

# Cybernetics and Computer Engineering

## 2 (200)/2020

---

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

---

## CONTENTS

### Informatics and Information Technologies

- CHABANIUK V.S., KOLIMASOV I.M. Analysis of the Practical Use of Geoinformation Systems for Territorial Management and Determination of Their Critical Properties .... 5
- ЄРМАКОВА І.Й., НІКОЛАЄНКО А.Ю., БОГАТЬОНКОВА А.І., ГРИЦАЮК О.В., КРАВЧЕНКО П.М. Інформаційна технологія прогнозування стану людини за екстремальних умов ..... 27

### Intelligent Control and Systems

- GRITSENKO V.I., VOLKOV O. Ye., BOGACHUK Yu.P., GOSPODARCHUK O.Yu., KOMAR M.M., SHEPETUKHA Yu.M., VOLOSHENIUK D.O. Intellectual Control, Localization and Mapping in Geographic Information Systems Based on Analysis of Visual Data ..... 41

### Medical and Biological Cybernetics

- KOCHINA M.L., KOZAK L.M., YAVORSKY O.V., FIRSOV O.G., YEVTUSHENKO A.S. Model and Method for Evaluation and Forecast of the Changes of Visual System Functional State in Consequence of Visual Work ..... 59
- БЄЛОВ В.М., ГОНТАР Т.М., КОБЗАР Т.А., КОЗЛОВСЬКА В.О. Інформаційна технологія самооцінювання здоров'я для реабілітації посттравматичного стресового розладу ..... 76

- To Attention of Authors** ..... 95
-

---

# Cybernetics and Computer Engineering

## 2 (200)/2020

---

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

---

## CONTENTS

### Informatics and Information Technologies

- CHABANIUK V.S., KOLIMASOV I.M. Analysis of the Practical Use of Geoinformation Systems for Territorial Management and Determination of Their Critical Properties .... 5
- YERMAKOVA I.I., NIKOLAIENKO A.Y., BOGATONKOVA A.I., HRYTSAIUK O.V., KRAVCHENKO P.M. Information Technology for Prediction of Human State in Extreme Environments ..... 27

### Intelligent Control and Systems

- GRITSENKO V.I., VOLKOV O.Ye., BOGACHUK Yu.P., GOSPODARCHUK O.Yu., KOMAR M.M., SHEPETUKHA Yu.M., VOLOSHENIUK D.O. Intellectual Control, Localization and Mapping in Geographic Information Systems Based on Analysis of Visual Data ..... 41

### Medical and Biological Cybernetics

- KOCHINA M.L., KOZAK L.M., YAVORSKY O.V., FIRSOV O.G., YEVTUSHENKO A.S. Model and Method for Evaluation and Forecast of the Changes of Visual System Functional State in Consequence of Visual Work ..... 59
- BELOV V.M., HONTAR T.M., KOBZAR T.A., KOZLOVSKA V.O. Health Self-Esteem Information Technology for Rehabilitation of Post-Traumatic Stress Disorder .. 76

- To Attention of Authors** ..... 95

---

# Кібернетика 2 (200)/2020 та обчислювальна техніка

---

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

---

## ЗМІСТ

### Інформатика та інформаційні технології

- ЧАБАНЮК В.С., КОЛІМАСОВ І.М. Аналіз практичного використання геоінформаційних систем для територіального керування та визначення їх критичних властивостей ..... 5
- ЄРМАКОВА І.Й., НІКОЛАСНКО А.Ю., БОГАТЬОНКОВА А.І., ГРИЦАЮК О.В., КРАВЧЕНКО П.М. Інформаційна технологія прогнозування стану людини за екстремальних умов ..... 27

### Інтелектуальне керування та системи

- ГРИЦЕНКО В.І., ВОЛКОВ О.Є., БОГАЧУК Ю.П., ГОСПОДАРЧУК О.Ю., КОМАР М.М., ШЕПЕТУХА Ю.М., ВОЛОШЕНЮК Д.О. Інтелектуальне керування, локалізація та картографування в геоінформаційних системах на основі аналізу візуальних даних ..... 41

### Медична та біологічна кібернетика

- КОЧИНА М.Л., КОЗАК Л.М., ЯВОРСЬКИЙ О.В., ФІРСОВ О.Г., ЄВТУШЕНКО А.С. Модель і метод оцінювання та прогнозування змін функціонального стану зорової системи внаслідок зорової праці ..... 59
- БЄЛОВ В.М., ГОНТАР Т.М., КОБЗАР Т.А., КОЗЛОВСЬКА В.О. Інформаційна технологія самооцінювання здоров'я для реабілітації посттравматичного стресового розладу ..... 76

- До уваги авторів ..... 95



# Informatics and Information Technologies

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.005>

UDC 004.09

**CHABANIUK V.S.**<sup>1,2</sup>, PhD (Phys.&Math.),  
Senior Researcher of the Cartography Department,  
Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine,  
Director of "Intelligence systems-GEO" LLC,  
email: chab3@i.ua, chab@isgeo.kiev.ua.

**KOLIMASOV I.M.**<sup>2</sup>,  
Head of Production of "Intelligence systems-GEO" LLC,  
email: kolimasov@ukr.net, van@isgeo.kiev.ua.

<sup>1</sup> Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine  
44, Volodymyrska str., 01030, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> "Intelligence systems-GEO" LLC,  
6/44, Mykylsko-Slobidska str., 02002, Kyiv, Ukraine

## **ANALYSIS OF THE PRACTICAL USE OF GEOINFORMATION SYSTEMS FOR TERRITORIAL MANAGEMENT AND DETERMINATION OF THEIR CRITICAL PROPERTIES**

---

**Introduction.** *The practical experience of creation, implementation and operation of geoinformation system (GIS) for territory management allows to identify their critically important properties. GIS with critical properties do not fit the conventional definition because they are more advanced systems. Special attention to critical properties helps to reduce the risks involved in the development and implementation of such GIS, as well as to increase the effectiveness of their use for territory management.*

**The purpose of the paper** is to analyze the use of GIS developed by the authors for the management of large territories and to determine their main critical properties. Critical GIS properties are being sought to manage territories that: 1) repeat for all such GIS, 2) differentiate them from conventional GIS, 3) must be taken into account when creating new GIS.

**Results.** *The critical properties that are mandatory also for modern GIS for territory management are as follow : 1) the availability of education-scientific, production and management components, 2) the availability of a relatively independent atlas solution, 3) the obligation to use portals, 4) the need to supplement the territory modeling of their metamodeling.*

**Conclusions.** *Abductive inferences after analyzing the practical experience of creation, implementation and operation of GIS for territory management allow to confirm the presence of critical properties of GIS. Without any such property, we can speak about a corresponding critical shortcoming of the GIS project, and this project is likely to be a failure.*

**Keywords:** *geoinformation system, territory management, spatial data, abduction, critical property.*

© CHABANIUK V.S., KOLIMASOV I.M., 2020

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Cyb. and comp. eng. 2020. № 2 (200)

## INTRODUCTION

It is believed that the first geoinformation system (GIS) was created by "GIS Father" — Roger Tomlinson — in the 1960s in Canada for Canada Land Inventory [1]. That is, GISs have been created and used for various tasks for over 50<sup>ty</sup> years. Over the years, the field of informatics has emerged that deals with spatial (spatially distributed, spatially coordinated) information. It is called geoinformatics and is defined as the science, technology and applied activities related to the collection, storage, processing, analysis and display of spatial data, as well as the design, creation and use of GIS [2].

One of the most common definitions of GIS is: "hardware-software man-machine complex providing collection, processing, display and dissemination of spatially coordinated data, integration of data, information and knowledge about the territory for their effective use in solving scientific and applied tasks, related with inventory, analysis, modeling, forecasting and management of the environment and territorial organization of society"[3]. O. Svitlychny, S. Plotnitsky [2] provide GIS definitions from several sources. One of them is: "GIS — is an information system (IS) designed to work with spatial or geographical data" [4]. IS, in turn, was defined as a set of subsystems that implement data collection and input processes; their preprocessing; data manipulation; data and information analysis; generating results.

The definition of GIS from [4] is used de facto in the Russian sector of Wikipedia, namely: "Geoinformation system (geographic information system, GIS) — is a system of collecting, storing, analyzing and graphically visualizing spatial (geographical) data and related information about necessary objects. The notion of GIS is also used in a narrower sense — as a tool (software product) that allows users to search, analyze and edit both a digital terrain map and additional information about objects" [5].

In the Ukrainian sector of Wikipedia, GIS is defined as: "Geoinformation system is a modern computer technology that allows to combine model representation of the territory (electronic display of maps, diagrams, space, aerial images of the earth's surface) with information of tabular type (various statistics, lists, economic indicators, etc.). GIS also refers to the spatial data management system and its associated attributes. More specifically, it is a computer system that enables the use, storage, editing, analysis and display of geographic data" [6].

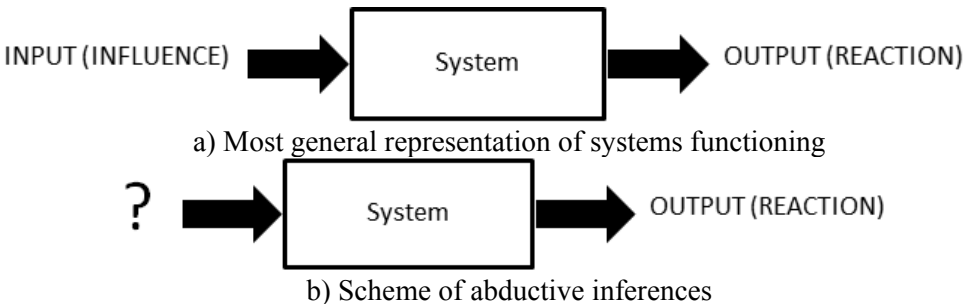
There are four approaches to the definition of GIS, oriented, respectively, to: processes, applications, databases, tools [7]. The definition of GIS from [4] refers to the process-oriented approach. It was a major in the proposed by us Conception of the multigoal National GIS (NGIS) of Ukraine [8]. It should be noted that process-oriented definition of GIS is currently the most widespread, at least in Russia and Ukraine.

**PROBLEM STATEMENT AND RESEARCH METHOD**

The process-oriented definition of GIS and the understanding of GIS that it defines have its advantages and disadvantages. The benefits include simplicity, universality, relationship with IS (generalization/specialization) and more. Unfortunately, the shortcomings of this definition and understanding of GIS increase over time. This paper addresses the shortcomings that are fundamental in terms of practical implementation, and are therefore called critical GIS properties. First of all, our own experience of creating GIS in Ukraine is used for argumentation. In our opinion, this is more important than finding evidence in the literature. Moreover, almost all the cited drawbacks are poorly described in the literature because they are little known due to the lack of development of geoinformation theory. We emphasize that this lack of knowledge does not mean that the shortcomings are not fundamental.

Thus, the main method of research is abductive reasoning. H. Miller [9] states the following compact definitions of abduction, deduction, and induction: "Abductive reasoning starts with data describing something and ends with a hypothesis that explains the data. It is a weaker form of inference relative to deductive or inductive reasoning: deductive reasoning shows that X *must* be true, inductive reasoning shows that X *is* true, while abductive reasoning shows only that X *may* be true. Nevertheless, abductive reasoning is critically important in science, particularly in the initial discovery stage that precedes the use of deductive or inductive approaches to knowledge-construction". Three main forms of logical reasoning are considered in the monograph [10] from the standpoint of the most general idea of systems. Namely, any *system* has an *input* and an *output*, which are called *influence* on the system and its *reaction* (Fig. 1a).

Yu. Sventek [10] states that the highest degree of uncertainty is characteristic of abductive reasoning. Abduction occurs when the causal factor (influence) is to be determined by the reaction of the system and its structure (Fig. 1b). Abductive reasoning occurs in almost every step of our daily lives. For example, by measuring the temperature with a thermometer, we do not suspect that we are using the abduction. Indeed, knowing the system (raising the mercury column) we conclude that the temperature is rising. In this work, abduction is used for GIS.



**Fig. 1.** Abduction (b) from the standpoint of the most general idea of the functioning of the system (a)

The purpose of the paper is to analyze the use of GIS developed by the authors and to identify the main critical properties that should be considered when creating new geoinformation systems.

## CONCEPTION OF THE NATIONAL GEOINFORMATION SYSTEM

The concept of the multigoal National GIS (NGIS) of Ukraine [8] theoretically substantiated the need to solve three main problems when creating such a GIS:

1. Establish a national geoinformatics education-scientific center, modeled on the US NCGIA or similar centers in Europe. The center was to create a prototype of the NGIS tool kernel (hereinafter Education/Science NGIS1 – SGIS1), which needed to address the urgent educational and scientific needs of NGIS.

2. Establish a national center for digital public information (hereinafter Production NGIS1 — PNGIS1). Implement the three shown in Fig. 2 (sub)systems of the first phase of the NGIS (NGIS1) containing the adjective "Integrated" in the name. The unusual names of these (sub)systems are explained by the application of information standards in force in Ukraine at that time, which lacked the terms GIS and the Automated cartographic system (ACS).

3. Implement the ACS for the needs of the State statistics committee of Ukraine. This (sub)system corresponds to Fig. 2. Integrated geoinformation automated management system (hereinafter Management NGIS1 — MNGIS1).

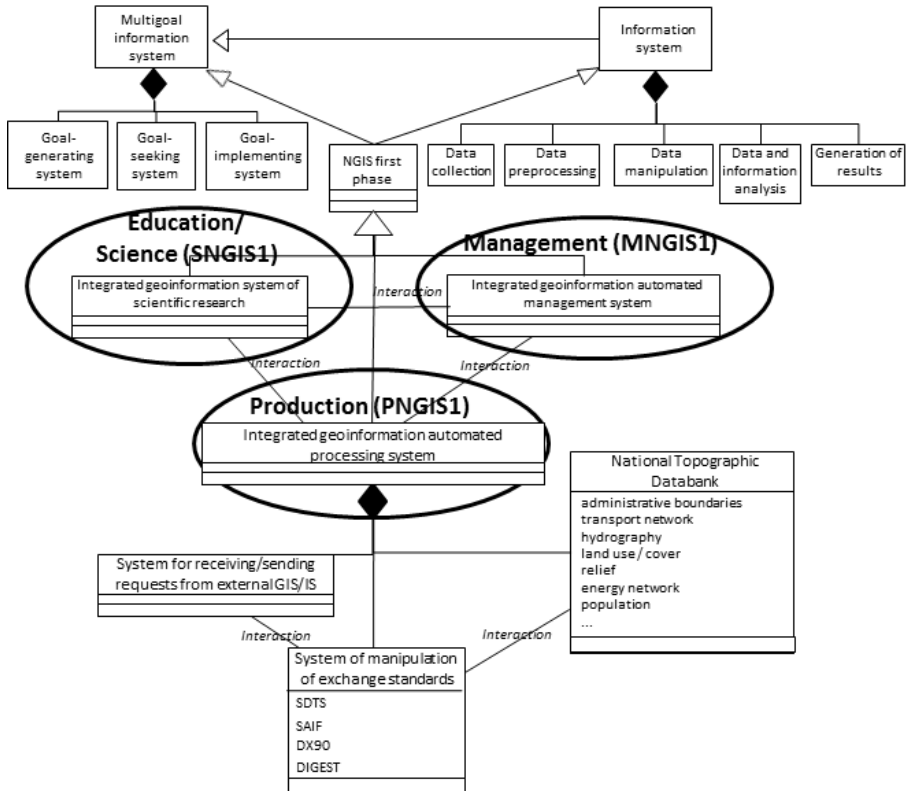
The first phase of NGIS (NGIS1) is, on the one hand, the specialization of IS, and on the other hand, the specialization of multipurpose IS. IS consists (aggregates) of five (sub)systems. Writing a (sub)system means that a component or subsystem can be a component. That is, NGIS1 was determined according to a process-oriented approach [4]. It is important to note that NGIS1 should already be multi-purpose. It should include systems of goal generation, goal selection and goal realization. Due to this, NGIS could also be defined as a system of government, though not in the first place.

The NGIS of the first phase (NGIS1) was the IS specialization, consisting (aggregating) of five (sub)systems. The record a “(sub)system” means that the constituent may be a system or a subsystem. That is, NGIS1 was determined according to a process-oriented approach [4]. It is important to note that NGIS1 should already be multi-purpose. It should include systems for the generating, seeking and implementing of the goal. Due to this, NGIS could also be defined as a country management system, though not in the first place.

The first necessary property of NGIS was the presence of educational-scientific, production and management components. The components of this triad are shown in Fig. 2 by ellipse in green color. The absence of one of the three components of the triad is considered critical for large territorials GIS. The presence in the GIS of the indicated triad of systems is referred to as **Critical property 1 (CP1)**.

Finally, one of the elements of NGIS1 — Production NGIS1 (PNGIS1) — was aggregated through three production systems. It is important to note here that the terms SDTS, SAIF, DX90 and DIGEST meant the most advanced





**Fig. 2.** The first phase of NGIS. The UML class and relation designation is applied to the systems

standards for the presentation and exchange of spatial data at that time. Instead of these standards, there is now an ISO 19100 series "Geographical information/Geomatics" and its partial adaptation for Ukraine [12].

**RADIOECOLOGICAL GIS AS A ECOLOGICAL MANAGEMENT SYSTEM**

Practical evidence of CP1 correctness was obtained in 1997-1999 during the development of the first national GIS in Ukraine. It was called the Radioecological GIS (RGIS) and belonged to the class of (geo-)information systems of ecological management (ISEM or GeoISEM, Fig. 3). Designed to support decision-making of the 1986 Chernobyl NPP (ChNPP) accident minimization activities for the territories of 12 of Ukraine's 25 oblasts.

The first phase of the system - GeoISEM Management component (shown on the right in Fig. 3) — was commissioned in 1997 at Department of Population Radiation Protection (DPRP) of the Ministry of Ukraine for protection of population from the consequences of the Chernobyl accident (MinChornobyl Ukraine). It was called "Information support system for DPRP activities" and was abbreviated as RadEco (RadioEcology). The goals of creating RadEco are planning, coordination and control of works on minimizing the consequences of the ChNPP accident using radiological control and monitoring of data, as well as cartographic information.

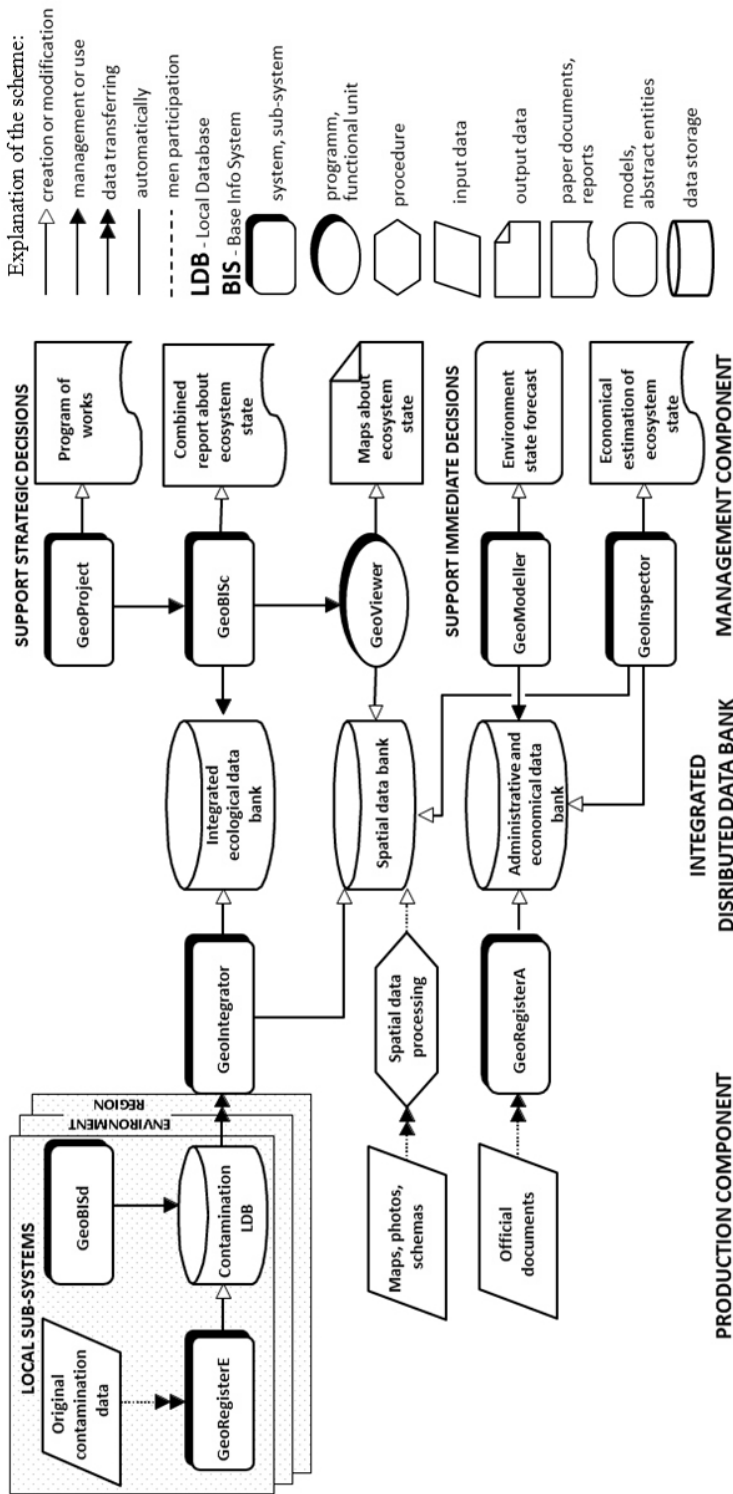


Fig. 3. Structure of GeoISEM/RGIS

In 1998–1999 the second phase of GeoISEM: Production component (shown on the left in Fig. 3) and Integrated distributed DBn (shown in the middle in Fig. 3) was developed and put into operation. The integrated distributed DBn has combined diverse information related to the DPRP activities to minimize the effects of the ChNPP disaster. Shown in Fig. 3 "Ecosystem status maps" have become the prototype and main source of the Atlases of radioactive contamination of Ukraine described below.

Note that in Fig. 3 are shown two components of the selected in Fig. 2 triads: production and management. We did not tailor Fig. 3 under the modern views and critical properties of GIS, which are described in this article. However, we must say that the Integrated Distributed DBn is an element of the production component, and the scientific and educational component is not shown in Fig. 3. In fact, it existed and was very essential for the creation and operation of the RGIS. After all, many scientific institutes of Ukraine took part in minimizing the consequences of the ChNPP accident. Even a simple listing of their results used in the RGIS will take up a lot of space.

Below we take a closer look at the RGIS management component and the Integrated distributed DBn — a part of the production component that could or may not be included in the management component. The production component in full (Fig. 3) at the time seemed fairly standard. It is only with time that we have realized that its main essence — determining the state of an object that simulates the investigated spatial entity in an information system — corresponds to a certain, well-defined process. In this process, irrespective of the context, there are duplicate checkpoints such as: request, notification, pre-accounting, permanent accounting (registry), status monitoring. In addition, we later realized that the objects at certain control points form systems whose relational properties between the objects of the same state and the different states have yet to be explored.

Due to article size issues, we also neglected the Support Immediate Solution modules (Fig. 3), which were developed in RGIS only as prototypes. They are included in the RGIS as the results of the Ukrainian-Canadian Chernobyl GIS project, which was implemented in two phases [13], [14]. From the viewpoint of modern views, the management of large territories cannot be done without taking into account the impact of emergencies. Emergencies such as wildfires, floods, technological, etc. take place in almost all "large" territories.

**Key features of RadEco system.** The RadEco system was intended for informational support of the basic business processes of DPRP, as well as to support strategic decision-making in planning and implementing long-term impacts on ecosystems. From the viewpoint of the goal approach to the analysis of management functions, a hierarchical decomposition of functions was performed, based on the main goal of management, and such decomposition is closed to the end result of the activity with a description of all sections in the chain: goal — means — result — criterion (Fig. 4).

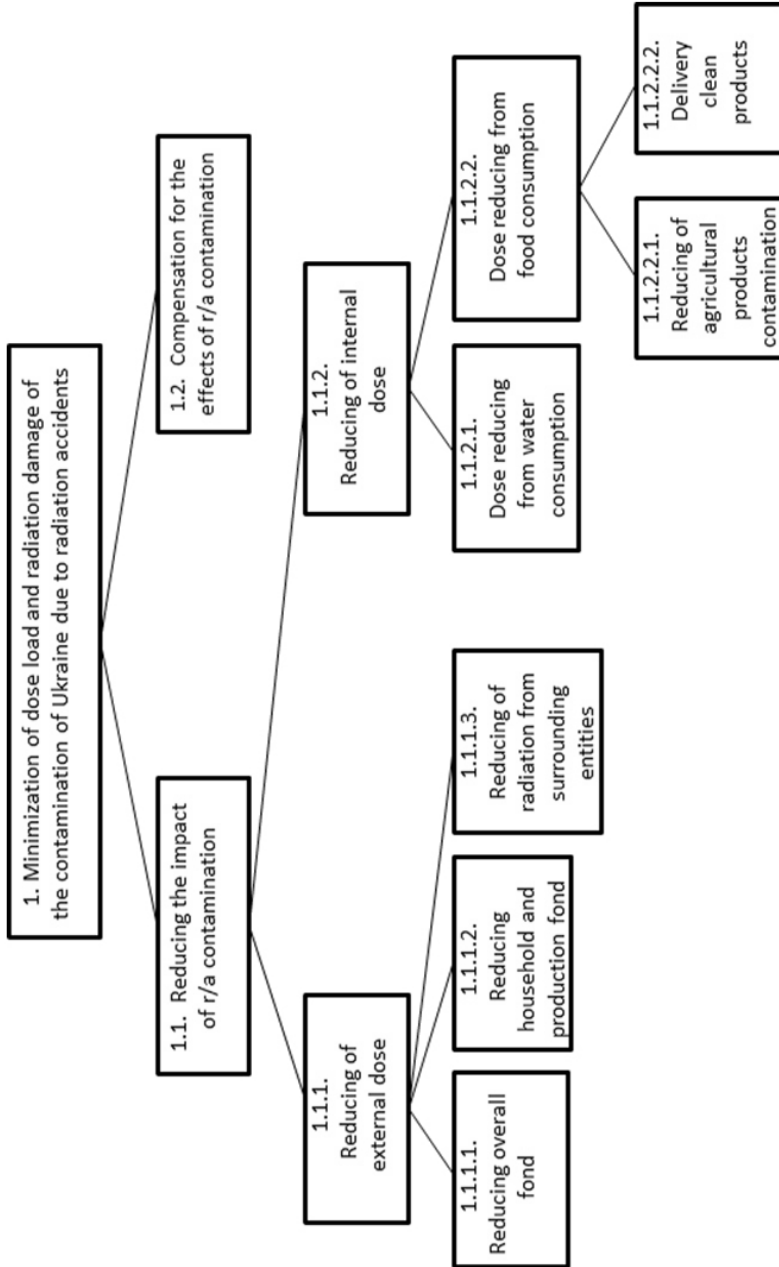


Fig. 4. Decomposition of DPRP activity goal

To achieve the goal, the following measures were implemented (for territories, premises, water bodies, products, people): inspection, maintenance of the radiation control system, issue of measuring instruments, maintenance of a database of observations, development of recommendations, development of laws and regulations, implementation of recommendations, evaluation efficiency of the conducted actions.

RadEco provided:

- improving the efficiency of organizational management procedures in the planning, coordination and control of work that is within the competence of the DPRP; improving the use of radiological control and monitoring data, increasing the completeness of the assessment of the ecosystems status of the contaminated area in order to improve the planning of countermeasures to minimize the negative impact of radioactive contamination of technogenic origin;
- use of digital mapping material (maps, map layers, thematic maps) as a means of qualitatively assessing the situation based on all system data having a spatial component.

RadEco implements a set of interconnected functional complexes of tasks (FCT) based on common internal components, unified approaches to obtaining, processing and presenting data, using a unified information base. RadEco is implemented in a multicomponent architecture and is capable of operating in a corporate and local version using Informix or Access DBMS. From the viewpoint of the tasks to be solved, RadEco distinguishes subsystems:

- GeoProjector — implements management functions; automates the formation and accounting of the implementation of the annual Work Program to minimize the consequences of the Chernobyl disaster by sections that fall within the competence of the Management, planning and control of the implementation of works, contracts within the Program.
- GeoBIS — implements production functions of access, processing and analysis of radiological database information; ensures the provision of generalized and detailed information on radioactive contamination at the level of the settlement, district, and oblast; provides the ability to create combined ecosystem status reports. GeoBISc — corporate version, GeoBISd — desktop version, BIS — Base Information System.
- GeoBank (Spatial DBn) — organizes available digital mapping materials in network-wide repositories; provides selection and modification of mapping data based on structured metainformation; provides the possibility of forming complex maps of the territory using specialized thematic layers.
- GeoView — designed for effective spatial data management: managing the spatial DBn; collecting all operations on mapping objects into a single interface, regardless of the mapping tools used (MapInfo, MapX, MapObjects, ExcelDataMap, ArcView).
- GeoIntegrator — implements receiving into databases of the system and transfer of external data in arbitrary formats of relational DB. Included in the RadEco management system when needed.

All subsystems provide data export to MS Word document formats, MS Excel spreadsheets and charts, external databases visual formation and execution of regular and spatial queries to the system database, presentation of query results in tabular, graphical and cartographic forms using thematic mapping tools.

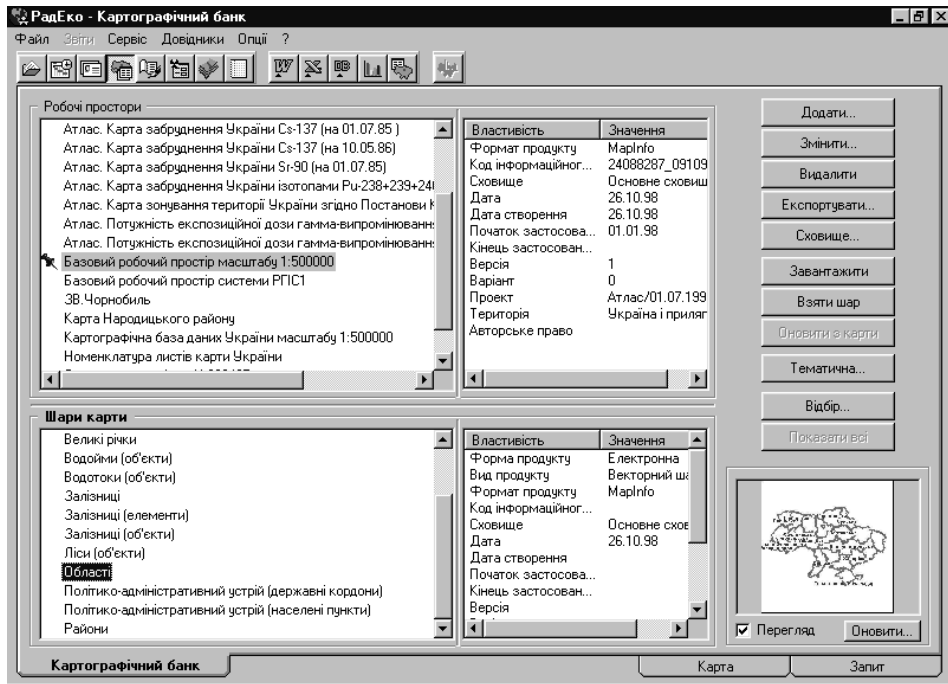


Fig. 5. Access interface to GeoBank (Cartographic DBn, GeoView)

**Integrated ecological databank.** The integrated ecological databank contains unit measurements and aggregated data on environmental and regional contamination and consists of the following databases: 1) Environmental load on humans; 2) Contamination of settlements; 3) Contamination of farmlands; 4) Contamination of forests.

In the subsystem of ecological data integration (GeoIntegrator) in DPRP the following functions on processing and reception in a DB of spatial data were executed in the automated mode:

- obtaining data from a representative of the provider of data to the DPRP of MinChornobyl;
- logging data in the logging log and saving a data diskette;
- geocoding the data provided. The geocoding process of the data was performed in order to link the data provided with the identifiers of the observation objects (settlements, collective farms, fields, etc.) of radiological and topographic databases for further processing);
  - calculation of average, minimum and maximum values, calculation of quantitative indicators (data aggregation);
  - detection and "screening" of erroneous data;
  - input and import data into the Integrated ecological databank.

GeoBank (Spatial or Cartographic DBn) is associated with the Integrated Ecological Databank, which consists of databases: 1) contamination, 2) land use, 3) land tenure, 4) topographic. This databank is used for the accumulation, storage in a systematic form, the use of information products that came from external sources or created using their own software (cartographic systems, tools for the preparation of

maps and maps schemes the like). GeoBank's fields of application are activities related to the use in the production and management practice of information products in the form of maps, maps schemes, etc. to work with data that is spatially linked (in particular, data from the Integrated Ecological Databank) Fig. 5 shows the access interface to GeoBank (Cartographic DBn).

**GeoBIS subsystem.** The production component of RGIS was implemented by the GeoBIS subsystem. Its main function was to formulate and execute standard and arbitrary queries to radioecological databases and present results in tabular, graphical and cartographic forms. A combined ecosystem status report was one of the possible outcomes of GeoBIS. It is obtained as a sequence of requests to the Integrated ecological and the Spatial (Cartographic) databanks.

Solving the task of preparing a combined report, spatial queries were created (or saved queries were used), the desired settlements were selected from the hierarchical lists or from the map. Query results were exported to MS Word, MS Excel office products. Thematic maps (using cartographic system MapInfo) were built on the basis of individual requests. All results were collected into an MS Word document that contained a combined environmental report of the selected settlement (settlements). A similar problem could be solved for the preparation of combined reports by district and oblast. Fig. 6 shows an example of a request for data from the Integrated ecological DBn. Fig. 7 provides an example of a combined report: Fig. 7a — diagram of the changing the content of cesium-137 in milk in the settlement Ignatpil by years; Fig. 7b — thematic map. Observation of the Zhytomyr oblast districts (number of cesium samples in milk, 1997); Fig. 7c — Thematic map. The estimated dose is total for the settlements in the vicinity of the settlement Ignatpil in 1997. Graphic representations of the combined report are complemented by the table data as in Table 1.

**GeoProjector subsystem.** The GeoProjector subsystem was part of the RGIS management component designed to support strategic decisions. The DPRP Regulation provided for the performance of management functions, including the formation and control of the implementation of the Program of works to minimize the consequences of the Chernobyl disaster for a year. The Program of works was the main document for the implementation and control of works on the implementation of long-term impacts on ecosystems. Automation of management processes was performed through functional complex of tasks (FCT).

Such complex in RadEco system was a formalized set of actions (operations) of the system, the execution of which led to the certain result. FCT operations were performed on system data that were defined when configuring user access rights to data and operations.

Typically, a specific system user performed one or more logically linked FCT. The main FCT were: financing of works; support for the system of radiation control; planning the works on clarification of radiation status; accounting for works on radiation monitoring equipment; accounting for radiation monitoring support works; planning and accounting for agricultural and forestry radiology works.





**Table 1.** Number of cesium-137 samples in milk in 1997 in Zhytomyr oblast districts (data from the Integrated ecological DBn; translation from Ukrainian)

| District            | Measurement class  | Number of samples | Year |
|---------------------|--------------------|-------------------|------|
| Volodarsko-Volynsky | cesium-137 in milk | 80                | 1997 |
| Yemilchynsky        | cesium-137 in milk | 1566              | 1997 |
| Korostensky         | cesium-137 in milk | 1359              | 1997 |
| Luhynsky            | cesium-137 in milk | 850               | 1997 |
| c. Korosten         | cesium-137 in milk | 20                | 1997 |
| Malinsky            | cesium-137 in milk | 1044              | 1997 |
| Narodytsky          | cesium-137 in milk | 875               | 1997 |
| Novograd-Volynsky   | cesium-137 in milk | 430               | 1997 |
| Ovrutsky            | cesium-137 in milk | 2410              | 1997 |
| Olevsky             | cesium-137 in milk | 1010              | 1997 |

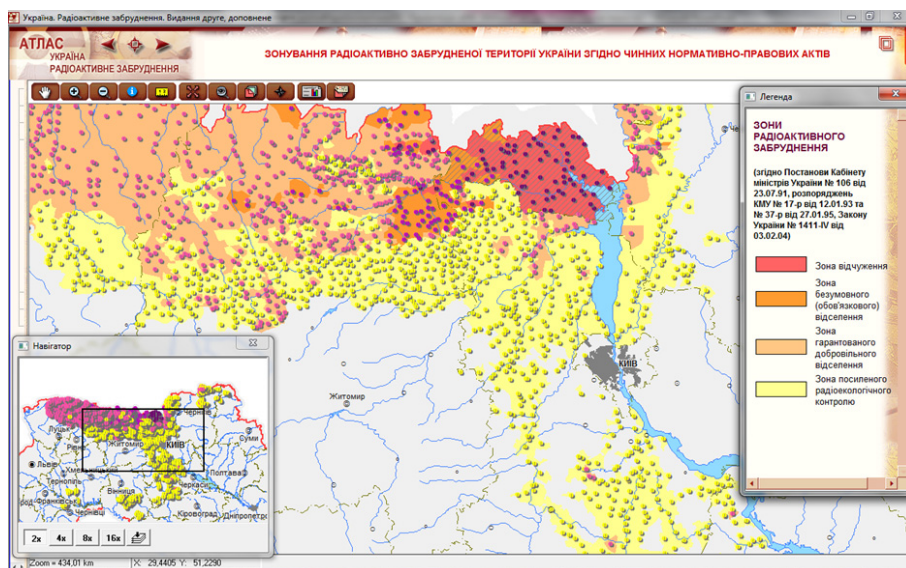
Each item of the Program of works provided the set of works, specific contracts, contractors and funding. It was possible to create a new Program, add a section or item, and edit the Program. The distribution of funding under the Program was carried out separately. This distribution could be done either manually or automatically. The system issued reports on the Program in the form of MS Word documents, ready for approval: a general report on the Program, decryption of expenditures by sections and items by recipients of funding and by oblast (decryption was performed on the basis of the work entered).

## **ATLASES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF UKRAINE**

**Critical property 2 (CP2)** is formulated as “Availability of the atlas solution (or Atlas system — AtS), relatively independent from other elements of the GIS of a large territory that could operate offline”. In the period from 1996 to 2005, several atlases and atlas information systems were developed, which made it possible to formulate CP2. Below, due to volume problems, only one atlase solution is briefly described.

The Atlas of Radioactive Contamination of Ukraine (RadAtlas) was issued four times in 2002, 2008, 2011, 2014 in two versions — paper and electronic, in two languages — English and Ukrainian. The structures and contents of these editions are consistent and complementary.

The first version of RadAtlas was made under the conditions when some time after the Chornobyl disaster elapsed and there was a need for a publication that would give a general idea not only about the fields of formation of radioactive contamination, but also about the impact of ionizing radiation on human health and a wide range of medical, demographic, social and economic consequences of the Chornobyl disaster. Generalization of information not only about radioactive contamination of the territory by radionuclides, but also information about medical, social and economic aspects of the Chornobyl disaster was based on the latest author's developments and researches, data and materials accumulated over the years by leading institutions and organizations of Ukraine (including scientific institutes) in the field of radioecological monitoring.



**Fig. 8.** Map of radioactive contamination zones from RadAtlas electronic version, 2nd edition (2008, ukr)

The paper version of the atlas was published in 2002, 2008, 2011 as an A3 album with a total volume of 52 pages. The atlas contains four sections, which include 40 maps and schemes, texts, graphs and diagrams. The maps are submitted to the territory of Ukraine in scales from 1:2.5 million to 1:12 million, for some territories the scale is increased to 1:100 thousand with the inclusion of ActiveX components, containing interactive maps, texts, graphs and diagrams, tabular information (Fig. 8).

RadAtlas 2011 was issued only in a three-language (Ukrainian, Russian, English) paper version. RadAtlas 2014 is only available in English in electronic version. It can be viewed at the link [15].

## GEONFORMATION PROJECTS OF THE FRENCH-GERMAN CHORNOBYL INITIATIVE

In 1998–2003, three projects of the French-German Chernobyl Initiative (FGI) were implemented: Safety of sarcophagus (6 Sub-Projects) [16]; Radioecological consequences of the Chernobyl accident (9 Sub-Projects) [17]; Medical effects of the Chernobyl accident (10 Sub-Projects) [18].

More than 20 scientific and research institutes and organizations of Belarus, Russia, Ukraine, France and Germany participated in the creation of databases. As a significant number of Sub-Projects also consisted of Belarusian, Russian and Ukrainian units, the actual number of "thematic" Sub-Projects was 52. In addition to the thematic Sub-Projects, in each of the Projects 1–3 were also integrated Sub-Projects, and the Coordination project was completed. In addition to the large number of Sub-Projects, the situation was compounded by the fact that individual thematic databases had to create specialized institutions for each topic in Belarus, Russia and Ukraine with very different experience in developing information products.

All three Projects used geoinformation products: ArcView — in Project 1, MapInfo Professional — in Projects 2 and 3. Moreover, Project 1's database was developed on ArcView as a "highly" integrated system, and in Project 2 there was a special Sub-Project 0, the purpose of which was to provide the spatial and administrative-territorial bases for the radioecological Sub-Projects 1, 2, 3a, 3b, 3c, 3d, 4 and 5 of Project 2.

In order to coordinate the development of such a large number of information products (mainly databases), to ensure control and preservation of results, two main ideas of the Coordination project were put forward:

1. Apply the notion of a weak integrated information system to the organization of the results and materials of the Projects, using the notion of not a classical information system, but of an information system in a broader (wide) sense. At the same time, the authors of this idea were well aware that it is impossible to create a highly integrated (classical) information system, in the conditions of the already planned FGI.

2. To find or create a set of tools that would simplify and unify the development of information products of each Sub-Project, as well as ensure effective management and coordination of development at the level of each Project (ie, Sub-Projects of Projects 1, 2 or 3), and at the level of the FGI in general.

The information system in the broader sense (ISb) is called "The totality of all formal and informal data representation and processing activity within an organization, including the associated communication, both internally and with the outside world" [19]. The information system in the narrow sense (ISn or classical IS) is called "Computer-based subsystems, intended to provide recording and supporting services for organizational operation and management" [19].

It should be noted that the use of the notion and tools of the information system in a broad sense was forced measure. At the beginning of the FGI, such a system was not planned to be developed, but the problem of a large number of Sub-Projects and data forced management to start this development already during the implementation of the FGI.

Several ISb have been developed in the FGI Projects. Initially, simple desktop ISb REDAC1W, REDAC2W, ChIIS-FGI1 were created based on HTML for "weak" integration of project results and materials. Here, REDAC stands for RadioEcological Database After Chernobyl, a system for monitoring and accessing the results and materials of Project 2 of FGI, ChIIS-FGI stands for Chernobyl Internet/intranet Information System. The letter W in REDACnW, n = 1, 2, 3, had two meanings: Wide (or Broader), to identify the type of information system and Weak, to identify the approach of integration.

The analysis of the results of the FGI Projects substantiated two more critical properties of GIS. **Critical property 3 (CP3):** Portal as a means of building GIS in some broader sense (GISb) with GIS in the narrow sense (GISn) and other elements, as well as to provide online teamwork with all elements-systems. **Critical property 4 (CP4):** GIS of large territory must have a metasystem extension, which in turn must necessarily include meta-products and meta-processes for their creation. All elements of the system must be consistent with the particular Solutions Framework of the project in which the system was created.

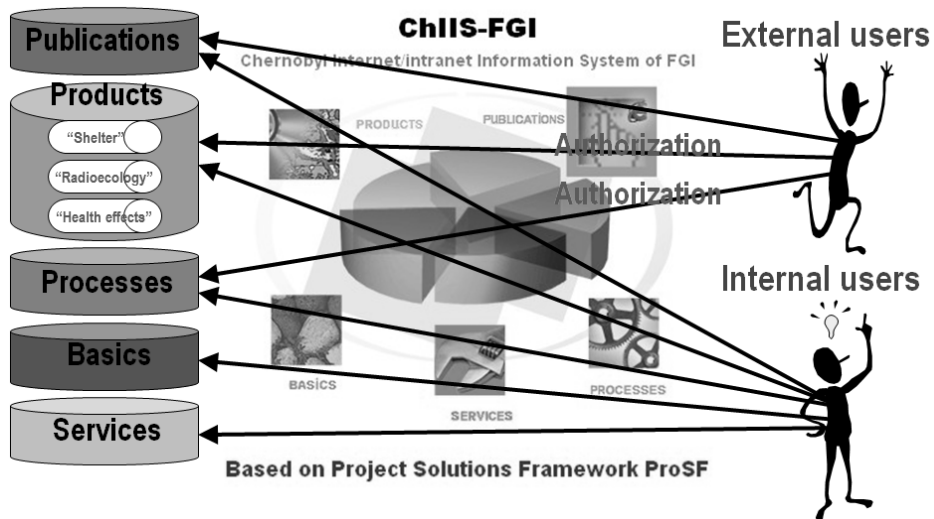


Fig. 9. Simplified structure of the (G)ISb ChIIS-FGI2

**Critical property 3 (CP3).** At the end of the FGI, it was decided to provide Internet access to the "weak" integrated (G)ISb REDAC2W and ChIIS-FGI1. To implement this idea, a dedicated ISGeo TripleNet Software Suite (ISGeoTriNet) portal software was created to develop the (G)ISb REDAC3W, HEDAC (HEalth Database After Chornobyl — control and access to the results and materials of FGI Project 3) and ChIIS -FGI2.

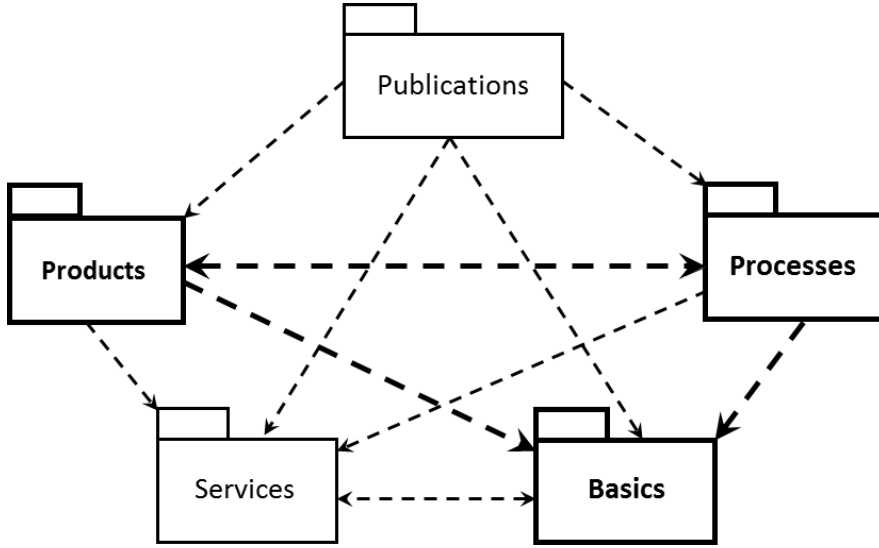
A key feature of our portal (G)ISb is the availability of a metadata database that describes portal content, helps you work with portal materials through the Web interface, and describes the relations between system elements. A simplified symbolic structure of the (G)ISb ChIIS-FGI2 is shown in Fig. 9.

The ChIIS-FGI2 portal part is shown in Fig. 9 in the middle, provides control and access to poorly integrated databases and file repositories (libraries) Publications, Products, Processes, Fundamentals, and Services (see Fig. 9 on the left). External users were required to log in to receive Reader or Author rights. Only internal users could obtain Coordinator group rights.

There was an "enhanced" approach to integration. For this purpose, portal structures such as Electronic dashboards, Web-modules and Portlets were used. For example, Web-modules were implemented such as Template — to create documents according to the selected template, and Pattern — to create groups of documents that are joined by certain logic, such as the management process. An example of Portlet is WIntegration (Weak Integration), which implemented two mechanisms of weak integration: establishing relations between documents and assigning a document to a specific category.

**Critical property 4 (CP4).** The result of implementation of the 2<sup>nd</sup> idea was the Project Solutions Framework (ProSF), which model is shown in Fig. 10. Here, the Products-Processes-Basics (Products, Processes) are called the main Solutions Framework (SoFr) triad.

In FGI Projects, this model had two implementations: 1) in the form of regular operating system directories containing sample files (version 1),

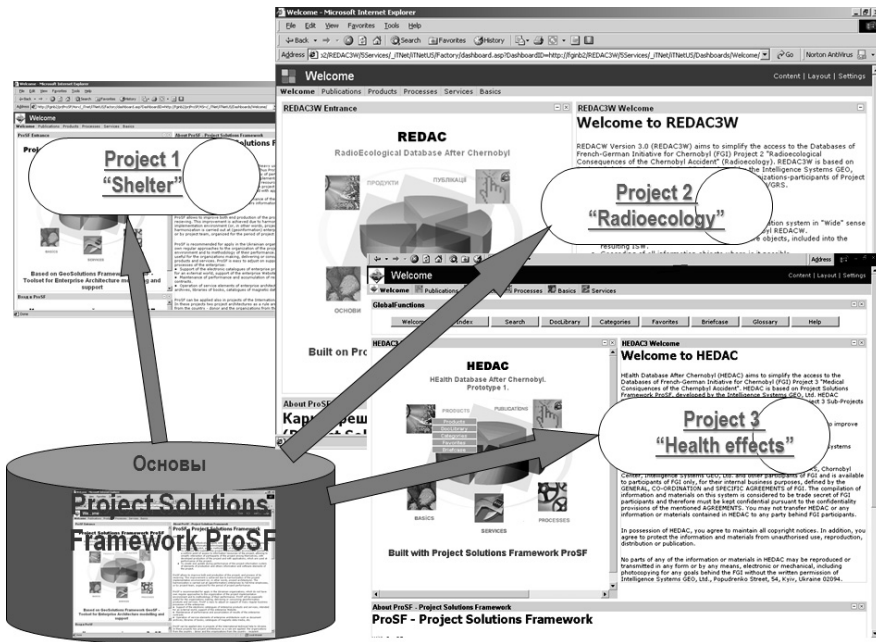


*Fig. 10.* Solutions Framework (ProSF) Model. The arrows show the usage relation

2) a version 1 file structure, supplemented with a metadata database and specialized portal software, ISGeoTriNet, which supported as creation of file structure and description of project results and materials, as well as authorized search and access of users through the portal (version 2).

The Publications package contains samples and templates: website, presentations, paper publications, demo versions of project results (products). Assigned to communicate with the project's external environment. Products package includes samples and templates: databases, maps, software, reports; their descriptions and metadata; operational documentation. Assigned for project product developers. The Processes package contains samples and templates of the project's business processes: requirements management, planning, survey, quality control, and configuration management. Assigned for project management. The Services package contains ISGeoTriNet specialized portal software, ProSF operational documentation, as well as samples and templates: training materials, metabases, product decoration elements, electronic and paper product repositories. Assigned for administrator, documentary and/or user training specialist. The Basics package contains global information resources for the project: a glossary, data dictionaries, classifiers, a base map, a geo-object database. Assigned (element by element) to all project participants. Supported by architect and project management.

The implementation of the described ProSF implementation made it possible to integrate the results and materials into an information system in a broader (wide) sense and, at the same time, into a weak integrated desktop and portal information system. Portal information systems are characterized by the presence of a metabase that describes portal content and helps to work with this content through the Web interface. In the portal version, the degree of data integration was "enhanced" compared to the desktop version.



**Fig. 11.** Results of the ProSF Framework application to Projects 1–3 of FNI: REDAC3W, HEDAC and ChIIS-FGI2 (combining REDAC3W, HEDAC and Project 1 results and materials)

The Solutions Framework ProSF (Fig. 10, 11) was systematically used in the Coordination Project (also called Project 0) one year after the start of the FGI and the time before the initiative was over sufficient to monitor the results of each Sub-Project. The unification of the presentation of results, the use of the ProSF, have created the preconditions for organizing materials into a (geo)information system in an broader sense or weak integrated (geo)information system, with two versions: desktop and portal.

Here we must admit that in our practice there were projects of large territory GIS, for which the concept of scientific intensity framework was poorly applicable. This is, for example, the GIS of a national mobile operator. The development was carried out on a clear technical specification and the scientific intensity of this GIS was small, so, for example, in CP1 there was no educational-scientific component. However, for territorial projects of cultural and natural contexts, all critical properties are valid.

## CONCLUSIONS

The defined four critical properties (CP) are valid for modern GIS and follow from our experience. They are:

- CP1. Availability of educational-scientific, production and management components in each GIS of a large territory.
- CP2. Availability of an atlas solution (or Atlas system — AtS), relatively independent of other elements of the large territory GIS, which could work offline.
- CP3. Portal as a means of building GIS in some broader sense (GISb) with GIS in the narrow sense (GISn) and other elements, as well as to provide online teamwork with all elements-systems.

- CP4. GIS of large territory must have a metasystem extension, which in turn must necessarily include meta-products and meta-processes for their creation. All elements of the system must be consistent with the particular Solutions Framework of the project in which the system was created.

In the absence of any such property, we can speak of a corresponding critical shortcoming of the GIS project, and this project is likely to be a failure.

#### REFERENCES

1. University Consortium for Geographic Information Science. Roger Tomlinson. URL: <http://ucgis.org/roger-tomlinson> (Last accessed: 28.01.2020).
2. Svitlychny O.O., Plotnitsky S.V. Fundamentals of geoinformatics: Textbook / Editor O.O. Svitlychny. Sumy. University Book. 2006. 295 p. (in Ukrainian)
3. Fundamentals of geoinformatics. In 2 b. Textbook for stud. univ. / E.G. Kapralov, A.V. Koshkarev, V.S. Tikunov et al. Ed. V.S. Tikunov. M. Publishing Center "Academy", 2004. Book 1. 352 p. Book 2. 400 p. (in Russian)
4. Star J., Estes J. Geographic Information Systems. An Introduction. Prentice Hall, 1990. 303 p.
5. Geoinformation system (Геоінформаційна система). (Last accessed: 25.01.2020) URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційная\\_система](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційная_система) (in Russian)
6. Geoinformation system (Геоінформаційна система). (Last accessed: 25.01. 2020) URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна\\_система](https://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна_система) (in Ukrainian)
7. Cowen David J. GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 54. No 11. November 1988. P. 1551–1555.
8. Rudenko L.G., Chabanyuk V.S. Foundations of the conception of the multigoal GIS of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*. 1994. No 3. P. 22–34. (in Ukrainian)
9. Miller Harvey J. The data avalanche is here. Shouldn't we be digging? *Journal of Regional Science*. Vol. 50. No 1. 2010. P. 181–201.
10. Sventek Yu.V. Theoretical and practical aspects of modern cartography. Editorial URSS. 1999. 76 p. (in Russian)
11. Rumbaugh James, Jacobson Ivar, Booch Grady. The Unified Modeling Language Reference Manual. - Addison-Wesley, 2005, 2<sup>nd</sup> Ed. - 721 p.
12. Karpinsky Yu.O., Lyashchenko A.A. Geographic information: the reference model is the first fundamental national standard, harmonized with international standards of ISO 19100 / Lviv. Modern achievements of geodetic science and production. Collection of scientific works of the Western Geodetic Society. Publishing House of Lviv Polytechnic National University, issue I (19), 2010. P. 198–203. (in Ukrainian)
13. Prister B.S., Tabatchnyi L.J., Chabanyuk V.S. Liquidation of the Chernobyl After-Effects and GIS. Proceedings. Canadian GIS Conference. Ottawa. June 6–10, 1994. P. 1025–1035.
14. Palko S., Glieca M., Dombrowski A. Geographic information systems for the Chernobyl makers in Ukraine. One decade after Chernobyl: consequences of the accident. International Conference held in Vienna, 8–12 April 1996. Poster presentations — Volume 2. P. 107–113.
15. Atlas. Ukraine. Radioactive contamination. URL: <http://radatlas.isgeo.com.ua> (Last accessed: 26.01.2020)
16. Pretzsch G., Lhomme V., Selesnew A., Roloff R., Artmann A., Berberich G. The French-German Initiative for Chornobyl. Programme 1: Safety State of the Sarcophagus. GRS/IRSN – 3. 2005. ISBN 3-931995-83-6. 68 p.
17. Deville-Cavelin G., Biesold H., Brun-Yaba C., Artmann A. The French-German Initiative for Chornobyl. Programme 2: Study of the Radioecological Consequences. Synthesis Report. GRS/IRSN – 4.1. 2007. ISBN 3-931995-95-X. 104 p.
18. Tirmarche M., et al. The French-German Initiative for Chernobyl. Programme 3: Study of the Health Effects. GRS/IRSN – 5. 2006. ISBN 3-931995-85-2. 64 p.

19. Falkenberg E.D., Lindgreen P., Eds. Information System Concepts: An In-depth Analysis. Amsterdam et al. North-Holland, 1989. 357 p.

Received 10.03.2020

ЛІТЕРАТУРА

1. University Consortium for Geographic Information Science. Roger Tomlinson. URL: <http://ucgis.org/roger-tomlinson> (Дата звернення: 28.01.2020).
2. Світличний О.О., Плотницький С.В. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / За заг. ред. О.О. Світличного. Суми. ВТД «Університетська книга», 2006. 295 с.
3. Основы геоинформатики. В 2 кн. Учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. Под ред. В.С. Тикунова. М. Издательский центр «Академия», 2004. Кн. 1. 352 с. Кн. 2. 400 с.
4. Star J., Estes J. Geographic Information Systems. An Introduction. Prentice Hall, 1990. 303 p.
5. Геоінформаційна система (Geoinformation system). (Дата звернення: 25.01.2020) URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна\\_система](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна_система).
6. Геоінформаційна система (Geoinformation system) (Дата звернення: 25.01.2020) URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна\\_система](https://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна_система).
7. Cowen David J. GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 54. No 11. November 1988. P. 1551–1555.
8. Руденко Л.Г., Чабанюк В.С. Основи концепції багатоцільової ГІС України. *Український географічний журнал*. 1994. № 3. С. 22–34.
9. Miller Harvey J. The data avalanche is here. Shouldn't we be digging? *Journal of Regional Science*. Vol. 50. No 1. 2010. P. 181–201.
10. Свентэк Ю.В. Теоретические и практические аспекты современной картографии. Едиториал УРСС, 1999. 76 с.
11. Буч Грэди (Гради), Якобсон Айвар (Ивар), Рамбо Джеймс. UML. Классика CS. Пер. с англ. СПб. Питер, 2006, 2-е изд. 736 с.
12. Карпінський Ю.О., Ляшенко А.А. Географічна інформація: еталонна модель — перший основоположний національний стандарт, гармонізований з міжнародними стандартами серії ISO 19100 / Львів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Збірник наукових праць Західного Геодезичного Товариства. Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, випуск І(19), 2010. С. 198–203.
13. Prister B.S., Tabatchnyi L.J., Chabanyuk V.S. Liquidation of the Chernobyl After-Effects and GIS. Proceedings. Canadian GIS Conference. Ottawa. June 6–10, 1994. P. 1025–1035.
14. Palko S., Glicca M., Dombrowski A. Geographic information systems for the Chernobyl makers in Ukraine. One decade after Chernobyl: consequences of the accident. International Conference held in Vienna, 8–12 April 1996. Poster presentations — Volume 2. P. 107–113.
15. Atlas. Ukraine. Radioactive contamination. URL: <http://radatlas.isgeo.com.ua> (Дата звернення: 26.01.2020).
16. Pretzsch G., Lhomme V., Selesnew A., Roloff R., Artmann A., Berberich G. The French-German Initiative for Chornobyl. Programme 1: Safety State of the Sarcophagus. GRS/IRSN – 3. 2005. ISBN 3-931995-83-6. 68 p.
17. Deville-Cavelin G., Biesold H., Brun-Yaba C., Artmann A. The French-German Initiative for Chornobyl. Programme 2: Study of the Radioecological Consequences. Synthesis Report. GRS/IRSN – 4.1. 2007. ISBN 3-931995-95-X. 104 p.
18. Tirmarache M., et al. The French-German Initiative for Chernobyl. Programme 3: Study of the Health Effects. GRS/IRSN – 5. 2006. ISBN 3-931995-85-2. 64 p.
19. Falkenberg E.D., Lindgreen P., Eds. Information System Concepts: An In-depth Analysis. Amsterdam et al. North-Holland, 1989. 357 p.

Отримано 10.03.2020



Чабанюк В.С.<sup>1,2</sup>, канд. фіз.-мат. наук,  
старш. наук. співроб. відд. картографії Інституту географії НАНУ,  
директор ТОВ «Інтелектуальні системи-ГЕО»,  
e-mail: chab3@i.ua, chab@isgeo.kiev.ua.

Колімасов І.М.<sup>2</sup>,  
начальник виробництва ТОВ "Інтелектуальні системи-ГЕО",  
e-mail: kolimasov@ukr.net, van@isgeo.kiev.ua.

<sup>1</sup> Інститут географії НАН України,  
вул. Володимирська, 44, 01030, м. Київ, Україна

<sup>2</sup> ТОВ «Інтелектуальні системи-ГЕО»,  
вул. Микільсько-Слобідська, 6/44, 02002, м. Київ, Україна

## АНАЛІЗ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ КРИТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

**Вступ.** Практичний досвід створення, впровадження та експлуатації геоінформаційних систем (ГІС) для керування великими територіями уможливило виділити їх критично важливі властивості. ГІС за наявності критичних властивостей не відповідають загальноприйнятим визначенням, оскільки вони є розвинутішими системами. Приділення особливої уваги критичним властивостям дає змогу зменшити ризики під час розроблення та впровадження таких ГІС, а також підвищити ефективність їх застосування для керування територіями.

**Метою роботи** є аналіз використання розроблених авторами ГІС для керування великими територіями та визначення їх основних критичних властивостей. Відшукуються критичні властивості ГІС для керування територіями, які: 1) повторюються для всіх таких ГІС, 2) відрізняють їх від звичайних ГІС, 3) повинні обов'язково враховуватися під час створення нових ГІС.

**Результати.** Виділені такі критичні властивості, які є необхідними також і для сучасних ГІС для керування територіями: 1) наявність учбово-практичної, виробничої та управлінської компонент, 2) наявність відносно незалежного атласного рішення, 3) обов'язковість використання порталів, 4) необхідність доповнення моделювання територій їх метамоделюванням.

**Висновки.** Після аналізу практичного досвіду створення, впровадження та експлуатації ГІС для керування територіями абдуктивні умовиводи дають змогу стверджувати наявність критичних властивостей ГІС. За відсутності будь-якої такої властивості можемо говорити про відповідний критичний недолік проекту ГІС і цей проект буде найімовірніше провальним.

**Ключові слова:** геоінформаційна система, керування територіями, просторові дані, абдукція, критична властивість.

Чабанюк В.С.<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук,  
директор ООО «Интеллектуальные системы-ГЕО»,  
старш. науч. сотр. отд. картографии Института географии НАНУ,  
e-mail: chab3@i.ua, chab@isgeo.kiev.ua.

Колимасов И.Н.<sup>2</sup>,  
начальник производства ООО «Интеллектуальные системы-ГЕО»,  
e-mail: kolimasov@ukr.net, van@isgeo.kiev.ua.

<sup>1</sup> Институт географии НАН Украины,  
ул. Владимирская, 44 01030, Киев, Украина

<sup>2</sup> ООО «Интеллектуальные системы-ГЕО»,  
ул. Никольско-Слободская, 6/44, 02002, Киев, Украина

## АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ КРИТИЧНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

**Введение.** Практический опыт создания, внедрения и эксплуатации ГИС для управления большими территориями позволяет выделить их критически важные свойства. ГИС с критическими свойствам не соответствуют общепринятым определениям, поскольку они являются более развитыми системами. Особое внимание к критическим свойствам позволяет уменьшить риски при разработке и внедрении таких ГИС, а также повысить эффективность их применения для управления территориями.

**Цель статьи** — анализ использования разработанных авторами ГИС для управления большими территориями и определение их основных критических свойств. Отыскиваются критические свойства ГИС для управления территориями, которые: 1) повторяются для всех таких ГИС, 2) отличают их от обычных ГИС, 3) должны обязательно учитываться при создании новых ГИС.

**Результаты.** Выделены следующие критические свойства, необходимые и для современных ГИС для управления территориями: 1) наличие учебно-практической, производственной и управленческой компонент, 2) наличие относительно независимого атласного решения, 3) обязательность использования порталов, 4) необходимость дополнения моделирования территорий их метамоделированием.

**Выводы.** После анализа практического опыта создания, внедрения и эксплуатации ГИС для управления территориями абдуктивные умозаключения позволяют утверждать о наличии определенных критических свойств ГИС. При отсутствии любого такого свойства можем говорить о соответствующем критическом недостатке проекта ГИС и этот проект будет скорее всего провальным.

**Ключевые слова.** геоинформационная система, управление территориями, пространственные данные, абдукция, критическое свойство.

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.027>

УДК 004.942:001.57+004.03+519.85+612.5

**ЄРМАКОВА І.Й.**, проф., д-р біол. наук,  
пров. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій,  
керівник тематичної групи «Мобільне здоров'я. Методи та засоби»  
e-mail: irena.yermakova@gmail.com

**НИКОЛАЄНКО А.Ю.**, канд. техн. наук,  
наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій.  
e-mail: n\_nastja@ukr.net

**БОГАТЬОНКОВА А.І.**, канд. техн. наук,  
старш. наук. співроб. відд. комплексних досліджень інформаційних технологій  
e-mail: bogatonkova@gmail.com

**ГРИЦАЮК О.В.**,  
молодш. наук. співроб.,  
відд. комплексних досліджень інформаційних технологій  
e-mail: olegval1@gmail.com

**КРАВЧЕНКО П.М.**,  
пров. інженер відд. комплексних досліджень інформаційних технологій  
e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних  
технологій та систем НАН та МОН України,  
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ**

---

***Вступ.** Перебування людини в холодній воді належить до екстремальних впливів. Через високу теплопровідність і теплоємність вода є екстремальним фактором швидкого охолодження організму. Для безпечного плавання і роботи людини у холодній воді використовують спеціальне захисне спорядження — гідрокостюми. Метод математичного моделювання дає змогу дослідити процеси теплообміну між людиною і водним середовищем з урахуванням умов довкілля, рівня фізичної активності та характеристик гідрокостюма.*

***Метою статті** є розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування термофізіологічного стану людини для безпечного перебування у водному середовищі. Для цього було розроблено комп'ютерний модуль впливу захисного одягу на тепловий стан людини.*

***Результати.** Запропоновано інформаційну технологію прогнозування стану людини за екстремальних умов у воді. Розроблено комп'ютерний модуль прогнозування та оцінювання термофізіологічного стану людини у гідрокостюмі. Модуль побудовано на основі комплексу математичних моделей фізіологічних процесів терморегуляції людини в екстремальних умовах середовища. Доведено адекватність математичних моделей шляхом порівняння результатів моделювання зі спостереженнями на людях. Це дає змогу стверджувати, що розроблена з використанням цих моделей інформаційна технологія, а та-*

© ЄРМАКОВА І.Й., НИКОЛАЄНКО А.Ю., БОГАТЬОНКОВА А.І., ГРИЦАЮК О.В., КРАВЧЕНКО П.М., 2020

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Сyb. and comp. eng. 2020. № 2 (200)

27

коже комп'ютерний модуль можуть бути застосовані для виконання теоретичних і практичних завдань, пов'язаних з забезпеченням здоров'я людини у холодній воді.

За допомогою розробленого комп'ютерного модуля проведено модельні дослідження впливу конструкції гідрокостюма на терморегуляцію людини у воді. Було досліджено два гідрокостюми: з короткими рукавами і короткими штанинами та з довгими рукавами і довгими штанинами. Отримано прогноз і проведено аналіз термофізіологічного стану людини, яка протягом години пливе зі швидкістю 1 м/с у воді температурою від 10 °С до 26 °С.

**Висновки.** Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини дає змогу дослідити вплив захисного костюма різної конструкції на терморегуляцію людини. Показано, що вибір гідрокостюма можливо робити тільки з одночасним урахуванням температури води та запланованого фізичного навантаження, в іншому разі можливі помилки, які призведуть до порушення теплового комфорту у разі перебування людини у воді.

**Ключові слова:** модель терморегуляції людини, інформаційна технологія, комп'ютерний модуль, екстремальні впливи, водне середовище, гідрокостюм.

## ВСТУП

Перебування людини в холодній воді належить до екстремальних впливів. Через високу теплопровідність і теплоємність вода є екстремальним фактором швидкого охолодження організму. Тому раптове потрапляння в холодну воду небезпечно для життя і здоров'я людини. За умови несподіваного потрапляння в холодну воду, коли потерпілим необхідно дочекатися рятувальних служб, рекомендують зберігати спокій, не рухатись (якщо в цьому немає крайньої потреби) і прийняти таке положення тіла, щоб якомога менша його площа контактувала з водою [1]. Холодна вода є також небезпечним фактором ризику для плавців, незважаючи на інтенсивність фізичної активності. У разі тривалого перебування людини без спеціального захисного одягу у воді, температура якої нижче за 25 °С, є загроза переохолодження [2]. Падіння температури ядра тіла нижче за 35 °С є небезпечним для здоров'я людини і визначається як переохолодження.

Для безпечного плавання і роботи людини у холодній воді використовуються спеціальне захисне спорядження — гідрокостюми. Під час проведення змагань з плавання у відкритих водоймах для уникнення можливого переохолодження спортсменів зобов'язують використовувати гідрокостюми [3, 4]. Залежно від температури води, виду діяльності і запланованого часу перебування людини у воді використовують гідрокостюми мокрого чи сухого типу. Найбільш поширеними гідрокостюмами є гідрокостюми мокрого типу. Вони виготовляються зі спеціального матеріалу — неопрену. Щодо конструкції, то зазвичай їх виготовляють з рукавами і штанинами різної довжини [5].

На сьогоднішній день розроблено і продовжується створення математичних моделей терморегуляції людини [6, 7, 8]. Проте більшість з них описують теплообмін людини з повітряним середовищем і лише незначна кількість моделей може бути використана для занурення людини у воду. Нестача фізіологічних експериментальних даних, недостатньо вивчені процеси теплообміну людини з водою і процеси утворення додаткового тепла за рахунок холодового тремтіння скелетних м'язів є важливими проблемами у розробленні, налаштуванні та доказуванні адекватності математичних моделей терморегуляції людини у воді.

Вперше математичну модель терморегуляції людини у воді запропонував L.D. Montgomery [9]. В цій моделі шкіра людини повністю захищена гідрокостюмом, математично описано кондуктивну передачу тепла від шкіри до гідрокостюма і кондуктивно-конвективне відведення тепла з поверхні гідрокостюма у воду. В моделі L.D. Montgomery не враховано можливість контактування шкіри безпосередньо з водою і можливість часткового занурення тіла людини у воду. N.C. Miller і R.C. Seagrave розробили також модель терморегуляції людини під час занурення у ванну з водою [10]. Автори не враховували підшкірний жировий шар у тілі людини і не врахували захисний одяг. P. Tikuisis та співавтори розробили модель прогнозування фізіологічних реакцій людини під час занурення в холодну воду [11, 12]. Ця модель розраховує температуру тіла людини, збільшення теплопродукції за рахунок холодового тремтіння скелетних м'язів та конвективні втрати тепла з поверхні тіла людини. В цій моделі враховано товщину жирового шару у тілі людини, захисний гідрокостюм не враховано.

**Метою статті** є розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування термофізіологічного стану людини для безпечного перебування у водному середовищі. Для цього розроблено комп'ютерний модуль впливу захисного одягу на тепловий стан людини.

### **КОМП'ЮТЕРНИЙ МОДУЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ НА ТЕПЛОВИЙ СТАН ЛЮДИНИ**

В основу інформаційної технології та розробленого модуля прогнозування термофізіологічного стану людини у воді покладено комплекс математичних моделей терморегуляції людини під час занурення у воду. Моделі описують процеси теплопродукції, передачу тепла між тканинами і органами, участь системи кровообігу в процесах перенесення тепла в організмі людини, теплообмін людини з повітряним і водним середовищами, процеси адаптації до зміни умов навколишнього середовища і рівня фізичної активності та вплив одягу/захисного спорядження на теплообмін з довкіллям [13].

Розроблено програмне забезпечення (software) для проведення модельних досліджень термофізіологічного стану людини у воді. На рис. 1 надано інтерфейс розробленого модуля для вибору умов перебування людини у водному середовищі. Модуль враховує: температуру води, тривалість перебування, коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді, потужність і вид фізичної активності людини, рівень занурення людини у воду і, як наслідок, характеристики повітряного середовища у разі неповного занурення, характеристики та конструкцію гідрокостюма.

Видом фізичної активності людини у воді може бути стан спокою, утримання тіла на поверхні води, ходіння по пояс у воді і плавання. Фізична діяльність задається ефективністю роботи і коефіцієнтами пропорційності, які відображають відносну участь груп скелетних м'язів тіла. Передбачено можливість вибору стилю плавання, наприклад, вільний стиль, брас, кроль, батерфляй, на спині.

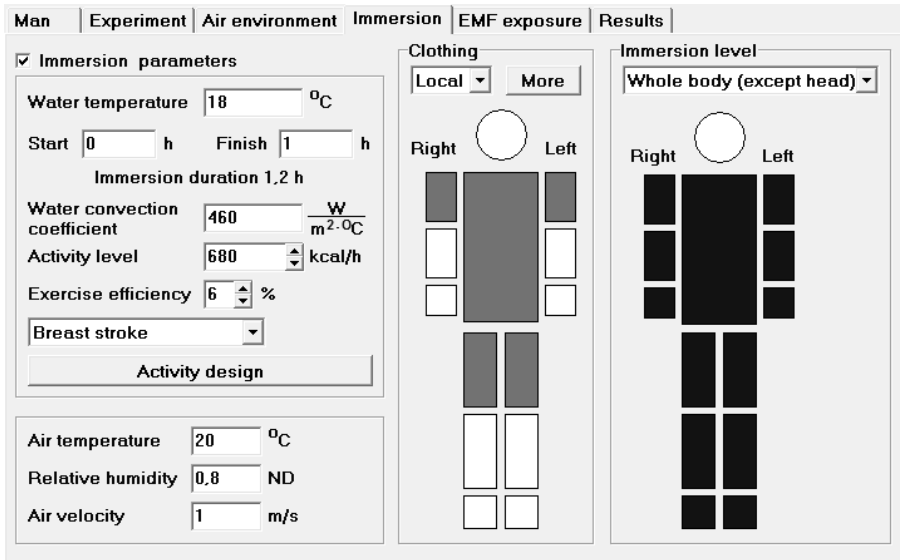


Рис. 1. Інтерфейс модуля для вибору умов перебування людини у воді

Розроблений модуль надає можливість оцінити термофізіологічний стан людини та надати безпечний термін перебування у воді в заданих умовах. Вихідними даними модельних досліджень є характеристики термофізіологічного стану людини — динамічні зміни температур органів і крові людини, об’ємна швидкість крові всіх частин тіла, швидкість метаболічних процесів, теплові потоки, потовиділення, серцевий викид, частота серцевих скорочень, ударний об’єм крові тощо. Модельні дослідження дають змогу заздалегідь оцінити безпечність вибраних умов і попередити ризики порушення стану здоров’я людини.

### АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНИХ РЕАКЦІЙ ЛЮДИНИ У ВОДІ

Необхідним кроком у розробленні та використанні математичних моделей є доказ адекватності. Результати нашої роботи було порівняно і скориговано з результатами спостережень на людях, отриманими Н. Wakabayashi та співавторами [14]. Вони у своєму дослідженні оцінювали вплив гідрокостюма порівнянно зі звичайними плавками на метаболічні процеси та температуру тіла людини. Протягом усього часу перебування людини у воді авторами було здійснено моніторинг внутрішньої температури та температури шкіри. Внутрішню температуру тіла вимірювали за допомогою термісторного зонду у стравоході людини, а температуру шкіри за допомогою терморезисторних сенсорів, які кріпилися до грудної клітини, стегна, гомілки, плеча та передпліччя. Середню температуру шкіри ( $\bar{T}_{sk}$ ) за температурами п’яти вказаних ділянок розраховували за формулою [15]:

$$\bar{T}_{sk} = 0,28 \cdot T_{chest} + 0,28 \cdot T_{thigh} + 0,22 \cdot T_{calf} + 0,14 \cdot T_{forearm} + 0,08 \cdot T_{arm},$$

де:  $T$  — температура, °C; індекси:  $sk$  — шкіра,  $chest$  — грудна клітина,  $thigh$  — стегно,  $calf$  — гомілка,  $forearm$  — плече,  $arm$  — передпліччя.

У дослідженні [14] брали участь 10 молодих та здорових чоловіків, середні фізіологічні характеристики яких: вік 24 роки, зріст 173 см, маса 66 кг, співвідношення жиру (%BF) 17 % від загальної маси тіла, загальна площа поверхні шкіри 1,79 м<sup>2</sup>. Спочатку людина, одягнена тільки у плавки, 10 хвилин перебувала у спокої на повітрі, а потім 60 хвилин сиділа на стільці в спеціальному резервуарі по шию у воді. Швидкість циркулювання води в резервуарі 50 л/хв. Температуру води і температуру повітря підтримували близько 26 °C, відносна вологість повітря ≈ 66 %.

Порівнювали зміни термофізіологічного стану людини у разі використання двох видів одягу: людина перебувала у воді в плавках або в гідрокостюмі. Плавки, зроблені з дуже тонкої тканини, прикривали лише близько 5 % поверхні, тому їхніми термоізоляційними властивостями можна знехтувати. Гідрокостюм надягався безпосередньо перед входженням у воду. Використовувався гідрокостюм «мокрого» типу, матеріал — неопрен, покритий нейлоном, товщиною 2 мм. Ансамбль складався з куртки з короткими рукавами та штанів з короткими штанинами, гідрокостюм покривав приблизно 61 % шкіри людини.

Проведено порівняння результатів дослідження за допомогою розробленого комплексу моделей зі спостереженнями на людях. Динаміка температури внутрішніх органів людини у воді, отримана за розробленими моделями, узгоджується з вимірними даними температури в стравоході людини, які отримано Н. Wakabayashi та співавторами [14], для обох умов (Табл. 1, Рис. 2).

Усталене значення середньої температури шкіри людини у воді, розраховане за розробленими моделями терморегуляції людини, збігається з вимірними даними, які отримано Н. Wakabayashi та співавторами [14], для обох умов (Табл. 1, Рис. 3).

Таблиця 1. Порівняння модельних результатів зі спостереженнями на людях

|                                    | Середньоквадратичне відхилення, °C |           |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
|                                    | в гідрокостюмі                     | в плавках |
| За температурою внутрішніх органів | 0,100                              | 0,064     |
| За середньою температурою шкіри    | 0,378                              | 0,162     |

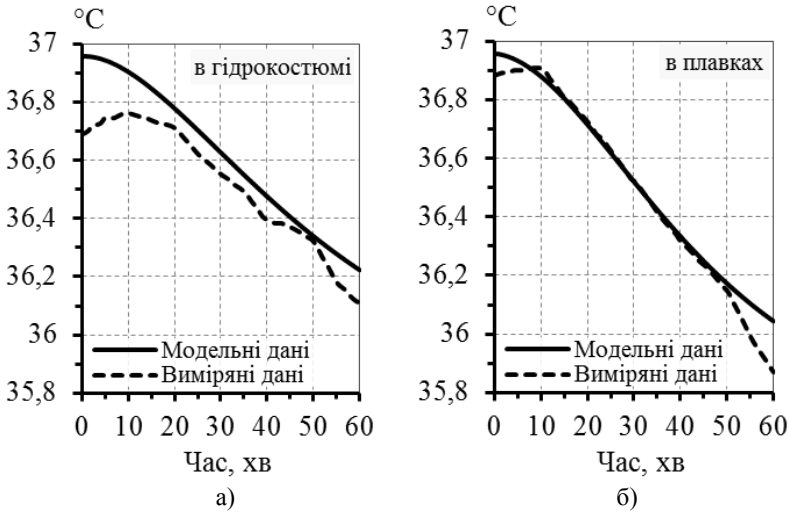


Рис. 2. Динаміка температури внутрішніх органів людини у воді в гідрокостюмі (а) і в плавках (б)

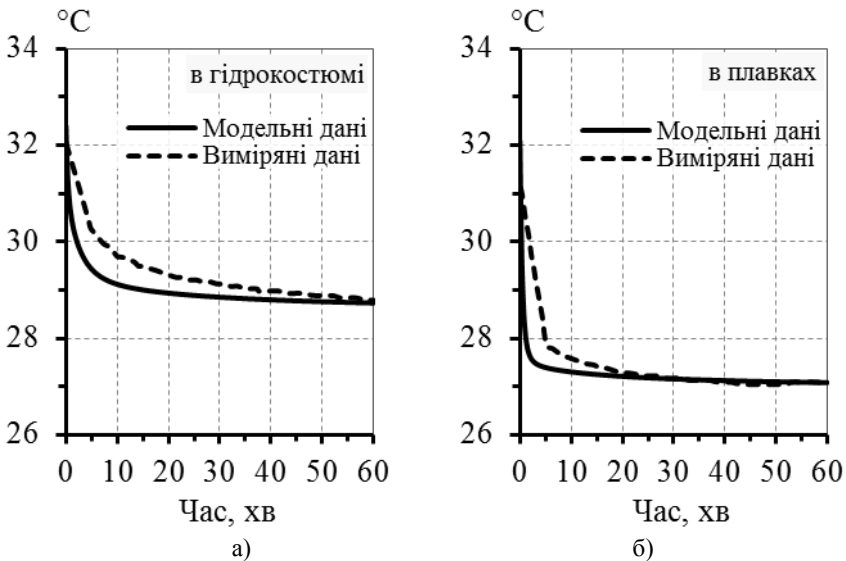


Рис. 3. Динаміка середньої температури шкіри людини у воді в гідрокостюмі (а) і в плавках (б)

Узгодженість результатів моделювання з вимірюваннями на людях підтверджує адекватність математичних моделей. Це дає змогу стверджувати, що розроблений комп'ютерний модуль прогнозування термофізіологічного стану людини у воді може бути застосовано для виконання теоретичних і практичних завдань, пов'язаних з прогнозуванням змін стану людини у холодній воді [16].



## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведено модельні дослідження впливу гідрокостюма на термофізіологічний стан людини. Умови: людина в гідрокостюмі пливе зі швидкістю 1 м/с, утримуючи голову над водою. Інтенсивність фізичної активності 680 ккал/год, ефективність роботи 6 %, тривалість плавання 1 година. Температура води  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \div 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коефіцієнт теплообміну конвекцією у воді  $460\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ . Характеристики повітря: температура  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 80 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с. Характеристики людини: чоловік, 25 років, маса 70 кг, зріст 170 см, площа поверхні тіла  $1,79\text{ м}^2$ , співвідношення жиру (%BF) 15 % від загальної маси тіла. Характеристики гідрокостюма: склад 100 % неопрен, товщина 3 мм, щільність  $170\text{ кг}/\text{м}^3$ , теплоізоляція матеріалу  $0,058\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Було досліджено два гідрокостюми: з короткими рукавами і короткими штанинами (короткий) та з довгими рукавами і довгими штанинами (довгий). Маса короткого гідрокостюма 0,58 кг, площа  $1,14\text{ м}^2$ , маса довгого гідрокостюма 0,76 кг, площа поверхні  $1,49\text{ м}^2$ . Під час плавання людини в «короткому» гідрокостюмі площа шкіри, яка контактує з водою, складає  $0,54\text{ м}^2$ , а в «довгому» гідрокостюмі –  $0,2\text{ м}^2$ , що в 2,7 рази менше.

Аналіз середньої температури шкіри людини за годину плавання зі швидкістю 1 м/с за температури води від  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  показав, що за температури води  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище людині комфортніше в «короткому» гідрокостюмі, а за температури води нижче за  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  — у «довгому» (Рис. 4).

Після входження у воду організм людини миттєво реагує на холод звуженням кровоносних судин у шкірі і терморегуляторним тонусом або тремтінням у скелетних м'язах тіла. Найбільше тремтіння на початку плавання спостерігається за температури води  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  у людини в «короткому» гідрокостюмі, коли холодова теплопродукція зростає до 77 ккал/год, але вже через 22 хвилини тремтіння припиняється, холодова теплопродукція за рахунок тонусу м'язів стає менше 20 ккал/год (Рис. 5).

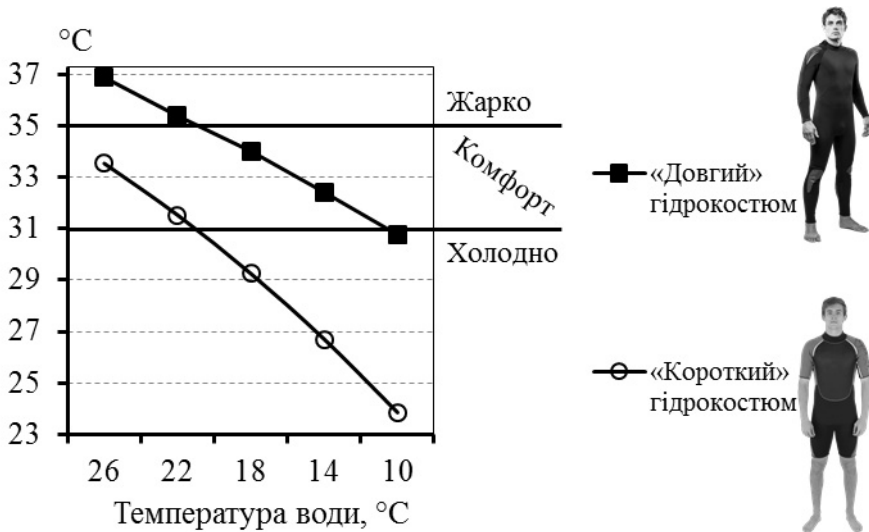
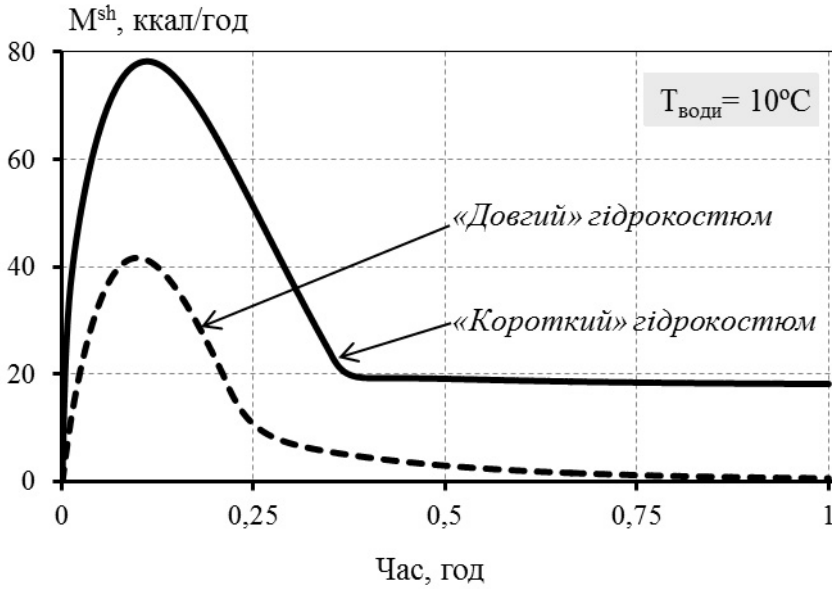


Рис. 4. Середня температура шкіри людини через годину плавання у «короткому» і «довгому» гідрокостюмі залежно від температури води



**Рис. 5.** Динаміка холодового тремтіння скелетних м'язів людини під час плавання у «короткому» та «довгому» гідрокостюмах

Слабко виражена терморегуляторна реакція пояснюється тим, що під час плавання в організмі людини виробляється тепло, яке компенсує втрати тепла шляхом конвекції у воду. Об'ємна швидкість крові у судинах шкіри, яка спочатку падає до 1 л/год, починає збільшуватись, щоб відвести надлишок тепла (Рис. 6). Найменша у заданих умовах об'ємна швидкість крові у судинах шкіри спостерігається за температури води 10 °С у людини в «короткому» гідрокостюмі, що лише через 22 хвилини після початку плавання відновлюється до базової 11 л/год і тримається на одному рівні до закінчення плавання. У «довгому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 13 хвилин після початку плавання і поступово зростає до 56 л/год до закінчення плавання (Рис. 6а).

За температури води 26 °С у людини в «короткому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 8 хвилин після початку плавання і поступово зростає до 113 л/год до закінчення плавання (Рис. 6б). У «довгому» гідрокостюмі об'ємна швидкість крові у судинах шкіри відновлюється до базової через 7 хвилин після початку плавання і стрімко зростає до максимальної 280 л/год, що спричиняє додаткове навантаження на серце. За температури води 26 °С у людини в «довгому» гідрокостюмі частота серцевих скорочень (ЧСС) на 27 уд/хв більше, а серцевий викид (СВ) на 2,7 л/хв більше, ніж у «короткому» (Табл. 2).

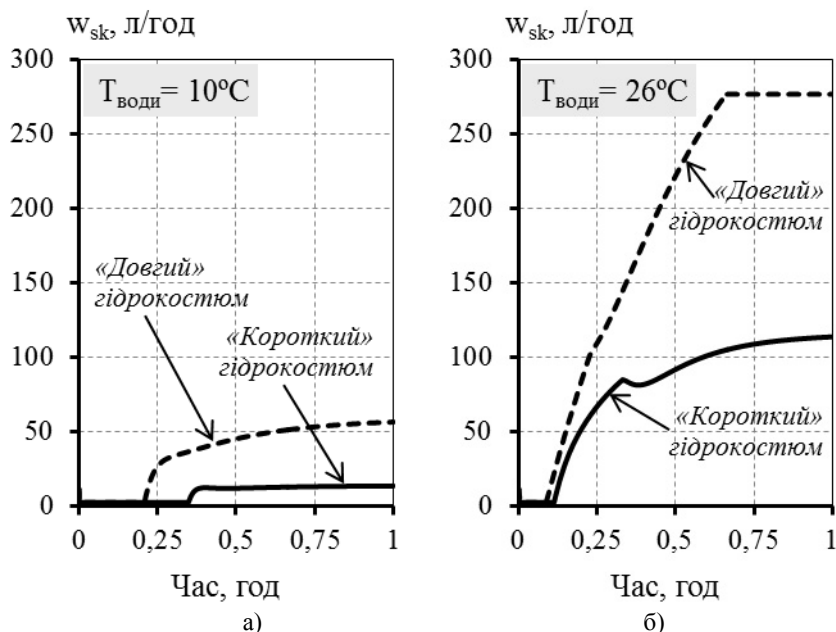


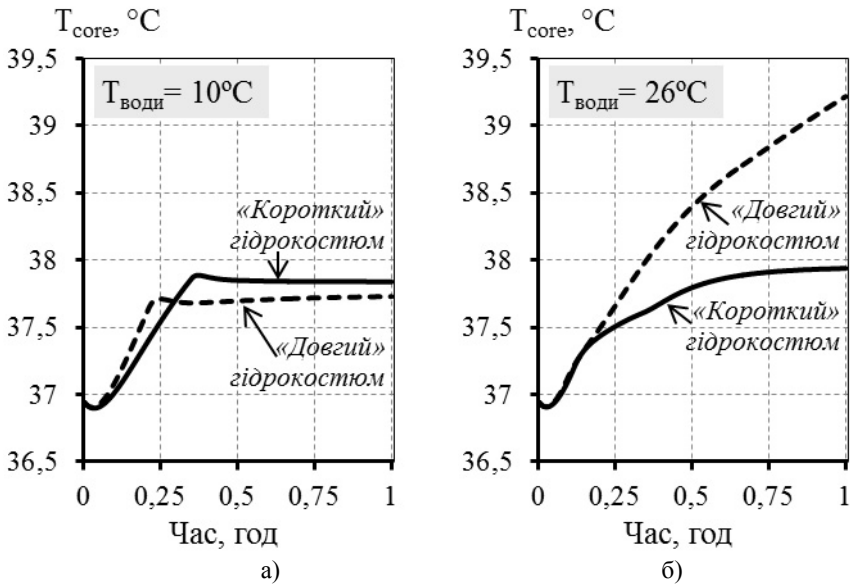
Рис. 6. Динаміка об'ємної швидкості крові у судинах шкіри людини під час плавання в «короткому» та «довгому» гідрокостюмі для температури води  $10^{\circ}\text{C}$  (а) і  $26^{\circ}\text{C}$  (б)

Таблиця 2. Температура ядра тіла ( $T_{\text{ядра}}$ ), частота серцевих скорочень (ЧСС) та серцевий викид (СВ) людини через годину плавання в «короткому» і «довгому» гідрокостюмі залежно від температури води

|                                       | Гідрокостюм | $10^{\circ}\text{C}$ | $14^{\circ}\text{C}$ | $18^{\circ}\text{C}$ | $22^{\circ}\text{C}$ | $26^{\circ}\text{C}$ |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $T_{\text{ядра}}, ^{\circ}\text{C}$ . | «короткий»  | 37,8                 | 37,8                 | 37,7                 | 37,7                 | 37,9                 |
|                                       | «довгий»    | 37,7                 | 37,9                 | 38,1                 | 38,5                 | 39,2                 |
| ЧСС, уд/хв.                           | «короткий»  | 159                  | 157                  | 156                  | 157                  | 161                  |
|                                       | «довгий»    | 156                  | 160                  | 164                  | 171                  | 188                  |
| СВ, л/хв.                             | «короткий»  | 9,1                  | 9,3                  | 9,5                  | 9,9                  | 10,7                 |
|                                       | «довгий»    | 9,8                  | 10,2                 | 11,1                 | 12,3                 | 13,4                 |

У «довгому» гідрокостюмі протягом години плавання зі швидкістю 1 м/с людина не відчуває холоду. Внутрішня температура тіла людини (Табл. 2,  $T_{\text{ядра}}$ ) збільшується протягом всього перебування у воді для всього діапазону температур, крім температури води  $10^{\circ}\text{C}$ , за якої температура внутрішніх органів людини через 14 хвилин виходить на усталений режим  $37,7^{\circ}\text{C}$  (Рис. 7а).

В «короткому» гідрокостюмі температура ядра тіла людини за півгодини виходить на усталений режим  $37,7\text{--}37,8^{\circ}\text{C}$  (Табл. 2) для всього діапазону температур, крім температури води  $26^{\circ}\text{C}$ , за якої внутрішня температура зростає повільніше і виходить на усталений режим  $37,9^{\circ}\text{C}$  ближче до завершення плавання (Рис. 7б).



**Рис. 7.** Динаміка температури внутрішніх органів людини під час плавання у «короткому» та «довгому» гідрокостюмі для температури води  $10^{\circ}\text{C}$  (а) і  $26^{\circ}\text{C}$  (б)

За допомогою розробленого комп'ютерного модуля можливо отримати попередній прогноз термофізіологічного стану плавця залежно від температури води і конструкції гідрокостюма. За температури води  $22^{\circ}\text{C}$  і вище у людини через годину плавання зі швидкістю  $1\text{ м/с}$  у «довгому» гідрокостюмі виникає загроза перегрівання, за таких умов рекомендується використовувати «короткий» гідрокостюм або зменшити час та швидкість плавання. За температури води  $18^{\circ}\text{C}$  і нижче рекомендується використовувати гідрокостюм з довгими рукавами і довгими штанинами.

## ВИСНОВКИ

Інформаційна технологія прогнозування термофізіологічного стану людини дає змогу дослідити вплив захисного костюма різної конструкції на терморегуляцію людини. Показано, що вибір гідрокостюма можливо робити тільки з одночасним урахуванням температури води та запланованого фізичного навантаження, в іншому разі можливі помилки, які призведуть до порушення теплового комфорту у разі перебування людини у воді.

Доведена адекватність математичних моделей терморегуляції людини у воді дає змогу стверджувати, що розроблена з їх використанням інформаційна технологія та комп'ютерний модуль прогнозування термофізіологічного стану людини у воді можуть бути застосовані для виконання практичних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. American Red Cross. *Swimming and Water Safety*, 3<sup>rd</sup> ed. 2009. Chapter 3. P. 43–64. ISBN 978-1-58480-446-8.
2. Tipton M.J., Brooks C.J. The Dangers of Sudden Immersion in Cold Water. *Survival at Sea for Mariners, Aviators and Search and Rescue Personnel*. Brussels, Belgium. 2008. Chapter 3. P. 1–10. ISBN 978-92-837-0084.
3. Tipton M., Bradford C. Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extreme physiology & medicine*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 12.
4. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *Proceedings of the 38<sup>th</sup> International scientific conference electronics and nanotechnology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. (24–26<sup>th</sup> of Apr, 2018, Kyiv). Kyiv, Ukraine. 2018. P. 292–297.
5. Гаврилова О.Е., Никитина Л.Л. Выбор конструктивных решений и полимерных материалов для одежды, используемой в водной среде. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18, № 13. С. 153–155.
6. Гриценко В.И., Ермакова И.И., Духновская К.К., Тадеева Ю.П. Динамические модели и информационные технологии для прогноза жизнедеятельности человека. *Управляющие Системы и Машины*. 2004. Вып 2. С. 56–60.
7. Enescu D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-State and Transient Conditions. *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 5, № 841. P. 1–43.
8. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. CRC press. 2002. Second Edition. 560 p.
9. Montgomery L.D. A model of heat transfer in immersed man. *Annals of biomedical engineering*. 1974. Vol. 2, № 1. P. 19–46.
10. Miller N.C., Seagrave R.C. A model of human thermoregulation during water immersion. *Computers in biology and medicine*. 1974. Vol. 4, № 2. P. 165–182.
11. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *Journal of Applied Physiology*. 1988. Vol. 64, № 2. P. 719–727.
12. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Prediction of human thermoregulatory responses and endurance time in water at 20 and 24 degrees C. *Aviation, space, and environmental medicine*. 1988. Vol. 59, № 8. P. 742–748.
13. Ермакова И.И., Солопчук Ю.Н. Компьютерная модель терморегуляции человека при погружении в воду. Кибнетика и вычислительная техника. Вып. 172. — Киев, 2013, с. 39–48. ISSN 0452-9910.
14. Wakabayashi H., Hanai A., Yokoyama S., Nomura T. Thermal insulation and body temperature wearing a thermal swimsuit during water immersion. *Journal of physiological anthropology*. 2006. Vol. 25, № 5. P. 331–338.
15. Toner M. M., Sawka M. N., Holden W. L., Pandolf K. B. Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *Journal of Applied Physiology*. 1985. Vol. 59, № 1. P. 248–253.
16. Yermakova I., Nikolaienko A., Tadeieva J., Montgomery L. Protective effect of wetsuits for swimmers in cold water: modelling results. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> European conference on protective clothing (ECPC 2016)*. Izmir, Turkey. May 23-25, 2016. P. 57–58.

Отримано 13.02.2020

REFERENCES

1. American Red Cross. *Swimming and Water Safety*, 3<sup>rd</sup> ed. 2009. Chapter 3. P. 43–64. ISBN 978-1-58480-446-8
2. Tipton M.J., Brooks C.J. The Dangers of Sudden Immersion in Cold Water. *Survival at Sea for Mariners, Aviators and Search and Rescue Personnel*. Brussels, Belgium. 2008. Chapter 3. P. 1–10. ISBN 978-92-837-0084.
3. Tipton M., Bradford C. Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extreme physiology & medicine*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 12.

4. Yermakova I., Montgomery L. Predictive Simulation of Physiological Responses for Swimmers in Cold Water. *Proceedings of the 38<sup>th</sup> International scientific conference electronics and nanotechnology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, (24–26<sup>th</sup> of Apr, 2018, Kyiv). Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 292–297.
5. Gavrilova O.E., Nikitina L.L. The choice of constructive decisions and polymeric materials for clothing used in the water. *Vestnik of the Kazan Technological University*. 2015. Vol. 18, № 13. P. 153–155. (in Russian)
6. Gritsenko V., Yermakova I., Dukhnovskaya K., Tadejeva J. Dynamic models and information technologies for prediction of human vital functions. *Control Systems and Computers*, 2004, vol. 2, pp. 56–60. (in Russian)
7. Enescu D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-State and Transient Conditions. *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 5, № 841. P. 1–43.
8. Parsons K. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. CRC press. 2002. Second Edition. 560 p.
9. Montgomery L.D. A model of heat transfer in immersed man. *Annals of biomedical engineering*. 1974. Vol. 2, № 1. P. 19–46.
10. Miller N.C., Seagrave R.C. A model of human thermoregulation during water immersion. *Computers in biology and medicine*. 1974. Vol. 4, № 2. P. 165–182.
11. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *Journal of Applied Physiology*. 1988. Vol. 64, № 2. P. 719–727.
12. Tikuisis P., Gonzalez R.R., Pandolf K.B. Prediction of human thermoregulatory responses and endurance time in water at 20 and 24 degrees C. *Aviation, space, and environmental medicine*. 1988. Vol. 59, № 8. P. 742–748.
13. Yermakova I., Solopchuk Y. Computer model of human thermoregulation during water immersion. *Kibernetika i vyčislitelnaâ tehnika*. 2013. Vol. 172. pp. 39–48. (in Russian).
14. Wakabayashi H., Hanai A., Yokoyama S., Nomura T. Thermal insulation and body temperature wearing a thermal swimsuit during water immersion. *Journal of physiological anthropology*. 2006. Vol. 25, № 5. P. 331–338.
15. Toner M. M., Sawka M. N., Holden W. L., Pandolf K. B. Comparison of thermal responses between rest and leg exercise in water. *Journal of Applied Physiology*. 1985. Vol. 59, № 1. P. 248–253.
16. Yermakova I., Nikolaienko A., Tadeieva J., Montgomery L. Protective effect of wetsuits for swimmers in cold water: modelling results. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> European conference on protective clothing (ECPC 2016)*. Izmir, Turkey. May 23-25, 2016. P. 57–58.

Received 13.02.2020

*Yermakova I.I.*, DSc (Biology), Professor  
Leading Researcher of Complex Research of Information Technologies Department  
e-mail: irena.yermakova@gmail.com

*Nikolaenko A.Y.*, Ph.D. (Engineering),  
Researcher of Complex Research of Information Technologies Department  
e-mail: n\_nastja@ukr.net

*Bogatonkova A.I.*, Ph.D. (Engineering),  
Senior Researcher of Complex Research of Information Technologies Department  
e-mail: bogatonkova@gmail.com

*Hrytsaiuk O.V.*,  
Junior Researcher of Complex Research of Information Technologies Department  
e-mail: olegval1@gmail.com

*Kravchenko P.M.*,  
Senior Engineer of Complex Research of Information Technologies Department  
e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

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

#### INFORMATION TECHNOLOGY FOR PREDICTION OF HUMAN STATE IN EXTREME ENVIRONMENTS

**Introduction.** Being in cold water refers to extreme effects. Due to its high thermal conductivity and heat capacity, water is an extreme factor for rapid cooling of the body. For the safe swimming and working of a man in cold water special protective equipment — wetsuits is used. The method of mathematical modeling makes it possible to study the processes of heat exchange between human and water environment, taking into account environmental conditions, level of physical activity and wetsuit characteristics.

**The purpose of the paper** is to develop information technology for evaluation and prediction of human thermophysiological state for safe staying in the water. As a result computer module for influence of protective clothing on human thermal state has been developed.

**Results.** The information technology for prediction of human state in extreme conditions in water is proposed. The computer module for prediction and evaluation of human thermophysiological state in a wetsuit has been developed. This module is based on a complex of mathematical models of human thermoregulation in extreme environments. The adequacy of mathematical models is proved by comparing the modeling results with observations on people. This suggests that the information technology and computer module can be applied to perform theoretical and practical tasks related to human health in cold water.

With the help of the developed computer module modeling experiments of influence of the design of a wetsuit on the thermoregulation of person in water were held. Two wetsuits were researched: short sleeves and short trousers and long sleeves and long trousers. Were obtained the forecast and the analysis of thermophysiological state of swimming man, duration was one hour, speed was 1 m/s, temperature of water from 10 °C to 26 °C.

**Conclusions.** The information technology for predicting thermophysiological state of a man allows to investigate the influence of a protective suit of different design on the thermoregulation of a human body. It's shown that the choice of wetsuit can be made only in combination with temperature of water and planned physical activity, otherwise mistakes can lead to a violation of thermal comfort in the case of human' being in water.

**Keywords:** *model of human thermoregulation, information technology, computer module, extreme conditions, water environment, wetsuit.*

*Єрмакова І.І.*, проф., д-р. биол. наук.,

вед. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: irena.yermakova@gmail.com

*Николаєнко А.Ю.*, канд.техн. наук,

науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: n\_nastja@ukr.net

*Богатёнкова А.І.*, канд.техн. наук,

старш. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: bogatonkova@gmail.com

*Грицаюк О.В.*,

младш. науч. сотр. отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: olegval1@gmail.com

*Кравченко П.Н.*,

вед. инженер отд. комплексных исследований информационных технологий

e-mail: paul.kravchenko@gmail.com

Международный научно-учебный центр информационных

технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,

пр. Акад. Глушкова, 40, 03187, г. Киев, Украина

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Предложена информационная технология прогноза состояния человека в экстремальных условиях в воде. Разработан компьютерный модуль прогноза и оценки термофизиологического состояния человека в гидрокостюме. Модуль построен на базе комплекса математических моделей физиологических процессов терморегуляции человека в экстремальных условиях среды. Доказана адекватность математических моделей путем сравнения результатов моделирования с наблюдениями на людях. Информационная технология позволяет предсказать изменение функционального состояния человека, рассчитать безопасный срок пребывания человека в воде, предварительно проверить условия будущих соревнований, определить необходимость применения защитного костюма и выбрать его характеристики и конструкцию для исследуемых условий.

**Ключевые слова:** модель терморегуляции человека, информационная технология, компьютерный модуль, экстремальные воздействия, водная среда, гидрокостюм.



# Intelligent Control and Systems

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.041>

UDC 519.688

**GRITSHENKO V.I.**, Corresponding Member of NAS of Ukraine,  
Director of International Research and Training  
Center for Information Technologies and Systems  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and Ministry of Education and Science of Ukraine  
e-mail: [vig@irtc.org.ua](mailto:vig@irtc.org.ua)

**VOLKOV O.Ye.**,  
Senior Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [alexvolk@ukr.net](mailto:alexvolk@ukr.net)

**BOGACHUK Yu.P.**, Ph.D. (Engineering),  
Leading Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [dep185@irtc.org.ua](mailto:dep185@irtc.org.ua)

**GOSPODARCHUK O.Yu.**,  
Senior Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [dep185@irtc.org.ua](mailto:dep185@irtc.org.ua)

**KOMAR M.M.**,  
Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [nickkomar08@gmail.com](mailto:nickkomar08@gmail.com)

**SHEPETUKHA Yu.M.**, Ph.D. (Engineering),  
Leading Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [dep185@irtc.org.ua](mailto:dep185@irtc.org.ua)

**VOLOSHENIUK D.O.**,  
Researcher of the Intelligent Control Department  
e-mail: [p-h-o-e-n-i-x@ukr.net](mailto:p-h-o-e-n-i-x@ukr.net)  
International Research and Training Center for Information  
Technologies and Systems of the National Academy of Sciences  
of Ukraine and of Ministry of Education and Science of Ukraine,  
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

## INTELLECTUAL CONTROL, LOCALIZATION AND MAPPING IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS BASED ON ANALYSIS OF VISUAL DATA

---

**Introduction.** Nowadays, geoinformation systems (GIS) are widely used in transport, construction, navigation, geology, geography, military affairs, topography, economics and more.

**Problem Statement.** Modern GIS publications highlight a number of pressing issues regarding the need to develop technologies and methods for the rapid formation of spatial-temporal geoinformation data bases and dynamic mapping images. The process of prompt formation of cartographic images of the area of unmanned aerial vehicles (UAV) flights in GIS databases is based on the simultaneous solution of two problems — determining the location of UAV in space, as well as the formation of a mapping image of the area under study.

**The purpose of the paper** is to describe the method of topographic clustering of the obtained photographic images of UAV flights, which allows to combine visual images due to

*the semantic search of their topographic similarity, in order to realize the visual localization of UAV and high-precision layout of the mapping image of the navigation environment in the operational GIS database.*

**Materials and methods.** *The research conducted is based on the technologies of intelligent processing of large arrays of video and photo data, the theory of automatic control, methods of image processing and recognition based on descriptors of special points, methods of computer vision, as well as on methods and algorithms of own development, theory of navigation and dynamics of UAV flight.*

**Results.** *Procedures of topographic clustering of visual images obtained with UAV are developed, which are used for cognitive detection, description and matching among the characteristic features of the navigation environment.*

**Conclusions.** *The formation of a mapping image of the area of the navigation environment using the proposed method of topographic clustering of visual images achieved a decimeter accuracy in spatial coordinates, allowing visual localization and mapping with a high level of accuracy.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle, geoinformation system, information technology, computer vision, intelligent control, cartographic image, aerial photography.*

## **INTRODUCTION**

Nowadays geographic information systems (GIS) are widely used at such domains as transport, building, navigation, geology, geography, soldiery, topography, economy etc. However, modern publications about GIS indicate an amount of unsolved problems related to the necessity of space-time databases and dynamical mapping patterns operative formation technologies and methods development. Such data is necessary for fast reaction support of intellectual control systems that need to work in the real time scale under complex conditions of technological disasters, fire accidents, military operations, electronic or cyberattacks etc [1, 2].

The photographic aerial survey, provided by unmanned aerial vehicles is the most economically justified and effective remote way to supply the necessary and current information to GIS [3]. The operative formation process of the mapping patterns of the unmanned aerial vehicles (UAV) flying zones is based on the simultaneous solving of two problems — the UAV intellectual control that lies in definition of UAV location in space and also in corresponding area mapping pattern formation.

Today, the satellite systems as, for example, global positioning system are most commonly used for the global coordinates definition during the missions of UAV localization. But, due to various reasons, signals from navigation satellites can be unavailable, lost or functioning under “Spoofing attack” effect.

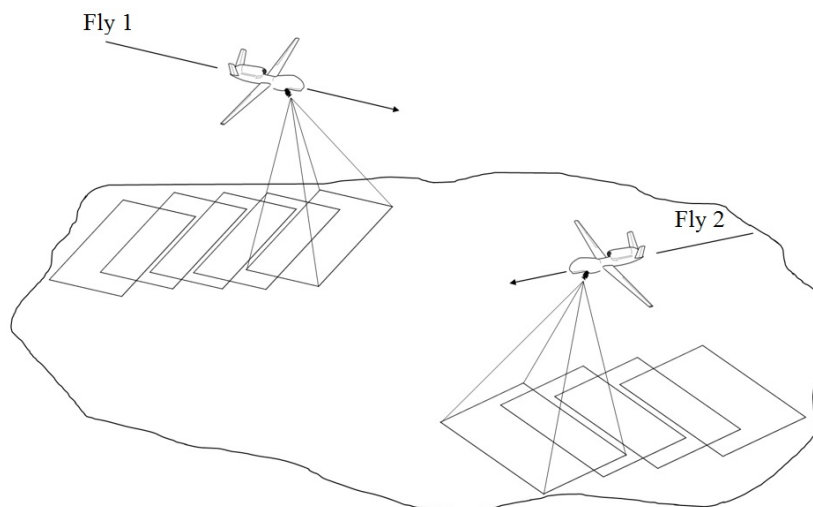
For this very reason the actual development direction is the support of reliable functioning of the UAV in full-autonomy mode, in other words without any signal of global positioning system. One of the modern ways of high-level autonomy achievement is simultaneous localization and mapping on the basis of just visual data usage problems solving [4, 5, 6]. In similar cases UAV visual localization accomplishes on the basis of computer vision methods and algorithms by the way of analysis and comparison of visual pictures special points, that were done by the UAV onboard camera [7, 8, 9]. The mission of simultaneous localization and mapping is building of the map in unknown space or map update in previously known space or with simultaneous intellectual control of the UAV and current location and passed route control. Complex

incorporation of the intellectual control theory, intellectual processing of video- and photo- data memory arrays technology, computer vision methods promotes expansion of geographic information system function capabilities by the production and purposeful usage of the environmental knowledge, creation of artificial intelligence elements and intellectualization of control processes.

The disadvantage of current visual data processing methods is that some of made decisions about special points matching cannot fit the real situation. It, foremost, can be caused by the specifics of pictures that are using for visual navigation, concretely by the big amount of small objects with low detailing. Availability of wrong fits of special points decreases accuracy of the visual navigation systems significantly and it can cause essential errors during the calculation of UAV visual coordinates and, under unfavorable conditions, leads to visual localization systems breakdown in general.

For the purpose of elimination of aforementioned disadvantages and limits of known computer vision methods, the methodology, algorithms and visual pictures topographic clustering procedures were developed. Usage of the information, received by the onboard UAV sensors for topographical clustering allows accomplishing the detection, description and reliable matching amongst characteristic features of the navigation environment. On this basement the intellectual component of UAV visual localization and highly accurate configuration of navigation environment mapping pattern are realized [10].

The formation of several UAV fly photographic patterns with usage of explored district surface air photos, that were made during such flies accomplishes for the construction of navigational space operation mapping (for example, fly 1 and fly 2 on Fig. 1).



**Fig. 1.** Fly photographic pattern formation

**The purpose** of the paper is the development of the topographic clustering method for fly photographic patterns analysis received during the intellectual UAV control. Firstly, such analysis gives the possibility to accomplish UAV visual localization and secondly, allows accurate combining of visual images for construction of fly mapping pattern because of topographic similarities semantic search between images.

## **METHOD OF TOPOGRAPHIC CLUSTERING OF THE SEQUENCE OF VISUAL IMAGES, RECEIVED BY THE UNMANNED AERIAL VEHICLES**

The vast majority of known visual image analysis methods are using detectors and descriptors, that detect specific points that are comparing with each other afterwards in the aim of formation of, so called, “matching point set”, other words identical points on different visual images. The biggest disadvantage of known visual image comparison methods is the fact that some amount of specific point’s matches can be incorrect [7, 8, 9]. One of the reasons of it is that even during the use of totally operable global satellite navigational system, mapping pattern formation sufficient accuracy is not guaranteed because of low accuracy rates of contemporary civil satellite navigation systems. Any error during the mapping pattern creation causes accuracy decreasing of the received map, and in some cases, full unsuitability of such map.

For the correction of such disadvantage the visual image topography clustering method is proposed. There are such features of this method as, firstly, the extraction to cluster from the established set of specific points accomplishes just for points that have some prescribed topographic features that are significantly differ such cluster points from other specific points of the established set. Another feature of the proposed method is that it has capability to check additionally (on the basis of visual image topographic features analysis) match point sets that has been received by known methods for the veracity. Matching points for visual images that have not pass the required check are interpreted as wrong and are excluded from the match point set that increases quality and reliability of visual image analysis significantly.

Furthermore, for the aim of much more detailed exposition of the visual image topographic clustering basic features method, it structures in the range of sequential procedures, each of that is an indispensable part for this method functional capabilities realization.

## **THE PROCEDURE OF SPECIFIC POINTS INDEXED ARRAYS FORMATION**

The first of aforementioned procedures is a specific points indexed arrays formation procedure. Input data of this procedure is an organized set of three-element suites. Suites are formed as a result of sequential appliance of specific point extraction algorithms and their juxtaposition algorithms. Each suite consists of the following elements:

- specific point on the standard frame (hereafter — «default specific point»);
- specific point on the current frame (hereafter — «current specific point»);
- $D$  numeric parameter that describes proximity degree (similitude degree) of suite specific points (hereafter — “distance”).

The similitude degree has been chosen in such a way that for absolutely identical points  $D = 0$ .

The set of the input data of the procedure could be presented in the following way:

$$\langle kp_i^b, kp_i^c, D_i \rangle, i = 1, 2, \dots, Q, \quad (1)$$

where  $kp_i^b, kp_i^c$  —  $i$ -th specific point on the standard and current image (other words  $b$  and  $c$  indexes are respectively indicate the affiliation of the specific point to the default and current image);  $Q$  — general quantity of specific points that are defined by the standard algorithm of basic points extraction.

The method uses the suites set sortation procedure (1) due to the increasing of distance  $D$  and chooses  $N$  first suites afterwards. Other words, the most approximate (alike) specific points of the default and current image are choosing.

Chosen suites number in the random order from 1 to  $N$ :

$$\left[ \langle kp_i^b, kp_i^c, D_i \rangle \right], i = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Furthermore, due to the chosen suites, two indexed arrays are developed — the array of basic specific points (hereafter, the *BKP* array) and array of current specific points (hereafter, the *CKP* array). In the *BKP* array all basic specific points from the suites (2) are coming. In the *CKP* array all current specific points from suites (2) are coming. Herewith, both arrays are organized (indexed) with respect to numerical order (indexes) of suites that has been chosen by the formula (2):

$$\begin{aligned} BKP &= [kp_i^b] \\ CKP &= [kp_i^c] \end{aligned} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

## THE PROCEDURE OF BEARING THREE-POINT CLUSTERS EXTRACTION

The second by the sequence is the procedure of bearing three-point clusters extraction. For the procedure accomplishment, all possible three-points of the *BKP* array are enumerated (for such operation order of point processing in the triplet is insignificant). On the foremost step of the enumeration triplet of points is choosing:

$$(kp_i^b, kp_j^b, kp_k^b), \quad (4)$$

where  $i = 1, \dots, N; j = i+1, \dots, N; k = j+1, \dots, N$ .

Triplet of points from the *BKP* array can be considered as three-point cluster (hereafter, default three-point cluster). In the geometrical interpretation, three-point cluster surely defines some geometrical figure that can be named as “three-pointed cluster star”. The center of star (cluster mass center) can be named point, each coordinate of that is an arithmetical average value of corresponding point coordinates that are defined cluster. The rays of cluster star could be named vectors that are passing out from the star center to the each cluster specific point.

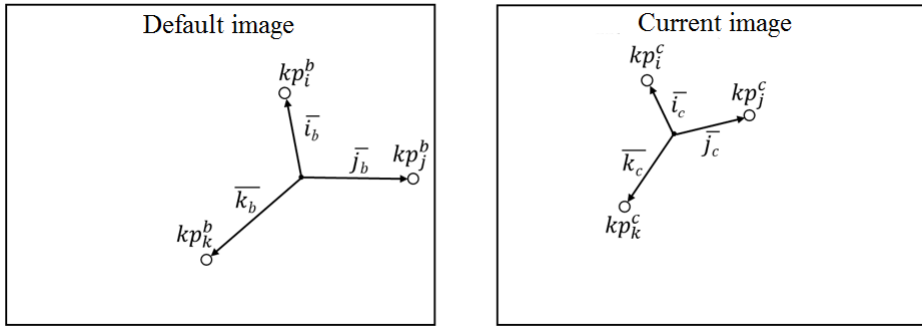


Fig. 2. Three-point cluster and its components for the default and current image

From the *CKP* array, the triplet of points chooses with indexes corresponding to the point indexes that are in cluster (4). Chosen point triplet creates current three-point cluster.

Cluster from the specific points of current image can be written in the following way:

$$(kp_i^c, kp_j^c, kp_k^c), \tag{5}$$

where  $i = 1, \dots, N; j = i+1, \dots, N; k = j+1, \dots, N$ .

Clusters (4) and (5) are creating pair that is depicted on the fig.2, for such pair the proximity (similarity) estimation procedure accomplishes later on.

**THE PROCEDURE OF STANDARD AND CURRENT THREE-POINT CLUSTERS SIMILARITY EVALUATION**

On this stage the method works in cycle, where in the first iteration the pair of *i*-th ray is considered as bearing. After that the *LR* scale coefficient is calculated as a correlation of the default cluster bearing ray length  $|\bar{i}_b|$  to the current cluster ray length  $|\bar{i}_c|$ :

$$LR = \frac{|\bar{i}_b|}{|\bar{i}_c|}. \tag{6}$$

Afterwards the method calculates the ray azimuth difference between default and current cluster ( $Az_{diff}$ ) by the formula:

$$Az_{diff} = Az(\bar{i}_b) - Az(\bar{i}_c), \tag{7}$$

where  $Az(\bar{i}_b)$  — *i*-th ray azimuth of the default cluster;  $Az(\bar{i}_c)$  — *i*-th ray azimuth of the current cluster.

The star rays are scaling including the *LR* (6) scale coefficient. After it cluster stars of the default and current image are united in the way that cluster star centers and bearing rays are coinciding. Herewith, current cluster star turning on the angle  $Az_{diff}$  (7) also takes place:

$$\begin{aligned}\bar{i}_{c_{sr}} &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{i}_c \cdot LR); \\ \bar{j}_{c_{sr}} &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{j}_c \cdot LR); \\ \bar{k}_{c_{sr}} &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{k}_c \cdot LR),\end{aligned}\tag{8}$$

where  $\bar{i}_{c_{sr}}$ ,  $\bar{j}_{c_{sr}}$ ,  $\bar{k}_{c_{sr}}$  — rays of the scaled and turned current cluster star;  $M$  — turning matrix on the angle  $Az_{diff}$ .

For each of the rays the error range  $Er$  is defined, that is scaled to the dimensionless form with the invariance assurance to the cluster scale:

$$\begin{aligned}Er_{ij} &= \frac{|\bar{j}_b - \bar{j}_{c_{sr}}|}{|\bar{j}_b|}; \\ Er_{ik} &= \frac{|\bar{k}_b - \bar{k}_{c_{sr}}|}{|\bar{k}_b|}.\end{aligned}\tag{9}$$

If the error range  $Er$  of, at least, one pair of rays appears to be greater than prescribed limit value, the closeness (similarity) estimation of such default and current three-point clusters finishes with failure and the procedure returns to the stage of extraction of another one three-point cluster.

If  $Er$  error ranges for each ray pair turn to be less then prescribed limit level, method calculates the cluster similarity error  $CER$  for chosen pair of bearing rays by the formula:

$$CER_{ijk} = Er_{ij} + Er_{ik}.\tag{10}$$

In the second iteration, vector  $\bar{j}$  is chosen as a bearing vector and the above-described procedure by the formulas (6)–(10) takes place again.

$LR$  scale coefficient calculates by the formula:

$$LR = \frac{|\bar{j}_b|}{|\bar{j}_c|}.\tag{11}$$

Default and current cluster ray azimuth difference ( $Az_{diff}$ ) equals to:

$$Az_{diff} = Az(\bar{j}_b) - Az(\bar{j}_c).\tag{12}$$

Scaled and turned rays of the current cluster star can be found by the formula (8).

For each of the rays error range  $Er$  can be calculated by the formula:

$$Er_{ji} = \frac{|\bar{i}_b - \bar{i}_{c_{sr}}|}{|\bar{i}_b|};$$

$$Er_{jk} = \frac{|\bar{k}_b - \bar{k}_{c_{sr}}|}{|\bar{k}_b|}.$$
(13)

Afterwards, the condition of error limit value non-overrunning is checking.

After, the error of cluster similarity  $CER$  for chosen pair of bearing rays is calculating by the formula:

$$CER_{jik} = Er_{ji} + Er_{jk}.$$
(14)

In the third iteration, the method chooses vector  $\bar{k}$  as a bearing vector. Scaled  $LR$  coefficient can be found by the formula:

$$LR = \frac{|\bar{k}_b|}{|\bar{k}_c|}.$$
(15)

Default and current cluster rays azimuth difference ( $Az_{diff}$ ) is equal to:

$$Az_{diff} = Az(\bar{k}_b) - Az(\bar{k}_c).$$
(16)

Scaled and turned rays of the current cluster star can be found by the formula (8).

For each of the rays error range  $Er$  can be calculated by the formula:

$$Er_{ki} = \frac{|\bar{i}_b - \bar{i}_{c_{sr}}|}{|\bar{i}_b|};$$

$$Er_{kj} = \frac{|\bar{j}_b - \bar{j}_{c_{sr}}|}{|\bar{j}_b|}.$$
(17)

Afterwards, the condition of error limit value non-overrunning is checking.

After, the error of cluster similarity  $CER$  for chosen pair of bearing rays is calculating by the formula:

$$CER_{kij} = Er_{ki} + Er_{kj}.$$
(18)

As a closeness (similarity) error  $CE$  of the default and current three-point clusters, the minimal value between  $CER_{ijk}$ ,  $CER_{jik}$ ,  $CER_{kij}$  chooses:

$$CE^{ijk} = \min(CER_{ijk}, CER_{jik}, CER_{kij}).$$
(19)

After that, the procedure returns to the selection of a new point triplet in enumeration cycle of all possible point triplets from the  $BKP$  array.

After the finish of enumeration of all possible triplets as bearing three-point clusters, a pair (default and current three-point cluster) is choosing, for which the  $CE$  value is minimal. If  $CE$  calculation has failed for each pair of three-point clusters, it



shall be deemed that bearing cluster extraction procedure on the default and current images on the basis of the specific points comparison results has failed.

Default bearing cluster is written in the following way:

$$(kp_{i_o}^b, kp_{j_o}^b, kp_{k_o}^b). \quad (20)$$

Current bearing cluster is written in the following way:

$$(kp_{i_o}^c, kp_{j_o}^c, kp_{k_o}^c). \quad (21)$$

### THE PROCEDURE OF SUPPLEMENTAL POINT ADDITION INTO THE BEARING STANDARD THREE-POINT CLUSTERS

During the accomplishment of this procedure, each point of the *BKP* array that has not been included to the bearing default three-point cluster are enumerating cyclically.

Chosen point  $kp_l^b, l = 1, \dots, N; l \neq i_o; l \neq j_o; l \neq k_o$ , from the *BKP* array adds to the bearing default three-point cluster and creates default four-point cluster.

From the *CKP* array the  $kp_l^c$  point is choosing that forms a pair with  $kp_l^b$  from the *BKP* array. Chosen point from the *CKP* array adds to the bearing current three-point cluster and forms current four-point cluster (Fig. 3).

4th-point cluster default cluster can be written in the following way:

$$(kp_{i_o}^b, kp_{j_o}^b, kp_{k_o}^b, kp_l^b). \quad (22)$$

4th-point cluster current cluster can be written in the following way:

$$(kp_{i_o}^c, kp_{j_o}^c, kp_{k_o}^c, kp_l^c). \quad (23)$$

In the geometric interpretation each of four-point clusters (22) and (23) defines unambiguously some geometrical figure that can be named “four-rayed cluster star”. The point, each coordinate of that is an arithmetic average value of the corresponding cluster-forming point coordinates can be named the star center (the mass center). As star rays can be named vectors that are tracing from the star center to each cluster-forming point.

On the first iteration the method considers  $i$ -th rays pair  $(\bar{i}_o^b, \bar{i}_o^c)$  as bearing.

The next step of the method calculates *LR* scale coefficient as correlation of the default cluster bearing ray length  $\bar{i}_o^b$  to the current cluster bearing ray length  $\bar{i}_o^c$ :

$$LR = \frac{|\bar{i}_o^b|}{|\bar{i}_o^c|}. \quad (24)$$

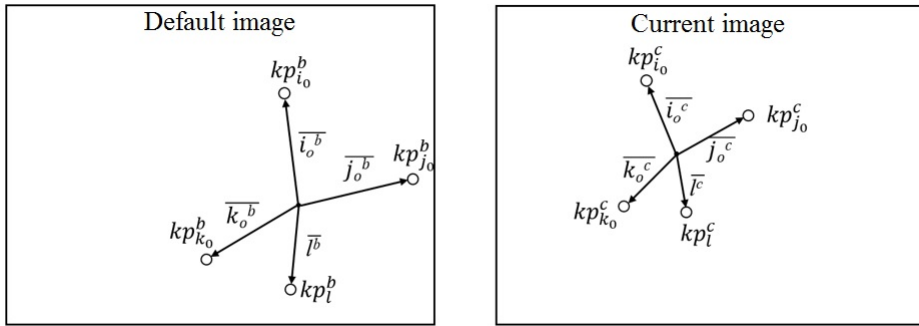


Fig. 3. Additional point adjunction in the bearing three-point clusters

Afterwards the method calculates the difference between bearing ray azimuths of default and current clusters of ( $Az_{diff}$ ) by the formula:

$$Az_{diff} = Az(\bar{i}_o^b) - Az(\bar{i}_o^c), \quad (25)$$

where  $Az(\bar{i}_o^b)$  —  $i$ -th azimuth of the default cluster bearing ray;  $Az(\bar{i}_o^c)$  —  $i$ -th azimuth of the current cluster bearing ray.

The current cluster star rays are scaling including  $LR$  scale coefficient. After it cluster stars of the default and current clusters are united in such a way that cluster star centers and bearing rays are coinciding. Herewith, current cluster star turning on the angle  $Az_{diff}$  also takes place:

$$\begin{aligned} \bar{i}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{i}_o^c \cdot LR); \\ \bar{j}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{j}_o^c \cdot LR); \\ \bar{k}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{k}_o^c \cdot LR); \\ \bar{l}_{sr}^c &= M(Az_{diff}) \cdot (\bar{l}^c \cdot LR), \end{aligned} \quad (26)$$

where  $\bar{i}_{o_{sr}}^c$ ,  $\bar{j}_{o_{sr}}^c$ ,  $\bar{k}_{o_{sr}}^c$ ,  $\bar{l}_{sr}^c$  — rays of the scaled and turned current cluster star;  $M$  — turning matrix on the angle  $Az_{diff}$ .

The  $Er$  error range for pair of default and current rays of the additional point  $kp_l$  ( $\bar{l}^b$  and  $\bar{l}_{sr}^c$ ) defines:

$$Er_{il} = \frac{|\bar{l}^b - \bar{l}_{sr}^c|}{|\bar{l}^b|}. \quad (27)$$

If  $Er$  appears to be greater than prescribed limit value, current pair of specific points excludes from the list of candidates for including to default and current clusters, the procedure passes to the step of a new candidate points pair choosing for the including to the cluster.

On the next two iterations, remained ray pairs of three-rayed default and current clusters are considering as bearing. For the situation, depicted on the fig. 3 — there are ray pairs  $(\bar{j}_o^c, \bar{j}_o^b)$  and  $(\bar{k}_o^c, \bar{k}_o^b)$ . After it, each action that has been described by formulas (24) – (27) repeats for a new chosen pair of bearing rays.

If after the finish of the cycle the error range has not overpass prescribed limit value than current pair of points  $(kp_i^c, kp_i^b)$  for fig. 3) marks as a candidate for including to the default and current clusters respectively, after that procedure passes to the step of another point-candidate choosing for including in cluster.

After the ending of candidate points cyclical enumeration for the including in cluster, all default and bearing points, marked as candidates for including in default and current clusters (fulfilled condition about limit value overpassing absence) are adding to the corresponding cluster. As a result, there is a cluster pair — default and current S-point clusters, where  $S \geq 3$  and  $S \leq N$ .

Other words, S-point cluster consists of bearing three-point cluster with adding of all points, for which the condition of the limit value overpassing absence is fulfilled.

### **SIMILAR CLUSTERS EMPHASIS BY THE SPECIFIC POINT COMPARISON RESULTS THAT HAVE BEEN RECEIVED BY THE ALTERNATIVE METHOD OF SPECIFIC POINTS EMPHASIS**

Each procedure of method work (1–27), described in 2.2–2.4 repeats for sets of three-element tuples that are constructed by another (alternative) specific point extracting method (during the usage of OpenCV library [11], for this aim algorithms BRISK, ORB, AKAZE can be used). If the primary (by the first method) and repetitive (by the second method) procedure of similar cluster extraction procedure fails, it is regarded that clusterization procedure failed for given image pair. Clusterization procedure for given image pair ends.

If similar cluster extraction procedure has ended successfully, there are two pairs of similar clusters: the  $S$  S-point cluster pair for the first algorithm of specific point extraction and the  $S'$  S'-point cluster pair for the second (alternative) algorithm of specific point extraction. So that two pairs are the input data for the cluster cross-check procedure.

### **CLUSTER CROSS-CHECK PROCEDURE**

The verification of similar cluster extraction results by the specific point comparison results proceeds by the cluster cross-check procedure that resides in expansion of the first received cluster by the second cluster points.

Herewith, the first cluster pair  $S$  is considered to be basic and the second one  $S'$  — additional. From the  $S$  cluster pair default and current three-point bearing clusters (20) and (21) are extracted.

After that each point pairs of the  $S'$  cluster extra pair are enumerating cyclically for its adding to the  $S$  cluster. Three-point default and current bearing clusters are furnished out by the corresponding specific point from another pair of cluster points  $S'$  and form four-point cluster pair: default and current four-point cluster (Fig. 4).

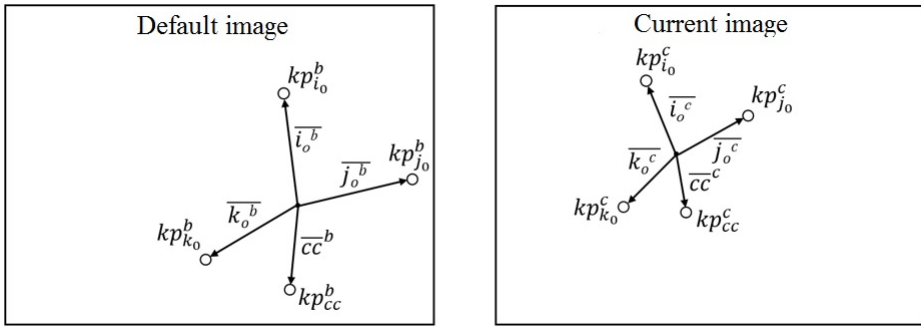


Fig. 4. Cross-check procedure

On Fig. 4:  $(kp_{i_o}^b, kp_{j_o}^b, kp_{k_o}^b)$  — bearing default cluster of the  $S$ -point cluster for the first algorithm of specific point extraction;  $(kp_{i_o}^c, kp_{j_o}^c, kp_{k_o}^c)$  — bearing current cluster of the  $S$ -point cluster for the first specific point extraction algorithm;  $kp_{cc}^b, kp_{cc}^c$  — point-candidate pair for the expansion of  $S$  clusters from the extra  $S'$  clusters.

Further work of the method is similar to the procedure of extra point addition to the bearing clusters, described in the 2.4 sub-paragraph.

4-point default cluster can be written in the following way:

$$(kp_{i_o}^b, kp_{j_o}^b, kp_{k_o}^b, kp_{cc}^b). \quad (28)$$

4-point current cluster can be written in the following way:

$$(kp_{i_o}^c, kp_{j_o}^c, kp_{k_o}^c, kp_{cc}^c). \quad (29)$$

Each of four-point clusters (28) and (29) defines the four-ray star unambiguously. The cluster mass center is the center of the star. Rays of the star are vectors that begin at the star center and direct to the each point that forms cluster.

The method considers pair of  $i$ -th rays  $(\vec{i}_o^b, \vec{i}_o^c)$  as bearing on the first iteration.

The next step of the method calculates  $LR$  scale coefficient as correlation between default cluster bearing ray length  $\vec{i}_o^b$  and current cluster bearing ray length  $\vec{i}_o^c$  by the formula (24).

Afterwards method calculates the difference between ray azimuths of default and current clusters ( $Az_{diff}$ ) by the formula (25).

Current cluster star rays are scaling including  $LR$  scale coefficient. After that current and default image cluster stars are united in such a way that cluster star centers and bearing rays are coinciding. Herewith, current cluster star turning on the angle  $Az_{diff}$  also takes place:

$$\begin{aligned}
 \bar{i}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{\text{diff}}) \cdot (\bar{i}_o^c \cdot LR); \\
 \bar{j}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{\text{diff}}) \cdot (\bar{j}_o^c \cdot LR); \\
 \bar{k}_{o_{sr}}^c &= M(Az_{\text{diff}}) \cdot (\bar{k}_o^c \cdot LR); \\
 \bar{cc}_{sr}^c &= M(Az_{\text{diff}}) \cdot (\bar{cc}^c \cdot LR),
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

where  $\bar{i}_{o_{sr}}^c, \bar{j}_{o_{sr}}^c, \bar{k}_{o_{sr}}^c, \bar{cc}_{sr}^c$  — scaled and turned current cluster star rays;  $M$  — turning matrix on the angle  $Az_{\text{diff}}$ .

The error range  $Er$  calculates for the pair of default and current rays of the extra point  $kp_{cc}$  ( $\bar{cc}^b$  and  $\bar{cc}_{sr}^c$ ):

$$Er_{icc} = \frac{\left| \bar{cc}^b - \bar{cc}_{sr}^c \right|}{\left| \bar{cc}^b \right|}.
 \tag{31}$$

If  $Er$  turns to be greater than prescribed limit level, current pair of specific points excludes from the candidates on including in default and current clusters, method passes to the step of another candidate-point pair choosing from additional clusters.

On the next two iterations, remained ray pairs of three-rayed default and current clusters are considering as bearing. For the situation, depicted on fig. 4 – there are ray pairs  $(\bar{j}_o^c, \bar{j}_o^b)$  and  $(\bar{k}_o^c, \bar{k}_o^b)$ . Afterwards the algorithm repeats each action that has been described in formulas (24, 25, 30, 31) for the new pair of chosen bearing rays.

If after the cycle ending the error range  $Er$  does not overrun prescribed limit value than current point pair  $(kp_{cc}^b, kp_{cc}^c)$  for fig. 4) marks as candidate for expansion of the basic default and current clusters respectively, after that method passes to another pair of points selection from the additional cluster pair  $S'$ .

After the finish of cyclic point enumeration from the additional cluster pair  $S'$ , each additional cluster point pairs marked as candidates for including in the basic cluster pair are adding to basic default and current cluster  $S$ . So another cluster pair is forming: extended default cluster and extended current cluster  $S_{\text{extended}}$ .

After full cross-check procedure accomplishes repeatedly, only for the case, when  $S'$  cluster pair is basic and  $S$  cluster pair is additional.

After the finish of cyclic point enumeration with the additional cluster pair  $S$ , all additional cluster point pairs that marked as candidates for including in the basic cluster pair are adding to basic default and current cluster  $S'$ . So the cluster pair is forming: extended basic cluster and extended current cluster  $S'_{\text{extended}}$ .

Clusterization procedure summarizing results are forming in the following way:

- if during the cross-check extension of  $S$  cluster pair has failed by the two point pairs from the additional cluster pair  $S'$  minimally and also failed to extend  $S'$  cluster pair by two point pairs from the additional cluster pair  $S$ , its deemed that clusterization procedure has failed for the given pair of images.

– on the other case, cluster pair ( $S_{extended}$  or  $S'_{extended}$ ) to what greater number of points from additional cluster has been added chooses as a resulting cluster pair. If the number of added point pairs in  $S_{extended}$  and  $S'_{extended}$  clusters is equal, the first pair is selected as the result.

Two points comparison reliability is achieving due to the fact that visual image matching points that have not passed visual image topographic feature check are interpreting as false and excluding from the matching point set.

The developed visual image topographic clusterization method utilization offers an opportunity to reduce the possibility of false match appearing significantly. Results of conducted experiments based on the real flight data showed that utilization of search, description and comparison of specific points methods including the visual image topographic clusterization method provides the significant reduce of the false match appearing possibility during the image comparison that is utilizing in intellectual control systems for highly-accurate UAV autonomous navigation support.

## CONCLUSIONS

Developed visual image topographic clusterization procedures provided by the UAV are applicable to the computer vision methods that are applying to cognitive definition, description and matching determination amongst the navigation environment characteristic features and realizing intellectual part of the informational technology that could be successfully implemented to the UAV control system for the autonomy coordinate location and forming of the flight geoinformation patterns in GIS information databases.

Mentioned modelling and real flight testing results showed that exploring topographic environment area mapping pattern including the usage of the proposed visual image topographic clusterization method achieving the decimeter accurateness for space coordinates that gives a possibility to accomplish visual localization and mapping with the high level accurateness. Availability of such data level accurateness simplifies processing significantly and allows accomplishing processing stages in full-automatic mode.

According to authors, the perspective way is to continue experiments at the domain of full switching to the autonomous navigation for UAV coordinate determination mission during the simultaneous solving of the localization and mapping problems. Proposed method would expand the variety of the UAV usage by increasing of the UAV intellect and autonomy level that would have positive influence on the active manufacturing rising and on the increasing of the UAV complexes usage in Ukraine and all over the world.

Also, suggested method can be implemented in the perspective intellectual control systems that are demanding modelling of conscious behavior of the human, who extracts the data, that is necessary for environment features perception.

## REFERENCES

1. Artes T., Cencerrado A., Cortes A., Margalef T. Real-time genetic spatial optimization to improve forest fire spread forecasting in high-performance computing environments. *International Journal of Geographical Information Science*. 2016, Vol. 30, № 3, pp. 594–611.
2. Li J., Bi Y., Lan M., Qin H., Shan M., Lin F., Chen B.M. Real-time Simultaneous Localization and Mapping for UAV: A Survey. *Proc. of International micro air vehicle competition and conference*. 2016, Beijing, China, 2016, pp. 237–242.

3. Kozub, A. M., Suvorova, N. O., & Chernyavsky, V. M. Analiz zasobiv zboru informatsiyi dlya heorafichnykh informatsiynykh system. *Systemy ozbroynnya i viyskova tekhnika*. 2011, №3, pp. 42–47. (In Ukrainian)
4. Gonzales D., Harting S. Designing Unmanned Systems with Greater Autonomy: Using a Federated, Partially Open Systems Architecture Approach. Santa Monica, Calif: RAND, 2014, 96 p.
5. Agunbiade O., Zuva T., A Review: Simultaneous Localization and Mapping in Application to Autonomous Robot. *Preprints 2018*. 2018050293 (doi: 10.20944/preprints201805.0293.v1).
6. Fuentes-Pacheco J., Ruiz-Ascencio J., Rendon-Mancha J.M. Visual simultaneous localization and mapping: a survey. *Artificial Intelligence Review*. 2015, Vol. 43, №1, pp. 55–81.
7. Silpa C., Hartley R. Optimised KD-trees for fast image descriptor matching. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2008, pp. 1–8.
8. Dufournaud Y., Schmid C., Horaud R. Image matching with scale adjustment. *Computer Vision Image Understanding*. 2004, № 93(2), pp. 175–194.
9. Zhang W., Kosecka J. Image based localization in urban environments. *Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission*. 2006, Chapel Hill, USA, pp. 33–40.
10. Schubert J., Brynielsson J., Nilsson M., Svenmarck P. Artificial Intelligence for Decision Support in Command and Control Systems. *Proceedings of the 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium «Multi-Domain C2»*. 2018, Playa Vista, California, USA, pp. 18–33.
11. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly Media, 2008, 576 p.

Received 27.02.2020

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Artes T., Cencerrado A., Cortes A., Margalef T. Real-time genetic spatial optimization to improve forest fire spread forecasting in high-performance computing environments. *International Journal of Geographical Information Science*. 2016. Vol. 30, № 3. P. 594–611.
2. Li J., Bi Y., Lan M., Qin H., Shan M., Lin F., Chen B.M. Real-time Simultaneous Localization and Mapping for UAV: A Survey. *Proc. of International micro air vehicle competition and conference*. 2016. Beijing, China, 2016. P. 237–242.
3. Козуб А.М., Суворова Н.О., Чернявський В.М. Аналіз засобів збору інформації для географічних інформаційних систем. *Системи озброєння і військова техніка*. 2011. № 3. С. 42–47.
4. Gonzales D., Harting S. Designing Unmanned Systems with Greater Autonomy: Using a Federated, Partially Open Systems Architecture Approach. Santa Monica, Calif: RAND. 2014. 96 p.
5. Agunbiade O., Zuva T., A Review: Simultaneous Localization and Mapping in Application to Autonomous Robot. *Preprints 2018*. 2018050293 (doi: 10.20944/preprints201805.0293.v1).
6. Fuentes-Pacheco J., Ruiz-Ascencio J., Rendon-Mancha J.M. Visual simultaneous localization and mapping: a survey. *Artificial Intelligence Review*. 2015. Vol. 43. №1. P. 55–81.
7. Silpa C., Hartley R. Optimised KD-trees for fast image descriptor matching. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Alaska, 2008. P. 1–8.
8. Dufournaud Y., Schmid C., Horaud R. Image matching with scale adjustment. *Computer Vision Image Understanding*. 2004. № 93(2). P. 175–194.
9. Zhang W., Kosecka J. Image based localization in urban environments. *Proceedings of the Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission*. Chapel Hill, USA. 2006. P. 33–40.
10. Schubert J., Brynielsson J., Nilsson M., Svenmarck P. Artificial Intelligence for Decision Support in Command and Control Systems. *Proceedings of the 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium «Multi-Domain C2»*. Playa Vista, California, USA. 2018. P. 18–33.
11. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly Media, 2008. 576 p.

Отримано 27.02.2020

*Гриценко В.І.*, член-кореспондент НАН України,  
директор Міжнародного науково-навчального центру  
інформаційних технологій та систем  
НАН України та МОН України  
e-mail: vig@irtc.org.ua

*Волков О.Є.*,  
старш. наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: alexvolk@ukr.net

*Богачук Ю.П.*, канд. техн. наук,  
пров. наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Господарчук О.Ю.*,  
старш. наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Комар М.М.*,  
наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: nickkomar08@gmail.com

*Шенетуха Ю.М.*, канд. техн. наук,  
пров. наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Волошенюк Д.О.*,  
наук. співроб.  
відд. інтелектуального управління  
e-mail: p-h-o-e-p-i-x@ukr.net

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
та систем НАН України та МОН України,  
пр. Акад. Глушкова 40, м. Київ, 03187, Україна

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ, ЛОКАЛІЗАЦІЯ ТА КАРТОГРАФУВАННЯ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ

**Вступ.** У сьогоднішні геоінформаційні системи (ГІС) широко застосовують в транспорті, будівництві, навігації, геології, географії, військовій справі, топографії, економіці тощо.

**Проблематика.** Сучасні публікації у галузі ГІС висвітлюють ряд нагальних проблем щодо необхідності розроблення технологій та методів оперативного формування баз просторово-часових геоінформаційних даних та динамічних картографічних образів. Процес оперативного формування картографічних образів області польотів безпілотних літальних апаратів (БпЛА) в базах даних ГІС базується на одночасному розв'язанні двох завдань — визначенні місцезнаходження БпЛА у просторі, а також формуванні картографічного образу області, яка досліджується.

**Мета.** Опис методу топографічної кластеризації отриманих фотографічних образів польотів БпЛА, що дає змогу поєднувати візуальні зображення за рахунок семантичного пошуку їх топографічної подібності, з метою здійснення візуальної локалізації БпЛА та високоточної компоновки картографічного образу навігаційного середовища в оперативній базі даних ГІС у інтелектуальному керуванні.

**Матеріали й методи.** Проведені дослідження базуються на технології інтелектуального оброблення великих масивів відео- та фото-даних, теорії автоматичного керування, методів оброблення та розпізнавання зображень на основі дескрипторів особливих точок, методів комп'ютерного зору, а також на методах й алгоритмах власної розробки, теорії навігації та динаміки польоту БпЛА.



**Результати.** Розроблено процедури топографічної кластеризації візуальних зображень, отриманих за допомогою БпЛА, що застосовуються для когнітивного виявлення, опису і знаходження відповідності серед характерних ознак навігаційного середовища.

**Висновки.** Формування картографічного образу області навігаційного середовища з використанням запропонованого методу топографічної кластеризації візуальних зображень сягає дециметрової точності за просторовими координатами, що дає змогу виконувати візуальну локалізацію та картографування з високим рівнем точності.

**Ключові слова:** *Безпілотний літальний апарат, геоінформаційна система, інформаційні технології, комп'ютерний зір, інтелектуальне керування, картографічний образ, аерофотознімок*

*Гриценко В.И.*, член-корреспондент НАН України,  
директор Международного научно-учебного центра  
информационных технологий и систем  
НАН Украины и МОН Украины  
e-mail: vig@irtc.org.ua

*Волков А.Е.*,  
старш. науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: alexvolk@ukr.net

*Богачук Ю.П.*, канд. техн. наук,  
ведущ. науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Господарчук А.Ю.*,  
старш. науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Комар Н.Н.*,  
науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: nickkomar08@gmail.com

*Шенетуха Ю.М.*, канд. техн. наук,  
ведущ. науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: dep185@irtc.org.ua

*Волошенко Д.А.*,  
науч. сотр.  
отд. интеллектуального управления  
e-mail: p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

Международный научно-учебный центр информационных  
технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,  
пр. Акад. Глушкова, 40, г. Киев, 03187, Украина

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ  
И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

**Введение.** В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) широко применяются в транспорте, строительстве, навигации, геологии, географии, военном деле, топографии, экономике и т.д.

**Проблематика.** Современные публикации в области ГИС освещают ряд насущных проблем о необходимости разработки технологий и методов оперативного формирования

баз пространственно-временных геоинформационных данных и динамических картографических образов. Процесс оперативного формирования картографических образов области полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в базах данных ГИС базируется на одновременном решении двух задач — определения местоположения БПЛА в пространстве, а также формирования картографического образа исследуемой области.

**Цель.** Описание метода топографической кластеризации полученных фотографических образов полетов БПЛА, что позволяет объединять визуальные изображения за счет семантического поиска их топографического сходства с целью осуществления визуальной локализации БПЛА и высокоточной компоновки картографического образа навигационной среды в оперативной базе данных ГИС при интеллектуальном управлении.

**Материалы и методы.** Проведенные исследования базируются на технологии интеллектуальной обработки больших массивов видео- и фото-данных, теории автоматического управления, методов обработки и распознавания изображений на основе дескрипторов особых точек, методов компьютерного зрения, а также на методах и алгоритмах собственной разработки, теории навигации и динамики полета БПЛА.

**Результаты.** Разработаны процедуры топографической кластеризации визуальных изображений, полученных с помощью БПЛА, применяемых для когнитивного выявления, описания и нахождения соответствия среди характерных признаков навигационной среды.

**Выводы.** Формирование картографического образа области навигационной среды с использованием предложенного метода топографической кластеризации визуальных изображений достигает дециметровой точности по пространственным координатам, что позволяет выполнять визуальную локализацию и картографирование с высокой степенью точности.

**Ключевые слова:** Беспилотный летательный аппарат, геоинформационная система, информационные технологии, компьютерное зрение, интеллектуальное управление, картографический образ, аэрофотоснимок.

# Medical and Biological Cybernetics

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.059>

UDC 612.821/.84:002.1

**KOCHINA M.L.**<sup>1</sup>, DSc (Biology), Professor,  
Head Medical and Biological Basics of Sports  
and Physical Rehabilitation Department  
e-mail: [kochinaml@gmail.com](mailto:kochinaml@gmail.com)

**KOZAK L.M.**<sup>2</sup>, DSc (Biology), Senior Researcher,  
Leading Researcher of the Medical Information Systems Department  
e-mail: [lmkozak52@gmail.com](mailto:lmkozak52@gmail.com)

**YAVORSKY O.V.**<sup>3</sup>, DSc (Medicine),  
Professor of Ophthalmology Department  
e-mail: [yavor.av@gmail.com](mailto:yavor.av@gmail.com)

**FIRSOV O.G.**<sup>4</sup>, PhD (Engineering),  
Chief Designer  
e-mail: [shagrath.hire@gmail.com](mailto:shagrath.hire@gmail.com)

**YEVTUSHENKO A.S.**<sup>5</sup>, PhD (Medicine),  
Ophthalmologist  
e-mail: [andrey-eye@yandex.ru](mailto:andrey-eye@yandex.ru)

<sup>1</sup> Petro Mohyla Black Sea National University  
10, 68-Desantnykiv st., Mykolaiv, 54000, Ukraine

<sup>2</sup> International Research and Training Centre  
for Information Technologies and Systems  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
and Ministry of Education and Science of Ukraine  
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

<sup>3</sup> Kharkiv National Medical University,

4, Nauky av., Kharkiv, 61000, Ukraine

<sup>4</sup> ASTER-AITI, LTD

1, Aviation st., Kharkiv, 61166, Ukraine

<sup>5</sup> L.L. Hirschman Kharkiv city clinical hospital №14

5, Oles Honchar st., Kharkiv, 61000, Ukraine

## MODEL AND METHOD FOR EVALUATION AND FORECAST OF THE CHANGES OF VISUAL SYSTEM FUNCTIONAL STATE IN CONSEQUENCE OF VISUAL WORK

---

***Introduction.** During mental work, 90% of information is perceived by the human visual system (VS), so the effectiveness of the activities depends on the quality of the VS functioning and the presenting of visual information, especially non-traditional forms (TV, personal computer monitor, miniature displays on mobile phones, e-books). Prolonged information overload can lead to the states such as chronic stress, chronic fatigue syndrome, neurosis, occupational burnout and astheno-*

© KOCHINA M.L., KOZAK L.M., YAVORSKY O.V., FIRSOV O.G., YEVTUSHENKO A.S., 2020

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). Cyb. and comp. eng. 2020. № 2 (200)

**59**

*pia, which worsen the operator` functional state, affect the quality of work tasks performance, last a long time and require special correction and treatment.*

**The purpose** of the paper is to develop a method for evaluating and predicting the operators` functional state based on a model for predicting changes of the VS state under the visual work, as well as to implement this method in clinical decision support system for analyze the SV states changes because of visual work.

**Results.** Two clusters have been identified according to the mechanisms of changes in the VS state due to visual work. A model for predicting these changes is developed based on a set of indicators of the SV functional state using the fuzzy clustering algorithm (c-means) and the fuzzy derivation system Sugeno. According to results of previous research and this forecast model, a method for assessing and forecasting the functional state of an operator and his visual system has been developed. The proposed method is implemented in clinical decision support system for analysis and prediction of changes of the operator's VS state due to visual work.

**Conclusions.** Developed method and automated system allow to predict changes of VS state in the case of a given visual load, to compare the current functional state with the previous one, to obtain information about the effectiveness of the recommended preventive measures. Approbation of the developed system determined that the use of this method of operators` functional state assessment and prediction, as well as recommendations for individual correction of the existing state led to improving of visual function in 67 % of patients, and reducing of overall complaints in 50 %, visual complaints in 53 %, eye complaints — in 40 % of patients.

**Keywords:** functional state of visual system, visual load, model for forecasting of VS state, asthenopia, fuzzy clustering, clinical decision support system.

## INTRODUCTION

Assessment and prediction of the person` functional state (FS) in various types of mental and physical work, despite the considerable number of studies performed in this direction, are pressing questions. A large number of modern professions require the perception and processing of large amounts of information, the intensity of which often exceeds the individual physiological capabilities, which causes significant nervous and emotional stress and negatively affects health.

In mental work, 90 % of information is perceived by the visual system (VS), so the effectiveness of the activities depends significantly on the quality of the VS functioning and the presenting visual information. A large number of non-traditional media (television, personal computer (PC) monitor, miniature displays on mobile phones, eBooks etc.), the quality and methods of image formation of which are much different from the usual paper media, are used.

Prolonged information overloads can lead to the formation of states such as chronic stress, chronic fatigue syndrome, neurosis, occupational burnout and others. Asthenopic states worsen the operator` FS, affect the quality of work tasks performance, last a long time and require special correction and treatment [1–6].

All this makes topical research of the visual information impact on the VS state, the development of methods for assessing and predicting its changes under the influence of visual work.

## **PROBLEM STATEMENT**

The problem of preventive diagnostics is at the forefront, which allows to monitor in the early stages deviations of a health state and to carry out its correction. The use of mathematical models as a tool to evaluate and predict the effects of factors that affect VS or promote fatigue is expanding.

Nowadays, fuzzy methods of processing the results of physiological systems studies, in particular the functional state of the visual system, are increasingly used.

The term "soft calculations" was introduced by Lotfi Zadi [7] and means a set of inaccurate, approximate methods for solving problems that often do not have real-time solutions. Such calculations in medicine have great prospects, since the very process of diagnosis is the attribution of the patient to the appropriate class of diseases according to his symptom complex. The fuzzy methods make it possible to solve successfully the classification problems, since it is difficult to draw a clear line between health, pre-illness and disease [8, 9].

To predict the risk of disease or complication, as well as to classify patients' states, doctors usually evaluate risk factors verbally or in linguistic variables [10]. That is, the criteria are fuzzy values and may be characterized by the presence of boundary conditions when it is not possible to determine precisely whether the criterion under study is a risk factor or not. Therefore, it is advisable to use fuzzy decision-making logic as a mathematical basis to develop information technologies for decision support [11–13].

In ophthalmology, fuzzy methods are used to solve medical image recognition tasks [14] for the evaluation of elements of the pathomorphological picture of the fundus [4] for the classification of hemodynamics types in the ocular arteries in the case of diabetes mellitus according to the results of Doppler studies [25, 26] and for the creation of classification systems for different states of the VS elements.

Fuzzy clustering (the c-means algorithm) was used to recognize the MRI images of patients' eyes to identify pathological tissues, form zones of interest, and analyze the results of the eye vessels fluorescent angiography [15].

To form visual pathology risk groups in children and adolescents under the influence of visual labor, a prediction model based on fuzzy clustering was developed, and the rules for assigning subjects to certain clusters that corresponded to different VS states were obtained [16]. The impact of the VS states of the subject under test of a particular cluster, the characteristics of which were identified in the research, allowed us to assess the risk of visual pathology development. A two-stage fuzzy clustering algorithm was used to identify the causes of horizontal strabismus using the parameters of the interference pattern of the eyes [17].

Assessment of the features of the VS functioning in the mental work, it is advisable to consider as a basis for the development of methods for detecting abnormalities in the functioning of both the visual system and the whole organism. The timeliness of such studies is confirmed by the significant increase in the number of asthenopic complaints and clinical pathology of the visual system, not only in children but also in the adult able-bodied population of Ukraine [18].

The development of new information technologies for the functional state assessment of the person under the visual work conditions, using classification fuzzy models will allow revealing the peculiarities of VS adaptation mechanisms to the visual load. Taking these features into account will make it possible

to predict changes in the VS functional state and to develop measures for the visual disorders prevention.

**The purpose** of the paper is to develop a method for evaluating and predicting the operators' functional state based on a model for predicting changes in the VS state under the visual work conditions, as well as to implement this method in clinical decision support system for analyze the SV states changes because of visual work.

## **MODEL FOR PREDICTION OF VISUAL SYSTEM STATE CHANGES AFTER VISUAL WORK**

**Features of changes in the operators' VS state due to intense visual work.** In our previous work we investigated the dynamics of the visual system state of operators working with a computer monitor [19]. These studies were attended by professional PC operators. Ophthalmic examination of the operators included the determination of visual acuity (OC) of the right and left eyes, distance and near accommodation reserve (AR) at a distance and close in, the position of the nearest clear vision points (Nt) of both eyes and the nearest convergence point (NCP), etc.

For all operators before and after visual work have been determined the functional indicators of the VS (Visual acuity (Va) AR NCP). We also evaluated the expressiveness of asthenopic complaints. Taking into account these complaints expressiveness it is essential to assessing the person' VS state in a real work environment. For this purpose, a questionnaire was developed, covering questions on three scales of complaints: general, visual and ocular accordingly.

According to the results of the initial evaluation of the visual system indicators revealed a significant variation of their values, which may indicate the research group heterogeneity. To determine homogeneous groups, the clustering of the obtained data was performed by the k-means algorithm and two clusters were identified. The analysis of the values in the clusters before visual work allowed us to establish that the first cluster includes operators with high functional indicators of the VS that meet the age norms, and the second — operators with low functional indicators for visual perception in the distance and in near manifested by low Ra, increasing of distance of NT and NTK from the eye and do not meet the norms of visual function for this age group.

An analysis of the data obtained after work (test 2) showed that the level of visual information perception in clusters is significantly different. It should be noted that the more pronounced changes in indicators, which provide close perceptions, took place in the first cluster, the persons of which were characterized by the best state of the VS before work (test 1). Also, in this cluster a significantly ( $P < 0.05$ ) greater increase of the visual asthenopia expressiveness was obtained than the operators of the second cluster, who had initially worse VS status. This fact should be used to construct a model for the individual prediction of the visual asthenopia expressiveness resulting after visual work.

To build a **model for predicting VS state changes** because of visual work, we had used a set of indicators, which were revealed different mechanisms of visual workload influence on the VS state in different clusters. In order to ensure an automatic mode of such a procedure with increasing the research volume, the prediction model was developed using the fuzzy clustering algorithm (c-means) and based on the fuzzy Sugeno inference system performed on a fuzzy base [20]:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \ \dots \ x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow y_j = b_{j0} + \sum_{i=1,n} b_{ji} x_i,$$

where  $\tilde{a}_{nj}$  is a fuzzy term by which the input variable  $x_n$  is evaluated in the  $j$ -th rule;  $n$  is the number of rules in the database;  $\Theta_j$  — logical operation that unites the  $j$ -th rule fragments (logical operation "AND", "OR");  $\Rightarrow$  — fuzzy implication;  $b_{ji}$  are the coefficients of a linear function (output) given by some real numbers.

Figure 1 shows two ways to tuning procedure of synthesis and adjustment of the prediction model the PC operators` VS state. The training sample (for model synthesis) consisted of functional VS indicators (Ra and Nt), and the operators` age. The data are presented as a matrix, and their subtractive clustering, known as the mountain clustering algorithm, developed by R. Jager and D. Filev was done [21]. The advantage of this algorithm is that there is no need to specify the number of expected clusters and it is determined during the algorithm execution. Each received cluster corresponds to one fuzzy rule, and the coordinates of their centers are the coordinates of the membership functions maximum (parameter  $b$ ). A set of logical rules and membership functions form a fuzzy knowledge base and its formal record is a predicting model of operators` VS state.

After synthesis of the knowledge base, the procedure of tuning it up is performed. To do this, it is loaded into the Sugeno fuzzy output machine to it`s input the matrix of VS functioning indicators (the primary data used during clustering) is served, and then the output is considered as the SV state forecast. Next, the accuracy of this model is estimated using the actual VS state data obtained by the expert. To minimize the forecast error, the compression-stretching parameters of the membership functions (parameter  $c$ ) are adjusted (way 1, marked in Fig. 1). This procedure is repeated cyclically until the value of the discrepancy between the predicted (according to the model's findings) and the actual (according to experts) VS states becomes minimal.

This setting is likely to give you a model that matches only the training data. To exclude this effect, an additional test was performed using the following approach: one row corresponding to the data set of one particular test participant was extracted from the training sample and a model was synthesized again to calculate the VS state projection for the entire sample [22]. This procedure is reiterated for each set of particular test participant` indicators in the sample.

Because the discrete values of the cluster conditional number — 1 or 2 are obtained at the output, the error during validation is defined as an erroneous assignment by the model of any of the test participants into a cluster other than the original one. If no errors are identified, the verification is considered complete and it is concluded that the model describes the general processes of VS state changing, and not just a separate data set with the help of which model was developed. To reduce the amount of knowledge base of the fuzzy system, which in this case is determined by the number of clusters, use an additional tuning procedure (way 2, marked in Fig. 1). To do this, cyclically change the clustering procedure parameters (acceptance and rejection coefficients), re-cluster the matrix of VS functioning indicators, synthesize the adjusted model, check its accuracy and adequacy. The cycle ends if the minimum number of clusters is reached and/or a deterioration of the model's adequacy (clustering error increase) is determined.

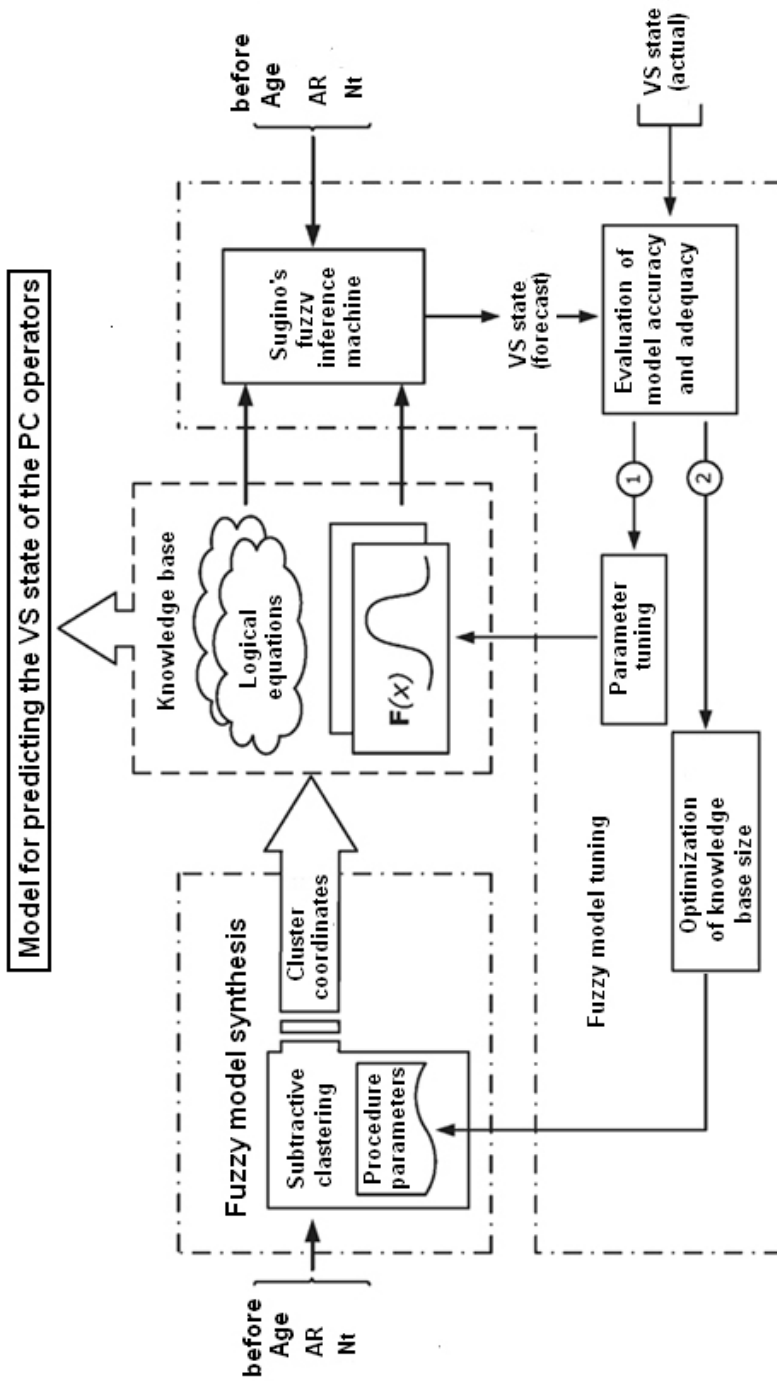


Fig. 1. Process diagram of synthesis and adjustment of the prediction model the PC operators' VS state (1 and 2 are the primary and secondary ways to tuning procedure)



The number of equations required is obtained by tuning the model. The model describes a primary data set, the number of equations can be from 1 to  $\infty$ , and the more equations, the more accurate the result of clustering, but a large number of equations greatly increase the volume of calculations. Therefore, changing the parameters of the mountain clustering algorithm achieves the minimum number of equations at the minimum of the prediction error.

According to the training sample, we obtained a fuzzy model consisting of six fuzzy logic equations, six fuzzy rule membership functions (which estimate the corresponding initial variable) approximated by a Gaussian function, and six linear functions in fuzzy rule conclusions. The knowledge base rules of the fuzzy model obtained correspond to the system of fuzzy logical equations:

$$\mu_{FSVS}^1(X) = \mu_{Age}^1(x_{Age}) \wedge \mu_{AR}^1(x_{AR}) \wedge \mu_{Nt}^1(x_{Nt})$$

$$\mu_{FSVS}^2(X) = \mu_{Age}^2(x_{Age}) \wedge \mu_{AR}^2(x_{AR}) \wedge \mu_{Nt}^2(x_{Nt})$$

$$\mu_{FSVS}^3(X) = \mu_{Age}^3(x_{Age}) \wedge \mu_{AR}^3(x_{AR}) \wedge \mu_{Nt}^3(x_{Nt})$$

$$\mu_{FSVS}^4(X) = \mu_{Age}^4(x_{Age}) \wedge \mu_{AR}^4(x_{AR}) \wedge \mu_{Nt}^4(x_{Nt})$$

$$\mu_{FSVS}^5(X) = \mu_{Age}^5(x_{Age}) \wedge \mu_{AR}^5(x_{AR}) \wedge \mu_{Nt}^5(x_{Nt}),$$

where  $\mu_{FSVS}^n(X)$  is the degree of implementation of the fuzzy knowledge base rules for the initial vector of indicators;  $X = \{x_{Age}, x_{AR}, x_{Nt}\}$  is the membership functions of the VS state indicator to the fuzzy term of the knowledge base.

Table 1 shows the vertices coordinates of the (b) of the fuzzy rule membership functions and the compression-stretching parameters of their branches (c), in Table 2 — coefficients of linear functions in the fuzzy rules conclusions.

Table 1. Vertices coordinates of fuzzy rules (b<sub>i</sub>) and the compression-stretching parameters of their branches (c<sub>i</sub>)

| Rule No | Parameters of membership functions | Parameter values |        |       |
|---------|------------------------------------|------------------|--------|-------|
|         |                                    | Age              | AR     | Nt    |
| 1       | b <sub>1</sub>                     | 32               | 5,605  | 8,253 |
|         | c <sub>1</sub>                     | 3,864            | 1,597  | 3,699 |
| 2       | b <sub>2</sub>                     | 28,87            | 6,602  | 6,01  |
|         | c <sub>2</sub>                     | 3,84             | 1,627  | 3,808 |
| 3       | b <sub>3</sub>                     | 26,92            | 1,69   | 5,628 |
|         | c <sub>3</sub>                     | 3,576            | 1,687  | 4,427 |
| 4       | b <sub>4</sub>                     | 24               | 7,081  | 5,015 |
|         | c <sub>4</sub>                     | 3,713            | 0,5964 | 3,689 |
| 5       | b <sub>5</sub>                     | 37,84            | 4,803  | 9,706 |
|         | c <sub>5</sub>                     | 3,939            | 1,653  | 3,388 |
| 6       | b <sub>6</sub>                     | 30,08            | 1,007  | 8,38  |
|         | c <sub>6</sub>                     | 3,831            | 1,737  | 3,672 |

Table 2. Coefficients of linear functions in the fuzzy rules conclusions

| Rule No | Product function parameters |        |         |                 |
|---------|-----------------------------|--------|---------|-----------------|
|         | Age                         | AR     | Nt      | Residual member |
| 1       | -3,764                      | 6,516  | -1,822  | 120,4           |
| 2       | -2,844                      | 5,028  | -2,692  | 44,34           |
| 3       | -0,4893                     | 0,1561 | -0,9229 | 13,57           |
| 4       | 0,3473                      | 0,3161 | 0,117   | -10,94          |
| 5       | -0,8781                     | 0,2846 | 0,2767  | 34,18           |
| 6       | -1,001                      | 2,371  | -0,0518 | 35,83           |

To solve the tasks of preliminary data analysis and forecast model synthesis, we used the software package of the Scilab computer algebra system [23] with the sciFLT extension package [24]. The Scilab package was developed by the staff of the National Institute of Informatics and Automation (INRIA, France) and is distributed of charge under the free CeCILL license.

Fuzzy.dll software was developed to allow the use of a VS state fuzzy model without the need to install additional software (Scilab software package). It is a Dynamic Link Library (DLL) that implements COM (Component Object Model) [25] software model and contains the SugenoFuzzyIS class interface that defines basic functionality and a functions API set, create and manage COM objects.

The software implementation of the COM library interface, as well as the algorithms for downloading and converting fuzzy model files in Scilab/sciFLT format are original. The software implementation of the Sugeno fuzzy output algorithm is based on the freely distributed software library "FuzzyLogicLibrary for Microsoft .NET" [26]. Integrated Visual Studio Community Edition software development environment and Microsoft .NET Framework technology were used.

The built-in forecasting model is at the heart of the physician's decision-making support module, which allows the physician to work with a personal computer without Microsoft Office Professional. The free Microsoft Access Runtime [27] was used for this purpose. In this case, the interface is slightly different from the standard: there is no database window, no editing tools, and no standard panels.

## METHOD FOR EVALUATION AND FORECASTING OF THE OPERATORS` FUNCTIONAL STATE UNDER VISUAL WORK

Based on the results of previous studies and the built-in forecasting model, a method of evaluation and prediction of the person` functional state and his visual system state has been developed, which includes two operation modes according to the tasks of evaluation.

*The first mode* is intended to identify individuals who may be at risk for developing visual asthenopia. This mode of the method is used, for example, when recruitment/hiring for work with increased visual load. In the case of applying the first mode, the indicators of the VS functional state (AR of both eyes, Nt of both eyes) determine in the first step. In the second step, normalization of the obtained indicators is carried out. The possibility of the asthenopia development is evaluated in the third step using the proposed forecasting model. Algorithm based on model allows assigning the person to one of the clusters analyzed earlier.

At the final step, recommendations for correction of the detected operator`s state are provided. For this purpose, at first reaction of his visual system to the

possible working visual load is predicted depending on the features of the cluster to which this operator is attributed. In accordance with the particular person's state tested for a particular cluster, recommendations are made on the prevention or treatment of a possible asthenopic state using the established criteria and the proposed classification of the asthenopic expressiveness complaints.

**The second mode** of developed method is intended for carrying out periodic medical examination of the persons engaged in visual work. In this case not only the indicators of the visual system, but also the asthenopia are defined in the first step. Also indexes developed using the methods of forming integral estimates [28, 29] are being analyzed.

In the second step, the normalization of the obtained indicators and determination of the proposed indexes, Index of Near Visual Information Acceptance ( $I_{NVIA}$ ), accommodation ( $I_A$ ), asthenopia severity index ( $I_{AS}$ ), index of functional state of the visual system ( $I_{FSVS}$ ) are doing:

$$I_{NVIA} = \frac{Nt OD_2}{Nt OD_1} + \frac{Nt OS_2}{Nt OS_1} + \frac{NCP_2}{NCP_1},$$

$$I_A = \frac{AR OD_2}{AR OD_1} + \frac{AR OS_2}{AR OS_1},$$

$$I_{AS} = I_{gen} + I_{vis} + I_{oc}, \quad I_{FSVS} = I_{NVIA} + I_A,$$

where  $Nt OD_1$ ,  $Nt OD_2$ ,  $Nt OS_1$ ,  $Nt OS_2$  are the position of the nearest clear points (Nt) for the right (OD) and left (OS) eyes;  $NCP_1$ ,  $NCP_2$ ;  $AR OD_1$ ,  $AR OD_2$ ,  $AR OS_1$ ,  $AR OS_2$  — accommodation reserves; characteristics are given before (1) and after (2) visual load.

In the third stage, the person is referred to a specific cluster using a developed model, that allows to predict changes in his functional state in the case of a given visual load. Further analysis and comparison of the current functional state with the previous one are done, three variants of changes are obtained namely: 1) unchanged, 2) improvement or 3) deterioration of the state, also additional information on the effectiveness of the carried out preventive measures is received. The improvement of the state indicates the corrective measures effectiveness and the adequacy of visual load to capabilities of the operator's visual system. The first and third options require more careful analysis.

### **CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ANALYZE AND PREDICT OPERATOR'S FUNCTIONAL STATE**

The proposed method is implemented in clinical decision support system (CDSS) for analyze and predict changes in the operator's VS due to visual work. The automated system consists of the patient registration module, the module of the results of ophthalmological examinations and the patient's state subjective assessment, the decision support module for the physician and the database (Fig. 2).

Finally, recommendations for improving the visual system FS are provided or corrected. If, as a result of preventive measures, the state worsen or does not improve, then the measures taken are either ineffective or patient does not fulfill the physician's prescription.

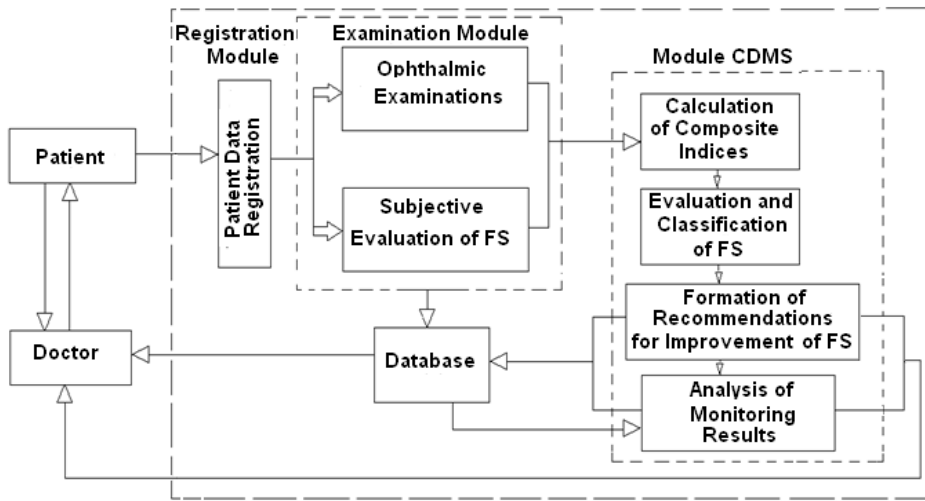


Fig 2. Structural and functional diagram of clinical decision support system

Supporting physician decision-making with the help of a developed CDS system is to assess functional state based on objective and subjective characteristics, to classify this state (based on a predictive model) and to form recommendations for its correction. An important function is to provide the ability to monitor patients' functional status changes.

## RESULTS OF CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEM USE

For the testing of the developed CDSS the group of 30 PC users was formed who complained about the visual system FS in the Kharkiv City Clinical Hospital №14 named after Prof. L.L. Girshman and agreed to participate in the study. Young adults with a visual acuity of 0.9–1 and physiological astigmatism not exceeding 0.5 D were selected. The patients' average age was  $(26.6 \pm 3.7)$  years.

For all patients, AR of both eyes, distance Nt of both eyes and NCP was determined. Patients also answered the questionnaire to determine the asthenopic complaints expressiveness. In the first coming to physician, all patients were asked to perform a test with visual load for 45 min. (correction of a table with 30 line letters of the Cyrillic alphabet implemented on the monitor screen). After work, the patients' FS were re-determined.

According to the initial and final FS indicators the patients were divided into two clusters with use of the developed system. The first cluster included 53 % (16 persons), the second — 47 % (14 persons). The mean age of the patients in the first cluster was  $(25.8 \pm 2.6)$  years, in the second —  $(27.8 \pm 4.5)$  years. Performing a test task on a computer caused various changes in the clusters indicators, although significant differences between them remained.

In the first cluster, visual load caused an increase in AR and some decrease in Nt and NCP. In the second cluster, AR remained virtually unchanged, Nt and NCP increased. The initial and final indicators values in the clusters were compared and the frequency of occurrence of their different ratios was calculated (Table 4). The reliability of differences in the indicators changes frequency was evaluated using the criterion  $\chi^2$  (significance level  $p < 0.05$ ).

Table 3. Mean VS state values of patients in two clusters

| Registration conditions | Cluster  | Indicators |          |          |          |          |
|-------------------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|                         |          | AR OD      | AR OS    | Nt OD    | Nt OS    | NCP      |
| Before                  | 1 (n=16) | 5,7±1,5    | 5,1±1,5  | 6,3±1,2  | 6,1±1,1  | 5,7±1,0  |
|                         | 2 (n=14) | 3,0±1,5*   | 2,8±1,8* | 7,9±1,6* | 7,7±1,1* | 7,2±1,2* |
| After                   | 1(n=16)  | 6,2±1,4    | 6,0±1,1  | 5,7±0,9  | 5,9±1,0  | 5,8±0,9  |
|                         | 2(n=14)  | 3,1±1,5*   | 2,7±1,8* | 8,6±1,0* | 8,4±0,8* | 7,7±0,9* |

Note: \* — differences between the mean values of the first and second clusters are significant according to the Mann-Whitney criterion ( $p < 0.05$ ).

Table 4. Distribution of patients according to the VS indicators depending on the nature of their changes due to visual work of AF

| Cluster | Nature of changes | Amount of patients according to the VS indicators |  |   |
|---------|-------------------|---|--|---|
|         |                   | AR  | Nt   | NCP   |
| 1       | Unchanged         | 3(19±9,8) <sup>3</sup><br>$\chi^2 = 8,1$          | 1(6±5,5)                                     | 4 (25±10,8)                                 |
|         | Magnification     | 11 (69±11,6) <sup>1</sup><br>$\chi^2 = 4,5$       | 4 (25±10,8)*<br>$\chi^2 = 8,6$               | 7 (44±12,4)                                 |
|         | Reduction         | 2 (12±8,1)  | 11 (69± 11,6) <sup>2</sup><br>$\chi^2 = 4,5$ | 5 (31±11,6)                                 |
| 2       | Unchanged         | 5 (36±12,8)                                       | 2 (14±9,3) <sup>3</sup><br>$\chi^2 = 11,6$   | 2 (14±9,3) <sup>3</sup><br>$\chi^2 = 11,6$  |
|         | Magnification     | 5 (36±12,8)                                       | 11 (79±10,8) <sup>1</sup><br>$\chi^2 = 9,1$  | 11 (79±10,9) <sup>1</sup><br>$\chi^2 = 9,1$ |
|         | Reduction         | 4 (28±11,2)                                       | 1 (7±6,5)*<br>$\chi^2 = 11,8$                | 1(7±6,5)*<br>$\chi^2 = 11,8$                |

Notes: \* — differences in the frequency of occurrence of a VS indicator change between the first and the second cluster are significant; 1 — differences in the frequency of the indicator growth and other changes are significant; 2 — differences in the frequency of index decrease and other changes are significant; 3 — differences in the frequency of indicator growth and its stable value are significant in the cluster.

In the first cluster, there are significantly more changes with increase in AR and decrease in Nt, which indicates that transient myopia occurs in 69 % of the tested patients in this cluster. Therefore, the first cluster can be called myopic. In the second cluster, 79 % of patients showed an increase in Nt and NCP against maintaining or decreasing AR values (64 %), which is characteristic of visual fatigue; this cluster can be called a visual fatigue cluster.

All patients — PC users, according to their visual functions and the asthenopic complaints expressiveness degree were given individualized recommendations for their correction.

A re-examination of the visual features of PC users was conducted one month after the appointment of the recommended measures. The visual component of asthenopic complaints expressiveness in the first cluster decreased in 51 % of patients, in the second — in 50 %. The degree of ocular component of asthenopic complaints expressiveness decreased in 25 % of patients in the first cluster and in 58 % of patients in the second cluster. The results obtained indicate an improvement in the patients' overall state as a result of effective recommendations for its correcting.

Due to the effective functional state correction, it is possible to transfer the patient from the cluster with requiring medical measures to the cluster with the best indices, persons of this cluster should only be observed the modes of work and rest. The reverse situation is also possible, when the VS indicators are deteriorating and the degree of asthenopic complaints expressiveness increases, which leads to a deterioration of the overall patient's functional state. In this case, in addition to the medical and optical correction of the existing problem, the explanatory work with patient should be carried out. The doctor should find out the causes of the deterioration and help optimally correct the visual activity (not only in the work, but also in everyday life), which is also an effective measure for the prevention of patient's health further reduction.

## CONCLUSIONS

Constructed model for predicting visual system changes in consequence of visual work, which includes a functional indicators complex of the visual system and is based on the algorithm of fuzzy clustering (c-averages) and the system of fuzzy Sugeno inference, allows to cluster the data for the division of the tested persons into two subgroups, which revealed different mechanisms of visual work influence on the person's functional state.

The use of the developed clinical decision support system for assessment and prognosis of the patients' state, as well as recommendations for individual correction of their present state made it possible to improve visual functions in 67 % of patients, reduce the general complaints expressiveness in 50 % of patients, visual complaints expressiveness — in 53 % of patients, and eye complaints expressiveness — in 40 % of patients.

In view of the asthenopic influence on the operator's general functional state and on the quality of work tasks performance, it would be advisable to assess the candidate's tendency to develop visual asthenopias during the professional selection for operator specialties. If a candidate is prone to such conditions, there are two possible ways to solve the problem: to recommend either a choose a profession associated with less visual load, or an individual program to correct the existing visual system state and prevention of visual asthenopy. This program includes appropriate optical correction, medication, appropriate eye exercises and visual system exercises.

## REFERENCES

1. Korniyushina T.A. The role of accommodation in the occurrence of asthenopia. *Biomechanics of the eye*. 2007, Moscow, pp. 9–13. (in Russian)
2. Ovechkin I.G., Yudin V.E., Emelyanov G.A., Mironov A.V. A multidisciplinary approach to the correction of accommodation-refractive disorders in patients with visually-intense work. *Ophthalmology*. 2015, Vol. 12, no. 2, pp. 68–73. (in Russian)
3. Shapovalov S. L., Milyavskaya T. I., Ignatiev S. A. *Accommodation of the eye and its disturbances*. 2012, Moscow, 188 p. (in Russian)
4. Bali J., Navin N., Thakur B.R. Computer vision syndrome: A study of the knowledge, attitudes and practices in Indian Ophthalmologists. *Indian J. Ophthalmol.* 2007, Vol. 55, pp. 289–293.
6. Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2011, Vol. 31 (5), pp. 502–515.
7. Zadeh L.A. Biological applications of the theory of fuzzy sets and systems. The Proceedings of an International Symposium on Biocybernetics of the Central Nervous System. 1969, Boston, pp. 199–206.

8. Folkard S., Robertson K., Spencer M. A fatigue/Risk Index to assess work schedules. *Somnologie*. 2007, Vol. 11, pp. 177–185.
9. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*. 2006, Moscow, 452 p. (in Russian)
10. Cheremukhina O. M. Mathematical modeling and prediction of the extent of internal twigs. *Likarska sprava*. 2011, no. 1/2, pp. 75–81. (in Ukrainian)
11. Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese APRIL/MAY*. 1975, Vol. 30, no 3/4, pp. 407–428.
12. Lisboa P.J., Taktak A.F.G. The use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. *Neural Networks*. 2006, Vol. 19, no 4, pp. 408–415.
13. Kalnish V.V., Firsov A.G., Shvets A.V., Yeshenko A.I. Features of the classification of the state of a human operator by means of fuzzy logic. *Kibernetika i vychislitel'naâ tehnika*. 2011, Iss. 166, pp. 55–67. (in Russian)
14. De Rivercourt M., Kuperus M.N., Post W.J., Mulder L.J.M. Cardiovascular and eye activity measures as indexes for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*. 2008, Vol. 51, № 9, pp. 1295–1319.
15. Vilela M. A. P., Castagno V. D., Meucci R. D., Fassa A. G. Asthenopia in schoolchildren. *Clin. Ophthalmol*. 2015, Vol. 9, pp. 1595–1603.
16. Kochina M.L., Saykovskaya L.F., Yavorsky A.V., Lad S.N. Approaches to modeling the functional state of the visual system. *Kibernetika i vychislitel'naâ tehnika*. 2009, Iss. 158, pp. 19–27. (in Russian)
17. Kochina M.L., Kalimanov V.G. Classification of lesions of the oculomotor muscles using the apparatus of fuzzy logic. *Kibernetika i vychislitel'naâ tehnika*. 2011, Iss. 166, pp. 97–107. (in Russian)
18. Rykov S.O., Cheremukhina O.M. New information systems in ophthalmology. *Philate reading: materials of scientific-practical conference and ophthalmologists with international participation*. 2012, Odessa, pp. 334–335. (in Ukrainian)
19. Kochina M.L., Kozak L.M., Evtushenko A.S. Analysis of changes in factor structures of indicators of a person's functional state with different types of visual load. *Bulletin of problems in biology and medicine*. 2013, Vol. 1, Iss. 1. pp.41–45. (in Russian)
20. Leonenkov A. V. *Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH*. 2005, St. Petersburg, 736 p. (in Russian)
21. Yager R., Filev D. *Essential of Fuzzy Modeling and Control*. 1994, NY: JohnWiley&Sons, 388 p.
22. Odinets Yu.V., Kharchenko T.V., Trindyuk Yu.S. The use of fuzzy logic in the diagnosis of pyelonephritis in children. *Actual problems of conventional medicine*. 2011, Iss. 4 (36), Part 1, pp. 63–68. (in Russian)
23. Open source software for numerical computation. URL: <http://www.scilab.org/>
24. Fuzzy Logic Tool box. URL : <http://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7>
25. Nathan A. *NET and COM: The Complete Interoperability Guide*. 2002, Indianapolis: Sams Publishing, 1579 p.
26. Fuzzy Logic Library for Microsoft Net (fuzzynet). URL: <https://sourceforge.net/projects/fuzzynet>.
27. Microsoft Access 2016 Runtime. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/download/details.aspx?id=50040>
28. Antonov M.Yu. Methodology for the formation of complex indicators in environmental and hygienic research. *Hygiene and sanitation*. 1993, no 7, pp. 20–22. (in Russian)
29. Antonov M.Yu. *Mathematical processing and analysis of biomedical data*, 2nd ed. 2018, Kyiv: MEC “Medinform”, 579 p. (in Russian)

Received 03.01.2020

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Корнюшина Т.А. Роль аккомодации в возникновении астенопии. *Биомеханика глаза*. М., 2007. С. 9–13.

2. Овечкин И.Г., Юдин В.Е., Емельянов Г.А., Миронов А.В. Мультидисциплинарный подход к коррекции аккомодационно-рефракционных нарушений у пациентов зрительно-напряженного труда. *Офтальмология*. 2015. Т. 12. № 2. С. 68–73.
3. Шаповалов С.Л., Миляевская Т.И., Игнатьев С.А. *Аккомодация глаза и ее нарушения*. Москва, 2012. 188 с.
4. Bali J., Navin N., Thakur B.R. Computer vision syndrome: A study of the knowledge, attitudes and practices in Indian Ophthalmologists. *Indian J. Ophthalmol.* 2007. V. 55. P. 289–293.
6. Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2011. Vol. 31 (5). P. 502–515.
7. Zadeh L.A. Biological applications of the theory of fuzzy sets and systems. The Proceedings of an International Symposium on Biocybernetics of the Central Nervous System. Boston, 1969. P. 199–206.
8. Folkard S., Robertson K., Spencer M. A fatigue/Risk Index to assess work schedules. *Somnologie*. 2007. Vol. 11. P. 177–185.
9. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, 2006. 452 с.
10. Чермухina O. M. Математичне моделювання та прогнозування поширеності очних хвороб. *Лікарська справа*. 2011. № 1/2. С. 75–81.
11. Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese* APRIL/MAY. 1975. Vol. 30, № 3/4. P. 407–428.
12. Lisboa P.J., Taktak A.F.G. The use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. *Neural. Networks*. 2006. Vol. 19. no 4. P. 408–415.
13. Кальниш В.В., Фирсов А.Г., Швец А.В., Ещенко А.И. Особенности классификации состояния человека-оператора средствами нечеткой логики. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2011. Вып. 166. С. 55–67.
14. De Rivercourt M., Kuperus M.N., Post W.J., mulder L.J.M. Cardiovascular and eye activity measures as indexes for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*. 2008. Vol. 51, № 9. P. 1295–1319.
15. Vilela M. A. P., Castagno V. D., Meucci R. D., Fassa A. G. Asthenopia in schoolchildren. *Clin. Ophthalmol.* 2015, Vol. 9, pp. 1595–1603.
16. Кочина М.Л., Сайковская Л.Ф., Яворский А.В., Лад С. Н. Подходы к моделированию функционального состояния зрительной системы. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2009. Вып. 158. С. 19–27.
17. Кочина М.Л., Калиманов В.Г. Классификация поражений глазодвигательных мышц с использованием аппарата нечеткой логики. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2011. Вып. 166. С. 97–107.
18. Риков С.О., Чермухina O.M. Нові інформаційні системи в офтальмології. *Філатовські читання: матеріали науково-практичної конференції офтальмологів з міжнародною участю*. Одеса, 2012. С. 334–335.
19. Кочина М.Л., Козак Л.М., Евтушенко А.С. Анализ изменения факторных структур показателей функционального состояния человека при разных видах зрительной нагрузки. *Вестник проблем биологии и медицины*. 2013. Т. 1, вып.1. С.41–45.
20. Леоненков А. В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH*. СПб, 2005. 736 с.
21. Yager R., Filev D. *Essential of Fuzzy Modeling and Control*. NY: JohnWiley&Sons, 1994. 388 p.
22. Одинец Ю. В., Харченко Т. В., Триндюк Ю. С. Применение нечеткой логики в диагностике пиелонефритов у детей. *Актуальні проблеми сучасної медицини*. 2011. Вып. 4 (36). Ч. 1. С. 63–68.
23. Open source software for numerical computation. URL : <http://www.scilab.org/>
24. Fuzzy Logic Tool box. URL : <http://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7>
25. Nathan A. NET and COM: The Complete Interoperability Guide. Indianapolis: Sams Publishing, 2002. 1579 p.
26. Fuzzy Logic Library for Microsoft Net (fuzzynet). URL: <https://sourceforge.net/projects/fuzzynet>.



27. Microsoft Access 2016 Runtime. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/download/details.aspx?id=50040>
28. Антомонов М.Ю. Методика формирования комплексных показателей в эколого-гигиенических исследованиях. *Гигиена и санитария*. 1993. №7. С. 20–22.
29. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных, 2 изд. Киев: МИЦ «Мединформ», 2018. 579с.

Отримано 03.01.2020

*Кочина М.Л.*<sup>1</sup>, д-р біол. наук, проф.,  
зав.каф. медико-біологічних основ  
спорту та фізичної реабілітації  
e-mail: kochinaml@gmail.com

*Козак Л.М.*<sup>2</sup>, д-р біол. наук, старш. наук. співроб.,  
пров. наук. співроб. відд. медичних інформаційних систем  
e-mail: lmkozak52@gmail.com

*Яворський О.В.*<sup>3</sup>, д-р мед. наук,  
професор кафедри офтальмології  
e-mail: yavor.av@gmail.com

*Фірсов О.Г.*<sup>4</sup>, канд. техн. наук,  
головний конструктор  
e-mail: shagrath.hire@gmail.com

*Євтушенко А.С.*<sup>5</sup>, канд. мед. наук,  
лікар-офтальмолог  
e-mail: andrey-eye@uandex.ru

<sup>1</sup> Чорноморський національний університет ім. Петра Могили  
вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54000, Україна

<sup>2</sup> Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних  
технологій та систем НАН України та МОН України  
пр. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

<sup>3</sup> Харківський національний медичний університет  
пр. Науки, 4, Харків, 61000, Україна

<sup>4</sup> ТОВ «АСТЕР-АЙТІ»  
вул. Авіаційна, 1, Харків, 61166, Україна

<sup>5</sup> КЗОЗ «Харківська міська клінічна лікарня №14 ім. проф. Л.Л. Гіршмана»  
вул. О. Гончара, 5, Харків, 61000, Україна

## МОДЕЛЬ І МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЗОРОВОЇ СИСТЕМИ ВНАСЛІДОК ЗОРОВОЇ ПРАЦІ

**Вступ.** Під час розумової праці 90 % інформації сприймається зоровою системою (ЗС) людини, тому ефективність діяльності істотно залежить від якості функціонування ЗС та типу носіїв візуальної інформації, особливо нетрадиційних (телевізор, монітор персонального комп'ютера, мініатюрні дисплеї мобільних телефонів, електронні книги). Тривалі інформаційні перевантаження можуть призводити до формування таких станів, як хронічний стрес, синдром хронічної втоми, невроз, професійне «вигорання» та астенопія, які погіршують функціональний стан (ФС) оператора, впливають на якість виконання виробничих завдань, тривають довгий час і вимагають спеціальної корекції і лікування.

**Метою роботи** є розроблення методу оцінювання та прогнозування функціонального стану операторів на основі моделі прогнозування змін стану зорової системи за умов зорової праці, а також реалізації методу в автоматизованій системі підтримки прийняття рішень лікарем для аналізу стану ЗС оператора внаслідок зорової праці.

**Результати.** Обґрунтовано необхідність визначення однорідних груп досліджуваних за допомогою кластеризації отриманих даних та визначено два кластери. Побудовано модель прогнозування змін стану ЗС внаслідок зорової праці за комплексом показників функціона-

льного стану зорової системи з використанням алгоритму нечіткої кластеризації (*c*-середніх) та системи нечіткого виведення Сугено. За результатами попередніх досліджень та побудованої прогнозної моделі розроблено метод оцінювання та прогнозування функціонального стану людини та її зорової системи. Запропонований метод реалізовано у автоматизованій системі підтримки прийняття рішень лікарем для аналізу та прогнозування змін стану ЗС оператора внаслідок зорової праці.

**Висновки.** Використання запропонованого методу та автоматизованої системи дає змогу прогнозувати зміни стану ЗС у разі заданого зорового навантаження, порівнювати поточний функціональний стан з попереднім, одержувати інформацію про ефективність рекомендованих профілактичних заходів. За результатами апробації розробленої системи визначено, що використання цієї системи оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора, а також рекомендацій щодо індивідуального корегування наявного стану уможливило поліпшення зорових функцій у 67 % пацієнтів, знизити ступень виразності загальних скарг у 50 % осіб, зорових скарг — у 53 %, очних скарг — у 40 % пацієнтів.

**Ключові слова:** функціональний стан зорової системи, зорове навантаження, модель прогнозування стану зорової системи, астенопія, нечітка кластеризація, система підтримки прийняття рішень лікарем.

*Кочина М.Л.*<sup>1</sup>, д-р биол. наук, проф.,  
зав. каф. медико-биологических основ  
спорта и физической реабилитации  
e-mail: kochinaml@gmail.com

*Козак Л.М.*<sup>2</sup>, д-р биол. наук, старш. науч. сотр.,  
вед. науч. сотр. отд. медицинских информационных систем  
e-mail: lmkozak52@gmail.com

*Яворский О.В.*<sup>3</sup>, д-р мед. наук,  
профессор каф. офтальмологии  
e-mail: yavor.av@gmail.com

*Фирсов А.Г.*<sup>4</sup>, канд. техн. наук,  
главный конструктор  
e-mail: shagrath.hire@gmail.com

*Евтушенко А.С.*<sup>5</sup>, канд. мед. наук,  
врач-офтальмолог  
e-mail: andrey-eye@yandex.ru

<sup>1</sup> Черноморский национальный университет им. Петра Могилы  
ул. 68 Десантников, 10, Николаев, 54000, Украина

<sup>2</sup> Международный научно-учебный центр информационных  
технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,  
пр. Акад. Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина

<sup>3</sup> Харьковский национальный медицинский университет,  
пр. Науки, 4, Харьков, 61000, Украина

<sup>4</sup> ООО «АСТЕР-АЙТИ»  
ул. Авиационная, 1, Харьков, 61166, Украина

<sup>5</sup> КУОЗ «Харьковская городская клиническая  
больница №14 им. проф. Л.Л. Гиршмана»  
ул. О. Гончара, 5, Харьков, 61000, Украина

## МОДЕЛЬ И МЕТОД ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВСЛЕДСТВИЕ ВИЗУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Построена модель прогнозирования изменений состояния зрительной системы вследствие зрительной работы, которая базируется на комплексе показателей функционального состояния зрительной системы с использованием алгоритма нечеткой кластеризации (с-средних) и системы нечеткого вывода Сугено. По результатам предыдущих исследований и построенной прогнозной модели разработан метод оценки и прогнозирования функционального состояния человека и его зрительной системы. Предложенный метод реализован в автоматизированной системе поддержки принятия решений врачом для анализа и прогнозирования изменений состояния оператора в результате зрительной работы. Использование метода и автоматизированной системы позволяет прогнозировать изменения этого состояния в случае заданной зрительной нагрузки, сравнивать текущее функциональное состояние с предыдущим, получать информацию об эффективности рекомендованных профилактических мероприятий. По результатам апробации разработанной системы определено, что использование системы оценки и прогнозирования функционального состояния оператора, а также рекомендаций по индивидуальному корректированию имеющегося состояния позволило улучшить зрительные функции у 67 % пациентов, снизить степень выраженности общих жалоб у 50 % лиц, зрительных жалоб — у 53 %, глазных жалоб — у 40 % пациентов.

**Ключевые слова:** функциональное состояние зрительной системы, зрительная нагрузка, модель прогнозирования состояния зрительной системы, астиопия, нечеткая кластеризация, система поддержки принятия решений врачом.

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.076>

УДК 159.923.2:179.8:646.7

**БЄЛОВ В.М.**, д-р мед. наук, професор,

зав. відд. застосування математичних і технічних методів у біології та медицині

e-mail: [motj@ukr.net](mailto:motj@ukr.net)

**ГОНТАР Т.М.**, канд. біол. наук,

старш. наук. співроб.

відд. застосування математичних і технічних методів у біології та медицині

e-mail: [gtm\\_kiev@ukr.net](mailto:gtm_kiev@ukr.net)

**КОБЗАР Т.А.**, канд. мед. наук,

старш. наук. співроб.

відд. застосування математичних і технічних методів у біології та медицині

e-mail: [kobzarta@ukr.net](mailto:kobzarta@ukr.net)

**КОЗЛОВСЬКА В.О.**,

наук. співроб.

відд. застосування математичних і технічних методів у біології та медицині

e-mail: [vittoria13arg@gmail.com](mailto:vittoria13arg@gmail.com)

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних

технологій та систем НАН України та МОН України,

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

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ САМООЦІНЮВАННЯ ЗДОРОВ'Я ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПОСТТРАВМАТИЧНОГО СТРЕСОВОГО РОЗЛАДУ**

---

***Вступ.** Сучасні наукові дослідження, спрямовані на збереження і підтримку здоров'я людини, базуються на використанні інтелектуальних інформаційних технологій, розроблених на основі методології системного підходу до категорії здоров'я як триєдності фізичної, психічної і соціальної сторін. Значення комплексного підходу до здоров'я людини стає особливо очевидним у разі порушення гармонійної взаємодії організму й особистості людини з середовищем на прикладі посттравматичного розладу.*

*На сьогоднішньому етапі економічного і політичного розвитку країни суттєво збільшився фактор негативного психогенного впливу на стан здоров'я населення. Створення інформаційної технології для оцінювання здоров'я та реабілітації людини з посттравматичним синдромом (ПТСР) надасть можливість зробити реабілітаційний процес керованим та контрольованим.*

***Метою** цієї статті є визначення інформаційної структури посттравматичного стресового розладу та формування основних положень інформаційної технології самооцінювання здоров'я для реабілітації посттравматичного синдрому.*

***Результати.** Розглянуто питання оцінювання рівня інтегрального здоров'я у осіб з ПТСР і психо-соціальна реабілітація таких пацієнтів. Обговорено загальні особливості психогенних розладів, теоретичні особливості формування посттравматичного стресо-*

© БЄЛОВ В.М., ГОНТАР Т.М., КОБЗАР Т.А., КОЗЛОВСЬКА В.О., 2020

вого розладу та можливості застосування інформаційного підходу до оцінювання та корегування стану людини. Запропоновано інформаційне поле посттравматичного синдрому в цілому, де на основі наявних літературних даних визначено основні екзогенні стресогенні чинники, захисні варіанти реакції організму і особистості, варіанти адиктивної поведінки осіб, які страждають на посттравматичний стресовий розлад.

Запропоновано інформаційну технологію самооцінювання фізичного, психічного та соціального стану здоров'я за допомогою розробленого апаратно-програмного комплексу «Експрес-діагностика здоров'я», яка дає змогу отримати оцінку інтегрального здоров'я та його складових компонент з використанням розробленого опитувальника. У психічному статусі здоров'я визначаються властивості і сила характеру особистості, які важливо враховувати і на які спиратися під час реабілітації осіб з посттравматичним синдромом.

**Висновки.** *Наявність об'єктивних та суб'єктивних даних про стан здоров'я людини з посттравматичним синдромом, в тому числі визначених кількісних критеріїв складників її здоров'я, а також врахування інформаційного поля посттравматичного стресового розладу, яке поєднує основні екзогенні стресогенні чинники та відповідні їм захисні варіанти реакції організму і варіанти адиктивної поведінки, надає можливість детально аналізувати її стан та формувати індивідуалізовані програми реабілітаційних заходів. Водночас знання характеру людини дає змогу з високою ймовірністю передбачити і, тим самим, коригувати її очікувані дії і вчинки.*

*Використання розроблених апаратно-програмних модулів для завдань оцінювання здоров'я у разі ПТСР сприятиме підвищенню ефективності реабілітаційних заходів.*

**Ключові слова:** *інформаційна технологія, самооцінювання здоров'я, психічне здоров'я, характер особистості, методи тестування та діагностики, посттравматичний стресовий розлад, психосоціальна реабілітація.*

## **ВСТУП**

Збереження здоров'я населення є одним з центральних питань сучасності, особливо враховуючи погіршення стану навколишнього середовища, зростаючі навантаження різного характеру, що діють як на окремі системи організму, так і на стан здоров'я людини у цілому. Необхідно оцінювати зміну межі гармонійної взаємодії людини з екосередовищами і зрозуміти механізми, що її забезпечують. Збереження здоров'я людини, як триєдності фізичного, психічного і соціального статусів і формування гармонійно розвиненої особистості в середовому та інформаційному просторі, продовжує залишатися пріоритетним завданням суспільства. Значення такого комплексного підходу до здоров'я людини стає особливо очевидним у разі порушення гармонійної взаємодії організму й особистості людини з середовищем на прикладі так званого посттравматичного розладу.

Прийнято вважати посттравматичний синдром — посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) не захворюванням, а важким розладом психіки людини, викликаним сильним стресовим переживанням. Внаслідок важких надсильних психічних і фізичних переживань, катастроф, насильств, фізичних каліцтв, участі у військових діях та інших психогеній, розвивається особлива стійка картина психотравмувальних переживань (з тривалим підтриманням перенесеної стресової ситуації), яку виділено в 1980 р. у Міжнародному класифікаторі хвороб (МКХ-10) як самостійну нозологічну одиницю [1]. ПТСР є відстроченою та/або затяжною реакцією на екстремальну (травматичну) подію загрозливого або катастрофічного характеру, яка може зумовлювати загальний тяжкий дистрес організму та особистості людини.

У сучасній Україні спостерігається збільшення кількості випадків цього синдрому, на що вказують вітчизняні та закордонні провідні фахівці [2–7 та ін.]. Однак на проблему психічного здоров'я варто подивитися набагато ширше. Три чверті українців не мають доступу до кваліфікованої допомоги у сфері психічного здоров'я, як констатують у Міністерстві охорони здоров'я України. Дані, наведені МОЗ, випливають із результатів оцінювання проблематики психічного здоров'я в Україні, проведеної у Львівській, Полтавській та Запорізькій областях Міжнародним медичним корпусом, Світовим банком, Швейцарським бюро співпраці. «Державні університети не завжди можуть забезпечити належної якісної підготовки кадрів, а приватні заклади пропонують навчання психотерапевтів, яке іноді не базується на науково-обґрунтованих підходах до лікування. За відсутності системи ліцензування і сертифікації професіоналів і навчальних центрів, спеціалісти та пацієнти вимушені робити свій вибір наосліп. Громадяни часто стикаються з психологічними бар'єрами: сором, брак довіри до системи охорони здоров'я, недостатній обсяг інформації та рівень обізнаності, висока вартість лікування, страх перед можливістю поширення інформації про свою проблему, негативний досвід попередньої допомоги, географічна віддаленість», — йдеться в повідомленні МОЗ [8]. У МОЗ наголосили, що проблеми з психічним здоров'ям в Україні є тісно пов'язаними з бідністю, безробіттям і відчуттям небезпеки, які посилюються у зв'язку з наслідками воєнного конфлікту на сході України.

До того ж, за даними Міністерства України у справах ветеранів, статус учасника бойових дій (на 1 липня 2019 року) вже отримали 370 тис. осіб, «які захищали незалежність, суверенітет і територіальну цілісність України і брали безпосередню участь в АТО, забезпечення її проведення». Статус особи з інвалідністю внаслідок війни мають майже 11 тис. ветеранів і їх кількість істотно збільшується, оскільки минулого року їх було близько 3 тис. За деякими даними, у бійців АТО спостерігається 80% психогенних втрат за типом посттравматичного синдрому, відомого як «в'єтнамський», «афганський», «чеченський». До ПТСР схильні також волонтери, біженці, свідки, які пережили військові та екстремальні події, представники всіх видів рятувальних служб, нарешті, ті, хто пережив всесвітню пандемію коронавірусу COVID-19.

*Медико-соціальними наслідками ПТСР є висока коморбідність з психічними розладами, ризик суїциду, адиктивна поведінка, формування особистісних розладів, деперсоналізація, порушення соціальної взаємодії, погіршення якості життя. Проблемними залишаються питання діагностики та терапії цього стану, а також медико-психологічна реабілітація таких пацієнтів [2,4,7 та ін.]. Ці обставини дають змогу говорити про те, що проблема ПТСР, як особливого типу психогенії, стає переднім краєм дослідження психічного здоров'я людини [9].*

## **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

**Загальні особливості психогенних розладів.** Для розуміння природи походження ПТСР і труднощів боротьби з ним, розглянемо особливості психогенних розладів (гр. психо - душа + генез - породження). Фактори, що травмують психіку і зумовлюють хворобливий стан у вигляді короточасної психічної реакції або тривалого психічного розладу (синдрому, хвороби), називають психот-

равами, які бувають гострими і хронічними. Прийнято вважати, що важливу роль у формуванні психотравм відіграють [3,7, 9 та ін.]:

- 1) тяжкість, екстраординарність травматичної події;
- 2) емоційна значущість і сила психотравмувального чинника для людини;
- 3) генетична схильність до тривожно-недовірливих переживань;
- 4) негативний дитячий досвід перебування в неблагополучній родині;
- 5) рівень персональної здатності до самоконтролю і самовираження;
- 6) зовнішнє посттравматичне оточення після перенесеної події;
- 7) індивідуальна слабкість механізмів психологічного захисту.

У психіці людини від народження закладено захисні механізми, здатні запобігти розвитку психічного розладу, але лише до певних меж. У разі подолання цієї межі внаслідок надсильних психічних і фізичних переживань розвивається особлива стійка картина відповіді організму (тварини або людини) на сильний патогенний вплив. Як показав Нобелівський лауреат з медицини Ганс Сельє (1946,1959), організм потужно і доцільно реагує на стресову ситуацію рятівним для нього *адаптаційним синдромом* за типом «позитивного зворотного зв'язку», але ціною великих витрат, які виснажують всі системи організму:

- відбувається збільшення секреції адаптивних гормонів;
- розвивається гіпертрофія кори надниркових залоз та їх недостатність;
- посилюються процеси катаболізму і ендотоксикація;
- розвивається імунодепресія, вторинний імунодефіцит;
- відбувається виснаження ресурсу стрес-протективних лігандів;
- настає стійке пригнічення нейронів кори з дизрегуляцією підкіркових центрів;
- активуються інстинктивні реакції та їхній прояв на тлі звуження поля свідомості;
- виявляється порушення когнітивної переробки інформації;
- розвиваються своєрідні стресогенні розлади і психосоматичні захворювання.

Отже, у відповідь на раптові, життєнебезпечні ситуації, екстраординарні події, які виходять за межі повсякденного досвіду, розвиваються базові гострі реакції людини на реактивний стрес, які проявляються у вигляді своєрідних *гострих афективно-шокових реакцій*, а саме: панічна втеча, хаотичне панічне збудження (фугіформна реакція короткого замикання - "kurz schluss"), психогенний ступор, заціпеніння ("уявна смерть" – "Totenschellung reflex") або імпульсивне агресивний напад.

Не вдаючись у докладний опис гострих психотравм, зазначимо, що вони зазвичай розвиваються на місці їх породження, носять яскраво виражений інстинктивний характер самозбереження, майже не керуються свідомо-вольовим контролем людини, супроводжуються первинно-примітивними емоціями страху, безпорадності і часто закінчуються неадекватними реакціями та поведінкою. Так, у разі пожежі в хмарочосі чи океанському лайнері, деякі пасажири, рятуючись від вогню, викидаються з багатометрової висоти, інші ціпеніють нерухомо у стані ступору. Гострі психотравми мали місце після масової бійки фанатів футбольних матчів на стадіоні та інших проявах масової паніки.

Постійно діючи на психіку, довготривалі негативні життєві стресори у повсякденному житті також травмують психіку, якщо супроводжуються сильними пригнічувальними емоційними переживаннями. До *хронічних психотравм* належать: конфлікти, насильство, побиття в родині; шлюбозлучні, житлові, судові тяжби; конфлікти на роботі, військовій службі; конфлікти, пов'язані з навчанням; зовнішні соціальні події; природні явища; масові пандемії, епідемії та інші нерозв'язні ситуації.

Хронічні психотравми призводять до розвитку неврозів і відомих *психосоматичних захворювань*: кардіоваскулярні розлади («невроз серця», вегето-судинна дистонія), есенціальна гіпертонія, диспепсія, нервові анорексія і булімія, виразка 12-палої кишки, виразковий коліт, респіраторні прояви, бронхіальна астма, нейродерміт.

На основі гострих або хронічних психотравм розвиваються гострі реактивні психози і посттравматичні стресові розлади (ПТСР), які контрастно різняться між собою. За умов гострих реактивних психозів є певна діалектика розвитку цих станів, у свій час відзначена відомим психіатром, теологом як «тріада» Ясперса [10]. Відповідно до «тріади»:

1) психогенне захворювання розвивається реактивно безпосередньо після впливу психічної травми;

2) фабула хвороби та її перебіг безпосередньо впливають зі змісту психотравми, між ними є психологічно зрозумілі зв'язки;

3) вихід з психотравми приводить до припинення або значного послаблення прояв захворювання, аж до повного одужання.

Після повного одужання від перенесеної реактивної психотравми у людини не залишається жодної резидуальної симптоматики, багато з пережитого поступово забувається і не виникає бажання навіть згадувати про це.

ПТСР абсолютно не вкладається в «тріаду» як класичне психогенне захворювання, хоча, як реактивний розлад, зумовлено своїм походженням стресогенними чинниками. ПТСР як психічний розлад виникає через кілька тижнів або місяців після тяжкої події, яка загрожує життю (військових дій, полону, техногенних катастроф, бандитського нападу, згвалтування, природних лих, терористичних актів тощо) і залишається надовго, якщо не назавжди. Можливо, це ще один з варіантів захисної реакції організму і особистості, крім вищезгаданого адаптаційного синдрому, як один з вроджених оборонних «регістрів» психіки, про які колись висловив припущення основоположник німецької класичної психіатрії Еміль Крепелін.

Відзначимо характерні ознаки проявів ПТСР, на які вказують багато авторів [2–9 та ін.]. Водночас підкреслено очевидний зв'язок породження ПТСР з психотравмою, якщо людина відчувала жах, страх, переживала загрозу для життя або здоров'ю ситуацію, стала її учасником або свідком. Хоча травмувальна ситуація залишилася в минулому, пацієнт постійно подумки повертається до неї, немов би «застряє» в екстремальній ситуації і не може її забути. Виникають так звані флешбеки, коли людина «переноситься» у минулу ситуацію, дуже яскраво знову переживає її і перестає орієнтуватися у реальності (з тривалістю від секунд до декількох годин). Пацієнт постійно відчуває переживання, тривогу, напруження, пов'язані із ситуацією, що травмує. Вночі це може бути повторенням кошмарів, вдень — нав'язливим повторенням в думках, спогадах. Особа з ПТСР не здатна об'єктивно оцінити своє самопочуття і впо-



ратися з емоціями, неадекватно реагує на реальні події, не сприймає нову інформацію, втрачає інтерес до роботи і кола спілкування. Людина стає тінню себе колишньої, оскільки, за її словами, «не існує в сьогоденні», замикається в собі, ізолюється від спілкування.

Така поліморфна клінічна картина вимагає достовірної діагностики, постановки діагнозу ПТСР, для чого розроблено і широко застосовують на практиці низку засобів: Міссісіпський опитувальник для діагностики посттравматичного стресового розладу, отриманого в результаті участі в бойових діях (Keane T. V., et al.1987,1988); Міссісіпська шкала ПТСР (1987), яка дає змогу визначити поточний рівень стресу, але не є підставою для постановки діагнозу ПТСР; Опитувальник ПТСР у дітей і підлітків (Тарабріна Н.В. із співавт., 1992–1996); Опитувальник травматичного стресу для вивчення стану людини і діагностики психологічних наслідків впливу на нього надзвичайних екстремальних факторів (Котенев І.О., 1996); Тест на рівень посттравматичного стресового розладу (Матвеев О., 2006); Тест-опитувальник і шкала депресії для когнітивної терапії виходу з депресії (Бек К., 1961) та інші.

Лікування пацієнтів з ПТСР, на думку всіх фахівців, є складним і базується на таких основних компонентах [ 2 та ін.]:

- скринінг соматичного та психологічного стану;
- застосування фармакотерапії, особливо седативних засобів і антидепресантів;
- фізіотерапія, немедикаментозні методи;
- тренінги стресостійкості до психогенних атак, психоосвіта;
- створення адаптаційної атмосфери визнанням високого соціального статусу;
- створення умов сприятливої психологічної обстановки в родині;
- психотерапія і методи психологічного впливу;
- психосоціальна реабілітація.

Саме необхідність мультидисциплінарності у лікуванні та реабілітації осіб, які страждають на ПТСР, зумовлює участь у цьому процесі представників різних наук, в тому числі, фахівців у області сучасних інформаційних технологій.

**Метою** роботи є визначення інформаційної структури посттравматичного стресового розладу та формування основних положень інформаційної технології самооцінювання здоров'я для реабілітації посттравматичного синдрому.

## **БАЗОВА КОНЦЕПЦІЯ ЗДОРОВ'Я ТА ОЗДОРОВЧОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ**

За темою діагностування ПТСР проблемними залишаються питання оцінювання рівня інтегрального здоров'я у осіб з ПТСР і психолого-соціальна реабілітації таких пацієнтів. Впровадження інформаційних технологій в різні аспекти життєдіяльності людини підняли популярність методів комп'ютерної реалізації одержання, зберігання, аналізу даних медико-біологічної спрямованості. До теперішнього часу ми закінчили розроблення відкритої концепції здоров'я, структурно-функціональної схеми її ієрархічної організації, поклали в її основу розроблений метод інтегрального оцінювання індексу здоров'я людини, який може бути застосовано, на нашу думку, для оцінки показників ПТСР.

Розроблена нами концепція здоров'я та оздоровчої реабілітації, яка реалізована у вигляді комп'ютерного діагностичного модулю, неодноразово висвітлювалася раніше [11], що дає змогу не зупинятися на цьому докладно. Зробимо лише доречні окремі пояснення.

*Метод нормованої уніфікації різноякісної інформації (МНУПІ)* [12] дає змогу шляхом відношення абсолютної величини вимірюваного або опосередкованого показника (за шкалою повного діапазону його змін) до діапазону норми отримати нормовану уніфіковану оцінку стану системи за цим показником, тобто перевести фактичні показники в інформаційні. Якщо значення показників лежать в інтервалах норми, тоді відносний показник дорівнює нулю. Значення нижньої межі норми часто встановлюється експертним шляхом або вибирається рівним середньому значенню діапазону норми в кожному конкретному випадку. Іншими словами, значення будь-якого показника рівний або близький до нуля означає стан практичного здоров'я, а однакове або близьке до одиниці — стан патології, нездоров'я. Отже, за спеціально розробленими правилами, ми можемо за однією аксіоматично інформаційною шкалою порівнювати натурні, вимірювані або розраховані показники, виражені у балах, відсотках та інших одиницях виміру.

*Індекс інтегрального здоров'я.* Завдяки такому підходу ми маємо можливість формалізувати початкову інформацію і працювати в однорідному інформаційному полі, що дає змогу порівнювати різноякісну інформацію про різні статуси здоров'я і провести верифікацію стану здоров'я в цілому. Інформаційні показники утворюють основу для синтезу інформаційних інтегральних оцінок стану всіх ієрархічних рівнів інформаційної структури здоров'я: складових, компонент, статусів і індивідуального інтегрального здоров'я, а інтегральна оцінка стану кожного наступного рівня будується як лінійно-зважена сума інтегральних оцінок попереднього рівня.

Інтегральна оцінка стану здоров'я в цілому ( $\Delta_3$ ) має вигляд лінійно-зваженої суми стану узагальнених оцінок всіх трьох статусів: фізичного статусу ( $\Delta_{\phi 3}$ ), психічного статусу ( $\Delta_{\text{пз}}$ ) та соціального статусу ( $\Delta_{\text{сз}}$ ):

$$\Delta_3 = 0,33 \Delta_{\phi 3} + 0,33 \Delta_{\text{пз}} + 0,33 \Delta_{\text{сз}}$$

Внаслідок такої ієрархічної згортки отримуємо інформаційний "портрет" здоров'я, нормований на всіх рівнях від нуля до одиниці.

Перекладення на комп'ютерну основу нашої концепції здоров'я, методик і принципів розподілу значень вибраних показників у будь-якій точці розробленої ієрархічної структури, значно прискорює весь процес тестування. Експерт звільняється від процедури постійного інструктування, подання завдань, оброблення результатів тощо. Водночас, дотримується точність реєстрації, усуваються помилки, неминучі за використання ручних методів розрахунків базових показників. Оперативність оброблення початкових даних у комп'ютерному тестуванні дає можливість у стислі терміни проводити масові дослідження, що сприяє підвищенню якості і зниженню вартості цієї процедури. Крім того, перевагою комп'ютерних методик є можливість візуалізувати інформацію та організувати виведення результатів обстеження на екран дисплея у вигляді графіка, таблиці або будь-якого іншого типу відеограми. Отримана графічна інформація про індекс здоров'я і профіль особистості зумовлює можливість поглибленої інтерпретації результатів та виявлення прихованих закономірностей.

Розроблений нами апаратно-програмний комплекс «Експрес-діагностика здоров'я» [13] забезпечує користувачам можливість оцінювання рівня свого здоров'я за трьома статусами: фізичним, психічним і соціальним з використанням запропонованого опитувальника. Після короткого інструктажу запитання опитувальника експонуються на екрані монітора у послідовності, що задається генератором випадкових чисел; фіксуються відповіді на запитання і виразність того чи іншого параметра здоров'я (кількість таких параметрів у системі понад 80) визначається за сумою балів, отриманих в результаті відповіді на всі запитання, що належать до характеристики цього параметру. Програма включає підпрограми тестування, оброблення та інтерпретації результатів тестування, підпрограми подання результатів на екран монітора, до бази даних, у текстовий файл, на принтер. Важливо, що користувач самостійно може визначити свій стан здоров'я на поточний момент часу, а ми оцінити його кількісний індекс здоров'я в цілому і за окремими компонентами кожного статусу. В цілому, дана методика вже пройшла свою перевірку в завданнях реабілітації контингенту осіб, що пережили техногенну Чорнобильську катастрофу [14]. З того часу концепцію здоров'я було доповнено новими даними і уточненими методиками оцінювання всіх статусів здоров'я, розробленими класами керувальних методів фізичної та психологічної реабілітації з урахуванням рівня індексу здоров'я [11].

### **ПОЛОЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ САМООЦІНЮВАННЯ ЗДОРОВ'Я І РЕАБІЛІТАЦІЇ ОСІБ З ПТРС**

Складність виявлення ПТРС та мультимодальний її характер зумовлюють доречність та необхідність використання методів та засобів інформаційних технологій, які забезпечують подальшу інтеграцію різноманітних даних, створюють конструктивні шляхи формалізації складних об'єктів психологічної і соціальної природи. Розглянемо положення, які слугують основою розроблення ІТ самооцінювання здоров'я для реабілітації осіб з ПТРС.

#### **Формування посттравматичного стресового розладу**

На цьому етапі дослідження застосовано зазначений вище підхід до самооцінювання рівня здоров'я осіб з ПТРС з метою підвищення рівня ефективності реабілітаційних заходів. Для цього необхідно розглянути інформаційну структуру ПТРС, умови її формування.

Принципову схему формування ПТРС надано у вигляді такої схеми (рис. 1: **S** — зовнішні стресогенні психогенії; **O** — організм і особистість; **R** — відповідні типи реакцій, особливості поведінки). Для простоти схеми «зворотні зв'язки», які, безсумнівно, мають місце на схемі не вказані.

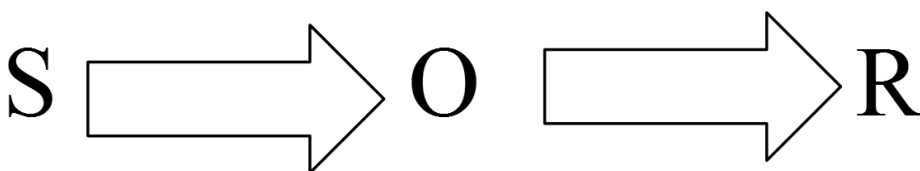


Рис. 1. Принципова схема формування ПТРС

Інформаційне поле посттравматичного синдрому в цілому надано у Табл. 1. На основі наявних літературних даних визначено основні екзогенні стресогенні чинники (S), захисні варіанти реакцій організму (O) і особистості (O), варіанти адиктивної поведінки (R) осіб, які страждають на ПТСР.

Табл. 1. Інформаційне поле посттравматичного синдрому

| Зовнішні психогенні чинники формування ПТСР (S)           | Особливості прояву ознак ПТСР:             |   |  |
|---|--|---|--|
|   | З боку фізичного статусу організму (O1)    | З боку психічного статусу особистості (O2)                    | З боку соціального статусу особистості (R)         |
| Участь в бойових діях з ризиком для життя, полон          | Стійкий розлад схеми сну                   | Розлад відчуття   | Ажитація поведінки, рухове збудження               |
| Залучення до військових дій                               | Стійке безсоння                            | Розлад сприйняття реального часу, спливання пережитого        | Постійна внутрішня напруженість, тривога           |
| Свідок терористичної акції з ризиком для життя            | Швидка втомлюваність                       | Порушення концентрації уваги і ослаблення оперативної пам'яті | Підвищена обережність, недовірилівість             |
| Переживання ДТП з летальним наслідком                     | Астенія, занепад сил                       | Зниження якості розумової роботи                              | Підозрілість, недоброчливість                      |
| Отримання важких травм, каліцтв у разі ДТП                | Нестача фізичної активності                | Труднощі у прийнятті рішень, постійна констеляція сумнівів    | Реагування на будь-яку згадку про психотравму      |
| Отримання важких каліцтв на роботі, у побуті              | Швидка виснажливність                      | Мимовільне вторгнення пережитого                              | Постійно пригнічений настрій                       |
| Перенесення особистого брутального нападу                 | Втрата апетиту                             | Емоційна холодність   | Почуття невизначеною настороженості                |
| Переживання небезпечної техногенної катастрофи            | Недостача психічної енергії                | Відчуття самотності, відокремленості                          | Байдужість до світу, втрата дружелюбності          |
| Втрата близьких в сім'ї                                   | Постійне переживання фізичного дискомфорту | Почуття втрати себе, свого Я, «НЕ Я»                          | Некомунікабельність, відчуженість від усіх         |
| Перенесення грубого фізичного насильства в сім'ї          | Тахікардія, перебої у роботі серця         | Почуття втрати сенсу життя                                    | Стійка готовність до гніву                         |
| Перенесення сексуального насильства                       | Надмірне потовиділення                     | Почуття глибокої апатії, байдужості                           | Невинні жарти викликають бурхливу реакцію          |
| Небезпечна робота в службі швидкого реагування, порятунку | Підвищена чутливість до запахів            | Почуття провини, сорому                                       | Реакції носять імпульсивний характер               |
| Статус біженця, переселення з втраченою майна             | Підвищена непереносимість гучних звуків    | Почуття ненависті, заздрості до здорових                      | Реакції можуть супроводжуватися жорстоким побиттям |
| Довготривалі психотравми                                  | Підвищена тяга до алкоголю                 | Почуття пригніченості, депресії                               | Загроза суїциду, демонстрація спроби               |
| Загроза зараження небезпечною для життя хворобою          | Підвищена тяга до наркотиків               | Почуття постійної гнівливості                                 | Відсутність любові, тепла                          |

Для формування ПТСР є необхідною дія дуже сильних гострих, емоційно значущих для людини на рівні життєвої драми, стимулів (S), таких, як війна, полон, жорстоке насильство у будь-якій формі, втрата близьких, дорожньо-транспортні аварії зі смертельним наслідком або каліцтвом, великі техногенні, природні, промислові або побутові катастрофи (табл. 1, розділ 1). Доречно зазначити, що за стандартами ЮНЕСКО, до однієї з форм домашнього насильства відносять грубе приниження особистої гідності нецензурною лайкою, яке прирівнюється до брутального фізичного насильства.

До цієї групи належать не тільки гострі, але і хронічні психотравми, екзогенні шкідливі чинники, які постійно і регулярно діють на психіку людини. Особливо це стосується професій, пов'язаних з порятунком життя інших людей: професійні рятувальники на воді, на суші і у горах, пожежники, медики-вірусологи, моряки далекого плавання, дресирувальники і приборкувачі хижих тварин, добувачі зміїної отрути, золота або бурштину тощо.

З боку *фізичного статусу* організму у разі ПТСР (табл. 1, позиція 2), найчастіше відзначають стійке порушення звичної схеми сну, безсоння або поверхневий, переривчастий сон, що супроводжується спливанням пережитого, «застряганням» на його основний фабулі. Мають місце виражені невротичні скарги на астенію, занепад сил, швидку стомлюваність, втрату апетиту. Зазвичай спостерігаються тахікардія, надмірне потовиділення, підвищена чутливість до гучних звуків і запахів. Усі ці та інші подібні порушення викликають у людини з ПТСР постійне відчуття фізичного дискомфорту, нестачі фізичної і психічної енергії, що призводить до зниження фізичної витривалості, відчуття постійної втоми, зниження працездатності і творчої продуктивності. Звідси, нерідко виникає бажання підбадьорити себе алкоголем, збудливими наркотиками. Ця група пацієнтів має тенденцію до коморбідності — поєднанню посттравматичного синдрому з іншими захворюваннями і різною залежністю (ігроманія, інтернет-серфінг тощо).

Перш ніж перейти до обговорення інформаційного поля ПТСР з боку психічного і соціального статусів, викладемо свої уявлення про систему «організм-особистість» людини в тому обсязі, який, на нашу думку, сприяє кращому розумінню такого складного розладу, яким постає ПТСР.

### **Структура «узагальненої особистості» людини і особливості її прояву у разі ПТСР**

Схематично особистість людини може бути подано ієрархічною структурою, яка об'єднує біогенний, психогенний і соціогенний «рівні» як в концепції здоров'я, оскільки саме рівень здоров'я відображає гармонію інтеграційної взаємодії мозку, організму і особистості в нормі і патології. Наведена на рис. 2 гіпотетична схема структури «узагальненої» особистості відображає «рівні-програми» в тому ієрархічному порядку, в якому вони розвиваються у людини і функціонують в процесі її життя.

Початком всього розвитку є *зигота* (запліднена яйцеклітина) — природна точка «сингулярності», прихована потенційна здатність до розвитку, яка цілком визначає уроджені-спадкові особливості індивіда і з якої розвивається складний людський організм, свідомо-вольова особистість.

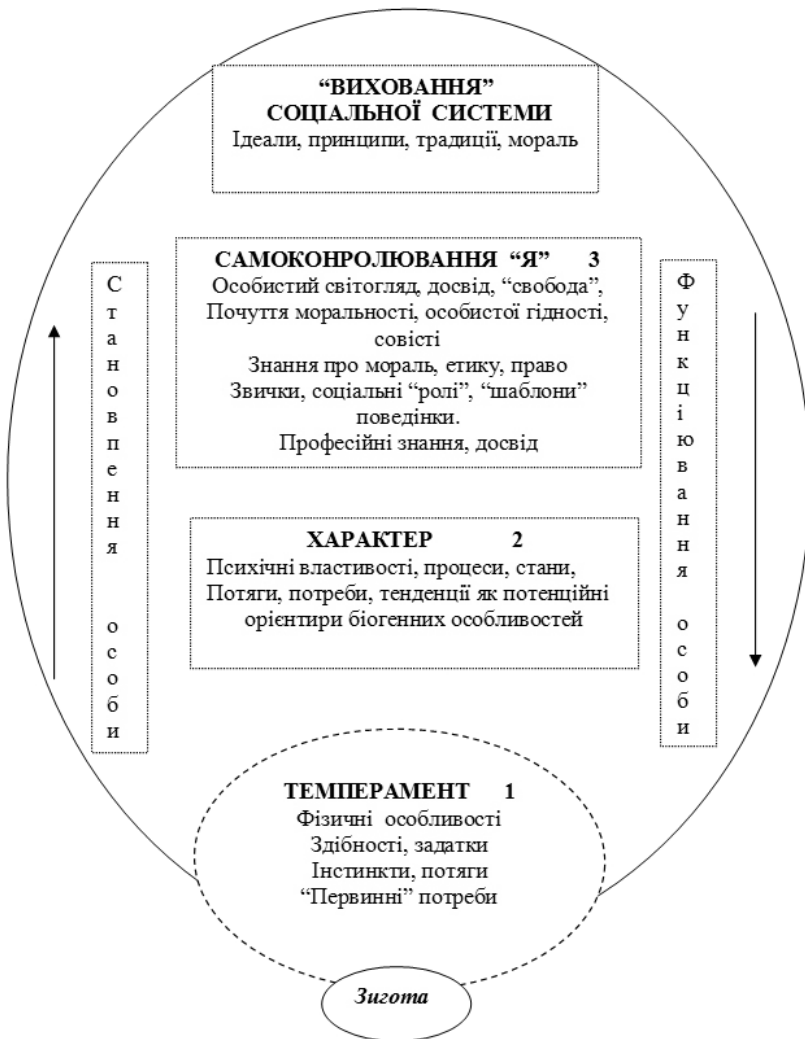


Рис. 2. Модель "узагальненої особистості" В. М. Белова

«Біогенний рівень» (рис 2, позначка 1), завдяки своєму еволюційно-генетичному походженню, утворений такими загальнолюдськими «елементами», які: антропометричні дані, здібності, вроджені тенденції відчувати і діяти, інстинктивні програми. Основні з них: прагнення до збереження життя та продовження роду, до спілкування, до реалізації вроджених можливостей в кінетичну енергію діяльності. Такого роду найзагальніші вроджені схильності, особливості емоційних проявів, передані у спадок, розглядають як спадкову конституцію індивідуума — *генотип*. Сукупність природжених особливостей динаміки вищої нервової діяльності індивіда, ще до всякого індивідуального досвіду, утворює його «темперамент». Перераховані вище прагнення індивіда у своєму розвитку можуть піднятися на більш високий, психогенний рівень.

«Психогенний рівень» (рис. 2, позначка 2) спадково зумовлено, але на відміну від біогенного, може трансформуватися зусиллями самої особистості під впливом виховних елементів зовнішнього середовища. Можна, хоча і не безмежно, розвивати і вдосконалювати елементи психогенного рівня — пам'ять, волю, мислення, почуття, природні задатки і здібності до формування відносно стійких властивостей особистості, які в сукупності утворюють характер. На ньому ми детально зупинимося нижче.

«Соціогенний рівень» (Рис. 2, позначка 3) у соціально зрілої особистості подано такими елементами, як честь, совість, відповідальність, гідність та інші, що прийнято відносити до "вищих" морально-етичних якостей особистості. Вони формуються на базі біологічних емоцій і "нижчих" почуттів. Інтегративний зв'язок між біогенним, психогенним і соціогенним «рівнями» здійснюється за допомогою особливої системи «Я» (індивідуальна свідомість, вольовий самоконтроль, особистий досвід людини). Розвиток, становлення особистості йде "знизу-вгору" (від біогенного рівня до соціогенного), а функціонування, навпаки, "згори-вниз" (Рис. 2). Іншими словами, функціонування дорослої, свідомо-вольової особистості відбувається у порядку, зворотному її онтогенетичному розвитку [15]. Формування особливостей взаємин біологічних і соціальних почуттів під спрямованим впливом соціальної системи, громадських відносин, культурної спадщини є процесом виховання. Підсумковий результат реалізації можливостей генотипу під впливом суспільного та індивідуального досвіду, виховання і самовиховання називають фенотипом.

Така модель особистості дає змогу краще зрозуміти особливості тих відхилень від норми у психічному статусі особистості, які проявляються у разі ПТСР. Так, з боку біогенного та психогенного «рівнів» виразно проявляються порушення *емоційно-почуттєвої сфери* особистості. Мають місце: пригніченість настрою, загальна пригніченість, емоційна холодність, почуття глибокої апатії та байдужості, заздрість здоровим, відчуття постійної гнівливості та злоби, недовірливість і недобррозичливість до оточення за відсутності любові і тепла до близьких.

Розлади *когнітивної сфери* проявляються у порушенні уваги, пам'яті, інтелекту. Мають місце: розлад відчуття і сприйняття реального часу, ослаблення концентрації уваги і оперативної пам'яті, зниження якості розумової роботи, неможливість виконати завдання до кінця тощо (Табл. 1, позиція 3).

Розлади соціогенного «рівня» у пацієнтів з ПТСР (Табл. 1, позиція 4) відображають схильність до адиктивних порушень поведінки, ажіотаж і рухове перезбудження, неадекватну за силою реакцію на жарти зі згадкою про перенесену травму. Бурхливі реакції у відповідь носять імпульсивний характер, залишається прихована готовність до брутального гніву і жорстокого побиття. Часто відбувається мимовільне «вторгнення» в пам'ять картини пережитої психотравми (т. зв. флешбеки). Особливої уваги заслуговують висловлення пацієнтів про те, що вони «втратили себе, своє Я», вони стали «іншими», втратили сенс життя, відчувають сильні труднощі у прийнятті необхідних ситуативних рішень, що супроводжується постійною констеляцією сумнівів, почуттям невпевненості і розгубленості. Є загроза суїциду.

На нашу думку, дана симптоматика і властива пацієнтам з ПТСР апатія, зниження особистої ініціативи, життєва інертність, розвиток деперсоналізації, свідчить про збої у роботі системи «Я» особистості та розладів у сфері її характеру.

**Значення характеру в завданнях реабілітації осіб з ПТСР: постановка завдання.** Широко утвердилося уявлення про те, що успіх реабілітації (оздоровчої, медичної, соціально-психологічної) зумовлюється, головним чином, арсеналом загально зміцнювальних, лікувальних, технічних та інших відновлювальних керувальних впливів. Особливий наголос робиться на застосуванні різноманітних, але здебільшого пасивних засобів і методів відновлення здоров'я, таких як фізіотерапія, масаж, рефлексотерапія, фітотерапія, гіпнотерапія та інших, де рекреаційний та оздоровчий ефект досягається, головним чином, за рахунок сили і фізіологічних механізмів впливу зазначених засобів на організм людини. Давно проголошена деонтологічна вимога: "Лікувати не хворобу, а хворого" продовжує залишатися здебільшого декларативною. Між тим, на нашу думку, це кредо має бути відроджено знову, під час вирішення саме оздоровчих завдань, де якості і властивості особистості відіграють особливу роль.

На практиці необхідно враховувати повною мірою значення і роль специфічного і, в кожному разі, унікального набору психофізіологічних і психологічних якостей, якими кожна людина наділена спочатку в генотипі, або набуває у фенотипі пізніше в ході індивідуально-суспільного виховання, або шляхом самовиховання, самоорганізації. У спеціальній психологічній літературі самоорганізація особистості, стиль та стратегія її поведінки пов'язується з таким поняттям як характер [16], тобто особливою системою організації самосвідомості, "Я" людини, нерозривно пов'язаного з його волею, що дає підставу говорити про єдину систему свідомо-вольового контролю. Дійсно, вольовий процес є здатність спрямовувати свої особисті бажання, "воління" (від нім. "Ich will — «Я хочу») на ієрархічно суупорядні завдання з особливим переживанням особистої участі ("Я можу") для досягнення поставленої мети ("Я повинен"). Саме у такій послідовності у ході індивідуального розвитку особистості із самого раннього дитинства формується найважливіший мотиваційний механізм характеру особистості [15]. У свою трикомпонентну концепцію здоров'я, як обов'язкову, ми включили характер людини. У свою чергу, в інформаційній структурі характерологічної компоненти, виділено такі складники: рівень соціального розвитку особистості, можливості особистої мобілізації, генерація особистих проявів, які є біологічно, психологічно і соціально зумовленими. У якості показників складників виступають риси характеру, які, згідно з модельним уявленням, літературними даними та емпіричним досвідом є «опорними» в структурі особистості, вирішальним чином зумовлюючи індивідуальні особливості тієї чи іншої соціальної діяльності людини [17].

Серед *опорних рис* характеру, необхідних і достатніх для наших завдань, в психологічному статусі було виділено такі риси: сила "я", оптимізм, здатність до зусиль, цілеспрямованість, рішучість та ряд інших. Визначають характер такі моральні якості, як людська гідність, совість, честь, добросовісність, відповідальність. Всього опорних рис характеру — 20, кожна з яких має по шість різних відтінків їхніх проявів.

*Мета нашого дослідження* — кількісно оцінити опорні якості характеру людини, які, на нашу думку, грають істотну роль в завданнях підтримання, збереження і відновлення індивідуального здоров'я, особливо з боку його психічного і соціального статусів.



*Методика тестування.* Для тестування якостей характерологічної компоненти здоров'я було розроблено спеціальну анкету-опитувальник, яка дає змогу отримати кількісні бальні оцінки всіх якостей характеру, де максимальне значення оцінки кожної якості становить 9 балів. Була прийнята така градація кожної якості в залежності від рівня прояву: 1–3 бали — низький рівень прояву досліджуваної якості особистості; 4–6 балів — середній рівень; 7–9 балів — високий рівень прояву.

Ієрархічна система оцінок характерологічної компоненти базується на методи МНУРІ [5]. Відповідно до цього методу, отримані в результаті анкетування та оброблення анкет узагальнені бальні оцінки окремих якостей уніфікують і нормують, перевівши їх у відносні узагальнені оцінки. Інтегральна оцінка характерологічної компоненти розраховується як лінійно-зважена сума відносних узагальнених значень оцінок окремих якостей з рівними вагами. Чисельне значення узагальненої оцінки характерологічної компоненти змінюється в діапазоні від 0 до 1, який включає такі піддіапазони: I — від 0 до 0,33 — сильний характер; II — від 0,33 до 0,66 — характер середньо виражений; III — від 0,66 до 1 — слабкий характер. Для кожного досліджуваного, за результатами оброблення його відповідей на запитання анкети, виводяться висновки у вербальному і цифровому вигляді як узагальнена оцінка «сили» характерологічної компоненти та її складників. Алгоритм анкетного тестування та кількісного оцінювання є програмно реалізованим, пройшов пілотну апробацію і довів свою діагностичну ефективність.

### **Вибір керувальних дій з урахуванням особливостей рівня здоров'я і сили характеру**

В залежності від результатів тестування і оцінювання стану всіх трьох статусів здоров'я (фізичного, психічного і соціального) формується програма підтримки його інтегрального індивідуального здоров'я, складена з комплексу керувальних впливів. Методи керувальних дій можна розділити на дві основні групи — методи зовнішньої корекції (переважно соціально-середовищної спрямованості) і методи внутрішньої корекції (за рахунок вольових зусиль самої людини, тобто ціною самокорекції, самоорганізації). Їх класифіковано нами за певними критеріями: методами оздоровлення, типом керування (матеріальний, енергетичний, інформаційний), механізмами впливу, адресною спрямованістю тощо. Так, основні методи впливів на фізичний статус, використовувані в процесі оздоровчо-профілактичних заходів, більше належать до першої групи. Серед них: дихальні методики; фізичні вправи; збалансоване раціональне харчування; температурні чинники (включаючи СПА-процедури); масаж (методи точкового, сегментного і загального масажу).

Усі методи впливів на психічний і соціальний статуси здоров'я людини згруповано за видами спрямованості керувальних впливів і належать до другої групи. Їх подано у 7 групах:

- 1) методи зняття стресу, тривоги і важкого настрою;
- 2) методи релаксації, розслаблення, заспокоєння, умиротворіння;
- 3) методи активації, накопичення психічної енергії;
- 4) методи креативного впливу, підвищення інформативності;
- 5) методи, спрямовані на розвиток гостроти сприйняття, зміцнення пам'яті;
- 6) методи емоційного впливу, розвитку почуттів, поліпшення настрою, підвищення інтересу до життя;

7) методи розвитку волі, формування і зміцнення характеру, стилю поведінки.

У підсумку вдалося побудувати інформаційно-матричну модель методів впливів на фізичний, психічний і соціальний статуси здоров'я людини, в яку увійшло понад 50 окремих керувальних впливів на той чи інший статус здоров'я. Всі вони можуть бути використані як основа для створення індивідуальних програм оздоровлення осіб з ПТСР. Необхідно зазначити, що кожна група керувальних впливів включає методики, що передбачають різну інтенсивність впливів. В залежності від результатів тестування характерологічної компоненти програму керувальних впливів може бути індивідуалізовано. Саме співвідношення сили характеру людини та інтенсивності рекомендованого керувального впливу дає змогу індивідуалізувати і, тим самим, оптимізувати ефект оздоровчих процедур. Отже, врахування стану характерологічної компоненти під час синтезу програми самокеруванням здоров'ям людини уможливило індивідуалізацію підбору керувальних впливів, які прямо чи опосередковано впливають на характерологічну компоненту, дають змогу досягти їхньої більшої ефективності. Характер, особисті установки на збереження і підтримання індивідуального здоров'я мають важливе, якщо не вирішальне, значення.

## **ВИСНОВКИ**

Ми вважаємо, що наявність об'єктивних та суб'єктивних даних про стан здоров'я пацієнта, а також визначених кількісних критеріїв складників його здоров'я забезпечує здійснення процесу індивідуалізованих фізичної та психолого-соціальної реабілітацій, виходячи з особистісних настанов і уподобань пацієнта. Водночас апріорі приймається, що ефект реабілітації залежить від ступеня включення самого пацієнта в оздоровчий процес, від його прагнення і бажання позбутися небажаних наслідків ПТСР. В цьому випадку, засоби і методи психологічної реабілітації будуть прицільно спрямовані на зміну самовідчуття людини і допоможуть підвищити її стійкість до життєвої драми, змінити життєву філософію і пріоритети.

Врахування сформованого інформаційного поля посттравматичного стресового розладу, яке поєднує основні екзогенні стресогенні чинники та відповідні їм захисні варіанти реакцій організму і варіанти адиктивної поведінки особистості, яка страждає на ПТСР, надає можливість детально аналізувати її стан та формувати індивідуалізовані програми реабілітаційних заходів.

Вважаємо, що саме знання характеру людини дає змогу з високою ймовірністю передбачити і, тим самим, коригувати її очікувані дії і вчинки. Використання розроблених апаратно-програмних модулів для завдань оцінювання здоров'я у разі ПТСР сприятиме підвищенню ефективності реабілітаційних заходів. Безсумнівно, що реабілітація повинна бути комплексною із застосуванням раціонально-поведінкової, інтерперсональної та сімейної терапії, де інформаційний підхід до розвитку і реабілітації психогенних розладів може надати свій інтелектуальний вклад.

ЛІТЕРАТУРА

1. Діагностичні критерії DSM-III-R / пер. з англ. Київ: Абрис, 1995. 272 с.
2. Чабан О.С. Франкова І.А. Современные тенденции в диагностике и лечении посттравматического стрессового расстройства. *НейроNews: психоневрология и нейропсихиатрия*. 2015. № 2 (66). С. 8–18.
3. Посттравматическое стрессовое расстройство — диагностика, терапия, реабилитация: из материалов научно-практической конференции с международным участием «Современные подходы к диагностике, терапии и реабилитации посттравматических стрессовых расстройств» (Харьков, 28–29 мая 2015 г.). *Укр. мед. часопис*. 2015. № 4 (108). VII/VIII. С. 8–10.
4. Посттравматическое стрессовое расстройство / под ред. В.А. Солдаткина; ГБОУ ВПО РостГМУ Минздрава России. Ростов на Дону: Изд-во РостГМУ, 2015. 624 с.
5. Тарабрина Н.В. Психология посттравматического стресса: теория и практика. Москва: Изд-во «Институт психологии РАН». 2009. 304 с.
6. Тарабрина Н.В., Лазебная Е.О, Зеленова, М.Е, Петрухин Е.В. Уровни субъективно-личностного восприятия и переживания «невидимого» стресса. Москва: Медицина, 1996. 315 с.
7. Кристалл Джон. Посттравматический стрессовый синдром. URL: <https://postnauka.ru/faq/68268>. (Дата звернення: 14.09.2016).
8. Експерти Світового банку дали оцінку галузі психічного здоров'я в Україні — повідомлення МОЗ України від 3 листопада 2017 року. URL: <https://moz.gov.ua/article/news/eksperti-svitovogo-banku-dali-ocinku-galuzi-psihichnogo-zdorovja-v-ukraini>. (Дата звернення: 24.03.2019)
9. Комер Рональд. Патопсихология поведения: нарушения и патологии психики / пер. с англ. — 4-е изд., междунар. Санкт-Петербург: «ПРАЙМ ЕВРОЗНАК», Москва: «ОЛМА-ПРЕСС», 2005. 638 с.
10. Ясперс Карл. Общая психопатология / пер. с нем. Л.О.Акопяна. Москва: Практика, 1997. 1056 с.
11. Белов В.М., Котова А.Б. Здоровье человека: вызовы, методы, подходы. Киев: Наукова думка, 2017. 132 с.
12. Белов В.М., Котова А.Б., Пустовойт О.Г. Спосіб нормованої уніфікації різноякісної інформації: патент на корисну модель № 11235. Бюл.№12. Опубл. 15.12.2005.
13. Белов В.М., Котова А.Б., Дубовенко М. Н., Кіфоренко С.І. Комп'ютерна програма «Система експрес-діагностики стану здоров'я»: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №37242, Україна. 04.03.2011.
14. Введение в оздоровительную реабилитацию / В.П. Зотов, Ю.Г. Антомонов, А.Б. Котова, В.М. Белов. Киев: Мэдекол, РНПФН «Медицина-экология», 1995. 181 с.
15. Белов В.М. Структурно-функциональная организация системы «Я». *Кибернетика и вычислительная техника*. 2006. Вып.152. С.3–19.
16. Психология и психоанализ характера. Хрестоматия по психологии и типологии характера (редактор-составитель Д.Я.Райгородский). Самара: БАХРАХ, 1997. 640 с.
17. Белов В.М., Гонтарь Т.М., Семчинская Е.И. Учет состояния характерологической компоненты человека при синтезе программ самоуправления здоровьем. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2009. Вып. 158. С. 3–10.

Отримано 24.03.2020

REFERENCES

1. Diagnostic criteria DSM-III-R / trans. with English. Kyiv: Abris, 1995. 272 p. (in Ukrainian).
2. Chaban O.S. Frankova I.A. Current trends in the diagnosis and treatment of posttraumatic stress disorder. *NeuroNews: Psychoneurology and Neuropsychiatry*. 2015. No. 2 (66). P. 8–18. (in Russian).
3. Post-traumatic stress disorder — diagnosis, therapy, rehabilitation: from the materials of the scientific-practical conference with international participation "Modern approaches to the

- diagnosis, therapy and rehabilitation of post-traumatic stress disorders" (Kharkov, May 28–29, 2015). *Ukr. med. chasopis*. 2015. No. 4 (108). VII / VIII. P. 8–10. (in Russian).
4. Post-traumatic stress disorder / edited by V.A. Soldatkin; GBOU VPO Rostov State Medical University of the Ministry of Health of Russia. Rostov-on-Don: Publishing house of Rostov State Medical University, 2015. 624 p. (in Russian).
  5. Tarabrina N.V. Psychology of post-traumatic stress: theory and practice. Moscow: Publishing House Institute of Psychology RAS. 2009. 304 p. (in Russian).
  6. Tarabrina N.V., Lazebnaya E.O., Zelenova, M.E., Petrukhin E.V. Levels of subjective-personal perception and experience of "invisible" stress. Moscow: Medicine, 1996, 315 p. (in Russian).
  7. Crystal John. Post-traumatic stress syndrome. September 14, 2016. URL: <https://postnauka.ru/faq/68268>. (Last accessed: 14.09.2016) (in Russian).
  8. World Bank experts have assessed the mental health sector in Ukraine - a statement from the Ministry of Health of Ukraine dated November 3, 2017. URL: <https://moz.gov.ua/article/news/eksperti-svitovogo-banku-dali-ocinku-galuzi-psichichnogo-zdorovja-v-ukraini>. (Last accessed: 24.03.2019) (in Ukrainian).
  9. Comer Ronald. Pathopsychology of behavior: disorders and pathologies of the psyche / trans. with English — 4th ed., International. St. Petersburg: PRIME EUROZNAK, Moscow: OLMA-PRESS, 2005. 638 p. (in Russian).
  10. Jaspers Carl. General psychopathology / trans. from German. L.O. Hakobyan. Moscow: Practice, 1997. 1056 p. (in Russian).
  11. Belov V.M., Kotova A.B. Human health: challenges, methods, approaches. Kiev: Naukova Dumka, 2017. 132 p. (in Russian).
  12. Belov V.M., Kotova A.B., Pustovoit O.G. Method of standardized unification of different quality information: utility model patent № 11235. Bull. №12. Publ. 12/15/2005. (in Ukrainian).
  13. Belov V.M., Kotova A.B., Dubovenko M. N., Kiforenko S.I. Computer program "System of express diagnostics of a state of health": a certificate of registration of copyright law on the work №37242, Ukraine. - 04/03/2011. (in Ukrainian).
  14. Zotov V.P., Antomonov Yu.G., Kotova A.B., Belov V.M. Introduction to Wellness Rehabilitation. Kyiv: Madekol, RSPFN "Medicine-Ecology", 1995, 181 p. (in Russian).
  15. Belov V.M. Structural and functional organization of the "I" system. *Cybernetics and computing*. 2006. Issue 152. P.3-19. (in Russian).
  16. Psychology and psychoanalysis of character. A reader on psychology and typology of character (editor-compiler D.Ya. Raigorodsky). Samara: BAXRAX, 1997. 640 p. (in Russian).
  17. Belov V.M., Hontar T.M., Semchinskaya E.I. Taking into account the state of the characterological component of a person in the synthesis of health self-government programs. *Cybernetics and computing*. 2009. Issue. 158. P.3-10. (in Russian).

Received 24.03.2020

*Belov V.M.*, DSc (Medicine), Professor,  
Head of the Department of Application Mathematical  
and Technical Methods in Biology and Medicine  
e-mail: motj@ukr.net

*Hontar T.M.*, PhD (Biology),  
Senior Researcher of the Department of Application  
Mathematical and Technical Methods in Biology and Medicine  
e-mail: gtm\_kiev@ukr.net

*Kobzar T.A.*, PhD (Medicine),  
Senior Researcher of the Department of Application  
Mathematical and Technical Methods in Biology and Medicine  
e-mail: kobzarta@ukr.net

*Kozlovska V.O.*,  
Researcher of the Department of Application Mathematical  
and Technical Methods in Biology and Medicine  
e-mail: vittoria13apr@gmail.com  
International Research and Training Centre for Information  
Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,  
40, Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

#### HEALTH SELF-ESTEEM INFORMATION TECHNOLOGY FOR REHABILITATION OF POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER

**Introduction.** Contemporary research aimed at preserving and maintaining human health is based on the use of intellectual information technology, developed on methodology of a systematic approach to the category of health as a trinity of its physical, mental and social aspects. The importance of a comprehensive approach to human health becomes especially evident in the case of breach of the harmonious interaction of the human body and personality with the environment in the example of post-traumatic stress disorder.

At the present stage of economic and political development of the state, the factor of negative psychogenic impact on the health of the population has significantly increased. The creation of information technology for the assessment of health and rehabilitation of a person having post-traumatic stress disorder (PTSD) would make it possible to turn the rehabilitation process into a manageable and controlled one.

**The purpose of the paper** is to determine the information structure of post-traumatic stress disorder and the formation of main provisions of information technology of health self-assessment for the rehabilitation of post-traumatic stress disorder.

**Results.** The paper deals with the assessment of integral health level for people having PTSD and psychological and social rehabilitation of such patients. General features of psychogenic disorders and theoretical features of formation of post-traumatic stress disorder are discussed, taking into account the possibilities of the information approach. Information field of post-traumatic syndrome in general is offered, where on the basis of available literature the main exogenous stressors, protective variants of reactions of the organism and personality, variants of addictive behavior of persons suffering from post-traumatic stress disorder are determined.

Information technology of self-assessment of physical, mental and social state of health by means of developed hardware-software "Express diagnostics of health" complex enabling to estimate integral health and its components using the applied questionnaire, is offered. The mental status of health determines the properties and strength of personality, which are important to consider and rely on in the process of rehabilitation of patients with post-traumatic stress disorder.

**Conclusions.** Availability of objective and subjective data on the state of health of a person with PTSD, including certain quantitative criteria for its health, as well as taking into account the information field of, which combines main exogenous stressors and their corresponding protective variants of organism reactions and variants of addictive behavior, gives the chance to analyze in detail its condition and compose individual programs of rehabilita-

tion actions. At the same time, knowledge of a person's character makes it possible with high probability to predict and, thus, adjust his expected actions and deeds. The use of developed hardware and software modules for health assessment in the case of PTSD will favour the effectiveness of rehabilitation measures.

**Keywords:** information technology, health self-assessment, mental health, personality character, methods of testing and diagnostics, post-traumatic stress disorder, psychosocial and social rehabilitation.

Белов В.М., д-р мед. наук, профессор,  
зав. отд. применения математических  
и технических методов в биологии и медицине  
e-mail: motj@ukr.net

Гонтар Т.М., канд. биол. наук,  
старш. науч. сотр. отд. применения математических  
и технических методов в биологии и медицине  
e-mail: gtm\_kiev@ukr.net

Кобзарь Т.А., канд. мед. наук,  
старш. науч. сотр. отд. применения математических  
и технических методов в биологии и медицине  
e-mail: kobzarta@ukr.net

Козловская В.А.,  
науч. сотр. отд. применения математических  
и технических методов в биологии и медицине  
e-mail: vittoria13apr@gmail.com  
Международный научно-учебный центр информационных  
технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,  
пр. Акад. Глушкова, 40, г. Киев, 03187, Украина

#### ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ САМООЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО СТРЕССОВОГО РАССТРОЙСТВА

Обсуждаются теоретические особенности развития психогенных расстройств с учетом возможностей информационного подхода. Рассматривается информационная технология самооценки физического, психического и социального состояния здоровья с помощью разработанной компьютерной программы, которая позволяет получить оценку интегрального здоровья и составляющих его компонентов. В психическом статусе определяются свойства и сила характера личности, которые важно учитывать и опираться при реабилитации лиц с посттравматическим синдромом.

**Ключевые слова:** информационная технология, самооценка здоровья, психическое здоровье, характер личности, методы тестирования и диагностики, посттравматическое стрессовое расстройство, психосоциальная реабилитация

## **ДО УВАГИ АВТОРІВ!**

---

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

Цільова аудиторія- науковці, інженери, аспіранти і студенти вищих навчальних закладів відповідного фаху.

### **Вимоги до рукописів статей**

1. Рукопис надають на папері у двох примірниках (мова – англійська, українська, російська, 17-22 с.) та електронна версія. 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), російською мовою (УДК, прізвище, ініціали автора/ів, назва статті, 7-9 рядків тексту, ключові слова (5-8 слів);

- список літератури на мові оригіналу - в 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, англійською та російською мовами повинні містити: ПІБ, вчений ступінь, наукове звання, посада, відділ, місце роботи, поштова адреса організації, телефон (для зв'язку редактора), E-mail, авторські ідентифікатори ORCID або ResearcherID.

2. Текст статті подається 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 редакторі формул Microsoft Equation Editor 3.0. 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