Індуктивне моделювання складних систем*. К.: МННЦ ІТС, вип. 9. 2017. С. 86–94.
11. Піднебесна Г.А. Концепція використання онтологій для конструювання засобів індуктивного моделювання. *Індуктивне моделювання складних систем*. К.: МННЦ ІТС ІТС, вип. 5. 2013. С. 248–256.
12. Валькман Ю.Р. Онтологии: формальное и неформальное. Презентація семінару від 08.11.11, URL: <http://www.irtc.org.ua/image/seminars/archive/int> (дата звернення: 18.12.2017).
13. Stepashko V., Bulgakova O., Zosimov V. “Construction and Research of the Generalized Iterative GMDH Algorithm with Active Neurons”. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing II*. AISC book series, V. 689, Berlin: Springer, 2017, pp. 474–491.
14. Павлов А.В., Кондрашова Н.В. О сходимости обобщенного релаксационного итерационного алгоритма метода группового учета аргументов, *УСМ*, 2012, №3 (239), С. 24–29, 38.
15. Павлов А.В. Обобщенный релаксационный итерационный алгоритм МГУА. *Індуктивне моделювання складних систем*. К.: МННЦ ІТС НАНУ, 2011. 4. С. 121–134.
16. Ивахненко Н.А., Марчев А.А. Самоорганизация математической модели для перспективного планирования строительно-монтажных работ . *Автоматика*. 1978. № 3. С. 12–18.
17. Шелудько О.И. Алгоритм МГУА с ортогонализированным полным описанием для синтеза моделей по результатам планируемого эксперимента. *Автоматика*. 1974. № 5. С. 32–42.
18. Yefimenko S., Stepashko V. Technologies of Numerical Investigation and Applying of Data-Based Modeling Methods. Proceedings of the II International Conference on Inductive Modelling ICIM-2008, 15–19 September 2008, Kyiv, Ukraine. Kyiv: IRTC ITS NANU, 2008. P. 236–240.
19. Yefimenko, S.M. Stepashko, V.S. Computer tests as an instrument for effectiveness investigation of modeling algorithms. Proceedings of International Workshop on Inductive Modelling (IWIM 2007), Prague: Czech Technical University, 2007, pp. 123–127.
20. Tyryshkin, A.V., Andrakhanov, A.A., Orlov, A.A. GMDH-based Modified Polynomial Neural Network Algorithm. In *GMDH-methodology and implementation in C (With CD-ROM)*. London: Imperial College Press, World Scientific, 2015. pp. 107–155.
21. Kordik P. Why Meta-learning is Crucial for Further Advances of Artificial Intelligence? URL: <https://chatbotslife.com/why-meta-learning-is-crucial-for-further-advances-of-artificial-intelligence-c2df55959adf>.
22. Степашко В.С., Булгакова О.С., Зосімов В.В. Гібридні алгоритми самоорганізації моделей для прогнозування складних процесів. *Індуктивне моделювання складних систем*. Випуск 2. Київ: МННЦ ІТС, 2010. С. 236–246.
23. Ivakhnenko A.G., Ivakhnenko G.A., Muller J.-A. Self-Organization of Neuronets with Active Neurons. *Patt. Recognition and Image Analysis*. 1994. 4, N 4. P. 177–188.
24. Булгакова О.С., Степашко В.С. Порівняльний аналіз ефективності ітераційних алгоритмів МГУА за допомогою обчислювальних експериментів. *Вісник ЧДТУ*. 2011. № 1. С. 41–44.

Отримано 23.06.2022

Степашко В.С., доктор техн. наук, проф.,  
зав. відд. інформаційних технологій індуктивного моделювання,  
<https://orcid.org/0000-0001-7882-3208>, e-mail: [stepashko@irtc.org.ua](mailto:stepashko@irtc.org.ua)  
Савченко-Синякова Є.А., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,  
старш. наук. співроб. відд. інформаційних технологій індуктивного моделювання,  
<https://orcid.org/0000-0003-4851-9664>, e-mail: [savchenko\\_e@meta.ua](mailto:savchenko_e@meta.ua)  
Піднебесна Г.А., канд. техн. наук,  
наук. співроб. відд. інформаційних технологій індуктивного моделювання,  
<https://orcid.org/0000-0002-5735-9861>, e-mail: [pidnebesna@ukr.net](mailto:pidnebesna@ukr.net)  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
та систем НАН України та МОН України,  
40, пр. Акад. Глушкова, м. Київ, 03187, Україна

## ПОБУДОВА ОНТОЛОГІЧНОЇ МЕТАМОДЕЛІ ІТЕРАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ

**Вступ.** Обсяги даних постійно збільшуються і для їх зберігання та оброблення потрібні нові підходи з урахуванням розроблення та удосконалення сучасних комп'ютерів. Це висуває нові вимоги до засобів автоматичного оброблення даних та інтелектуальних систем аналізу інформації з урахуванням її семантики.

Перевагою ітераційних алгоритмів методу групового урахування аргументів (МГУА) є те, що вони працездатні за великої кількості аргументів. Узагальнений ітераційний алгоритм МГУА містить різні попередні модифікації цих алгоритмів. Наприклад, алгоритми багаторядного та релаксаційного типів, а також різновиди ітераційно-комбінаторних (гібридних) алгоритмів є різними окремими випадками цього узагальненого алгоритму.

Метамоделювання — це побудова узагальнених моделей певної групи об'єктів (програмних засобів, математичних моделей, інформаційних систем). Засобами Protégé побудовано онтологічну метамодель ітераційних алгоритмів МГУА з метою структурувати знання в цій предметній галузі.

**Мета статті** — проаналізувати розроблені ітераційні алгоритми МГУА, сформулювати завдання побудови онтологічної метамоделі ітераційних алгоритмів МГУА та запропонувати підхід до структуризації знань про ітераційні алгоритми МГУА шляхом побудови онтології цієї предметної галузі.

**Результати.** Виконано ретроспективний аналіз розроблених ітераційних алгоритмів МГУА, вказано їхні переваги та недоліки. Показано, що узагальнений ітераційний алгоритм МГУА, окремими випадками якого є як відомі, так і нові різновиди багаторядних, релаксаційних та ітераційно-комбінаторних алгоритмів, дає можливість порівняльного дослідження ефективності різних алгоритмів і розв'язання реальних завдань моделювання. На основі результатів цього дослідження розроблено онтологічну метамодель ітераційних алгоритмів МГУА.

**Висновки.** Класичні ітераційні алгоритми GMDH дають змогу обробляти великі набори вхідних даних. Узагальнений ітераційний алгоритм МГУА уможливорює формування типових архітектур попередньо розроблених модифікацій цих алгоритмів під час налаштування різних режимів роботи цього алгоритму. Побудова онтологічної метамоделі на його основі дає змогу структурувати знання про наявні ітераційні алгоритми, що забезпечує можливість автоматизувати конструювання та використання спеціалізованих програмних засобів для конкретних прикладних завдань.

**Ключові слова:** індуктивне моделювання, МГУА, ітераційні алгоритми, математична модель, метамодельювання, предметна область, онтологія.

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.033>

CC BY-NC

**GRITCENKO V.I.**, Corresponding Member of the NAS of Ukraine,  
Directorate Advisor  
<https://orcid.org/0000-0002-6250-3987>, e-mail: [vig@irtc.org.ua](mailto:vig@irtc.org.ua)

**SUKHORUCHKINA O.N.**,  
Senior Researcher,  
System Information Technologies Department,  
<https://orcid.org/0000-0002-7441-6661>, e-mail: [sukhoru@irtc.org.ua](mailto:sukhoru@irtc.org.ua)  
International Research and Training Center for Information Technologies  
and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and the Ministry of Education and Science of Ukraine.  
40, Akad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

## FROM COMMAND CONTROL TO THE AUTONOMY OF MOBILE ROBOTS

---

**Introduction.** *The urgent needs of the modern technological order and the development of intelligent information technologies, covering a wide range of scientific areas, have led to the emergence of new principles for the organization of robot control systems. The main goal of modern robotics is to minimize direct human involvement in the control loop when the robot performs tasks in a weakly deterministic non-stationary environment. Historically, robotics for such operating conditions has progressed from remote command control to autonomous systems with the possibility of supervision by human. The influence of intelligent control on increasing the degree of autonomy of service mobile robots is considered. The important subsystems in the organization of intelligent control systems for autonomous mobile robots and the objective difficulties of their practical implementation are shown.*

**The purpose of the paper** is to discuss the influence of intelligent control on the level of autonomous capabilities of robots in dynamic and incompletely defined conditions and the objective difficulties of creating universal approaches to the implementation of autonomous service robots control systems.

**Results.** *The ways of increasing the autonomous capabilities of mobile robots are considered. The role of the supervisory control principle on the way to reducing human participation in the processes of remote control of service robots is given.*

**Conclusions.** *The use of the proposed structural solutions of the service mobile robot intelligent control system and the methodology for organizing its activating subsystem made it possible to significantly increase the autonomous resources of the robot when performing complex tasks in a weakly deterministic nonstationary environment.*

**Keywords:** *autonomous mobile robot, intelligent control system, supervisory control.*

## INTRODUCTION

A significant part of modern scientific research and practical developments in robotics is aimed at increasing the autonomous capabilities of mobile robots operating in a dynamic and not completely defined environment, when traditional approaches to the theory of automatic control of moving objects lose their effectiveness. The topicality of the development of new control principles has been discussed about 50 years. In the same years, the autonomy of the purposeful activity of robots began to be associated with the development of a new theory of intelligent control [1–5]. In fact, significant advances in autonomous robotics in a realistic environment have begun to appear since the early 2000<sup>s</sup>. The competition on projects Robotics Challenge, initiated by DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) of US Department of Defense, provided a significant impetus to this [6].

The last decade has been marked by the emergence of so-called service robots with a variety of design solutions [7]. These are robots that partially or completely replace humans when performing certain tasks for defense purposes, in medical care, education, agriculture, courier services, in the areas of hotel services and catering, for household assistance etc. While for industrial robots autonomy is necessary only within the boundaries of their deterministic workspace, strictly associated with a specific production process, the conditions for the functioning of service mobile robots are less predictable, the actual goals of current actions are more difficult to determine and formalize, which introduces fundamental differences in the implementation of autonomous control systems for such robots.

Original design solutions for mobile platforms and sensor equipment with microprocessor-based data processing and interpretation, extended use of artificial intelligence technologies, a variety of functional applications — these are the general characteristics of service robotics innovations, that are regularly covered in the media today. However, not all of them have the ability to act autonomously when performing tasks in a real environment. There are scientific discussions about various paradigms of intelligent control, knowledge representation structures and ways to operate with them when the robot automatically chooses its purposeful actions in one situation or another [8–12].

In an effort to overcome the objective difficulties of creating robotic devices capable to perform complex tasks in dynamically changing environments with minimal human participation, the transition from the command principle of robot actions remote control to the need for only supervision by the user is important [13]. Such transition became possible due to the development of intelligent control systems and information technologies of imaginative perception and machine intelligence.

**The purpose of the paper** is to discuss the impact of intelligent control on the level of robots autonomous capabilities in dynamic and not fully defined conditions and the objective difficulties of creating universal approaches to the implementation of control systems of autonomous service robots.

## PROBLEM STATEMENT

Let a mobile robot (MR) as a control object be in some real surroundings, which we will call the outside robot environment (RE). For each system functioning in a real environment, both biological and technical, a RE exists in the form of some model obtained by mapping its properties that this system is able to perceive. The actual MR equipping with a set of hardware, technological, algorithmic and software implementations of the perception of the certain properties of robot environment and its objects and determines the possible types of interactions of the robot with their surroundings.

The control problems of MR, the surface of motion of which is a horizontal plane, are considered. Note that this constraint characterizes the real operating environment for service indoor robots with a wide range of purposes and makes it possible to significantly simplify the mathematical models of MR motion and RE models.

In the general case, the task of an autonomous MR control system will be understood as transferring the robot from its current state  $MR_0$  to a given goal state  $MR_G$  without human intervention. Goal states  $MR_{G_i}$  and  $MR_{G_j}$ ,  $i \neq j$  are considered different if they differ by a set of parameters that define them, not only by their values. A specific task with a goal state  $MR_{G_i}$  will be called a task  $Tsk_i$ . Since the MR interacts with RE in one way or another, we will talk about the current and goal states of pairs  $\langle MR_0, RE_0 \rangle$  and  $\langle MR_G, RE_G \rangle$ , respectively. Here  $RE_0$  and  $RE_G$  are subsets of the characteristics of the RE model that are related to the process of performing a specific task by the robot.

Of practical interest is the MR control system (CS) that supports the performing the set of a certain class tasks  $Tsk = \{Tsk_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $N > 1$ , and capable of sequentially selecting and activating tasks from this set, necessary for the robot to achieve a given goal state of the pair  $\langle MR_G, RE_G \rangle$  without human intervention.

Let us note the features of the autonomous MR control system problem in the considered formulation:

- the states of RE and MR in the general case are not completely known, and the state of RE can change regardless of the MR actions;
- the state of a pair  $\langle MR, RE \rangle$  at a point in time  $t$  is described by a set of variables that can be represented by various data structures and types including with asynchronous changes in their values over time, and only estimated rather than exact values available for some variables;
- assessment of the current states of the MR and RE should be performed by the resources of the CS, bringing the values of all necessary variables to a single system time;
- the goal state of the pair  $\langle MR_G, RE_G \rangle$  can be specified at the abstract-conceptual level (including verbally) with unknown values of all or part of the variables determining this state.

## THE PRINCIPLE OF SUPERVISORY CONTROL

Today, service MRs usually have a human-machine interface for their remote use via wireless networks. Remote control (or telecontrol) of the robot's actions has developed in two directions — in the form of a command (manual) mode and a semi-automatic one [14, 15]. The human operator, receiving the necessary information from the remote CS of MR, in the first case forms the commands for direct control of the robot executive organs, in the second case — periodically transfers control to the automatic system that implements a particular available program of certain MR actions. The operator is responsible for the choice of permissible and expedient current actions of the MR in both cases.

Due to the incompleteness of the information about the RE available to the control object, unpredictable changes in the situation over time and various initial states of the MR when it receives some complex task  $Tsk_i$  from the user, a pre-prepared robot action program is not always equally successful in leading it to the desired goal state  $\langle MR_{G_i}, RE_{G_i} \rangle$ . The wide variability of the possible values of the variables of the current mutual states of the pair  $\langle MR, RE \rangle$  generates an unlimited set of situations in which the robot finds itself when trying to use the same action program.

In the late 1960<sup>s</sup>, it was proposed in remote mode use the principle of supervisory control of robots [16], according to which the operator-supervisor represents the desired complex robot activity to achieve a certain goal as a sequence of simpler actions, for which an automatic control program of the robot's actuators can be prepared and successfully executed. It is customary to talk about shared control with an external activating subsystem implemented by a human operator. In fact, the operator decomposes the desired global goal into a sequence of local subgoals, some of which the MR is able to achieve automatically under the supervision of the operator with possible his intervention if it is necessary to directly control the robot in difficult situations [17].

The main motivation for the further development of the supervisory principle was the reduction of the human role in the robot control processes. New ideas are focused on the implementation of an intelligent component to the control system in the form of an internal activating subsystem, responsible for automatic selection of locally reasonable subgoals, the autonomous achievement of which should lead the MR to the main goal of the user task. The MR CS should have its own resources for autonomous achievement by the robot of a certain set of goal states [15]. In this case, the operator's role is reduced to formulating the main task for the robot and, if necessary, supervising its autonomous functioning to avoid abnormal situations.

The principle of supervisory control remains a priority even with a very high level of autonomous capabilities of the MR control system in cases when the MR performs tasks in areas of special requirements for minimizing the risk of abnormal situations, as well as in conditions that significantly affect the ability of obtaining high-quality information about the operating environment by the on-board robot means (for example, during radiation pollution, in outer space etc.).

## **INTELLIGENT CONTROL SYSTEM**

The definition of an intelligent control system (ICS) for dynamic objects is usually based on enumeration of the expected properties and capabilities of such a system [9, 11, 12]. In [12] examples of fundamentally different ways of implementing technical systems, the functionality of which can replace one or another type of human intellectual activity, are shown. The most promising way to implement ICS for autonomous multifunctional robots is the presence in their control systems of structures and information processes similar to some known forms of brain activity of living beings. Such systems can be implemented by modeling particular low-level structures similar to brain neurons (neurocybernetic direction) or by modeling high-level information processes related to human thinking (direction of knowledge representation and use). Here the second direction is considered.

The success of MR autonomous operation when some data on the state of the control object and its environment is incompleteness and insuperable indetermination depends primarily on the ability of its onboard control system to perceive, analyze and interpret the environment characteristics that are significant for the robot purposeful functioning. Such control system must form models (images) of objects and phenomena, be able to recognize them, and assess robot state and position in the environment [11]. Each of these abilities is associated with a certain type of cognitive activity and requires the practical implementation of an independent task of artificial intelligence with the necessary bringing the relevant methods and software and hardware solutions to operate in real time. The system relationships of such abilities, related to machine intelligence, and the synchronization of distributed parallel information processes in the task of autonomous control of MR actions, related to machine thinking, are essential.

Traditional automatic control theory considers strongly formalized systems to perform, as a rule, one specific also well formalized problem. ICS tasks are weakly formalized even at the level of their formulation [18]. For service MR, a typical example of a weakly formalized control problem with incomplete information is the task “Bring object A to object B”, when only the names of objects A and B are specified, their positions are unknown, and the actual mutual state of the pair <MR, RE> is unknown too. In a non-stationary environment there is no guarantee of reliability and consistency of information about the positions of objects A, B and objects-obstacles, among which the robot will move to the goal position, and the MR goal position may not be determined almost until the last moment of movement towards it.

Performing tasks of this type by a robot without human intervention is associated with the solution of some previously unpredictable sequence of independent ICS tasks.

Such tasks can be:

- determining the MR position in RE;
- object recognition and the RE model formation in the area of the MR operation;
- determining the position of goal object A and path of safe motion to it;
- determining the positions of the MR and its gripper suitable for taking an object etc.

Due to the possible movements of objects in the MR workspace, not related to its actions, the alternation of ICS tasks that are relevant at the current time cannot follow a pre-determined plan. In difficult conditions of information incompleteness, an intelligent system needs to have an internal mechanism for choosing a well-formalized task from the class available to it, which is relevant to the current situation.

The structure of MR ICS assumes a number of software and hardware modules that implement the basic set of functions necessary for the robot to autonomously perform a certain set of tasks, depending on the purpose of a particular robot [19]. Due to the specifics of the functional purpose of these modules, each of them represents a particular subsystem of the CS (Fig. 1), namely:

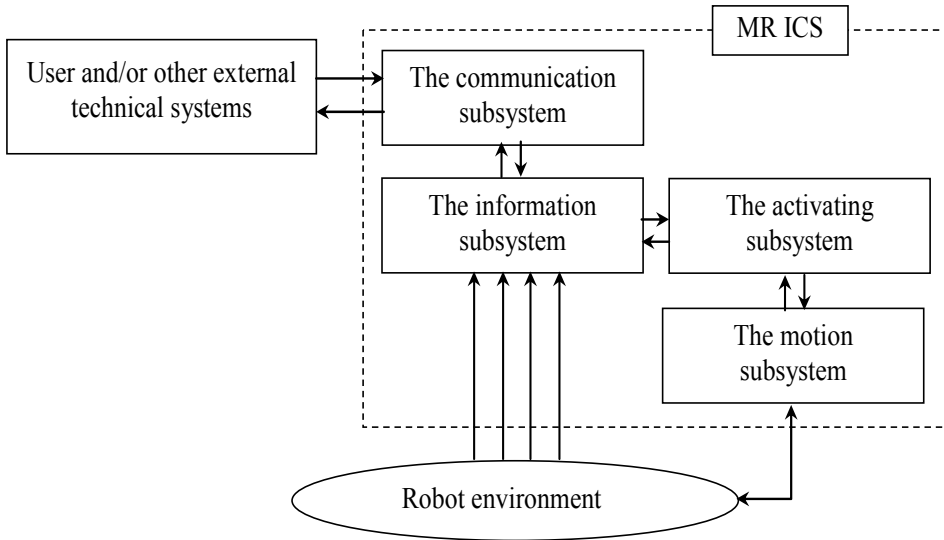
- the information subsystem, the purpose of which is the formation of generalized RE models and MR states in the internal memory structures of the ICS and their dynamic editing, performing the collection, processing and interpretation of the current data of various sensory devices of the robot;
- the motion subsystem has the purpose of moving the MR platform and its actuators to specified positions, performing the appropriate control of the drives of the robot moving parts;
- the communication subsystem is responsible for the information interaction of the MR with other external technical systems, as well as with the user to receive target tasks from him and support the human-machine interface in the supervisory mode of operation;
- the activating subsystem, interacting with the information subsystem, is responsible for the reactivity and activity of the CS, reacting to changes in the RE by determining the current goals, choosing the rules for achieving them, and activating the corresponding actions of the MR.

The approach to the experimental implementation of the MR ICS adopted by the authors is based on the ideas of the functional systems theory on the brain activity of evolved biological organisms [20]. By analogy with this theory, information feedbacks of the autonomous intelligent control of a technical system should concentrate active processes of interpreting a certain part of the current information around identifying local goals of the robot's actions that bring the MR closer to obtaining a useful result on the user's task. It is the activating subsystem that supports the robot's ability to self-assess its state in the environment and make decisions about the necessary purposeful actions [18].

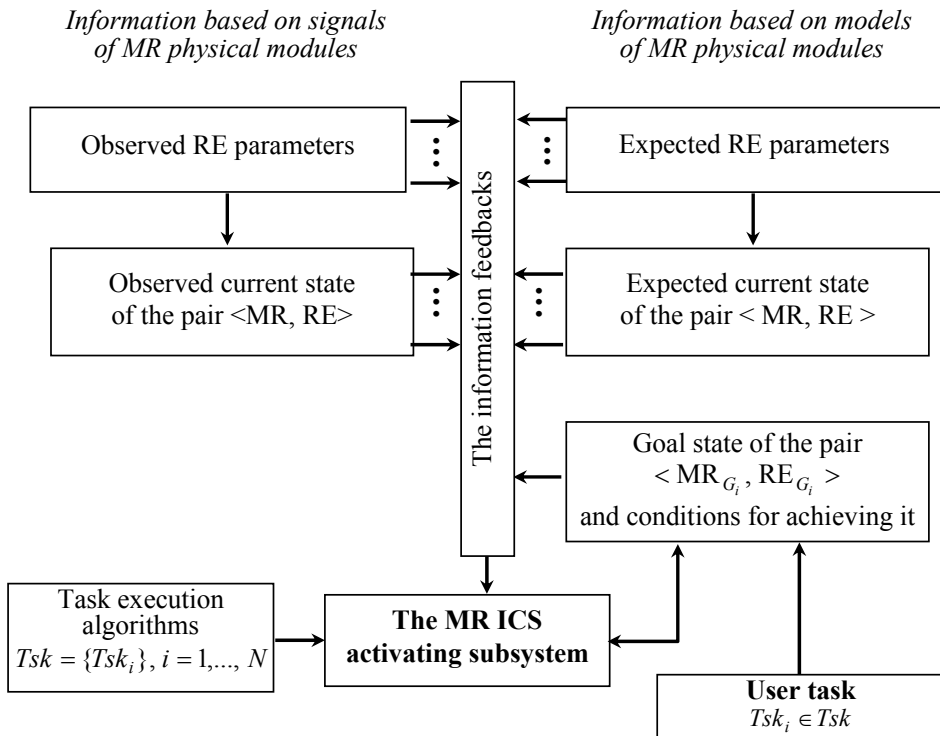
For the software implementation of the methodology of forming the necessary informational feedbacks the principle of the acceptor of action result was used [20]. In our case, the ICS constantly generates a model of the expected informational equivalent of the result of the MR current actions and compares it with the parameters actually observed by the onboard devices of the robot, corresponding to the state of the pair <MR, RE>, which allows to timely detect the need to change the current goal of the autonomous MR action (Fig. 2) [21].

Such approach to the organization of the internal activating subsystem of the ICS provided the service MR prototype with the ability to autonomously perform in a partially defined nonstationary environment such tasks as "Come to object", "Bring object A to object B", "Track object" etc. [22].





**Fig. 1.** Basic subsystems of MR ICS



**Fig. 2.** The functional organization of MR ICS

## **DIFFICULTIES OF PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOT INTELLIGENT CONTROL SYSTEM**

When the robot performs tasks, different information processes, which are generated by different functionally necessary subsystems of the ICS in the context of the realized goal, come into interaction. Each of the subsystems of the MR ICS operates with data of a different nature. Each type of data objectively has its own representation structures in CS memory and its own time period for computational processes for their analysis and interpretation. Such asynchronous processes with heterogeneous data types require structural matching and time synchronization of the internal processes of the functioning of the system as a whole [23].

In the software for IMS MR, non-conflict functioning of parallel and interacting real-time information and computing processes should be implemented, such as:

- recognition of objects in the current onboard video camera images and determination of these objects positions relative to the coordinate system of the robot environment model;
- analysis, interpretation and formation of the models of surrounding objects according to rangefinder data;
- dynamic generation in the ICS memory and visualization of the models of spatial scenes as 3D models of the robot and its surrounding objects in the user interface;
- determination of the current goals of the MR actions, relevant information feedbacks, target positions and parameters for controlling the safe MR movement to these positions;
- direct control of MR wheel drives, gripper or other actuators of the robot;
- generation text and/or synthesized voice messages about the current MR actions in the session log and user interface.

At the same time, for some information processes the data sources are physical devices for perception the real world characteristics, for others, the corresponding mathematical or simulation models. Each of the active information processes of the ICS can face uncertainties of critical state parameters of both the MR itself and its environment, which generates a very high level of complexity in the design, software implementation and testing of parallel thread computing. Estimation of a number of the pair <MR, RE> current state parameters cannot be objectively performed without errors of the random type.

Now, in the intelligent control theory there are no unified approaches to practical implementation of the strategic and tactical problems of the autonomous MR control. The search for principles for determining and formalizing the current goals of autonomous MR actions, structures for knowledge representation in the long-term and operation memory of the technical system, creation of information technologies for the automatic new knowledge formation and its handling remain extremely relevant for developers of mobile robots capable of performing complex tasks without human involvement in poorly defined dynamic environments.

## **CONCLUSIONS**

The paper shows important functional modules and subsystems of mobile robots control system and the key role of intelligent control systems in the emergence of autonomous capabilities of mobile robots to operate successfully in a non-stationary environment. At the same time, intellectual control, as a scientific direction, is aimed at a systematic approach to the application of methods and tasks of artificial intelligence and the development of appropriate information technologies. However, the practical implementation of MR ICS faces a number of serious questions to which the intelligent control theory does not have universal answers today.

First of all, a technical system for efficiency of purposeful actions in non-deterministic environments must automatically form its own image (or model) of the functional surrounding and be able to evaluate its state in it (the property of reflexion). Significant expansion of the MR autonomous working capacity in non-determined environment requires the development and improvement of intelligent technologies for interpreting data on objects and phenomena of different nature, especially weakly structured data with incomplete a priori knowledge about these objects, phenomena and processes. The ability to classify situations and make decisions about appropriate MR actions in the current situation to achieve the main goal is the basis of another intellectual technologies direction. The development of an autonomous MR intelligent control system as a whole requires a systemic interconnection of a number of similar technologies.

The approach to the internal activating subsystem organization, as the most important component of the MR ICS, given in the paper, is successful with significant simplifications for mathematical models of RE perception and MR motions. In this case, the MR motion surface is a horizontal plane, the objects surrounding the robot are considered as solid bodies, which can be approximated with an acceptable error by a finite number of convex polytops. Such simplifications are acceptable for the so-called indoor robots, allocated in robotics in a special class, which often includes unmanned vehicles for driving on the highway.

The weakening of these restrictions, for example, for MR operating the complex profile rough terrain, surrounded by objects and phenomena of various nature, is the subject of searching for other ways to organize the ICS. Today such MRs, which are especially in demand in military applications, have only limited capabilities to autonomously perform some typical actions under the supervision of an operator. However, in the military actions conditions, especially relevant, for example, MR, as ground unmanned vehicles, capable of delivering cargo to combat positions and help evacuate the wounded under difficult situations without human intervention.

Society's demand for autonomous mobile robots that can replace a person when performing difficultly formalizable tasks under conditions of incomplete information and various types of uncertainties generates a special interest in searching for new scientific and technological solutions for the organization of autonomous control systems.

## REFERENCES

1. Fu K.S. Learning control systems and intelligent control systems: An intersection of artificial intelligence and automatic control. *IEEE Trans. Automatic Control*. 1971. pp. 70–72.
2. Saridis G.N. Toward the realization of intelligent controls. *Proc. IEEE*. 1979, vol. 67. Iss. 8, pp. 1115–1133. DOI: 10.1109/PROC.1979.11407.
3. Meystel A. Intelligent control: Issues and perspectives. *Proc. IEEE Workshop Intelligent Control*. 1985. pp. 1–15.
4. Antsaklis P.J., Passino K.M., Wang S.J. Towards intelligent autonomous control systems: Architecture and fundamental issues. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 1989, vol. 1. pp. 315–342.
5. Simmons R., et al. Autonomous task control for mobile robots. *Proc. of the Fifth International Symposium on Intelligent Control*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA. 1990, pp. 663–668.
6. DARPA Robotics Challenge. <https://www.darpa.mil/program/darpa-robotics-challenge> [Last accessed 24.04.2022]
7. World Robotics — Service Robot Report. International Federation on Robotics, 2018. [https://ifr.org/downloads/press2018/Executive\\_Summary\\_WR\\_Service\\_Robots\\_2018.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2018.pdf)
8. Guha A., Dudziak M. Knowledge based controllers for autonomous system. *Proc. IEEE Workshop Intelligent Control*. 1985, pp. 134–138.
9. Saridis G.N. Intelligent control-operating systems in uncertain environments. In book: *Uncertainty and Control*. 2006, pp. 215–236. DOI: 10.1007/BFb0007285
10. Rapoport G.N., Gertz A.G. Artificial and biological intelligence. Generality of structure, evolution and processes of cognition. Moscow: KomKniga, 2005. 312 p. (in Russian)
11. Makarov I.M., Lokhin V.M., Manko S.V., Romanov M.P. Artificial intelligence and intelligent control systems. Moscow: Nauka, 2006. 333 p. (in Russian)
12. Zhdanov A.A. Autonomous artificial intelligence. Moscow: BINOM, Laboratoriya znaniy, 2008. 359 p. (in Russian)
13. Gonzalez A.G.C., Alves M.V.S., Viana G.S., Carvalho L.K., Basilio J.C. Supervisory control-based navigation architecture: A new framework for autonomous robots in industry 4.0 Environments. *IEEE Trans. on Industrial Informatics*. 2018. 14(4). P. 1732–1743. DOI: 10.1109/TII.2017.2788079
14. Sheridan Thomas B. Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press, Cambridge, 1992.
15. Cheng G., Zelinsky A. Supervised autonomy. *A Framework for Human-Robot Systems Development, Autonomous Robots*. 2001. 10(3), pp. 251–266.
16. Ferrell W.R., Sheridan T.B. Supervisory control of remote manipulation. *IEEE Spectrum*. 1967. 4(10), pp. 81–88.
17. Jones P.M., Jasek C.A. Intelligent support for activity management (ISAM): An architecture to support distributed supervisory control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Special issue on Human Interaction in Complex Systems*. Vol. 27. No. 3. May 1997, pp. 274–288.
18. Chechkin A.V. Activating subsystem is the main feature of the intelligent system. *Intellektualnye sistemy*. Moscow: Izd-vo MGU. 2001, 6. Iss. 1–4, pp. 91–110. (in Russian)
19. Sukhoruchkina O.N. The structures and information processes of mobile robot intelligent control. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu problem modelyuvannya v energetytsi im. G.Ye. Pukhova NAN Ukrainy*. Kyiv, 2012. No. 62, pp. 93–101. (in Russian)
20. Anokhin P.K. Key questions of the theory of functional systems. Moscow: Nauka, 1980. (in Russian)
21. Sukhoruchkina O.N. Activating subsystem of mobile robot intelligent control, *Sbornik dokladov Vserossiyskoe nauchno-tekhnich. konferentsii “Ekstremalnaya robototekhnika” (Rossiya, Sankt-Peterburg, 25–26 sentyabrya)*, Izdatelstvo “Politekhnik-servis”, Sankt-Peterburg, 2012, pp. 101–105. (in Russian)
22. Sukhoruchkina O.N., Progonnyi N.V. Intelligent Control of Mobile Robot when Tracking a Moving Object. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2019. 51(11), pp. 50–62. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v51.i11.50

23. Sukhoruchkina O.N. On parallel information processes of intelligent control of a mobile robot. *Trudy XXI Mezhdunar. nauchno-tekhnic. konferentsii "Ekstremalnaya robototekhnika"*. Sankt-Peterburg: Izdatelstvo "Politehnika-servis". 2010, pp. 338–340. (in Russian)

Received 06.06.2022

# ЛІТЕРАТУРА

1. Fu K.S. Learning control systems and intelligent control systems: An intersection of artificial intelligence and automatic control, *IEEE Trans. Automatic Control*. 1971. P. 70–72.
2. Saridis G.N. Toward the realization of intelligent controls. *Proc. IEEE*. Vol. 67. Issue 8. 1979. P. 1115–1133. DOI: 10.1109/PROC.1979.11407.
3. Meystel A. Intelligent control: Issues and perspectives. *Proc. IEEE Workshop Intelligent Control*. 1985. P. 1–15.
4. Antsaklis P.J., Passino K.M., Wang S.J. Towards intelligent autonomous control systems: Architecture and fundamental issues. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 1989. Vol. 1. P. 315–342.
5. Simmons R., et al. Autonomous task control for mobile robots. *Proc. of the Fifth International Symposium on Intelligent Control*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA. 1990. P. 663–668.
6. DARPA Robotics Challenge. <https://www.darpa.mil/program/darpa-robotics-challenge> [Дата звернення: 24.08.2022]
7. World Robotics — Service Robot Report. International Federation on Robotics, 2018. [https://ifrr.org/downloads/press2018/Executive\\_Summary\\_WR\\_Service\\_Robots\\_2018.pdf](https://ifrr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2018.pdf)
8. Guha A., Dudziak M. Knowledge based controllers for autonomous system. *Proc. IEEE Workshop Intelligent Control*. 1985. P. 134–138.
9. Saridis G.N. Intelligent control-operating systems in uncertain environments. In book: *Uncertainty and Control*. 2006. P. 215–236. DOI: 10.1007/BFb0007285
10. Рапопорт Г.Н., Герц А.Г. Искусственный и биологический интеллект. Общность структуры, эволюция и процессы познания. М.: КомКнига, 2005. 312 с.
11. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.
12. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. 359 с.
13. Gonzalez A.G.C., Alves M.V.S., Viana G.S., Carvalho L.K., Basilio J.C. Supervisory control-based navigation architecture: A new framework for autonomous robots in industry 4.0 Environments. *IEEE Trans. on Industrial Informatics*. 2018. 14(4). P. 1732–1743. DOI: 10.1109/TII.2017.2788079
14. Sheridan Thomas B. Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press, Cambridge, 1992.
15. Cheng G., Zelinsky A. Supervised autonomy. *A Framework for Human-Robot Systems Development, Autonomous Robots*. 2001. 10(3). P. 251–266.
16. Ferrell W.R., Sheridan T.B. Supervisory control of remote manipulation. *IEEE Spectrum*. 1967. 4(10). P. 81–88
17. Jones P.M., Jasek C.A. Intelligent support for activity management (ISAM): An architecture to support distributed supervisory control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Special issue on Human Interaction in Complex Systems*. Vol. 27. No. 3. May 1997. P. 274–288.
18. Чечкин А.В. Активирующая подсистема — главная особенность интеллектуальной системы. *Интеллектуальные системы*. М.: Изд-во МГУ. 6. Вып. 1-4. 2001. С. 91-110.
19. Сухоручкина О.Н. Структуры и информационные процессы интеллектуального управления мобильным роботом. *Збірник наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. Київ, 2012. Вип. 62. С. 93–101.
20. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука, 1980.
21. Сухоручкина О.Н. Активирующая подсистема интеллектуального управления мобильным роботом. *Экстремальная робототехника. Сборник докладов*

- Всероссийской научно-технич. конференции.* Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис», 2012. С. 101–105.
22. Sukhoruchkina O.N., Progonnyi N.V. Intelligent Control of Mobile Robot when Tracking a Moving Object. *Journal of Automation and Information Sciences.* 2019. 51(11). P. 50-62. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v51.i11.50
23. Сухоручкина О.Н. О параллельных информационных процессах интеллектуального управления мобильным роботом. *Экстремальная робототехника. Труды XXI Междунар. научно-технич. конференции.* Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис». 2010. С. 338–340.

Отримано 06.06.2022

Гриценко В.І., член-кореспондент НАН України,  
Радник при дирекції Міжнародного науково-навчального центру  
інформаційних технологій та систем  
НАН України та МОН України  
<https://orcid.org/0000-0002-6250-3987>, e-mail: [vig@irtc.org.ua](mailto:vig@irtc.org.ua)  
Сухоручкіна О.М.,  
старш. наук. співроб., відділ системних інформаційних технологій,  
<https://orcid.org/0000-0002-7441-6661>, e-mail: [sukhoru@irtc.org.ua](mailto:sukhoru@irtc.org.ua)  
Міжнародний науково-навчальний центр  
інформаційних технологій та систем  
НАН України та МОН України,  
пр. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна

#### ВІД КОМАНДНОГО КЕРУВАННЯ ДО АВТОНОМНОСТІ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

**Вступ.** Актуальні потреби сучасного технологічного устрою та розвиток інтелектуальних інформаційних технологій, які охоплюють широкий спектр наукових напрямів, сприяли появі нових принципів організації систем керування роботами. Основна мета сучасної робототехніки — мінімізація безпосередньої участі людини в контурі керування під час виконання роботом завдань в умовах слабо детермінованого нестационарного середовища. Історично робототехніка для таких умов функціонування проходить шлях від дистанційного командного керування до автономних систем з можливістю супервізорного контролю людиною. Розглянуто вплив інтелектуального керування на підвищення ступеня автономності мобільних роботів сервісного типу. Показано важливі підсистеми в організації інтелектуальних систем керування автономними мобільними роботами та об'єктивні складнощі їх практичної реалізації.

**Метою статті** є обговорення впливу інтелектуального керування на рівень автономних можливостей роботів у динамічних та не повністю визначених умовах та об'єктивних труднощів створення універсальних підходів до реалізації систем керування автономними сервісними роботами.

**Результати.** Розглянуто шляхи підвищення автономних можливостей мобільних роботів. Наведено роль принципу супервізорного керування на шляху до зниження участі людини у процесах дистанційного керування сервісними роботами.

**Висновки.** Використання запропонованих структурних рішень інтелектуальної системи керування мобільним роботом сервісного типу та методики організації його підсистеми активації дали змогу суттєво підвищити автономні ресурси робота для виконання складних завдань у слабо детермінованому нестационарному середовищі.

**Ключові слова:** автономний мобільний робот, інтелектуальна система керування, супервізорний контроль.

# Medical and Biological Cybernetics

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.045>

CC BY-NC

**KOVALENKO O.S.**<sup>1</sup>, DSc (Medicine), Professor,  
Head of the Medical Information Technologies Department  
<https://orcid.org/0000-0001-6635-0124>, e-mail: askov49@gmail.com

**AVERYANOVA O.A.**<sup>2</sup>,  
Senior Lecturer, Faculty of Biomedical Engineering,  
<https://orcid.org/0000-0002-4536-2174>, e-mail: olgaaveryanova@ukr.net

**MARESOVA T.A.**<sup>1</sup>,  
Junior Researcher of the Medical Information Technologies Department  
<https://orcid.org/0000-0002-4210-7426>, tamaresova@gmail.com

**NENASHEVA L.V.**<sup>1</sup>,  
Junior Researcher of the Medical Information Technologies Department  
<https://orcid.org/0000-0003-1760-2801>, e-mail: lamen@ukr.net

**KUPMAN L.O.**<sup>2</sup>,  
student, Faculty of Biomedical Engineering,  
e-mail: linakumpansn@gmail.com

**DVORNITSKA D.O.**<sup>2</sup>,  
Student, Faculty of Biomedical Engineering,  
e-mail: dvornitska.olena@iit.kpi.ua

<sup>1</sup> International Research and Training Center for Information Technologies  
and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and the Ministry of Education and Science of Ukraine,  
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine  
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»  
37, Peremogy av., Kyiv, 03056, Ukraine

## THE USE OF TELEMEDICINE TECHNOLOGIES TO CREATE A MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR MEDICAL AND SOCIAL CARE

---

**Introduction.** *The use of digital medicine methods is becoming more relevant due to the COVID-19 pandemic, the current martial law in Ukraine, and the lack of medical equipment in some rural areas.*

*The same applies to the provision of medical care to the chronically ill. Such assistance includes, in addition to medical and diagnostic measures, also social measures, such as care for the sick and disabled, provision of food, etc. These measures are united under the term "medical and social assistance".*

**The purpose of the paper** is the application of digital medicine methods, which include telemedicine technologies, in the course of the construction of the Medical Information System (MIS) model for assistance to the chronically ill with the telemedicine module for implementation of appropriate medical services in hospital home conditions.

**Results.** The types and methods of telemedicine technologies were analyzed, the diagram of business processes of the “Telemedicine” module was designed. The modules of the system were described with the specification of their realization, and the technical realization of the MIS for chronic care was carried out. The technical requirements of the “Electronic prescription” module were described, and the diagrams for the tasks that are frequently used in practice were provided.

**Conclusions.** Based on the results of the analysis of capabilities and experience of using modern telemedicine systems, the architecture of medical information system for the medical and social care of patients was developed which covers the doctor and patient modules, united functionally by defined business processes with the performance of specific functions (online interaction between doctor and patient, issuing an electronic prescription etc.).

The use of the proposed MIS which is made using a modern REST API platform for downloading files directly from clients, and an application implemented on the basis of the Waterfall method and the Python programming language, ensures the organization of the interaction of the medical staff with patients, in particular, the implementation of remote consultation and the provision of electronic prescriptions on based on entries in the patient's electronic card.

**Keywords:** medical and social assistance, telemedicine technologies, medical information systems.

## INTRODUCTION

During the COVID-19 pandemic, people who needed constant check-ups with doctors and visits to medical facilities were at risk of getting the coronavirus infection. This could have occurred in a live queue at a health care facility, either through contact with any surfaces or due to the actions of others who neglect to wear medical masks or are the carriers of the infection in the incubation period.

It should also be noted regarding the elderly category or people with disabilities, for whom visiting health facilities in person can be very difficult, or even lead to worsening of health due to excessive physical activity. In rural areas, there is an insufficient number or remoteness of healthcare facilities and an insufficient amount of medical equipment.

For now, there is already some experience in the use of telemedicine technologies in so-called home medicine [1]. The same applies to patient consultations when their implementation requires the direct participation of patients and consultants, and certain resources.

The development of telemedicine has been given a great attention in the majority of developed countries. This may be due to the effectiveness of telemedicine in facilitating quick access to specialists, diagnostics, and treatment and preventing injuries and diseases [2, 3]. The use of telemedicine has also been useful during COVID-19 [4]. Telemedicine has played an important role in the fight against massive epidemic outbreaks [5]. Different countries around the world are using telemedicine as an effective way to test, and remotely monitor patients with mild symptoms of COVID-19, tracing contacts and triaging symptoms. Telemedicine technology has been effective in fighting the Ebola virus in some areas of Africa.



Although the above studies have shown how various telemedicine applications can support measures to limit the negative impact of COVID-19, there is a serious lack of research on telemedicine that would provide a basis for determining user satisfaction with telemedicine services. We believe there is little research on the use of telemedicine to provide medical services to patients with chronic diseases. There are also many barriers such as geographical access, affordability, accessibility, and acceptability of access to health care in developing countries. These barriers become more problematic for women, children, the elderly, and people with physical disabilities.

To overcome these barriers, the healthcare segment is now using telemedicine solutions to increase the reach of its services. The rapid development of information technology, particularly web technologies, has opened up new opportunities to provide better healthcare to society. Telemedicine is gradually becoming a viable policy option for governments in developing countries.

The World Health Organization (WHO) defines telemedicine as: “The provision of health care services, where distance is a critical factor, by all health care professionals using information and communication technologies to exchange valid information for diagnosis and treatment, prevention of diseases and injuries, research and evaluation, and for the continuing education of health care providers, all in the name of improving the health of individuals and their communities” [6].

## **PROBLEM STATEMENT**

In the modern world, there is a rapid development of Internet technologies, affecting many areas of modern human life. The development of technology allows establishing connection of healthcare institutions and facilities with any state-level institution, thus freeing people from queues, and paperwork and saving their time. Currently, numerous multipurpose platforms and services have been created in the world, that allow society to exchange knowledge, skills, experience, etc. Therefore, information technologies can also be applied in the medical sphere to provide medical care remotely through telemedicine to people who, for various reasons, do not have the physical ability to visit a medical facility, but only remotely via telemedicine methods.

Studies have shown that primary health care physicians described telemedicine as a more flexible, patient-centered way to provide care. The benefits of using telemedicine to treat older patients included reducing delayed care and increasing on-time care, increasing physicians' efficiency, improving communication with caregivers and patients, reducing the patients' travel burden, and allowing more patients to be treated [7]. Issues included unequal access for rural, elderly, or cognitively impaired patients. Physicians noted that payment parity with in-person visits, along with video and telephone visits, and the easing of restrictive regulations helped to continue the usage of telemedicine.

Besides, during the COVID-19 virus pandemic, it was discovered that existing approaches and technologies for providing prehospital medical care during supercritical facilities loading were ineffective, resulting in a huge load on the devices for artificial ventilation of the lungs (ventilators) and high mortality among the

infected [8]. It was obligatory to develop effective means for the implementation of such medical services, which would help to provide high-quality assistance to patients on time. The analysis showed that it is the application of telemedicine that will provide an opportunity to implement such objectives [9].

Telemedicine means providing remote clinical services through bilateral real-time communication between the patient and the health care provider via electronic audio and visual means [10]. With telemedicine, people can avoid the additional risk of getting sick during the pandemic, the elderly can receive medical care while staying home, and people in rural areas can receive qualified consultations without visiting distant health care facilities. Also, telemedicine gives an advantage not only in the “doctor-patient” direction but also in the “doctor-doctor” direction. The above-mentioned direction allows experienced doctors to share their experience with less experienced ones, as well as the opportunity for doctors to consult with more qualified specialists on the treatment of their patients. The main advantage of telemedicine in today's conditions is the continuation of consultations in doctor-doctor and doctor-patient directions at a distance.

The telemedicine industry and technologies have been developing rapidly for years now, and their benefits are obvious. However, the implementation processes are still not in good state. The adoption of telemedicine was humble so far, especially in Ukraine, as several interrelated barriers have yet to be overcome. While the hospital setting is a stable environment for implementing telemedicine solutions, the adoption of home telemedicine services (TMS) remains a relatively unexplored area. For the elderly population, due to the increase of chronic diseases and other age-related health disorders, TMS is a promising option to improve quality of life, reduce healthcare costs and provide more independent living. This makes older people the main target of efforts to implement TMS. TMS includes three core groups of services: access to the healthcare system at home (access to personal health records); assistive living technologies; and remote patient tracking and chronic disease treatment (vital indicator measurement and online communication) [11].

Telemedicine technologies are gaining great importance in providing medical and social care. Medical and social service is a type of professional practice that assists in the restoration, preservation, and strengthening of health by solving the problems of a patient/client who is in difficult life circumstances. This assistance includes preventive, therapeutic-diagnostic, rehabilitation, prosthetic-orthopedic, and dental care, as well as social measures for the care of the sick, incapacitated, and disabled people including the payment of temporary disability benefits [12]. We consider the digitalization of medical and social care, taking into account the use of information technology in the implementation of medical care for patients with chronic diseases who are being treated in a hospital home conditions.

As it known, telemedicine consultations can be divided into several directions.

1. Telemedicine consultations, both asynchronous and synchronous.
2. Use of telemedicine assistance by doctors of different specialties and for different diseases. For example, in order to disseminate the experience of surgery, it is now possible to use network video cameras to broadcast the surgical procedures with the assistance of a consultant surgeon [13, 14].

3. Mobile telemedicine complexes. Mobile diagnostic telemedicine complexes, usually, consist of computer telecommunication equipment and compact mobile telemedicine devices, which are used to perform full medical consultations and diagnostics [14]. Such complexes are provided to emergency teams, first-aid stations, and rural hospitals, as well as by the teams of the Center for Disaster Medicine, sanitary aviation, and medical units of the Ministry of Emergency Situations. The above-mentioned can effectively help in mountainous terrain, where access logistics to healthcare institutions is complicated because of the geographical location, an example of which is the experience of the Chernivtsi region [15].

Also, mobile complexes can be very useful in conditions of combat operations in Ukraine, with their help paramedics can consult with narrow-profile specialists and under their guidance perform complex operations for the defenders of Ukraine.

4. Remote biomonitoring systems. These can be bio-sensors, which are easily attached to the skin of a person and do not interfere with daily activities, recording ECG signals and blood pressure, which are associated with the smartphone application that records and sends ECG via GPRS to the relevant data processing centers, and if the life is threatened, after analyzing the signal can determine person's coordinates [16].

5. In the conditions of in-home telemedicine, it is the provision of remote assistance to patients after surgery or with chronic diseases at home.

In all the above cases, it is necessary to have the appropriate equipment, for example, a portable electrocardiograph for patients with chronic cardiovascular diseases, and devices that can measure body temperature, blood pressure, and partial pressure of oxygen. All data is sent to the cloud storage integrated with the MIS (medical information system). Consequently, telemedicine technologies optimize and increase the effectiveness of therapeutic and diagnostic measures, which, in turn, improves the quality of medical care [17, 18].

**The purpose** of the study is to apply the methods of digital medicine, which include telemedicine technologies, in the construction of the MIS model for assistance to chronically ill patients with a telemedicine module to provide appropriate medical services in a hospital home conditions.

## **THE MODEL OF A MEDICAL INFORMATION SYSTEM USING TELEMEDICINE METHODS**

The providing of medical and social care to patients with chronic diseases which are in a hospital home setting is associated with a number of difficulties due to their inability to come to a health care facility. The patient should have the means of recording health indicators. The patient should be aware of their use, as well as the ways to communicate with the doctor. The support of patients with these needs is one of the tasks of medical and social care.

At the first stage, the goal was the construction of an MIS model, with the help of digital medicine methods, for medical and social care with a separate module for the chronically ill, using telemedicine technologies.

We suggested a model of medical information system with the implementation of medical and social care for patients at home with chronic diseases in the form of a hardware-software complex with a telemedicine unit.

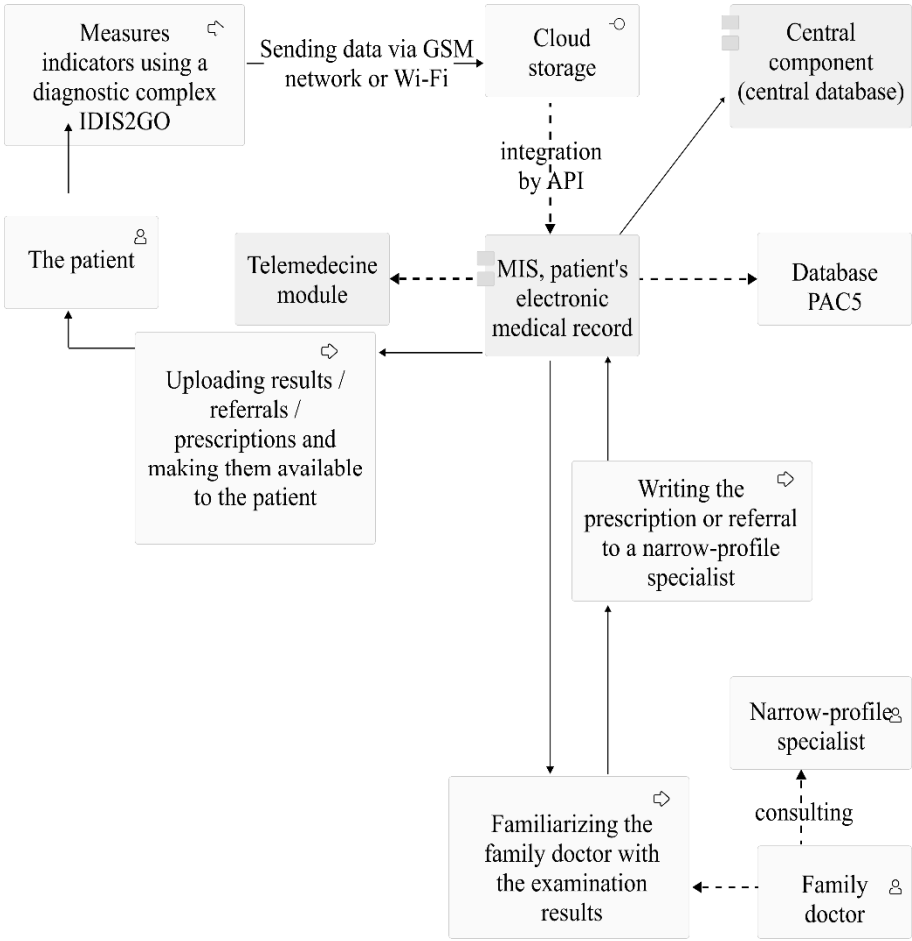
As the hardware in this configuration were used portable ECG devices, a pulse oximeter, a glucometer, and a tonometer. All of them are connected with the software application to collect relevant data and their accumulation in the database, as well as to implement the communication with the doctor.

To display the implementation of the structural and functional diagram of the developed application we have developed the business process model using UML notations (Fig.1).

As can be seen from Figure 1, the business processes implemented in the MIS are as following.

1. The patient, being at home and using mobile diagnostic devices, registers his health indicators, which are sent to the database. The software mobile applications are integrated with the cloud platform, in which the health indicators are stored.

2. From the cloud platform, they are transmitted to the MIS to be stored in the patient's electronic health record.



**Fig. 1.** The structure of business processes of the proposed MIS

3. The electronic medical record can be accessed by the family physician/therapist/pediatrician with the patient's informed consent. Accordingly, he monitors the health indicators of a chronically ill patient, makes an appointment depending on the dynamics of his condition, gives an e-prescription, or, if necessary, form a request for a narrow profile specialist consultation.

4. After request approval (the appointment of the consultant and the time of the consultation), the narrow-profile specialist provides the family physician with a real time telemedicine consultation or only in the form of document analysis.

5. Based on the conclusion above the family physician decides on the treatment of the patient: creates the necessary appointments, writes an electronic prescription, or decides to take the patient to the hospital urgently.

6. The electronic prescription is sent to a certain pharmacy, with the patient being notified.

7. Medical consultant's report is added in the patient's electronic medical record and is legally binding.

Also, worth mentioning the cloud-based Picture Archiving and Communication System (PACS) [19], that stores relevant digital medical images of the patient. This storage allows storing in an electronic patient record not only data obtained through mobile complexes but also from different laboratories with specific equipment.

Cloud storage, which stores the patient's electronic medical record, is a structural unit of the Central Database (CDB) of the Electronic Healthcare System of Ukraine [20]. Therefore, all electronic records and digital medical images are stored in the CDB.

Based on the list of business processes, the essential requirements for MIS are:

- the availability of mobile diagnostic devices, which can include portable electrocardiographs, blood pressure monitors, glucometers etc;

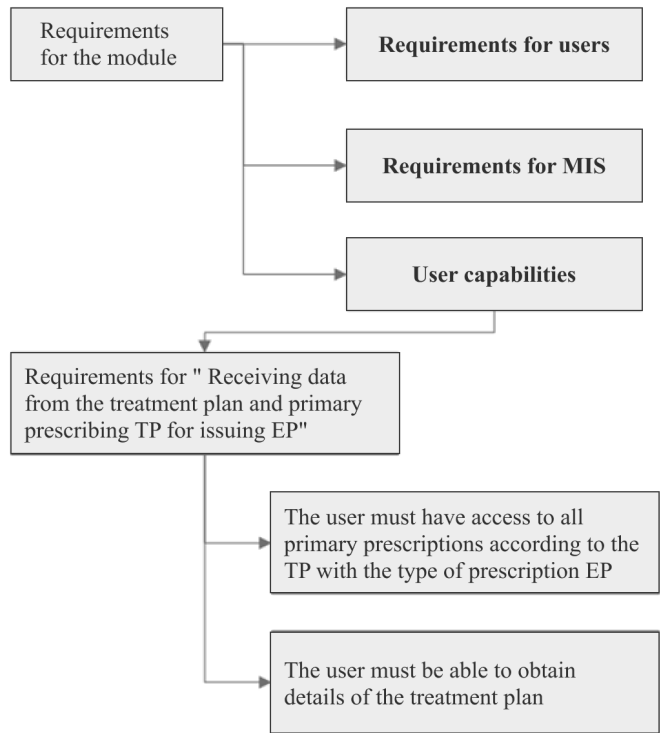
- use of an electronic medical record of the patient with appropriate access rights, which meets all the requirements of e-Health of Ukraine for connection to the Central Database [21];

- system for generating and transmitting electronic prescriptions.

Let us have a closer look at the last requirement. The electronic prescription is formed in accordance with the international standard State Standard of Ukraine ISO 17523: 2019 (ISO 17523:2016, IDT) "Requirements for electronic prescriptions". The most important question regarding e-prescriptions is what information is required to accompany e-prescriptions to ensure that the patient is given exactly the prescribed medicine, along with all relevant information that focuses on correct and safe use. This standard provides a core set of information requirements for supporting electronic prescriptions:

**Patient Identification.** Patient data content must support reliable long-term identification, and provide contact information (e.g., location or phone number). Patients must be able to identify themselves using an identification method that is recognized as legal in Ukraine. The identification information should include contact information to enable the routing of the patient in the case of an emergency.

**Identification information of the healthcare professional who issues the prescription.** The prescriber must be a health care professional, i.e., a person who is involved or associated with providing health care services to or caring for, the object of care (ISO/TS 27527).



**Fig. 2.** Structure of the requirements for connecting the “Electronic Prescription” module of the EHCS

Identification of the prescribed medicine. The information provided in the electronic prescription should result in the pharmacist being able to reliably identify the prescribed medicine (or medical device). Preferably (recommended in the case of a medicinal product), the information be retrieved from a glossary of medicines. If this is not available, or if the product is other than the prescribed medicine, the pharmacist should be able to obtain enough information from the electronic prescription to dispense the appropriate product.

The requirements for the connection of the electronic prescription are important. The requirements for connecting the E-Prescription module according to the Electronic Health Care System (EHCS) are following (Fig. 2).

1. Requirements for the ability to issue an Electronic Prescription (EP). E-prescription is issued in a healthcare institution that provides medical care.
2. The subject of issuing an Electronic Prescription (EP). EP can be written out by: A user with the role “DOCTOR” chosen by the patient as his doctor for the provision of First Aid, as evidenced by the valid declaration on the choice of a FA doctor; a user with the role “SPECIALIST” who has the appropriate rights to create an EP depending on the settings of the reimbursement program. In order to issue a prescription, the doctor issuing the prescription must be registered and authorized in the eZdorovya system. Also, a valid declaration must be signed between the doctor and the patient.

3. Necessary steps for prescribing EP. The MIS must indicate the identifiers of the patient and the doctor in accordance with the signed contract; the possibility to indicate only the identifier of the interaction created by the current user; Date of EP creation (“created\_at” parameter) cannot exceed date of interaction (“date” parameter) for more than 7 days.

4. Requirements for receipt. The user must be able to write out an EP using the following options: Determination of the identified patient (“person\_id” parameter); when writing out an EP under the reimbursement program (the value is present in the “medical\_program\_id” parameter), determine, within which interaction (created by him) of the user with the patient is prescribed EP, i.e. in specify the interaction identifier in the “context” parameter (“encounter\_id” parameter); obligatorily choose the reimbursement program according to which the EP will be issued; the creation of an application for EP and creation of EP; if EP is prescribed on the basis of a treatment plan, then the requirements “Receiving data from the treatment plan and the initial appointment of the treatment plan for prescribing EP” must be followed:

a) regarding the data on primary designations:

- reasons for assignment (parameter “detail.reason\_code”);
- extended description (“detail.description” parameter);
- justification of reasons (“detail.reason\_reference” parameter);
- expected result (“detail.goal” parameter);
- explanation of the status (“detail.status\_reason” parameter);
- the result of recognition (“outcome\_Codeable\_Concept” parameter) if available;
- link to the appointment execution record (“outcome\_Reference” parameter) — if available;

b) regarding the treatment plan:

- status (“status” parameter);
- category to be defined from the "eHealth/care\_plan\_categories" category directory (“category” parameter);
- name (“title” parameter);
- coverage period (“period” parameter);
- link to the interaction (“encounter” parameter);
- link to supporting info (“supporting\_info” parameter array);
- medical condition (“address” parameter);
- extended description (“description” parameter);
- the reason for changing the status (“status\_Reasons” parameter) — if available;
- notes (“note” parameter) — if available.

The user must be able to choose what is necessary to create an EP appointment with appointment type EP ("Medication Request") according to the treatment plan and go to the forming an application for EP step, in case the treatment and appointment plan is active according to the specified validity periods. The user in the MIS should not be able to issue an EP according to the appointment if the treatment plan has such status “Terminated”, “Cancelled”, “Completed” and/or primary assignments have “Cancelled” / “Completed” status. Information that is entered into the Register of Medical Records in reference to the electronic prescription includes:

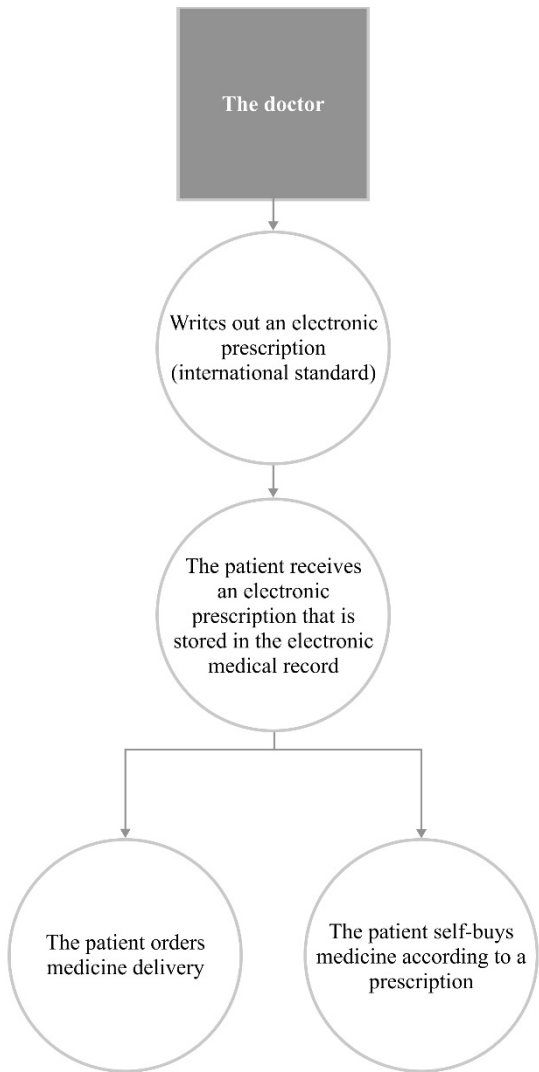
- records of prescriptions;
- medical records on prescription redemption.

The array of all patient records in the Register constitutes the patient's electronic medical record. Data shall be entered into the Register and viewed through the electronic cabinet in accordance with the rights of access to the system defined by this Order or the regulations governing the functioning of the electronic healthcare system.

In this MIS with a module designed to record health indicators of patients with chronic diseases, an electronic prescription is a very important component, since patients with certain chronic diseases constantly need the appropriate medicine.

The electronic prescription must contain a healthcare specialist identifier (HCPI), a digital signature of the physician, the prescription identifier (according to the international standard ISO/TS 16791), and the dosage as the active substance content of the medication (according to Directive 2001/83, Article 1).

These steps are performed according to the following procedures (Fig. 3).



**Fig. 3.** Diagram of proceedings — issuing an electronic prescription



## **TECHNICAL REALIZATION OF THE MIS MODEL FOR MEDICAL AND SOCIAL ASSISTANCE**

Since the proposed system includes features useful in providing medico-social care, it can become an integral part of e-Health. Consequently, it will have access to the database of physicians throughout Ukraine, and it will significantly simplify the implementation of this system.

The proposed MIS has the following basic modules.

*A physician module* supports communication between the physician and the patient and provides the opportunity to work with an electronic medical document. This module is implemented in the form of a mobile application, and is linked to the cloud storage, which means the CDB.

*A patient module* allows the patient to transmit his/her measured functional indicators of health to the doctor and receive relevant recommendations from the physician. In this case, the function of remote consultation is also performed. This module is implemented in the form of a mobile application that is linked to the cloud storage – CDB.

*An electronic prescription module* helps doctor form the appropriate document and connect the patient with the pharmacy.

**Technical characteristics of MIS.** All the data used in the application is stored in the Trembita Public Cloud environment. The application uses REST API to upload files directly from clients. The application is implemented based on the Waterfall method. The main advantages of this method are clear requirements and timelines, which are documented from the beginning of the operation.

The programming language is Python. One of the advantages of Python is the possibility of using applications several times. For convenient and quick development of the project, the code editor Visual Studio Code was chosen, considering its convenient interface, numerous extensions, links to the use of different programming languages, and built-in debugger for errors search.

The system provides the exchange of text messages between the doctor and patient modules, the patient can make appointments, receive doctor's orders and electronic prescriptions, recommendations, and referrals to a narrow-profile specialists, as well as sending their own data for remote monitoring [22]. The Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) standard is used to implement such tasks [23]. It implements the principles of interoperability, which can be described as following.

Interoperability can be generally defined as “the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged” [24]. Most definitions further distinguish between different components, levels, or layers of interoperability [25]. While these components may vary slightly across definitions, they typically distinguish between lower-level technical components and higher-level organizational components.

Technical compatibility provides the basic capabilities of data exchange between systems (for example, transferring data from a USB drive to a computer). This requires communication channels and data transfer protocols. With modern digital networks and communication protocols, achieving technical interoperability is usually relatively simple. However, transferring data from A to B is not enough. In this case, technical compatibility for effective interoperability is achieved through the interaction of mobile devices with cloud storage. Syntax compatibility defines the format and the structure of the data (for example, in an XML document). Structured medical data

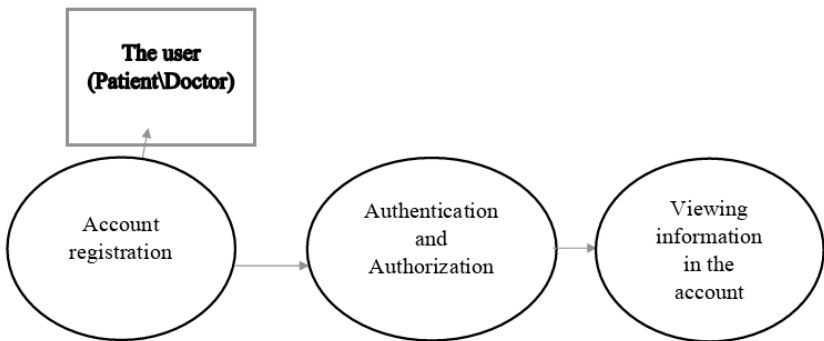
exchange is supported by international standards' development organizations ISO, as well as Health Level Seven International (HL7) or Integrating the Healthcare Enterprise (IHE), which define healthcare IT standards and their use in systems. A new standard for health data transfer is HL7's Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR), which defines about 140 common healthcare concepts, referred to as resources, that can be accessed and exchanged using modern web technologies [26].

While standards such as FHIR have already defined the basic semantics of medical data, semantic interoperability is really the field of medical terminologies, nomenclatures, and ontologies. They guarantee that the meaning of medical concepts can be shared between systems, thus providing a digital common language for medical terms that is ideally clear to both humans and machines all over the world.

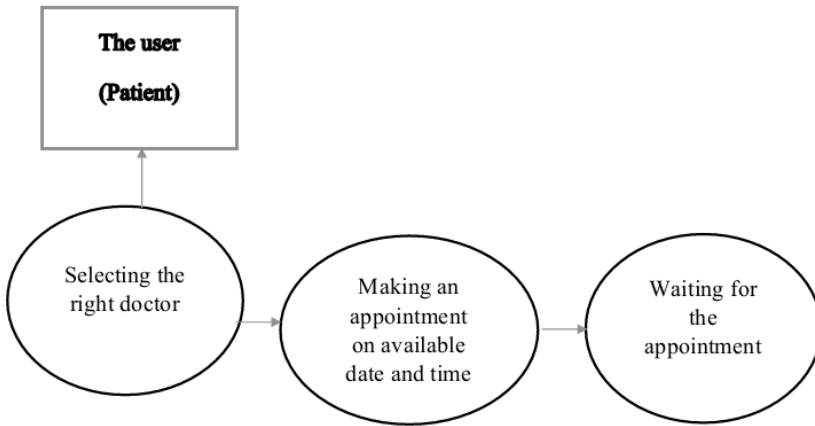
At the highest level, compatibility also involves organizations, legislation, and policies. Data exchange between health IT systems is not a goal itself but ultimately should help healthcare professionals work more efficiently and improve patients' health [27–29]. This requires common business processes and workflows that ensure the smooth provision of healthcare within institutions [30]. The implementation of this principle in the MIS is ensured by the organization of interaction between the medical staff and patients, which is regulated by the relevant documents of the Ministry of Health of Ukraine.

One of the functions of the developed MIS is to provide remote consultation. Before the consultation, the patient must first measure basic indicators — ECG, blood pressure, blood glucose etc. The patient enters all these data into a separate journal in the account, which can also be viewed by the doctor. All admission data, pre-recorded indicators, and the results of the medical tests are stored in the electronic patient record. PACS24 cloud service is also used for long-term storage and archiving of DICOM format images [31]. To access your own account, you need to register in the system and authenticate with a message on your phone number or document number. Authentication and authorization are implemented with the help of the Python library — Authlib. Electronic prescriptions are always available in the account for the patient to use at any time.

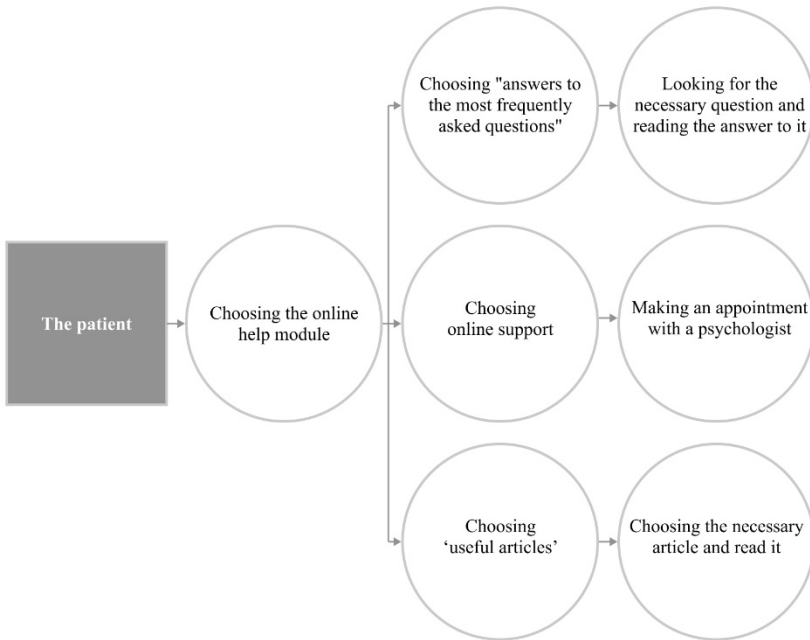
If the system has an automated registration system, the patient can automatically make an appointment with the doctor if there is vacant appointment time in schedule. The automated registration is implemented in the Python programming language with the help of either the Priority queue library or Appointment management system. The precedence diagram is shown in Figure 4.



**Fig. 4.** Diagram of procedures — authentication and authorization



**Fig. 5.** Diagram of online appointment precedents



**Fig. 6.** Diagram of online support module usage precedents

Doctors in the EHCS also have their own accounts according to the registry of medical professionals. The doctor's account displays the number of people who make an appointment with the doctor and, accordingly, the schedule of appointments. The doctor can make adjustments, for example, cancel a patient's appointment if the doctor can't meet the patient. Also, the doctor can view the electronic cards of patients who have been to the appointment or have already made it (Fig.5).

A separate online support and assistance module provides answers to the most common questions related to both illnesses and the use of the program (Fig.6).

Consequently, using the above system with the telemedicine application provides services to the patient who is in a home hospital setting in the form of organizing interaction with the doctor and consultant in order to improve the effectiveness of medical and social care.

## CONCLUSIONS

Based on the results of the analysis of the possibilities and experience of using modern telemedicine systems, the architecture of medical information system for medical and social care to patients, which covers doctor and patient modules, functionally united by specific business processes performing specific functions (online interaction between doctor and patient, giving electronic prescriptions etc.) has been developed.

The implementation of the proposed MIS is made using the modern platform REST API for downloading files directly from clients, an application implemented on the basis of the Waterfall method and Python programming language ensures the organization of interaction between the medical staff and patients, in particular the implementation of remote consultation and the provision of electronic prescriptions based on records in the patient's electronic record.

## REFERENCES

1. Vitacca M., Scalvini S., Spanevello A., Balbi B. Telemedicine and home care: controversies and opportunities. *Breathe*. 2006. V. 3, no 2, pp.149–158.
2. Wootton R, Bonnardot L. Telemedicine in low-resource settings. *Front Public Health*. 2015;3:3.
3. Gutierrez M, Moreno R, Rebelo M. Information and communication technologies and global health challenges. *Global Health Informatics*. 2017, pp.50–93;
4. Smith AC, et al. Telehealth for global emergencies: Implications for coronavirus disease 2019 (COVID-19). *J Telemed Telecare*. 2020; 26(5):309–13.
5. Ohannessian R. Telemedicine: potential applications in epidemic situations. *European Research in Telemedicine*. 2015;4(3):95–8.
6. World Health Organization. Telemedicine: Opportunities and developments in member states: Report on the second Global survey on eHealth [Internet]. 2010. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 93 p. (Global Observatory for eHealth Series). Available at: [http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010).
7. Goldberg E.M., Lin M.P., Burke L.G., Jiménez F.N., Davoodi N.M., Merchant R.C. Perspectives on Telehealth for older adults during the COVID-19 pandemic using the quadruple aim: interviews with 48 physicians. *BMC Geriatrics*. 2022. V. 22, 188.
8. How Telemedicine is Affecting Home Health Care. Available at: <https://www.theseniorlist.com/blog/how-telemedicine-is-affecting-home-health-care/>
9. Ikram U., Gallani S., Figueroa J.F., Feeley Th.W. 4 Strategies to Make Telehealth Work for Elderly Patients. Available at: <https://hbr.org/2020/11/4-strategies-to-make-telehealth-work-for-elderly-patients>.
10. Weiquan Wang, Li Sun, Tao Liu, Tian Lai. The use of E-health during the COVID-19 pandemic: a case study in China's Hubei province. Available at: <https://doi.org/10.1080/14461242.2021.1941184>
11. Cimperman M., Makovec Brenčič M., Trkman P. Analyzing older users' home telehealth services acceptance behavior. *International Journal of Medical Informatics*, March 2016, 90:22-31. DOI:10.1016/j.ijmedinf.2016.03.002
12. Danko D. V., Povidaichyk O. S. Medical and social work with different categories of clients. *Scientific bulletin of the Uzhgorod National University*. 2009. Iss. 33, pp.51–54
13. Thomas L. What is Telemedicine? Available at: <https://www.news-medical.net/health/What-is-Telemedicine.aspx>

14. Aliouche H. What is Remote Surgery/Telesurgery? Available at: <https://www.news-medical.net/health/What-is-Remote-SurgeryTelesurgery.aspx>
15. Telemedicine was implemented in cardiology at the Center for Emergency Medical Care Available at: <https://bukoda.gov.ua/news/u-centri-ekstrenoyi-medichnoyi-dopomogi-vprovadili-telemedicinu-u-kardiologiyi> (in Ukrainian)
16. Organization of medical and social assistance. Available at: [https://stud.com.ua/27525/meditsina/organizatsiya\\_mediko\\_sotsialnoyi\\_dopomogi](https://stud.com.ua/27525/meditsina/organizatsiya_mediko_sotsialnoyi_dopomogi) (in Ukrainian)
17. Yang Xiao, Hui Chen Mobile Telemedicine: A Computing and Networking Perspective.- Available at: <https://www.routledge.com/Mobile-Telemedicine-A-Computing-and-Networking-Perspective/Xiao-Chen/p/book/9781420060461>
18. 5 Most Important Ways Telehealth Helps Home Care Patients. Available at: <https://www.chaptershealth.org/chapters-of-life-blog/patients/home-care-and-telehealth-the-five-most-important-benefits-to-patients/>
19. Romanyuk O.A., Kovalenko A.S., Kozak L.M. Information support for interaction of instrumental research systems and long-term storage of digital medical images in health care institutions. *Kibernetika i vyčislitel' naâ tehnika*. 2016, no. 184, pp. 56–71. (in Russian)
20. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 25, 2018 No. 411 "Some issues of the electronic health care system". Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-2018-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
21. Order of the Ministry of Health of Ukraine dated February 28, 2020 No. 587 "Some issues of maintaining the Register of medical records, referral records and prescriptions in the electronic health care system". Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0237-20#Text> (in Ukrainian)
22. Kovalenko A.S., Kozak L.M., Romanyuk O.A. Information technologies of digital medicine. *Kibernetika i vyčislitel' naâ tehnika*. 2017, no. 1(187). pp.67–79. (in Russian)
23. Kovalenko O.S., Mishchenko R.F., Kozak L.M. Transformation of Clinical Decision Support Systems into FHIR Structures to Ensure Quality of Medical Care. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2019. 4(198), pp. 78–94.
24. Benson, T. & Grieve, G. *Principles of Health Interoperability: SNOMED CT, HL7 and FHIR*. London: Springer-Verlag, 2016.
25. Oemig, F., Snelick, R. *Healthcare Interoperability Standards Compliance Handbook: Conformance and Testing of Healthcare Data Exchange Standards*. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
26. Bender, D. & Sartipi, K. HL7 FHIR: an Agile and RESTful approach to healthcare information exchange. in *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems* p. 326–331 (2013) Available at: <https://doi.org/10.1109/CBMS.2013.6627810>. (last accessed 04.04. 2022).
27. Offit K. Personalized medicine: New genomics, old lessons. *Hum Genet*. 2011;130:3–14. doi: 10.1007/s00439-011-1028-3.
28. Health information exchange. Available at: <https://www.healthit.gov/topic/health-it-and-health-information-exchange-basics/health-information-exchange> (last accessed 10.04.2022).
29. Health information exchange definition — Defined by experts. Available at: <https://www.pdnseek.com/health-information-exchange-definition-defined-by-experts/> (last accessed September 04.05. 2022).
30. Detailed clinical model. Available at: [www.detailedclinicalmodels.nl/dcm-en](http://www.detailedclinicalmodels.nl/dcm-en) (last accessed 14.09. 2012)
31. Prime PACS. Available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rosenfield.PrimePACS&hl=uk&gl=US> (last accessed 14.05. 2022).

Received 16.05.2022

#### JIITEPATYPA

1. Vitacca M., Scalvini S., Spanevello A., Balbi B. Telemedicine and home care: controversies and opportunities. *Breathe*. 2006. V. 3, no 2, pp.149–158.
2. Wootton R, Bonnardot L. Telemedicine in low-resource settings. *Front Public Health*. 2015;3:3.

3. Gutierrez M, Moreno R, Rebelo M. Information and communication technologies and global health challenges. *Global Health Informatics*. 2017, pp.50–93;
4. Smith AC, et al. Telehealth for global emergencies: Implications for coronavirus disease 2019 (COVID-19). *J Telemed Telecare*. 2020; 26(5):309–13.
5. Ohannessian R. Telemedicine: potential applications in epidemic situations. *European Research in Telemedicine*. 2015;4(3):95–8.
6. World Health Organization. Telemedicine: Opportunities and developments in member states: Report on the second Global survey on eHealth [Internet]. 2010. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 93 p. (Global Observatory for eHealth Series). Режим доступу: [http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010) (Дата звернення: 12.05.2021)
7. Goldberg E.M., Lin M.P., Burke L.G., Jiménez F.N., Davoodi N.M., Merchant R.C. Perspectives on Telehealth for older adults during the COVID-19 pandemic using the quadruple aim: interviews with 48 physicians. *BMC Geriatrics*. 2022. V. 22, 188.
8. How Telemedicine is Affecting Home Health Care. Available at: <https://www.theseniorlist.com/blog/how-telemedicine-is-affecting-home-health-care/> (Дата звернення: 11.04.2022)
9. Ikram U., Gallani S., Figueroa J.F., Feeley Th.W. 4 Strategies to Make Telehealth Work for Elderly Patients. Режим доступу: <https://hbr.org/2020/11/4-strategies-to-make-telehealth-work-for-elderly-patients>. (Дата звернення: 11.04.2022)
10. Weiquan Wang, Li Sun, Tao Liu, Tian Lai. The use of E-health during the COVID-19 pandemic: a case study in China's Hubei province. Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/14461242.2021.1941184>
11. Cimperman M., Makovec Brenčič M., Trkman P. Analyzing older users' home telehealth services acceptance behavior. *International Journal of Medical Informatics*, March 2016, 90:22-31. DOI:10.1016/j.ijmedinf.2016.03.002
12. Danko D. V., Povidachyk O. S. Medical and social work with different categories of clients. Scientific bulletin of the Uzhgorod National University. 2009. Iss. 33, pp.51–54
13. Thomas L. What is Telemedicine? Режим доступу: <https://www.news-medical.net/health/What-is-Telemedicine.aspx> (Дата звернення: 01.04.2022)
14. Aliouche H. What is Remote Surgery/Telesurgery? Режим доступу: <https://www.news-medical.net/health/What-is-Remote-SurgeryTelesurgery.aspx> (Дата звернення: 12.01.2022)
15. Організація медико-соціальної допомоги. Режим доступу: [https://stud.com.ua/27525/meditsina/organizatsiya\\_mediko\\_sotsialnoyi\\_dopomogi](https://stud.com.ua/27525/meditsina/organizatsiya_mediko_sotsialnoyi_dopomogi) (Дата звернення: 18.04.2022).
16. У Центрі екстреної медичної допомоги впровадили телемедицину у кардіології. Режим доступу: <https://bukoda.gov.ua/news/u-centri-ekstrenoyi-medichnoyi-dopomogi-vprovadili-telemedicinu-u-kardiologiyi> (Дата звернення: 18.04.22)
17. Yang Xiao, Hui Chen Mobile Telemedicine: A Computing and Networking Perspective.- Режим доступу: <https://www.routledge.com/Mobile-Telemedicine-A-Computing-and-Networking-Perspective/Xiao-Chen/p/book/9781420060461> (Дата звернення: 01.02.2022)
18. 5 Most Important Ways Telehealth Helps Home Care Patients. Режим доступу: <https://www.chaptershealth.org/chapters-of-life-blog/patients/home-care-and-telehealth-the-five-most-important-benefits-to-patients/>
19. Романюк О.А., Коваленко А.С., Козак Л.М. Информационное обеспечение взаимодействия систем инструментального исследования и системы длительного хранения цифровых медицинских изображений в учреждениях здравоохранения. *Киб. и выч. техн.* .2016, № 2(184). С. 56–71.
20. Постанова КМ України від 25 квітня 2018 р. № 411 «Деякі питання електронної системи охорони здоров'я». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-2018-%D0%BF#Text> (Дата звернення: 01.06.21).
21. Наказ МОЗ України від 28.02.2020 № 587 «Деякі питання ведення Реєстру медичних записів, записів про направлення та рецептів в електронній системі охорони здоров'я». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0237-20#Text>. (Дата звернення: 15.10.2021)

22. Коваленко А.С., Козак Л.М., Романюк О.А. Информационные технологии цифровой медицины. *Куб. и выч. техн.* 2017, №1(187). С.67–79.
23. Kovalenko O.S., Mishchenko R.F., Kozak L.M. Transformation of Clinical Decision Support Systems into FHIR Structures to Ensure Quality of Medical Care. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2019. 4(198), pp. 78–94.
24. Benson, T. & Grieve, G. *Principles of Health Interoperability: SNOMED CT, HL7 and FHIR*. London: Springer-Verlag, 2016.
25. Oemig, F., Snelick, R. *Healthcare Interoperability Standards Compliance Handbook: Conformance and Testing of Healthcare Data Exchange Standards*. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
26. Bender, D., Sartipi, K. HL7 FHIR: an Agile and RESTful approach to healthcare information exchange. in *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems* p. 326–331 (2013) Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/CBMS.2013.6627810>. (Дата звернення: 04.04. 2022).
27. Offit K. Personalized medicine: New genomics, old lessons. *Hum Genet.* 2011;130:3–14. doi: 10.1007/s00439-011-1028-3.
28. Health information exchange. Режим доступа: <https://www.healthit.gov/topic/health-it-and-health-information-exchange-basics/health-information-exchange> (Дата звернення: 10.04.2022).
29. Health information exchange definition — Defined by experts. Режим доступа: <https://www.pdnseek.com/health-information-exchange-definition-defined-by-experts/> (Дата звернення: September 04.05. 2022).
30. Detailed clinical model. Режим доступа: [www.detailedclinicalmodels.nl/dcm-en](http://www.detailedclinicalmodels.nl/dcm-en) (Дата звернення: 14.09. 2012)
31. Prime PACS. Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rosenfield.PrimePACS&hl=uk&gl=US> (Дата звернення: 14.05. 2022)

Отримано 16.05.2022

Коваленко О.С.<sup>1</sup>, докт.мед.наук, проф.,  
зав. відд. медичних інформаційних технологій,  
<https://orcid.org/0000-0001-6635-0124>, e-mail: askov49@gmail.com  
Аверьянова О.А.<sup>2</sup>,  
Стар. викладач, фак-т біомедичної інженерії,  
<https://orcid.org/0000-0002-4536-2174>, e-mail: olgaaveryanova@ukr.net  
Маресова Т.А.<sup>1</sup>,  
мол.наук.співр. від. медичних інформаційних технологій  
<https://orcid.org/0000-0002-4210-7426>, [tamaresova@gmail.com](mailto:tamaresova@gmail.com)  
Ненашева Л.В.<sup>1</sup>,  
мол.наук.співр. від. медичних інформаційних технологій  
<https://orcid.org/0000-0003-1760-2801>, e-mail: [larnen@ukr.net](mailto:larnen@ukr.net)  
Кумпан Л.О.<sup>2</sup>,  
студентка, фак-т біомедичної інженерії,  
e-mail: [linakumpansn@gmail.com](mailto:linakumpansn@gmail.com)  
Дворницька Д.О.<sup>2</sup>,  
студентка, фак-т біомедичної інженерії,  
e-mail: [dvornitska.olena@lil.kpi.ua](mailto:dvornitska.olena@lil.kpi.ua)  
<sup>1</sup> Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних  
технологій та систем НАН України та МОН України,  
40, пр. Акад. Глушкова, Київ, 03187, Україна  
<sup>2</sup> Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
37, Перемоги, м. Київ, 03056, Україна

## МЕТОДИ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МЕДИКО-СОЦІАЛЬНОЇ ДОПОМОГИ

**Вступ.** Використання методів цифрової медицини набуває все більшої актуальності у зв'язку з пандемією COVID-19, воєнним станом на території України, недостатньою медичною обладнанням в деяких сільських місцевостях.

Це ж стосується і надання медичної допомоги хронічним хворим. Така допомога включає, крім лікувально-діагностичних заходів, заходи соціального напрямку, до яких належать догляд за хворими та непрацездатними, постачання продуктів харчування тощо. Ці заходи об'єднано під назвою «медико-соціальна допомога».

**Метою** роботи є застосування методів цифрової медицини, до яких належать і телемедичні технології, під час побудови моделі медичної інформаційної системи (МІС) для допомоги хронічним хворим з телемедичним модулем для здійснення відповідних медичних послуг в умовах стаціонару на дому.

**Результати.** Проаналізовано види та методи телемедичних технологій, спроектовано діаграму бізнес-процесів програмного модулю «Телемедицина», описано модулі системи із зазначенням технічних характеристик їх реалізації, здійснено технічну реалізацію МІС для допомоги хронічним хворим, описано технічні вимоги до модулю «Електронний рецепт», надано діаграми прецедентів МІС для завдань, які найчастіше використовують лікарі у практичній діяльності.

**Висновки.** За результатами аналізу можливостей та досвіду використання сучасних телемедичних систем розроблено архітектуру медичної інформаційної системи для надання медично-соціальної допомоги пацієнтам, яка охоплює модулі лікаря і пацієнта, функційно об'єднані визначеними бізнес-процесами з виконанням конкретних функцій on-line взаємодії лікаря та пацієнта, виписування електронного рецепта тощо. Використання запропонованої МІС, яка виконана за застосування сучасної платформи REST API для завантаження файлів безпосередньо від клієнтів та застосунку, реалізованого на основі методу Waterfal, та мови програмування Python, забезпечує організацію взаємодії лікарського складу з пацієнтами, зокрема здійснення дистанційного консультування та надання електронних рецептів на основі записів у електронній картці пацієнта.

**Ключові слова:** медико-соціальна допомога, телемедичні технології, медичні інформаційні системи, електронні рецепти.



---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt208.03.063>

CC BY-NC

**КІФОРЕНКО С.І.**, докт.біол.наук, старш.наук.співр.,  
пров. наук. співроб. відд. математичних і технічних  
методів у біології та медицині  
<https://orcid.org/00000000-0001-2345-6789>, e-mail: [skifor@ukr.net](mailto:skifor@ukr.net)

**БЄЛОВ В.М.**, докт.мед.наук, проф.  
зав. відд. математичних і технічних методів у біології та медицині  
<https://orcid.org/0000-80120001-9717>, e-mail: [motj@ukr.net](mailto:motj@ukr.net)

**ГОНТАР Т.М.**, канд.біол.наук, старш. наук.співр.,  
старш. наук. співр. відд. математичних і технічних  
методів у біології та медицині  
<https://orcid.org/0000-0002-9239-0709>, e-mail: [gtm\\_kiev@ukr.net](mailto:gtm_kiev@ukr.net)

**КОЗЛОВСЬКА В.О.**,  
наук. співр. відд. математичних і технічних  
методів у біології та медицині  
<https://orcid.org/0000-0001-5898-1639>, e-mail: [vittoria13apr@gmail.com](mailto:vittoria13apr@gmail.com)

**ОБЕЛЕЦЬ Т.А.**, аспірант,  
мол. наук. співр. відд. математичних і технічних  
методів у біології та медицині  
<https://orcid.org/0000-0002-9425-1470>, e-mail: [obel.tet@gmail.com](mailto:obel.tet@gmail.com)  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних  
технологій та систем НАН України і МОН України,  
40, пр. Академіка Глушкова, м. Київ, 03187, Україна

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ НОРМОМЕТРИЧНОГО ШКАЛЮВАННЯ ДЛЯ БАГАТОВИМІРНОГО ОЦІНЮВАННЯ РЕЗЕРВІВ ЗДОРОВ'Я**

---

**Вступ.** Одним з напрямів сучасних досліджень в галузі цифрової медицини є розроблення методологічної бази оцінювання, підтримки і керування персональним здоров'ям людини. Використання методології системного підходу для розв'язання біомедичних проблем є базисним для раціональної організації наукових досліджень на етапах діагностики, прогнозування і корегування стану здоров'я індивідуума та популяційних груп.

Наукове дослідження, яке спрямовано на розроблення інформаційної технології оцінювання резервів персонального здоров'я практично здорової людини на основі показників фізичного та психосоціального статусів, є актуальним і орієнтовано для використання на етапах донозологічної діагностики.

**Мета** статті — показати доцільність використання методів нормометричного шкалювання для кількісного оцінювання здоров'я організму і його резервних можли-

востей для донозологічної діагностики і активації адаптації в мінливих умовах зовнішнього середовища.

**Результати.** Розроблено алгоритм обчислення нормо-індексу різноякісних показників здоров'я за використання нормометричного шкалювання для багатовимірної оцінювання резервів здоров'я.

Розроблено інформаційне забезпечення алгоритмів розрахунку діапазону нормо-індексу для натурних і евристичних показників фізичного і психосоціального статусів здоров'я для потреб цифрової медицини.

Розроблено модулі програмно-алгоритмічного комплексу «Здоров'я-Резерв» для багатовимірної кількісної оцінювання резервних можливостей організму і особистості людини на основі системи шкал нормо-індексу для інформаційних мобільних технологій.

**Висновки.** Алгоритм розрахунку діапазону нормо-індексу для натурних і евристичних показників фізичного і психосоціального статусів здоров'я дає можливість збільшити роздільну здатність референтної зони показників, які враховуються в оцінюванні здоров'я людини.

Розроблення комп'ютерних модулів багатовимірної кількісної оцінювання здоров'я організму та особистості людини на основі шкал нормо-індексу дає змогу автоматизувати і оперативно проводити збирання даних за результатами обстежень, аналізувати динаміку діагностованих станів і може бути ефективним інструментом для скринінгу і моніторингу здоров'я населення, а реалізація розроблених технологій в мобільних Андройд-застосунках збільшує якість прийняття персональних рішень користувачем за рахунок розширення доступності та підвищення оперативності у забезпеченні необхідною інформацією для організації своєї життєдіяльності.

**Ключові слова:** нормометричне шкалювання, резерви здоров'я, кількісне оцінювання здоров'я, нормо-індекс показників, мобільні застосунки.

## ВСТУП

Сучасне уявлення про здоров'я людини пов'язано з формуванням гармонійної всебічно розвиненої особистості з максимальним розкриттям її потенційних життєвих сил. Здорова людина має здатність адекватно реагувати і адаптуватися за рахунок резервних можливостей організму до постійно мінливих умов біологічного, екологічного і соціального середовища, здатна вдосконалити себе та підтримувати високу особисту дієздатність. Такий стан людини досягається завдяки специфічним функціональним особливостям і складному комплексі регуляторних підсистем нейрогуморального характеру, який забезпечує узгоджену взаємодію багатьох систем організму.

Є близько ста визначень поняття «здоров'я». В преамбулі Статуту Всесвітньої організації охорони здоров'я (1948) говориться, що здоров'я — це не тільки відсутність хвороб або фізичних дефектів, а стан повного фізичного, психічного та соціального благополуччя. Ця дефініція визначає здоров'я в описових, неформалізованих категоріях благополуччя, проте відповідає головним вимогам, що висуваються до дефініцій — слугувати інструментом пізнання, давати можливість використання їх у практичних цілях. Спираючись на це визначення здоров'я і розуміння необхідності удосконалення вивчення цієї актуальної проблеми суспільства, у Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАН та МОН України розроблено відкриту концепцію здоров'я [1]. За цією концепцією здоров'я розглядається як складно організована цілісна структура біологічної, психічної і соціальної природи, підкреслюючи триєдність фізичного, психічного та соціального її статусів. Для вивчення такої структури доцільно використовувати системний підхід. Системний підхід дає

змогу досліджувати об'єкт з позицій структурно-ієрархічної його організації. Основа вивчення категорії здоров'я ґрунтується на ієрархічній багатовимірній структурній організації всіх психофізіологічних підсистем організму, що забезпечують перебування його у здоровому стані. У самому терміні «багатовимірність» міститься уявлення про надійність, збалансованість, координованість, властива багатьом живим організмам.

Здорова людина зазвичай має здатність адекватно реагувати і *адаптуватися* до постійно мінливих умов навколишнього середовища за рахунок *резервних* можливостей її організму. Саме *достатня кількість резервів* забезпечує здатність пристосовуватися, вдосконалювати себе і підтримувати високу особисту дієздатність.

На наявність адаптаційних резервів функціонування людського організму звертали увагу Амосов М.М. [2], Апанасенко Г.Л. [3] та інші. Свого часу М.М. Амосов зазначав, що саме сумою резервних можливостей функціональних систем організму визначається кількість здоров'я, що можна обчислити за допомогою спеціальних резервних коефіцієнтів, які враховують відношення показника максимального споживання кисню за умов навантаження до цього ж показника у стані спокою. Проблематику різних аспектів дослідження і оцінювання адаптаційних механізмів активно досліджують та обговорюють у наукових статтях, монографіях, сайтах в Інтернеті, в яких наведено дані про сучасні підходи до оцінювання функціональних резервів та регуляторно-адаптаційних можливостей організму [4–9].

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Адаптивність — це фундаментальна властивість живої системи, яка базується на понятті гомеостазу. Її можна розглядати як цільову функцію багаторівневої ієрархічної системи керування життєдіяльністю людини, що безпосередньо залежить від кількісної складової резервних можливостей організму [10]. Кількісна оцінка резервів здоров'я необхідна як для аналізу поточного стану здоров'я, так і, у разі необхідності, для своєчасної активації керувальних впливів щодо поповнення таких резервів. Таке оцінювання надає обґрунтування доцільності застосування регульовальних засобів для підтримки фізіологічних процесів в гомеостатичному діапазоні і для раціонального розподілу функціональних можливостей в процесі життєдіяльності.

Кількісне уявлення про резерви базується на оцінюванні здоров'я в цілому і його складових та є необхідним для своєчасного звернення до відповідних спеціалістів за професійною валеологічною, або, за потреби, по медичну допомогу. Проблематика донозологічної діагностики здоров'я та різних його складових (фізичної, психологічної, соціальної), розглядається в роботах ряду дослідників, наприклад [10–14], в яких наведено використання сучасних методів і програмних засобів для оцінювання адаптаційних можливостей організму. Сучасні досягнення з використання інформаційних технологій в біології та медицині дають змогу підвищити ефективність кількісного оцінювання стану здоров'я на донозологічному рівні за рахунок розроблення і використання програмно-алгоритмічних засобів.

**Мета** статті — показати доцільність використання методів нормометричного шкалювання для кількісного оцінювання здоров'я організму і його резер-

вних можливостей для донозологічної діагностики і активації адаптації в мінливих умовах зовнішнього середовища.

## **МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНО-КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РЕЗЕРВІВ ЗДОРОВ'Я**

Для вивчення складних систем різної природи, таких як соціальні, економічні, в тому числі і біологічні, які складаються з великої кількості компонентів, в сучасній науковій практиці широко використовується методологія *системного* аналізу. Основними фундаментальними принципами системності є: *цілісність та ієрархічність* організації складових таких систем [15, 16].

Зазначимо, що використовуючи системний підхід, досліджуваний об'єкт розглядається як цілісна система, водночас береться до уваги різноманіття зв'язків між складовими системи, які разом формують єдиний образ системи. Завдяки виконання ієрархічного структурування та декомпозиції цілісної системи на простіші складові, спрощується застосування практичного інструментарію для досягнення кінцевої мети дослідження.

Здоров'я людини розглядається як складна ієрархічна система, яка має систему зв'язків між складовими. На сьогодні використовують досить широкий набір способів, методів, методик оцінювання здоров'я та окремих його складових, які дають можливість отримати великий спектр якісних і кількісних показників про стан людини. Якісні показники ускладнюють формалізацію прийняття конкретних рішень. Вивчення методів кількісного оцінювання якісних характеристик об'єктів і процесів є предметом дослідження таких наукових дисциплін, як «Теорія вимірювань», «Кваліметрія». Саме кваліметричні методи надають якісним показникам кількісну форму як найзручнішу і точнішу для використання у сучасних системах керування [17, 18].

Підкреслимо, що для оцінювання здоров'я використовують два підходи: *об'єктивний та суб'єктивний*. До *об'єктивних* методів можна віднести лабораторно-інструментальні методики оцінювання фізичного здоров'я, функціональні проби, в яких використовуються реальні вимірювання і основані на них обчислювальні індекси. Перевага об'єктивних підходів є в тому, що виключається прямий вплив досліджуваного, стан здоров'я якого оцінюється, на результат діагностики. Водночас дослідження, які проводять за допомогою інструментально-лабораторних методів, не виключають негативного впливу на результат оцінювання точності виконання вимірів і лабораторних аналізів, що може зумовити похибки в остаточних висновках.

Поряд з об'єктивними оцінками, не менш важливим є використання різних методів *суб'єктивного* оцінювання, які базуються на самоспостереженні та самоконтролі. Розповсюдженим засобом суб'єктивного оцінювання є використання тест-опитувальників, за допомогою яких реалізується кваліметричне перетворення якісних характеристик у кількісні оцінки в балах, які використовують в діагностичних процедурах [19]. Як у разі об'єктивного, так і у суб'єктивному оцінюванні здоров'я виникає проблема *багатовимірності*.

Багатопланове кількісне оцінювання стану здоров'я потребує використання таких методів, як кластерний, факторний аналіз, а також методів багатовимірного шкалювання [20, 21]. В наших дослідженнях технологію багатовимірного оцінювання стану здоров'я і його складників, з усіма внутрішніми структурними вкладеннями, подано ієрархічною системою шкал, які визначають парамет-

ри відібраних для вимірювання ознак, які базуються на кількісних або якісних їх характеристиках [22, 23].

Відомо, що від вибору метрики залежить результат кількісного аналізу. Кожна предметна область має свої особливості, критерії і правила прийняття рішень. Найпростішим елементом, що лежить в основі прийняття рішень, які формалізуються на підставі відповідних процедур порівнянь, є відстань. За розробленою нами системою шкалювання для оцінювання стану здоров'я, на кожній шкалі вибираються певні числові значення, які відповідають верхнім і нижнім межах всіх можливих значень показників (розмах) і межах діапазону норми. Від того, на якій відстані знаходиться величина показників, що вимірюються, від еталонних їх значень (норми), визначається і критерій стану їх якості.

*Поняття норми і поняття здоров'я* здаються нероздільними. У багатьох випадках їх просто ототожнюють, протиставляючи поняттю патології. Більшість показників життєдіяльності людини розділити на «норму» і «патологію» не завжди легко, а тому, щоб їх інтерпретувати, потрібно порівняння отриманих даних з показниками, встановленими в якості норми.

В медичній практиці нормальні показники лабораторних аналізів — це показники, отримані у здорових людей. Однак, в таких групах показники можуть мати різні значення, так як норма — поняття індивідуальне. Це зумовлено як персональними особливостями людського організму (особливостями обміну речовин, добових біологічних ритмів, функційного стану тих чи інших органів і їх систем), так і відмінностями за статтю, віком, фізіологічним станом.

Інформація, отримана внаслідок лабораторних аналізів, оснований на виявленні та/або вимірі в досліджуваних зразках (біоматеріалах) конкретних осіб певних компонентів (аналітів), функційно або структурно пов'язаних з окремим органом або системою органів людини. Нормальні величини лабораторних показників встановлено в процесі клінічних досліджень на основі результатів вимірювання досліджуваних аналітів у великій популяції здорових людей, спеціально відібраних і згрупованих за віком, статтю або іншим біологічним чи іншим фактором. Отримані дані зведено до середніх значень, враховуючи статистично можливі стандартні відхилення їхніх величин. Тому точніше використовувати не поняття «норми» показника, а поняття «діапазону норми». Найпопулярніший наразі в оцінюванні результатів лабораторного дослідження термін «норма» використовується рідше. Замість нього говорять про *референтні значення*, а результати, отримані для конкретної особи (чи пацієнта), порівнюють з *референтним інтервалом (діапазоном)* [24]. Цей термін є точнішим, оскільки дає уявлення про статистично достовірні нижні і верхні межі варіацій норми показників. На сьогодні референтні значення встановлено для багатьох показників життєдіяльності людини. У своїх розробках щодо оцінювання стану функціонування систем організму і здоров'я в цілому ми також користуємось поняттям референтного діапазону, що відповідає діапазону норми показників, який використовується в практиці лабораторних досліджень.

Базуючись на описаних вище методологічних підходах, нами поставлено **мету** — розробити методи і алгоритми інформаційної технології кількісного оцінювання резервних можливостей організму і особистості на основі багатовимірного шкалювання сукупності референтних діапазонів

суб'єктивних і об'єктивних показників здоров'я людини з урахуванням запропонованого нами поняття діапазону нормо-індексу.

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ НОРМО-ІНДЕКСУ

У розробленій нами інформаційної технології діагностування і кількісного оцінювання здоров'я запропоновано нове поняття «нормо-індексу», на основі якого розроблено спеціальну шкалу оцінювання. Діапазон нормо-індексу є еталонним інтервалом зміни показника в межах референтного інтервалу, в який попадають найкращі значення. Для розрахунку діапазону нормо-індексу ми використали правило «золотого перетину» [25, 26].

Золотий перетин — це пропорція, згідно з якою відрізок ділиться на дві частини таким чином, що більша його частина відноситься до меншої так, як весь відрізок відноситься до більшої його частини. Розрахована константа такого розподілу дорівнює 1,67. В процентному відношенні ж менша частина відрізка становить 38%, а більша частина — відповідно, 62%. За цим правилом отримується тільки одна точка, яка ділить інтервал в «золотій пропорції». Для отримання інтервальної оцінки це правило застосовано симетрично з урахуванням лівої і правої меж референтного діапазону, що досліджується. На рис.1 проілюстровано шкалу зміни натурних лабораторно вимірюваних показників референтної зони, в середині якої надано інтервал нормо-індексу, розрахованого за описаним правилом золотого перетину.

Як було зазначено вище, межі нормо-індексу — це, по суті, додатковий діапазон на шкалі вимірювань, що дає можливість збільшити роздільну здатність референтного діапазону, на якій показник змінюється в межах референтної норми  $[X_{\min}^{ref}, X_{\max}^{ref}]$ .

На шкалі (рис.1) межі діапазону референтних значень показників позначено точками  $X_{\min}^{ref}$  — мінімальне значення показника,  $X_{\max}^{ref}$  — максимальне значення показника. Усередині цього інтервалу, за описаним правилом обчислення золотого перетину, позначено інтервал зміни нормо-індексу —  $[X_{\min}^{Nind}, X_{\max}^{Nind}]$ . Це теоретично обчислений діапазон, який можна трактувати як еталон (ідеальна норма, або оптимум норми). Інтервал на шкалі, що знаходиться за зовнішніми межами еталону норми до граничних значень референтного діапазону, можна інтерпретувати як додаткову зону, що приймається нами за можливий ресурс активації резервів.



Рис. 1. Шкала зміни для лабораторно вимірюваних показників

Витрати цього ресурсу за наближенням до граничних значень референтної зони можна обчислити за таким алгоритмом. Якщо вимірюване значення показника ( $X_i$ ), який характеризує функціонування певної фізіологічної системи або комплексу систем, знаходиться у межах діапазону нормоіндексу (еталону норми), тобто —  $X_{min}^{Nind} \leq X_i \leq X_{max}^{Nind}$ , то функціональний резерв здоров'я цієї системи у досліджуваній особи ще зовсім не витрачено і дорівнює 100%.

Якщо  $X_{max}^{Nind} < X_i \leq X_{max}^{ref}$ , то резерв здоров'я, за умови наближення значення показника до максимальної межі референтної зони, обчислюється за формулою:

$$X^{RZ} = \frac{X_{max}^{ref} - X_i}{X_{max}^{ref} - X_{max}^{Nind}}.$$

Якщо  $X_{min}^{ref} < X_i \leq X_{min}^{Nind}$ , то резерв здоров'я у разі наближення значення показника до мінімальної межі референтної зони, обчислюється за формулою:

$$X^{RZ} = \frac{X_i - X_{min}^{ref}}{X_{min}^{Nind} - X_{min}^{ref}}.$$

Якщо значення показників виходять за межі референтної зони, тобто  $X_i < X_{min}^{ref}$  або  $X_i > X_{max}^{ref}$ , то в цьому випадку надається рекомендація звернутись до лікаря-фахівця ( залежно від досліджуваної фізіологічної системи).



**Рис. 2.** Шкала зміни бальних показників

**Таблиця 1.** Розраховані інтервали значень нормо-індексів [ $X_{min}^{Nind}$ ,  $X_{max}^{Nind}$ ] та резервів здоров'я  $X^{RZ}$  за кожним лабораторно виміряним показником

Показники	$X_i$	$X_{min}^{ref}$	$X_{max}^{ref}$	$X_{min}^{Nind}$	$X_{max}^{Nind}$	$X^{RZ}$
Серцево-судинна система						
ЧСС, уд/хв	60	55	85	66,40	73,60	43,9
АТС, мм рт. ст.	105	100	140	115,20	124,80	32,9
АТД, мм рт. ст.	65	60	90	71,40	78,60	43,9
Показники кислотно-лужного стану крові						
Ph крові	7,36	7,35	7,45	7,39	7,41	26,3
pCO <sub>2</sub> , мм. рт. ст.	36	35	45	38,80	41,20	26,3
pO <sub>2</sub> , мм. рт. ст.	85	80	105	89,50	95,50	52,6
Бікарбонат (HCO <sub>3</sub> ) ммоль/л	22	21,7	27,65	23,96	25,39	13,3
Формені елементи крові						
Гемоглобін, г/л	130	124,5	165	139,89	149,61	35,7
Лейкоцити *10 <sup>9</sup> /л	5	4	9	5,90	7,10	52,6
Тромбоцити *10 <sup>9</sup> /л	190	150	450	264,00	336,00	35,1
Гематокрит %	40	38	47	41,42	43,58	58,5
Показники білкового обміну						
Заг. білок, г/л	65	62	82	69,60	74,40	39,5
Альбумін, г/л	41	37	54	43,46	47,54	61,9
Фібриноген, г/л	2,5	2	4	2,76	3,24	65,8
Креатинін, мкмоль/л	67	59	95	72,68	81,32	58,5
Показники вуглеводного обміну						
Глюкоза, ммоль/л	4,3	4,1	5,6	4,67	5,03	35,1
Молочна кисл., ммоль/л	0,65	0,4	1,4	0,78	1,02	65,8
Аміак, мкмоль/л	11	11	32	18,98	24,02	0,0
Показники електролітного обміну						
Калій, ммоль/л	3,6	3,5	4,5	3,88	4,12	26,3
Натрій, моль/л	139,42	136	145	139,42	141,58	100,0
Хлор, ммоль/л	99	98	107	101,42	103,58	29,2
Кальцій заг., ммоль/л	2,1	2	2,5	2,19	2,31	52,6
Кальцій іоніз. ммоль/л	1,16	1,15	1,33	1,22	1,26	14,6
Фосфор, ммоль/л	0,89	0,87	1,45	1,09	1,23	9,1
Магній, ммоль/л	0,75	0,72	1,23	1,91	1,04	15,5



У табл. 1 наведено приклади обчислених за правилом «золотого перетину» інтервалів нормо-індексів (еталонних значень) для низки показників, які часто використовують в лабораторній діагностиці. У рядках таблиці наведено список вимірюваних показників, а у стовпчиках таблиці — відповідні цим показникам референтні межі (мінімальна  $X_{min}^{ref}$  і максимальна  $X_{max}^{ref}$ ) та розраховані еталонні значення, тобто межі нормо-індексу (максимальне —  $X_{max}^{Nind}$  та мінімальне —  $X_{min}^{Nind}$ ). Також наведено результати розрахунку резервів здоров'я  $X^{RZ}$  для конкретно отриманих значень показників, які знаходяться в інтервалі —  $X_{min}^{ref} < X_i \leq X_{min}^{Nind}$ .

Надано кількісну інформацію про наявність резервів за кожним біохімічним показником на момент вимірювання.

Функціональні резерви організму — це складна система, фундаментом якої є біохімічні, а вершиною — психічні резерви. Фізіологічні резерви за допомогою механізмів нейрогуморальної регуляції інтегрують у єдине ціле систему функціональних резервів.

Для показників стану здоров'я, вимірюваних в балах у разі суб'єктивного тестування (зокрема опитування), розроблено спеціальну бальну шкалу (рис. 2).

Діапазон можливих значень набраних балів за результатами тестування (опитування) змінюється від нуля до значення  $X_{max}^{ref}$ , яке залежить від конкретних показників та вибраної процедури тестування. В цьому варіанті обчислень мінімальне референтне значення бального показника  $X_{min}^{ref}$  — це кількість балів, призначене експертним шляхом, що базується на особистому досвіді експерта та аналізі літературних джерел. Діапазон зміни нормо-індексу для бальних показників збігається з референтним діапазоном, тобто нижній межі діапазону нормо-індексу  $X_{min}^{Nind}$  відповідає значення  $X_{min}^{ref}$ , а верхній межі  $X_{max}^{Nind}$  —  $X_{max}^{ref}$ . На відміну від шкали лабораторних показників, діапазон активації резервів в цьому випадку визначається від нуля до мінімального референтного значення  $X_{min}^{ref}$ . Граничну точку діапазону активації резервів позначено  $X^{RZ}$ , яка обчислюється за правилом «золотого перетину», аналогічно з попереднім варіантом, як це проводилось для лабораторних показників.

## КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА «ЗДОРОВ'Я—РЕЗЕРВ» ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ І КОРЕКЦІЇ ПЕРСОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ

Сучасні технологічні прийоми спрямовано на перспективне розроблення алгоритмів і програмних модулів для оцінювання здоров'я та його компонентів як для комп'ютерної реалізації, так і для використання у мобільних застосунках. Крім цього, розроблено різні варіанти автоматизованих програм для кількісного оцінювання здоров'я, які широко використовуються у практиці профілактичних обстежень населення [13, 14].

Нами розроблено програмно-алгоритмічний комплекс «Здоров'я-Резерв» для багатовимірного кількісного оцінювання резервних можливостей організму і особистості людини на основі системи шкал нормо-індексу для потреб медичних інформаційних технологій. Огляд сучасного рівня розвитку комп'ютерної техніки свідчить про стрімке розповсюдження у повсякденному житті портативних електронних пристроїв різного призначення та застосунків для використання у мобільних пристроях, смартфонах, пристроях моніторингу стану здоров'я, персональних цифрових помічниках різного призначення. Особливо зростає індустрія різних мобільних медичних сервісів (m-Health-індустрія) — пристроїв, застосунків і програмних продуктів, призначених для роботи з медичними даними для керування персональним здоров'ям. Про сучасний стан мобільної охорони здоров'я та напрямів її розвитку йдеться, наприклад, в роботі [14]. Незважаючи на велику кількість вже запропонованих програмних засобів, необхідно зазначити, що актуальність їх розроблення не знижується. Це пов'язано зі специфікою завдань та варіантів тестування, віковими та персональними особливостями стану здоров'я тощо.

На основі розробленої інформаційної технології оцінювання здоров'я людини створено мобільний застосунок «Здоров'я-Резерв», у якому є модулі «Здоров'я-Резерв Фізичне» і «Здоров'я-Резерв Психосоціальне». Мобільний застосунок розроблено під операційну систему Android для використання у мобільних смарт-пристроях і реалізовано за допомогою такого інструментарію, засобів і мов програмування: Android studio — середовище програм для мобільних пристроїв з операційною системою Android; Java — об'єктно-орієнтована мова програмування; SQLite- вбудована реляційна база даних платформи Android.

**Модуль «Здоров'я-Резерв Фізичне».** Фізичне здоров'я є найважливішим компонентом у складній структурі стану здоров'я. У рамках прийнятої концепції триєдності фізичного, психічного та соціального здоров'я, фізичний статус є еволюційно базисним статусом загального здоров'я людини і йому належить відповідальна роль у матеріально-енергетичному забезпеченні функціонування всіх фізіологічних систем та організму в цілому. Є досить широкий набір способів і методів оцінювання здоров'я в цілому та окремих його складових, що базується на введенні кількісно-якісних засобів, які розкривають властивості досліджуваних систем. Зазначимо, що методи оцінювання фізичного здоров'я можна розподілити на інвазивні і неінвазивні.

Згідно з розробленою нами раніше інформаційно-ієрархічною структурою здоров'я, фізичне здоров'я має три складові: внутрішні *фізіологічні системи* (серцево-судинна, система дихання тощо), *керувальні системи* (ендокринна, нервова, імунна) і *виконавча система*, яка безпосередньо відповідає за можливості взаємодії з зовнішнім середовищем за рахунок рухової активності.

Важливим для оцінювання фізичного здоров'я є дослідження різних біохімічних показників за результатами лабораторних аналізів. Приклади обчислень інтервалів зміни нормо-індексів для показників, найпоширеніших у практиці лабораторних досліджень, і відповідні до них величини їхніх резервів наведено в таблиці 1.

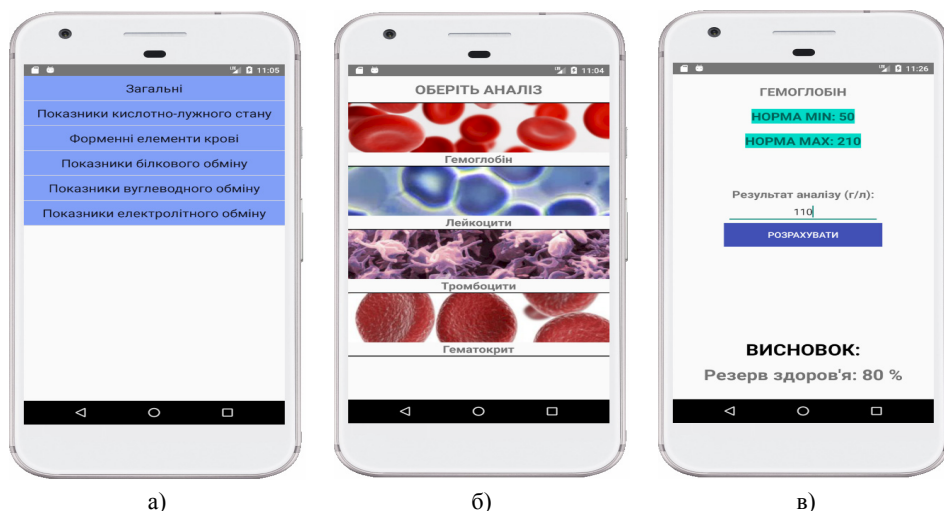
Індикатором стану фізичного здоров'я, на наш погляд, є такі складові виконавчої системи, як фізичний розвиток, фізична і функціональна підготовленість. Виконавча складова фізичного здоров'я оцінюється нами за

неінвазивними методиками. Це досить розповсюджена сукупність методів, оснований на обчисленнях індексів, пов'язаних з антропометричними характеристиками організму і з можливостями щодо активної діяльності і виконання фізичних навантажень.

На рис. 3 проілюстровано фрагменти призначеного для користувача інтерфейсу мобільного застосунку «Здоров'я-Резерв», де надано стартове вікно запуску програми (рис.3а), за активації якого відкривається можливість роботи з конкретними модулем застосунку «Здоров'я-Резерв-Фізичне» (рис.3б).



**Рис. 3.** Початкові скріншоти користувацького інтерфейсу застосунку «Здоров'я-Резерв»: а — стартове вікно запуску програми, б — вікно запуску модулю «Здоров'я-Резерв-Фізичне»



**Рис. 4.** Екранні форми користувацького інтерфейсу модулю «Здоров'я-Резерв-Фізичне» для оброблення лабораторних даних/результатів: а — список поширених груп показників лабораторних досліджень, б — вікно вибору конкретних показників, в — результати розрахунку діапазону нормо-індексу та резерву здоров'я за конкретним показником

У цьому модулі реалізовано, зокрема, можливість розрахунку резервів здоров'я за шкалою референтного діапазону зміни окремих показників з урахуванням нормо-індексу. Такі розрахунки виконуються за наявності результатів лабораторних біохімічних аналізів. Деякі фрагменти користувацького інтерфейсу модулю «Здоров'я-Резерв Фізичне» наведено на рис. 4, де рис. 4а ілюструє наведений для вибору список груп поширених лабораторних досліджень; рис. 4б — вікно вибору конкретного показника, а рис. 4в — результати розрахунку діапазону нормо-індексу та резерву здоров'я за конкретними показниками.

**Модуль «Здоров'я-Резерв-Психосоціальне».** Для оцінювання і корегування психосоціального статусу здоров'я особистості розроблено модуль «Здоров'я-Резерв Психосоціальне».

Підвищена значимість психосоціального здоров'я у сучасному суспільстві вимагає вивчення його як інформаційної проблеми в контексті цілісного підходу до людини. У зв'язку з цим теоретичне осмислення проблеми психосоціального здоров'я як складової статусу інтегрального здоров'я з позицій нових інформаційних технологій також було у центрі уваги наших досліджень.

Зазначимо, що здоровим у соціальному аспекті часто сприймають такого суб'єкта, який має здатність активно адаптуватися до постійно мінливих умов соціального середовища за підтримки високої персональної дієздатності. Критерієм оцінювання стану психосоціального здоров'я, на нашу думку, повинен бути не тільки рівень здатності людини до пристосування в навколишньому середовищі в широкому розумінні цього поняття, але і його самовідчуття, рівень внутрішнього комфорту чи задоволення. За нашими уявленнями, соціально здорова людина — це людина, адаптована до соціального середовища, яка перебуває у стані соціального та душевного комфорту в динаміці особистісно-середовищної взаємодії за умови її адекватної моральної поведінки. Виходячи з таких передумов, нами було розроблено інформаційну модель психосоціального статусу здоров'я, методику тестування за допомогою опитувальника та алгоритм кількісного оцінювання його стану.

Розроблений нами опитувальник складається з 27 запитань, розділених на три групи, які належать до різних сфер життя людини: фізичних умов проживання людини, умов її трудової діяльності, міжособистісних стосунків у соціумі та сім'ї. Запитання кожної групи сформульовано так, щоб відображати низку аспектів внутрішнього та зовнішнього реагування людини на соціальне оточення. Виділено такі аспекти внутрішнього та зовнішнього реагування людини.

1. Соціальна адаптація — рівень адаптації людини до її соціального оточення, ступінь комфортності у соціумі.

2. Соціальна задоволеність — рівень психологічної напруги, ступінь внутрішнього дискомфорту за суб'єктивного сприйняття людиною її життєвої ситуації.

3. Соціальна активність — тип адаптації у соціальному середовищі, варіант можливої поведінки людини у тій чи іншій ситуації, стиль вирішення нею своїх проблем.



**Рис. 5.** Екранні форми користувацького інтерфейсу модулю «Здоров'я-Резерв-Психосоціальне»: а — стартове вікно запуску програми, б — стартове вікно вибору складових модулю: соціальна адаптація, соціальна задоволеність, соціальна активність

Ці три аспекти є трьома складовими оцінки стану психосоціального здоров'я людини. Отримані в результаті проведення анкетування та обчислення бальні результати за кожною складовою оцінки психосоціального статусу необхідно уніфікувати та нормувати шляхом переведення їх у відносні оцінки, які змінюються від нуля до одиниці. Алгоритм визначення діапазону нормо-індексу показників стану психосоціального здоров'я, вимірюваних в балах за результатом проведення суб'єктивного тестування, наведено вище.

Проведення тестування орієнтовано на отримання діагностичних висновків про стан психосоціального статусу опитуваного, які надаються у цифровому та вербальному вигляді.

Фрагменти призначеного для користувача інтерфейсу модулю «Здоров'я-Резерв Психосоціальне» проілюстровано на рис. 5, де на рис. 5а наведено стартове вікно запуску програми «Здоров'я-Резерв Психосоціальне», за активації якого відкривається можливість роботи з конкретними функціональними складовими статусу (рис. 5б). Водночас надається можливість оцінювання стану психосоціального стану здоров'я за трьома складовими: соціальна адаптація, соціальна задоволеність, соціальна активність. Відповідно до розрахованих кількісних значень цих складових надаються рекомендації щодо підтримки резервів або корегування стану психосоціального статусу здоров'я.

Зазначимо, що адаптаційні можливості організму знижуються зі зменшенням резервів. Це відбувається поступово і є однією з основних причин виникнення та розвитку патологій. Тому дуже важливо знати динаміку резервних запасів для вибору керувальних дій з метою підтримки адаптаційних можливостей організму в мінливих умовах зовнішнього середовища.

Розповсюдження інформаційно-комп'ютерних систем такого типу та їх впровадження в мобільні пристрої дає змогу підвищити комфортність

використання користувачами за рахунок доступності проведення неінвазивного самообстеження і підтримки прийняття рішень у виборі оздоровчих заходів, оскільки це не вимагає складних прийомів контролювання стану свого здоров'я і є необхідним складником сучасної культури людини.

## ВИСНОВКИ

Головною спрямованістю цього дослідження є оцінювання резервів персонального здоров'я практично здорової людини на основі показників фізичного та психосоціального статусів.

Використання методології нормометричного шкалювання для багатовимірного оцінювання резервів здоров'я з урахуванням розробленого алгоритму розрахунку діапазону нормо-індексу для натурних і евристичних показників фізичного і психосоціального статусів здоров'я дає можливість збільшити роздільну здатність референтної зони вимірюваних показників, які враховують під час кількісного оцінювання здоров'я людини.

Розроблення комп'ютерних модулів багатовимірного кількісного оцінювання фізичного здоров'я організму та особистості людини на основі шкал нормо-індексу дає змогу автоматизувати і оперативно збирати результати обстежень, аналізувати динаміку діагностованих станів і може бути ефективним інструментом для скринінгу і моніторингу резервної складової здоров'я населення.

Реалізація розроблених технологій в мобільних Андроїд-застосунках збільшує якість прийняття персональних рішень користувачем за рахунок розширення доступності та підвищення оперативності у забезпеченні необхідною інформацією для організації своєї життєдіяльності. Кількісне оцінювання резервних можливостей дає змогу користувачеві раціонально планувати індивідуальний вибір оздоровчих або реабілітаційних заходів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Антомонов Ю.Г., Белов В.М., Гриценко В.И. и др. Открытая концепция здоровья. Киев: Изд-во Ин-та кибернетики им. В.М. Глушкова, 1993. 27 с.
2. Амосов Н.М. Моя система здоровья. Киев: Здоров'я, 1997. 56 с.
3. Апанасенко Г.Л. Индивидуальное здоровье: теория и практика управления, информационные аспекты. *Медицинская информатика и инженерия*. 2009. № 4. С. 61–64.
4. Menatti L., Bich, L., Saborido C. Health and environment from adaptation to adaptivity: a situated relational account. *Biology and Philosophy*. 2022. 31(2). P. 237–265. URL: <https://doi.org/10.1007/s40656-022-00515-w>
5. Маракушин Д.І., Чернобай Л.В., Ісаєва І.М. та ін. Функціональні резерви організму як показник ефективності регуляторних процесів, що забезпечують адаптацію організму до дії факторів навколишнього середовища. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2020. Т. 5. № 1 (23). С. 21–29.
6. Cullati S., Kliegel M., Widmer E. Development of reserves over the life course and onset of vulnerability in later life. *Nature Human Behaviour*. 2018. 2(8). P. 551–558.
7. Folke K., Colding J., Berkes F. Synthesis: formation of stability and adaptability in socio-ecological systems. *Navigation of socio-ecological systems: building resilience to complexity and change*. 2003. 9 (1). P. 352–387.
8. Kooyman S. A. L. M. Quantitative aspects of metabolic organization: a discussion of concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2001. 356(1407). P. 331–349.

9. Sadikova A.B. Valeology And Philosophy Of Life. *The American Journal of Social Science and Education Innovations*. 2021. 3(12). P. 82–86.
10. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и проблема восстановительной медицины. *Вестник восстановительной медицины*. 2004. № 2. С. 18–22.
11. Апанасенко Г.Л., Попова Л.А., Магльованый А.В. Санология. Основы управления здоровьем. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 404 с.
12. Лазуренко С.І., Білошицький С.В., Семенов А.М. Адаптація та адаптаційні можливості людини. *Актуальні проблеми навчання та виховання людей з особливими потребами*. 2014. № 11. С. 194–207.
13. Кравченко В.В. Информационно-технологические аспекты контроля и оценивания физического здоровья. *Вісник Київського національного університету. Серія Кібернетика*. 2014. №1(14). С.27–32.
14. Истомин А.Г., Ткаченко А.В. Современные методы и аппаратно-программные комплексы для оценки адаптационных возможностей и уровня здоровья организма человека. Харьков: Харьковский национальный медицинский университет, 2010.
15. Wasson C.S., Charles S. System engineering analysis, design, and development: Concepts, principles, and practices. John Wiley & Sons, 2015.
16. Rebizant W., Janusz Sz., Wiszniewski A. Fundamental of System Analysis and Synthesis. Digital Signal Processing in Power System Protection and Control. Springer, London, 2011. 29–52.
17. Shultz K. S., Whitney D. J., Zickar M. J. Measurement theory in action: Case studies and exercises. Routledge, 2020. 434 p.
18. Argotti Y., Baron C., & Esteban P. Quality quantification in systems engineering from the qualimetry eye. *IEEE International Systems Conference*. 2019, April, pp. 1–8.
19. Макаричева В.В. Інформаційно-комп'ютерна система оцінювання фізичної складової здоров'я. *Управляющие системы и машины*. 2016. №1. С. 81–91.
20. Davison M.L. Multidimensional scaling. Minnesota: University of Minnesota, 1987. 254 p.
21. Хазеева Н.М. Применение многомерного шкалирования в социологических исследованиях: краткий обзор. URL: <https://studfile.net/preview/594480/>
22. Антомонов М.Ю., Волощук Е.В. Конструирование интегральных показателей количественных признаков с помощью одномерных и многомерных методов статистики. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2012. Вып. 167. С. 61–68.
23. Кифоренко С.И., Котова А.Б. Многомерность как базис системности оценки здоровья. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2006. Вып. 150. С. 60–69.
24. Луцик Б.Д., Лаповець Л.С., Лебедь Г.Б. Клінічна лабораторна діагностика: навч. посіб. Київ: Медицина, 2011. 208 с.
25. Белов В.М., Котова А.Б., Кифоренко С.И. Принцип золотого сечения в контексте количественного оценивания здоровья. Нормо-индекс. *Управляющие системы и машины*. 2016. №1. С.73–80.
26. Karabayev M., Gasanova N., Batirov M., Kosimova G. Principles and constants of the golden proportion as a criterion in donosological diagnostics of the functional states of the body and in the assessment of the probability of their changes. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2022. (77-1). 19–27.

Отримано 03.06.2022

## REFERENCES

1. Antomonov Yu.G., Belov V.M., Gritsenko V.I. et al. Open concept of health. Kyiv: Pre-print, Institute of Cybernetics V.M. Glushkova, 1993. 27 p. (In Russian)
2. Amosov N.M. My health system. Kyiv: Health, 1997. 56 p. (In Russian)
3. Apanasenko G.L. Individual health: theory and practice of management, informational aspects. *Medical informatics and engineering*. 2009, no. 4, pp. 61–64. (In Russian)

4. Menatti L., Bich L., Saborido C. Health and environment from adaptation to adaptivity: a situated relational account. *Biology and Philosophy*. 2022, 31(2), pp. 237–265. URL: <https://doi.org/10.1007/s40656-022-00515-w> (In Ukrainian)
5. Marakushin D.I., Chernobai L.V., Isayeva I.M. et al. Functional reserves of the organism as an indicator of the effectiveness of regulatory processes that ensure the adaptation of the organism to the action of environmental factors. *Ukrainian Journal of Medicine. Biology and Sports*. 2020. Vol. 5, no. 1 (23), pp. 21–29. (In Ukrainian)
6. Cullati S., Kliegel M., Widmer E. Development of reserves over the life course and onset of vulnerability in later life. *Nature Human Behaviour*. 2018. 2(8), pp. 551–558.
7. Folke K., Colding J., Berkes, F. Synthesis: formation of stability and adaptability in socio-ecological systems. *Navigation of socio-ecological systems: building resilience to complexity and change*. 2003. 9 (1), pp. 352–387.
8. Kooijman S. A. Quantitative aspects of metabolic organization: a discussion of concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2001. 356(1407), pp. 331–349.
9. Sadikova A.B.Q. Valeology And Philosophy Of Life. *The American Journal of Social Science and Education Innovations*. 2021. 3(12), pp. 82–86.
10. Baevsky R.M. Evaluation of the adaptive capabilities of the body and the problem of restorative medicine. *Bulletin of restorative medicine*. 2004, no. 2, pp. 18–22. (In Russian)
11. Apanasenko G.L. Popova L.A., Maglovany A.V. Sanology. Fundamentals of health management. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 404 p. (In Russian)
12. Lazurenko S.I., Biloshitsky S.V., Semenov A.M. Adaptation and adaptive capacity of people. *Actual problems of training and development of people with special needs*. 2014, no. 11, pp.194–207. (In Ukrainian)
13. Kravchenko V.V. Information technology aspects of control and evaluation of physical health. *Bulletin of the Kiev National University. Series Cybernetics*. 2014, no. 1(14), pp. 27–32. (In Russian)
14. Istomin A.G., Tkachenko A.V. Modern methods and hardware-software complexes for assessing the adaptive capabilities and the level of health of the human body. Kharkov: Kharkov National Medical University, 2010. (In Russian)
15. Wasson C.S., Charles S. System engineering analysis, design, and development: Concepts, principles, and practices. JohnWiley&Sons, 2015.
16. Rebizant W., Janusz Sz.,Wiszniewski A. Fundamental sof System Analysis and Synthesis. Digital Signal Processing in Power System Protection and Control. Springer, London, 2011. 29–52.
17. Shultz K.S., Whitney D.J., Zickar M.J. Measurement theory in action: Case studies and exercises. Routledge, 2020. 434 p.
18. Argotti Y., Baron C., Esteban P. Quality quantification in systems engineering from the qualimetry eye. In IEEE International Systems Conference. 2019, April, pp. 1–8.
19. Makaricheva V.V. Information-computer system for assessing physical warehouse health. *Control systems and machines*. 2016, no. 1, pp. 81–91. (In Ukrainian)
20. Davison M.L. Multidimensional scaling. Minnesota: University of Minnesota, 1987. 254 p.
21. Khazeeva N.M. The use of multidimensional scaling in sociological research: a brief review. URL: <https://studfile.net/preview/594480/> (In Russian)
22. Antomonov M.Yu., Voloshchuk E.V. Construction of integral indicators of quantitative traits using one-dimensional and multidimensional statistical methods. *Kibernetika i vychislitel'naâ tehnika*. 2012. Iss. 167, pp. 61–68. (In Russian)
23. Kiforenko S.I., Kotova A.B. Multidimensionality as a basis for systematic health assessment. *Kibernetika i vychislitel'naâ tehnika*. 2006. Iss. 150, pp. 60–69. (In Russian)
24. Lutsyk B.D. Lapovets L.E., Swan G.B. Clinical laboratory diagnostics: training. Manual. Kyiv: Medicine, 2011. 208 p. (In Ukrainian)
25. Belov V.M., Kotova A.B., Kiforenko S.I. The principle of the golden section in the context of the quantitative assessment of health. Normo index. *Control systems and machines*. 2016,no. 1, pp.73–80. (In Russian)



26. Karabayev M., Gasanova N., Batirov M., Kosimova G. Principles and constants of the golden proportion as a criterion in donosological diagnostics of the functional states of the body and in the assessment of the probability of their changes. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2022. Iss. (77-1), pp. 19–27.

Received 03.06.2022

*Kiforenko S.I.*, DSc (Biology), Senior Researcher,  
Leading Researcher, the Department of Mathematical and Technical  
Methods in Biology and Medicine

<https://orcid.org/00000000-0001-2345-6789>, e-mail: skifor@ukr.net

*Belov V.M.*, DSc (Medicine), Professor,  
Head of the Department of Mathematical and Technical  
Methods in Biology and Medicine

<https://orcid.org/0000-80120001-9717>, e-mail: motj@ukr.net

*Hontar T.M.*, PhD (Biology), Senior Researcher,  
Senior Researcher, the Department of Mathematical and Technical  
Methods in Biology and Medicine

<https://orcid.org/0000-0002-9239-0709>, e-mail: gtm\_kiev@ukr.net

*Kozlovska V.O.*,  
Researcher, the Department of Mathematical and Technical  
Methods in Biology and Medicine  
<https://orcid.org/0000-0001-5898-1639>, e-mail: vittoria13apr@gmail.com

*Obelets T.A.*, PhD student,  
Junior Researcher, the Department of Mathematical and Technical  
Methods in Biology and Medicine  
<https://orcid.org/0000-0002-9425-1470>, e-mail: obel.tet@gmail.com  
International Research and Training Center for Information Technologies  
and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and the Ministry of Education and Science of Ukraine,  
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING NORMOMETRICAL SCALING FOR MULTIDIMENSIONAL ASSESSMENT OF HEALTH RESERVES

**Introduction.** *One of the directions of modern research in the field of digital medicine is the development of a methodological base for assessing, supporting and managing personal health. The use of the methodology of a systemic approach to solving biomedical problems is fundamental for the rational organization of scientific research at the stages of diagnosis, forecasting and correction of the health state of individuals and population groups.*

*Scientific research, which is aimed at the development of information technology for assessing personal health reserves of a practically healthy person based on indicators of physical and psychosocial status, is relevant and oriented for use at the stages of pre-hospital diagnosis.*

**The purpose of the paper** is to show the expediency of using methods of multidimensional hierarchical normometric scaling for quantitative assessment of the body's health and its reserve capabilities for pre-clinical diagnosis and activation of adaptation in changing conditions of the external environment.

**Results.** *An algorithm for calculating the norm index of various health indicators using normometric scaling has been developed for multidimensional assessment of health reserves.*

*Information support for algorithms for calculating the range of the norm-index for natural and heuristic indicators of physical and psychosocial health status has been developed for the needs of digital medicine.*

*Modules of the software-algorithmic complex "Health-Reserve" have been developed for multidimensional quantitative assessment of reserve capabilities of the human body and personality based on the norm-index scale system for information mobile technologies.*

**Conclusions.** *The algorithm for calculating the norm-index range for natural and heuristic indicators of physical and psycho-social health status makes it possible to increase the resolution of the indicators' reference zone that are taken into account in the human health assessment.*

*The development of computer modules for multidimensional quantitative assessment of the health and personality of a person based on norm-index scales makes it possible to automate and quickly collect data based on the results of examinations, analyze the diagnosed conditions dynamics and can be an effective tool for screening and monitoring the health of the population. The use of mobile Android applications implemented by the developed technologies increases the quality of personal decision-making by the user due to the expansion of accessibility and increased efficiency in providing the necessary information for the organization of one's life.*

**Keywords:** *normometric scaling, health reserves, health quantitative assessment, indicators' norm-index, mobile applications.*

У журналі надано результати досліджень у галузях теорії та практики інтелектуального керування, інформатики та інформаційних технологій, а також біологічної та медичної кібернетики.

Цільова аудиторія — науковці, інженери, аспіранти та студенти закладів вищої освіти відповідного фаху.

### Вимоги до рукописів статей

1. Рукопис надають на папері у двох примірниках (мова — англійська, українська, 17–22 с.) та електронну версію. До рукопису додають:

- анотації — українською та англійською мовами (прізвище, ініціали автора/ів, місце роботи, місто, країна, назва статті, текст 250–300 слів, з виділенням рубрик: вступ, мета, результати, висновки, ключові слова 5–8 слів);

- список літератури мовою оригіналу — у порядку згадування в тексті, за стандартом ДСТУ 8302:2015;

- список літератури — переклад джерел англійською мовою, прізвища та ініціали авторів — транслітерація;

- ліцензійний договір;

- відомості про автора/ів українською та англійською мовами повинні містити: ПІБ, вчений ступінь, наукове звання, посада, відділ, місце роботи, поштова адреса організації, телефон (для зв'язку редактора), авторські ідентифікатори ORCID або ResearcherID, E-mail.

2. Текст статті подають з обов'язковими рубриками: вступ, постановка завдання/проблеми, мета, результати, чітко сформульовані висновки.

## Вимоги до текстового файлу

Формат файлу \* .doc, \* .rtf. Файл повинен бути підготовлений за допомоги текстового редактора Microsoft Word.

Використовувані стилі: шрифт Times New Roman, 12 пт, міжрядковий інтервал – 1,5. Формат паперу А4, всі береги — 2 см.

Формули набирають у редакторах формул Microsoft Equation Editor 3.0. та MathType 6.9b. Опції редактора формул — (10,5; 8,5; 7,5; 14; 10). **Ширина формул — до 12 см.**

Рисунки повинні бути якісними, створені вбудованим редактором рисунків Word Picture або іншими Windows-додатками (рисунки надають окремими файлами відповідних форматів). **Ширина рисунків — до 12 см.**

Таблиці виконують стандартним вбудованим у Word інструментарієм «Таблиця». **Ширина таблиці — до 12 см.**

### **Передплату на журнал (друкована версія) в Україні здійснюють:**

- за «Каталогом видань України», індекс передплати друкованої версії — 86598;
- за допомоги передплатної агенції «Укрінформнаука» НАН України, [ukrinformnauka@gmail.com](mailto:ukrinformnauka@gmail.com), індекс журналу — 10029