



Issue №19

Part 1



International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87.25)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №19

Part 1

May 2023

Published by:

SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *PhD in Technical Sciences*

Editorial board: More than 200 doctors of science. Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert-Peer Review Board of the journal: Full list on page:
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: twice a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.



UDC 004.318

**ABOUT ONE IMPLEMENTATION OF AN EXPERT SYSTEM
ON THE ANDROID PLATFORM****ПРО ОДНУ РЕАЛІЗАЦІЮ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ
НА ПЛАТФОРМИ ANDROID****Burdaev V.P. / Бурдаєв В.П.***c.ph.math.s., as.prof. / к.ф.м.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9848-9059

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",**Kharkiv, Kyrpychova 2, 61002**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,**м. Харків, Курпичова 2, 61002*

Abstract. The article presents the development of an expert system for decision support on the Android platform. To create a knowledge base, a medical subject area was chosen using the example of determining the risk of coronary heart disease in a practically healthy person. The main and additional risk factors for coronary heart disease were identified, which determined the hierarchical structure of the knowledge base. The knowledge base structure contains knowledge clusters so that the user can consult with the expert system depending on the choice of clusters. The knowledge base was implemented using the KARKAS shell, which has tools for creating expert systems: a visual knowledge base editor, a knowledge base parser, a hierarchical functional system for forming a knowledge base structure based on rules and frames, and various modules for implementing logical conclusions.

Key words: knowledge base, expert system, mobile application, Android and Embarcadero platforms.

Introduction.

In Expert systems (ES) in the field of artificial intelligence are one of the first successes of its application [1 - 3]. They are intended to assist the user in making decisions in informal subject areas. The main modules of the expert system are the knowledge base and the inference engine, which gives advantages over neural networks, since it allows you to get the reasoning behind the decision. The traditional ways to implement an inference engine are backwards, forwards, mixed, Bayesian chains of reasoning. Due to the asynchrony of the Android operating environment, the inference engine algorithm of a mobile application mainly uses direct and Bayesian chains of reasoning. To resolve conflicts in the choice of rules and frames during the consultation, various strategies are used:

- rules are selected only once;
- rules with a higher priority will be selected first (priority is set by the expert);
- the rules are selected first if they have more complex conditions than the same ones;
- the order of the rules was fixed when they were filtered, and others [4].

The global market for mobile applications for Android is constantly growing. Here are some of the benefits of the mobile app:

- mobile applications are more convenient for communicating with users than chatbots and websites, for example, they provide access to native smartphone functions (for example, a video camera, GPS navigator, voice recognition



functions);

- mobile applications increase customer loyalty (high conversion), as the smartphone is always with the client (for example, they allow you to make timely decisions);
- mobile applications effectively influence users by sending push notifications.

Taking into account current trends, the development of mobile applications that perform the functions of expert systems is an urgent problem. Since there is a constant need to adapt them for use on mobile devices.

Various frameworks (shells) are used to create mobile expert systems: Flutter, Ionic, React Native, Android Native, Xamarin and others.

The shell for creating knowledge bases KARKAS was created using the FireMonkey (FMX) cross-platform framework from Embarcadero, which is part of the RAD Studio development environment and is designed to create user interfaces. The framework allows you to use not only vector graphics, but also the native capabilities of mobile devices. In addition, there is another great feature of the framework, which is that the application code can be compiled into native code to run on different platforms: Windows, Android and iOS. Thus, using the FMX framework, you can quickly create prototypes of mobile applications for various mobile devices [5,6].

Using the KARKAS system, chatbots were developed: @Ribs_karkas_bot, @es_test_karkas_bot, @es_economy_karkas_bot, @es_info_tech_karkas_bot, which allows you to conduct online consultations with users and test students' knowledge [7 - 9].

One of the main advantages of mobile applications in customer service is that interlocutors are free to ask questions that they would not ask a support representative or company manager.

Taking into account current trends, the development of mobile applications that perform the functions of expert systems is an urgent problem. Since there is a constant need to adapt them for use on mobile devices.

Using the KARKAS system, a knowledge base was developed for the ES_RFCHD mobile application (an expert system for determining the risk of coronary heart disease). The main function of this mobile application is to provide the user with control over the level of risk factors for coronary heart disease.

The paper [10] considers a mobile expert system implemented on the Android platform. The system uses a rule-based knowledge base that provides diagnostics and medical advice for ten common diseases in Nigeria. The knowledge base contains five tables that contain information about symptoms, diagnoses, causes of diseases, and preventive recommendations. The system uses a direct chain of reasoning.

This article [11] is devoted to the development of a decision support expert system model for the Android platform without serious programming in java programming. The knowledge base of the system for this knowledge area was formed by inductive learning methods based on examples from the WEKA data mining system, and the system was implemented using the Expert2Go shell and the e2gDroid Lite Expert shell for mobile devices. The knowledge base contains a total of 28 rules and 7 classes.

The article [12] considers the approach of creating a mobile application of an expert system using a linear sequential software development model or also known as a



waterfall model. The development phases in this model include the process of knowledge analysis, design, coding or implementation, and testing.

This paper [13] presents a mobile expert system that uses knowledge representations based on rules and a knowledge modeling method using a decision tree. To implement this system, the Java programming language was used, and the user interface was designed and developed using XML, which fits into modern smartphones.

The article [14] considers the implementation of an expert system capable of diagnosing diabetes mellitus. The ExpeRT system uses Bayesian method and MySQL database for early diagnosis of diabetes mellitus, which allows it to be a good information carrier for storage, education and detection of diabetes mellitus.

The work [15] analyzes an expert system aimed at diagnosing various types of infectious diseases and their complications. The constructed system uses an inference engine based on the inverse reasoning method to recognize infectious diseases such as pharyngitis, diphtheria and tuberculosis. In addition, the system uses a fuzzy inference system to determine the severity of the disease.

The article [16] presents the development of a medical expert system based on fuzzy sets for assessing the degree of coronary artery disease in patients with coronary heart disease. The inference engine uses the fuzzy set method to solve problems of medical diagnostics, in particular, in assessing the degree of anatomical lesions of the coronary arteries in patients with various forms of coronary heart disease.

The article [17] presents an expert system for diagnosing mood disorders, which is designed for an Android application. JavaScript and PHP are used as a programming language, Cordova as a framework for creating mobile applications, PHP 7.2.1 as a web server, MySQL 5.0.21 as a database. The inference engine uses Bayes' theorem. This expert system can produce a process for diagnosing mood disorders with some data about mood disorders in the form of symptomatic data, disease data and its probabilistic significance.

The work [18] considers an expert system that helps patients with cholesterol diagnose the disease. The application uses a direct chain of reasoning inference mechanism when making decisions. The system is integrated with databases and programming languages such as PHP-MySQL.

The article [19] proposes a model of a mobile medical application for Android for diagnosing breast cancer and daily health forecasting. The user interface is implemented using Android/Java programming, and the disease diagnosis part is developed using disease symptom data and using direct reasoning chain.

The work [20] presents an expert system for diagnosing facial skin diseases using the direct chain of reasoning method and the certainty factor. The developed expert system for diagnosing facial skin diseases can diagnose 10 types of diseases.

In [10 - 20] methods, algorithms and procedures for their implementation for expert systems are described.

Formulating the Purpose of the Article.

Analysis of the construction of a knowledge base for determining the risk of coronary heart disease in humans and its implementation in an expert system on the Android platform.

**Main text.**

Consider the structure of the knowledge base for determining the risk of coronary heart disease (CHD) of the ES_RFCHD expert system. The relevance of its development is explained by:

- 1) firstly, the evolutionary transition from CHD therapy to CHD prevention; from population prevention to individual prevention;
- 2) secondly, the desire of a person to independently acquire knowledge on the risk assessment of coronary heart disease;
- 3) thirdly, the possibility of self-monitoring of changes in the risk of coronary heart disease to make a decision to seek medical advice with a high degree of it.

The appointment of ES is a preventive consultation of the patient on the assessment of the risk of coronary heart disease.

The scope of ES is various medical enterprises: dispensaries, clinics, medical units.

The purpose of the ES is to model the decision-making on the risk of coronary heart disease in a practically healthy person.

Initial data: medical tests.

Expected results (list of possible consultation goal values):

- individual prevention of coronary heart disease;
- self-acquisition of knowledge about the degree of risk of coronary heart disease;
- self-control of the risk level of coronary heart disease;
- receive appropriate recommendations to reduce the risk of coronary heart disease.

Subject area identification. A risk factor is understood as the social, biological and economic status of a person, his behavior patterns and conditions that contribute to the occurrence of coronary heart disease.

According to the results of expert studies, it was established that the activity of an outpatient doctor should be aimed at identifying only the main risk factors for coronary heart disease, namely: hypercholesterolemia, arterial hypertension, smoking, overweight, poor nutrition and alcohol. The reasonableness of this recommendation is due to the fact that the main function of the doctor is to diagnose the disease itself, and not its prenosological conditions. The practical priority of prenosological diagnostics contributed to the fact that the expert group expanded the number of CHD risk factors to 13: hypercholesterolemia (high cholesterol), hypertension (high blood pressure), smoking, physical inactivity, overweight, coronary behavior, stress, lack of social and psychological support, poor nutrition, diabetes, unfavorable heredity, inadequate rest, alcohol.

Thus, to assess the risk of coronary heart disease in a practically healthy person, 13 leading factors were selected according to the opinions of WHO experts.

In addition, the mobile application provides an analysis of additional risk factors: the physical condition of a person, a symptom of shortness of breath, and others.

Hierarchy of CHD risk factors.

The described risk factors play an unequal role in the occurrence of CHD. To streamline them, we use the "Delphi" method, which initially provides for the isolated presentation by experts of their opinions and their further adjustment based on the acquaintance of each expert with the opinions of other experts until the assessment of



the consistency of opinions of experts stabilizes.

This method differs from other methods of group interaction of experts in three features: anonymity, the use of the results of the previous round of the survey, and the statistical characteristics of the group response.

Anonymity is manifested in the fact that the members of the expert group do not interact with each other and, therefore, can change their personal opinion without losing their reputation. In this case, any assessment is accepted, regardless of who its author is. The condition of anonymity is necessary so that a supporting or contradicting opinion does not affect the judgment of an individual expert.

Using the results of the previous round has the value that each expert is informed about the average opinion of the group and about the opinion of the typical and extraordinary experts. This achieves the goal of presenting all points of view, allowing the expert to concentrate on the next round of the survey. The reasons for the change in assessments, as research results show, are actually in response to the point of view of their fellow experts.

The statistical characteristic of a group response is an assessment of the consistency of expert opinions in the form of a coefficient of agreement. The agreement coefficient can be reliable or not reliable and allows, depending on the result of the calculation, to increase or decrease the number of rounds of the survey.

The advantage of the "Delphi" method is the use of feedback during the survey, which significantly increases the objectivity of expert assessments.

To determine the hierarchy of CHD risk factors, the following method is proposed, which includes 6 stages:

Stage 1. Development of the "Questionnaire for the selection of priority risk factors for coronary heart disease";

Stage 2. Selection and questioning of experts. Evaluation of the consistency of expert opinions;

Stage 3. Construction of "Matrix of shares of alternative opinions of experts";

Stage 4. Standardization of "Matrix of shares of alternative opinions of experts";

Stage 5 Approximation of the "Matrix of shares of alternative opinions of experts";

Stage 6 Determination of the hierarchy of risk factors for coronary heart disease.

The final hierarchy of CHD risk factors according to the above method (Table 1).

Table 1 - Hierarchy of CHD risk factors

<i>Code the factor</i>	<i>Risk factor for CHD</i>	<i>Hierarchy coefficient</i>	<i>Ranking place</i>
1	Hypertension	0.126	1
2	High-cholesterol	0.121	2
3	Diabets	0.113	3
4	Smoking	0.099	4
5	Heredity	0.097	5
6	Type A behavior	0.087	6 - 7
7	Stress	0.087	6 - 7
8	Body-weight	0.079	8



<i>Code the factor</i>	<i>Risk factor for CHD</i>	<i>Hierarchy coefficient</i>	<i>Ranking place</i>
9	Hypodynamia	0.059	9
10	Mental-health	0.045	10
11	Poor-diet	0.041	11
12	Inadequate rest	0.031	12
13	Alcohol	0.015	13

Authoring

Figure 1 shows screenshots of CHD risk factors in the ES_RFCHD expert system.

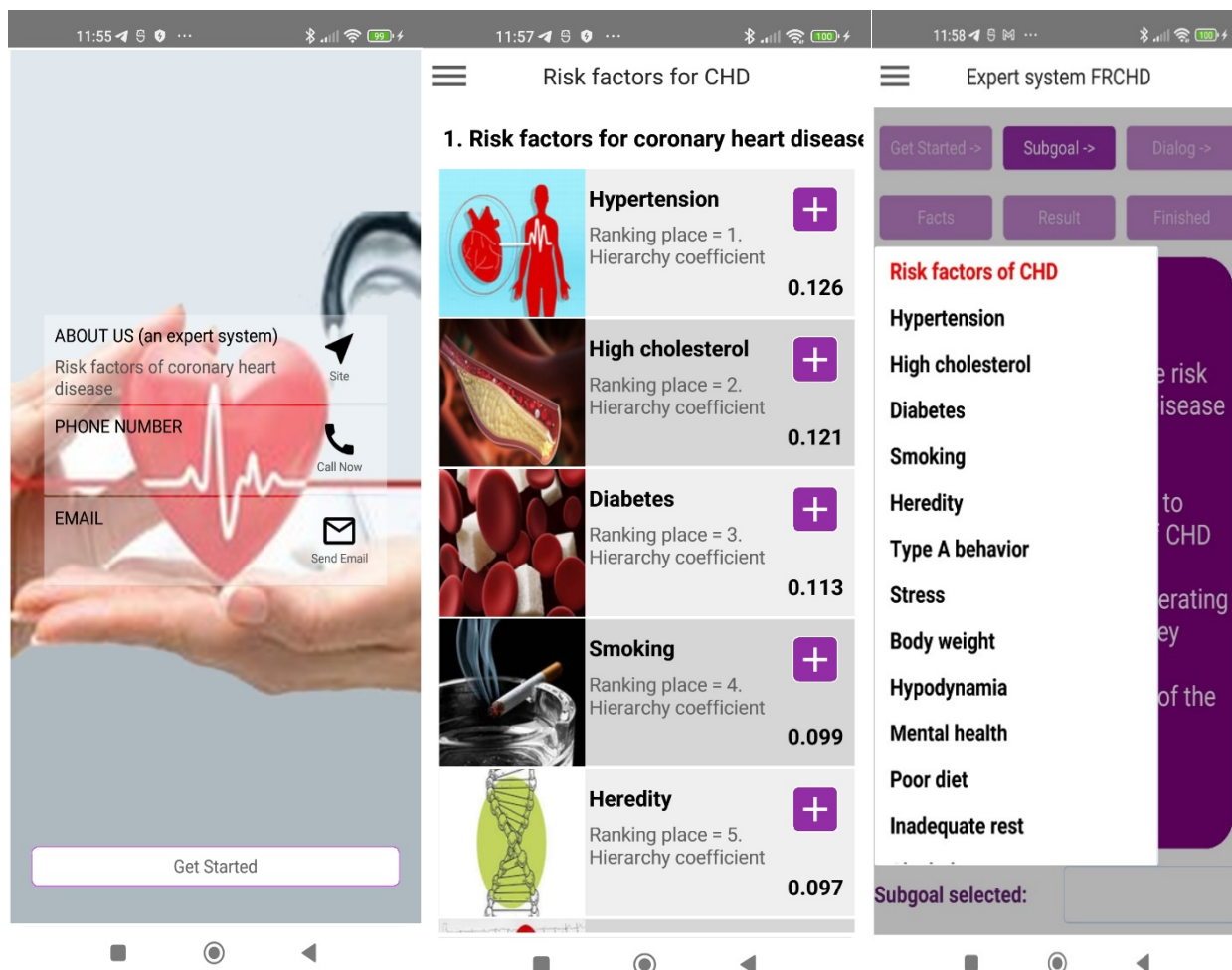


Figure 1 - Risk Factors for CHD

Authoring

The obtained values of the coefficients of the hierarchy became the basis for calculating the coefficients of certainty of knowledge facts and determining its filtering in a hierarchical functional system. The subject area classes with the level of their hierarchy are presented (Table 2).

Figure 2 shows a view of a hierarchical functional system (HFS) for diagnosing the risk of coronary heart disease in the KARKAS system in the knowledge base editing mode.

A functional system (FS) is a system formed to achieve a given useful result



(target function) in the process of its functioning. Its backbone factor is a specific result [4].

Table 2 – Knowledge base classes

<i>Class</i>	<i>Number of instances of classes</i>	<i>Level of the class hierarchy</i>
CHD risk	3	1
Hypertension	17	2
High-cholesterol	4	2
Diabets	3	2
Smoking	4	2
Heredity	6	2
Type A behavior	3	2
Stress	3	2
Body-weight	12	2
Hypodynamia	4	2
Mental-health	3	2
Poor-diet	1	2
Inadequate rest	1	2
Alcohol	4	2

Authoring

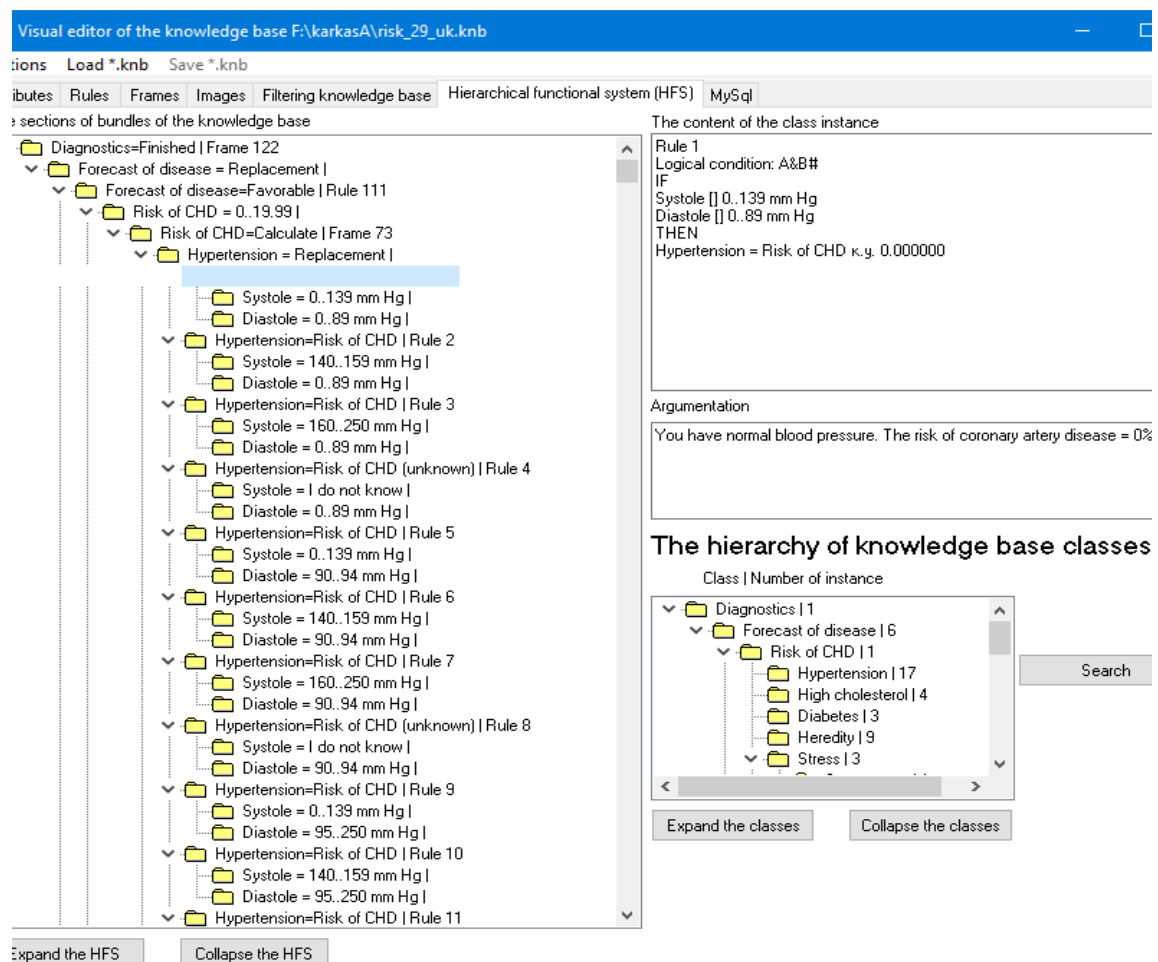


Figure 2 - Type of HFS for determining coronary heart disease (knowledge base editing mode)

Authoring



HFS is characterized by the following properties:

- connectivity - a chain of knowledge base connections
- complexity - hierarchy of levels of local knowledge bases
- stability (adaptive behavior of the system) - the structure of the FS digraph does not change with vertical violations of the rules.

To build knowledge base filtering, it is enough to specify a chain of HFS rules to achieve the main goal. The number of local knowledge bases corresponds to the levels of the hierarchical FS.

The physical model of the knowledge base stores class instances, objects, object attribute values and logical relationships between classes, objects.

Fine-tuning the knowledge base

As a result of the conceptualization of the subject area, CHD risk factors have been identified, each of which is described by its own set of attributes.

Knowledge characterizing risk factors is presented in the form of clusters. A knowledge cluster is understood as a group of rules that allow displaying knowledge regarding the degree of risk of an individual for a particular CHD factor. The entire knowledge base is divided into 13 clusters. Each cluster has its own risk factor.

The division of knowledge into clusters and their filtering in the knowledge base made it possible to control the conduct of the consultation and greatly facilitated experiments with knowledge modifications.

Three types of attributes are used to interpret cluster knowledge:

- question;
- intermediate (temporary);
- representative (sub-target);
- target (for example, the target attribute could be the attribute "CHD risk").

Knowledge base clusters have a hierarchical structure. At the lower level of the cluster, there are rules that establish a correspondence between question and intermediate attributes and their values. The conditions of these rules are formed from question attributes, the values of which are determined by asking questions to the user.

The next level contains rules that establish relationships between sub-target attributes.

At the top level of the hierarchy, there are rules that set values for the target attribute.

Knowledge base facts can be formed as a result of answers to questions (stating facts), as well as when rules are followed (resulting facts). Knowledge base facts confidence coefficients are calculated for each cluster according to its own method, based on the cluster hierarchy coefficient.

In the ES_RFCHD system, the coefficients of certainty of the rules are put down by the expert before consultation. But the knowledge base of the system contains clusters in which the coefficients of certainty of the rules (c.c.r) are calculated when the user is asked. For this, the coefficients of confidence (c.c.) of ascertaining facts are used.

In the system, the coefficients of factor of the rules are calculated in various ways.

Consider the bisection method:

$$\beta_1 = 0, \beta_i = (i - 1) I_k / ((s - 1)100), (i = 2, \dots, s - 1),$$



where β_i is the value of the confidence coefficient of the i -th rule, I_k is the value of the hierarchy coefficient of the k -th cluster, s is the number of cluster rules containing a representative attribute.

When $\beta_1 = 0$, the representative attribute in the rule takes the value "Not a risk" and c.c.r. is not affixed, in other cases - "Risk" with the corresponding value of c.c. equal to β_i ($i = 2, \dots, s - 1$).

The procedure for calculating the coefficients of certainty of the rules using the scoring method is that first the sum of points is calculated based on the user's answers to questions, and then the bisection method is applied.

As an example, consider the structure of cluster number 6 ("type A behavior"). This cluster contains three static rules and one dynamic rule. Let us show how the calculation of the confidence coefficients of static rules is performed.

According to the results of the psychological test, if the total score is 29 or less, then the behavior is type A and is classified as a risk of coronary heart disease. The sum of points from 30 to 41 characterizes an intermediate type of behavior (between A and B). If the total score is 42 or more, then the behavior is type B and is classified as not a risk of CHD.

This situation is described by the following rules, whose confidence coefficients are calculated using the bisection method. The coefficient of the cluster hierarchy with number 6 ("type A behavior") is 8.7%.

Rule 37. A#.

IF A Score coronary behavior [] 16 ... 29 THEN type A behavior = Risk, c.c. r. = 0.087.

Rule 38. A#.

IF A Score coronary behavior [] 30 ... 41 THEN type A behavior = Risk, c.c. r. = 0.086.

Rule 39. A#.

IF A Score coronary behavior [] 42 ... 80 THEN type A behavior = No risk, c.c. r. = 1.000.

For example, if as a result of answers to questions on assessing coronary behavior, the total score was 22, then rule 39 will be fulfilled and the resulting fact will be formed:

type A behavior = Risk, c.c. = 0.087.

So, with a sum of 22 points, coronary behavior corresponds to a risk of coronary heart disease, equal to 8.7%.

The knowledge of the cluster is described by sixteen question attributes that form a dynamic rule. The latter changes depending on the user's answers to questions. The dynamic rule serves here to determine the sum of the coronary behavior scores. It is represented by frame 36, which has sixteen slots, each of which is a daemon.

Frame 36.

Slot name | Slot type | Inheritance

Labor Day | Sum |

Problems | Sum |



Cases | Sum |
 Food | Sum |
 Thought | Sum |
 Game | Sum |
 Mobility | Sum |
 Energy | Sum |
 Employment | Sum |
 Efficiency | Sum |
 Sensitivity | Sum |
 Haste | Sum |
 Distraction | Sum |
 Attitude to work | Sum |
 Life | Sum |
 Intensity | Sum |
 Target slot.
 Score coronary behavior | Define.

The final rule of the knowledge base dynamically changes during the consultation process and is intended to determine the integral assessment of the risk of coronary heart disease and before the consultation is presented as follows:

Frame 73.
 Slot name | Slot type | Inheritance
 Pressure | Replacement | n
 Cholesterol | Replacement | n
 Diabetes | Replacement | n
 Heredity | Replacement | n
 stress | Replacement | n
 Smoking | Replacement | n
 Behavior | Replacement | n
 Body weight | Replacement | n
 Movement | Replacement | n
 Support | Replacement | n
 Nutrition | Replacement | n
 Alcohol | Replacement | n
 Recreation | Replacement | n
 Target slot.
 Risk of CHD | Calculate.

Figure 3 shows screenshots of the details of the user's consultation with the CHD of the ES_RFCHD expert system.

The frame contains the representative attributes of the clusters that have slot status. The target attribute "Risk of CHD" is a demon and serves to calculate the coefficient of confidence of the received fact. The value of c.c. is determined by the summation of c.c. facts that involve representative attributes.

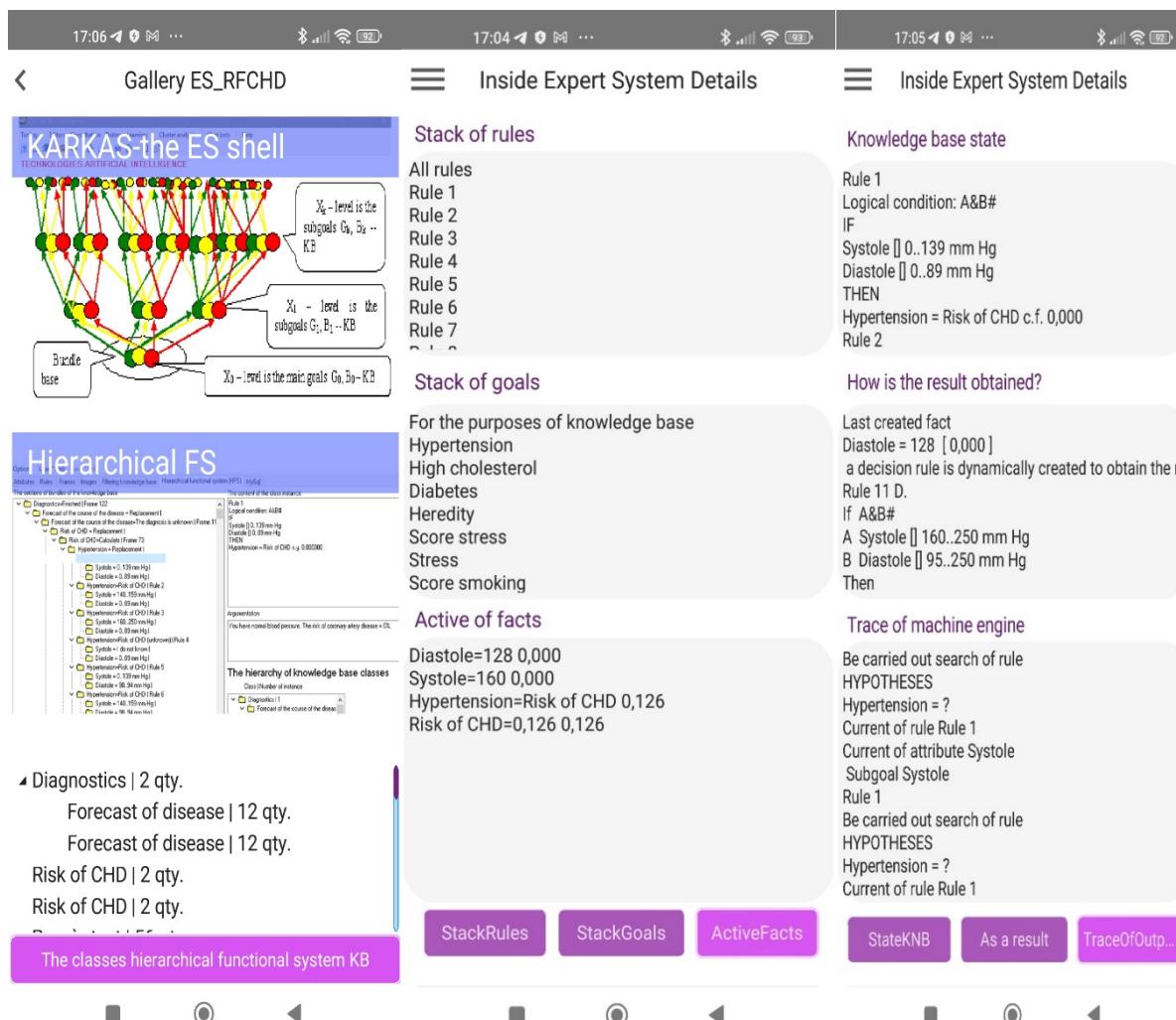


Figure 3 - Information about the internal details of the operation of ES_RFCHD
 Authoring

Summary and conclusions.

The ES_RFCHD mobile expert system has been developed for the Android platform, which is available on Google Play.

A knowledge base was built to determine the risk factor for coronary heart disease.

The knowledge base contains rules and frames for representing knowledge. Facts and heuristics can be stored in a knowledge base. In addition to these, meta-knowledge is used to guide decision making. The knowledge base contains both static and dynamic rules that change their structure.

Frames have the following characteristics:

- inheritance of slot values;
- managing daemon attributes.

Inheritance avoids duplication of information. Grouping the knowledge base into clusters allows you to:

- perform flexible inference by activating clusters during consultation;
- test the knowledge base by clusters, that is, check for consistency and completeness of knowledge.



The knowledge base of the system is constantly being modified and updated with new rules. Further design of the system is aimed at developing top-priority preventive recommendations to reduce the risk of coronary artery disease.

References:

1. S. Russell, P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4nd. ed., 2020.
2. J. C. Giarratano, G. D. Riley, Expert Systems: Principles and Programming, 4th. ed., 2007.
3. С. О. Субботін, Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень, ЗНТУ вид., Запоріжжя, 2008.
4. V. P. Burdaev, On one Approach to Building a Temporal Model of the Knowledge Base, Computational Linguistics and Intelligent Systems Proceedings of the 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021), Volume I: Main Conference Lviv, 2021, pp. 1039-1048.
5. Delphi 10.4 Sydney Professional (Embarcadero), 2021, URL: <https://www.embarcadero.com>.
6. Android Mobile Application Development, 2014, URL: http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/XE6/en/Android_Mobile_Application_Development.
7. V. P. Burdaev, On one approach to the formation of the user interface with the expert system, Modern engineering and innovative technologies, Published by: Sergeieva & Co Karlsruhe, Germany, 21.1 (2022): 97–108.
8. В. П. Бурдаєв, Система навчання с елементами штучного інтелекту, ХНЕУ вид., Харків, 2009.
9. В. П. Бурдаєв, Моделі баз знань, Наукове видання, ХНЕУ вид., Харків, 2010.
10. F. O. Isinkaye, S. O. Awosupin, Jumoke Soyemi, "A Mobile Based Expert System for Disease Diagnosis and Medical Advice Provisioning." International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS) 15.1 (2017): 568-571.
11. Muzafer Saračević¹, Aybeyan Selimi², Mersad Mujević³, "Implementation Example of the Expert system for Decision Support on Android platform based on a specific Dataset." Periodicals of Engineering and Natural Sciences 6.1 (2018): 76-83.
12. Nafis Akhsan, "Development of Android-Based Expert System to Diagnose Faults on Computer Devices." Journal of Intelligent Decision Support System (IDSS) 3.1 (2020): 13-18.
13. Derara Senay Shanka , Adola Haile Genale, "Mobile Application Based Expert System for Cattle Disease Diagnosis and Treatment in Afan Oromo Language." International Journal of Information Systems and Informatics 3.3 (2022): 131-149.
14. Riki Antoni, "Sistem pakar deteksi penyakit diabetes mellitus dengan menggunakan pendekatan naïve bayesian berbasis web (studi kasus : puskesmas kelurahan grogol 3)." OKTAL : Jurnal Ilmu Komputer dan Science 2.1 (2023): 334-348.
15. Istiadi, Emma Budi Sulistiarini, Rudy Joegijantoro, Anik Vega Vitianingsih, Affi Nizar Suksmawati, "Mamdani fuzzy expert system for online learning to diagnose



infectious diseases" Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi) 6.6 (2022): 1047-1056.

16. W. Wójcik, I. Mezhiievska, S. V. Pavlov, T. Lewandowski, O. V. Vlasenko, V. Maslovskiy, O. Volosovych, I. Kobylanska, O. Moskovchuk, V. Ovcharuk, A. Lewandowska, "Medical Fuzzy-Expert System for Assessment of the Degree of Anatomical Lesion of Coronary Arteries." Int. J. Environ. Res. Public Health 20.979, (2023): 1-18.

17. Nunu Nurdiana, Budiman, Whydiantoro, Ajeng Haryati, "Rancang bangun sistem pakar diagnosa gangguan suasana perasaan (afektif) menggunakan metode teorema bayes berbasis Android." Jurnal J-Ensitem 8.1 (2021): 582-591.

18. Venny Octavia, Jhonson Efendi Hutagalung, Cecep Maulana, "Using forward chaining methods to diagnose cholesterol disease using the web." Jurnal Teknik Informatika (JUTIF) 3.6 (2022): 1689-1697.

19. Samruddhi Deshmukh, Nikita Umredkar, Esha Sharma, Ranjita Chalke, "Smart doctor android application for breast cancer risk prediction and diagnosis." International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT) 9.4 (2021): 5427-5432.

20. Sarinawati, Gomal Juni Yanris, Rahma Muti'ah, "Design and build expert system application for diagnosing facial skin disease based on Android." Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika 7.2 (2022): 737 – 745.

Анотація. У статті представлено розробку експертної системи підтримки прийняття рішень на платформі Android. Для створення бази знань було обрано медичну тематику на прикладі визначення ризику ішемічної хвороби серця у практично здорової людини. Виявлено основні та додаткові фактори ризику ІХС, що визначило ієрархічну структуру бази знань. Структура бази знань містить кластери знань, щоб користувач міг консультуватися з експертною системою в залежності від вибору кластерів. Базу знань реалізовано за допомогою оболонки КАРКАС, яка містить інструменти для створення експертних систем: візуальний редактор бази знань, аналізатор бази знань, ієрархічну функціональну систему формування структури бази знань на основі правил і фреймів, різноманітні модулі для здійснення логічних висновків.

Ключові слова: база знань, експертна система, мобільний додаток, платформи Android та Embarcadero.

sent: 19.05.2023

© Burdaev V.P.



UDC 004.02

ALGORITHM FOR ORDERING CASCADES OF NONRECURSIVE DIGITAL FILTERS BASED ON A GENETIC ALGORITHM АЛГОРИТМ ВПОРЯДКУВАННЯ КАСКАДІВ НЕРЕКУРСИВНИХ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Petrosian R.V. / Петросян Р.В.

ORCID: 0000-0002-0388-8821

Petrosian A.R. / Петросян А.Р.

ORCID: 0000-0003-0960-8461

Postgraduate student / аспірант

Loktikova T.M. / Локтікова Т.М.

ORCID: 0000-0002-3525-0179

Kuzmenko O.V. / Кузьменко О.В.

ORCID: 0000-0002-4937-3284

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

Abstract. The paper proposes an algorithm for ordering FIR filter cascades based on a genetic algorithm to minimize the error arising from the quantization of multiplication results. Choosing the optimal order of arrangement of cascades is a difficult problem, as it belongs to the class of NP-complete problems.

A noise model of the sequential form of FIR filter implementation was chosen. According to the noise model, an algorithm for ordering filter cascades based on a genetic algorithm has been developed. A genetic algorithm was used to solve the problem, as it allows obtaining a quasi-optimal solution in less time compared to algorithms that provide exact solutions.

A fitness function is proposed for minimizing the error when ordering the cascades of the FIR filter. A detailed analysis of the methods of selection, crossing and mutation was carried out, as well as the selection of the methods most suitable for solving the given task. The hyperparameters of the genetic algorithm have been tuned for greater efficiency.

A number of experiments were carried out to check the algorithm work. Several FIR filters of different types and orders were synthesized. As a result of experimental studies, it was possible to find out that the developed algorithm really has a high speed compared to algorithms that allow obtaining exact solutions. The proposed algorithm is more effective when ordering a large number of cascades, because it significantly reduces the time spent on finding a solution to the problem.

Key words: ordering of FIR filter cascades, sequential form of FIR filter implementation, design of FIR filters, genetic algorithm.

Introduction

Digital filters (DF) are an important signal processing tool and are widely used in various fields. A common form of implementation of digital filters is sequential. In this case, the transfer function of the DF is represented as a product of the transfer functions of several DF (cascades) of lower orders. The presence of the quantization effect leads to the fact that the error depends on the mutual arrangement of the cascades, so the problem arises of finding such an order of arrangement of the cascades to minimize the output error of the DF.

Analysis of recent research and publications on which the authors rely

FIR filters are one of the most common filter types in digital signal processing due to their simple implementation, linearity, scalability, and high performance in signal processing. They are used to extract symmetrical components in three-phase



circuits, filter mechanical vibrations in unmanned aerial vehicles, remove noise in acoustic systems, etc., so interest in them is constantly growing.

However, during digital signal processing, there are always errors in the output signal, including when using DF. The reasons for such errors are:

- an error due to non-ideal frequency characteristics of the digital filter;
- errors of digital filter coefficients;
- quantization errors of multiplication results in DF.

The error due to the non-ideal frequency characteristics of DF depends on the design method used and the order of the filter. Obviously, to reduce this error, it is necessary to increase the order of DF, which is designed. There are many design methods, among which classical [1-3] and heuristic methods of designing FIR filters [4-7] can be distinguished. Among the heuristic algorithms, it is possible to pay attention to the genetic algorithm (GA) [8, 9], which has a number of advantages over other optimization algorithms: it belongs to global optimization methods and is parallel scalable. Also it can be used for multi-criteria optimization, etc. Works [2, 3, 10] provide a description and comparative analysis of some FIR filter design methods.

Errors in DF coefficients arise during the design of FIR filters, and also due to the limited bit capacity of microprocessor or microcontroller registers [2, 3]. The sensitivity of the frequency response to the errors of the DF coefficients depends on the structure of the FIR filter that was chosen during the design. The most common structure of given filters, which has a low frequency response sensitivity to the errors of the DF coefficients, is a sequential form of FIR filter implementation.

Quantization errors of multiplication results in DF arise during filtering of the input signal due to the limited bit capacity of the microprocessor or microcontroller registers [2, 3]. The size of the output error of the given filter, which is due to quantization of the results of multiplication operations, depends on the structure of the FIR filter chosen during the design. However, when using a sequential form of DF implementation, this error also depends on the order of arrangement of cascades in the filter.

The difficulty of choosing the optimal order of arrangement of FIR filter cascades is that as the number of filter cascades increases, the number of options for its implementation increases significantly, which will be determined according to expression (1):

$$N = S!, \quad (1)$$

where S is the number of cascades of the FIR filter.

Therefore, it can be noted that the problem of arranging cascades in the sequential form of FIR filter implementation belongs to the class of NP-complete problems.

In [3], general recommendations for the ordering of cascades in the FIR filter are offered, which allow to reduction this error.

In [11], the Bellman dynamic programming method is used to obtain the optimal arrangement of DF cascades in order to reduce the output error. This method allows you to get the optimal arrangement of the filter cascades, but the complexity of this algorithm is exponential.

It can be noted that the algorithms that allow us to obtain an optimal solution to our problem require a long time. To solve this class of problems, heuristic algorithms



are often used, because they allow obtaining a quasi-optimal solution, but the time to search for this solution is significantly reduced. Among such works is [12], where it is proposed to perform ordering and distribution of coefficients in the implementation of FIR-filter structures on the basis of heuristic algorithms in order to minimize the energy consumption of VLSI (very large scale integration).

The purpose of the paper is to develop an algorithm for an approximate solution to the problem of ordering cascades in a sequential form of FIR filter implementation to minimize the output error.

The research method

The generalized diagram of the sequential form of DF implementation is presented in fig. 1. Let's assume that the DF is synthesized, decomposed into cascades and the DF coefficients are limited by the required bit depth, so it remains to determine such an arrangement of the cascades that will ensure the minimum output error of DF.

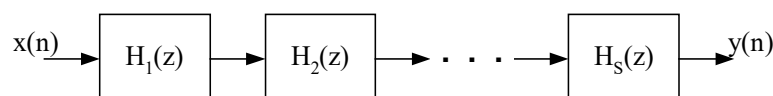


Figure 1 – Sequential form of DF implementation

where $x(n)$, $y(n)$ are input and output data sequences, respectively.

Every cascade is a source of quantization errors ε_s . In this case, the influence of all component errors can be shown using the following diagram (Figure 2).

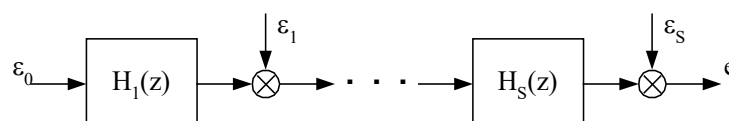


Figure 2 – Noise model of DF in sequential implementation

According to the Figure 2, the quantization noise at the filter output will be determined according to expression (2):

$$e(z) = \sum_{s=1}^S \varepsilon_s(z) H'_{s+1}(z), \quad (2)$$

where $\varepsilon_s(z)$ is the quantization noise of each s -th cascade; $H'_s(z)$ is the transfer function of the last $S - s + 1$ cascades, i.e. $H'_s(z) = \prod_{u=s}^S H_u(z)$ (consider $H'_{S+1}(z) = 1$).

Each noise source can be considered as an independent source of "white" noise with spectral density $S\varepsilon_s$ and dispersion $D\varepsilon_s$. The spectral density of each noise source at the DF output is determined by (3):

$$S\varepsilon_{sdf}(z) = S\varepsilon_s(z) H'^2_{s+1}(z), \quad (3)$$

and the dispersion of each noise source at the output of DF will be determined according to expression (4):

$$D\varepsilon_{sdf} = D\varepsilon_s \sum_n h'^2_{s+1}(n), \quad (4)$$

where $h'_{s+1}(n)$ is the impulse characteristic of DF $H'_{s+1}(z)$.



Therefore, the dispersion of the resulting quantization noise at the output of the DF is determined as the sum of individual components (5):

$$D\varepsilon_{df} = \sum_s D\varepsilon_{sdf} . \quad (5)$$

Expression (5) can be considered as a function (fitness function) that allows minimizing the output error of the FIR filter caused by quantization of the result of multiplication operations. Having used the fitness function, it is possible to perform its minimization with the help of GA.

The key concept of GA is an individual who encodes a possible solution to the problem. An individual is characterized by a chromosome or a set of chromosomes. During the solution of the task, a population of individuals is created. Each individual is evaluated by the degree of fitness determined by the fitness function. This way, individuals who have better adapted to the "environment" (have the best solution) are identified. GA is iterative, so at each iteration a new population of individuals with better fitness than the previous one is generated.

The creation of a new population occurs by applying genetic operators (selection, crossover, mutation) to current individuals.

There are quite a large number of different selection methods, but the following methods are more common: roulette method, ranking method, tournament selection. Each of the selection methods has advantages and disadvantages. A disadvantage of the roulette method is that individuals with a very small value of the fitness function are removed from the population too quickly, which can lead to premature convergence of the GA. To prevent this effect, the scaling of the fitness function is used. A disadvantage of the ranking method is that individuals may receive the same rank, which means that they will have the same opportunity to choose, despite their differences in fitness. The difficulty of choosing the size of the tournament should be attributed to the disadvantages of the tournament method. When solving the problem, the last method of selection was used - the tournament method with 3 people as more effective.

There are various methods of crossover, but when choosing them, it is necessary to take into account the peculiarity of the phenotype of the task. In our problem, we need to get the order of FIR filter cascades, so the chromosome will represent a list of cascade numbers. Obviously, most crossover methods are not suitable for our problem, because the cascade number cannot be repeated in the list. Among the crossover methods that can be used to solve our problem, we can highlight: order crossover; partially mapped crossover; cyclic crossover. The analysis showed that there are no significant differences in the solutions, so any of the methods can be used. In our case, we settled on an order crossover.

Taking into account the phenotype of the problem, the following mutation methods can be used: mutation by shuffling and mutation by exchange. When solving the problem, the first method was used, which is more effective, because it makes more significant changes in the adaptability of individuals.

The algorithm for ordering the cascades of the FIR filter using GA will look like this:



1. The initial population of GA is formed, where each individual represents a list of the location of the FIR filter cascades;
2. The suitability of each individual is calculated (the output quantization error at the output of the FIR filter is calculated);
3. Selection of individuals with the best suitability for creating a new population is carried out (the most successful solutions are selected);
4. If the stopping condition is met, an individual with the best fitness is returned;
5. The operation of crossover selected individuals to form a new population is performed;
6. The mutation operation is performed;
7. Go to point 2 to process the new population.

The condition for stopping the algorithm can be both the formation of a certain number of generations and insignificant changes in the values of the fitness function.

A number of experiments were carried out to check the operation of the algorithm. Several FIR filters of different types and orders were synthesized. The results of the algorithm will be compared with the method of complete search (brute force search).

Modeling was carried out using the Python programming language. Hyperparameters must be configured to implement GA. In our case, they will look like this:

```

POPULATION_SIZE = 10    # the number of individuals in the population
P_CROSSOVER = 0.9       # the probability of crossover of an individuals
P_MUTATION = 0.1        # the probability of mutation of an individuals
MAX_GENERATIONS = 50    # the maximum number of generations
  
```

Figure 3 shows the results of ordering the cascades of the 8th-order FIR filter using GA.

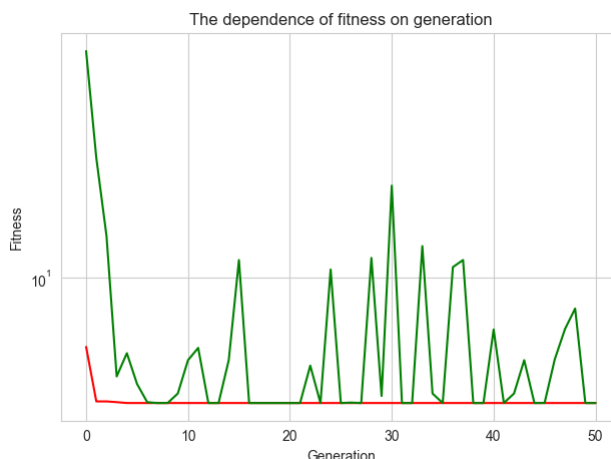


Figure 3 – Change in fitness by generation (8th-order DF)

This filter consists of 4 cascades with the following coefficients: 1. [0.02827533, -0.12520231, 0.21901412]; 2. [1, 1.73074291, 1]; 3. [1, 1.96213129, 1]; 4. [1, -0.57166319, 0.12910277].

As can be seen, the value of the errors can differ by more than an order of magnitude. The minimum value corresponds to the arrangement of the cascades (2, 1, 3, 0) and is equal to the value $3.339D_m$, where D_m is the dispersion of quantization of one multiplication operation. The result was found after 4 generations. And although



the average fitness of the generations changed to find a better solution, the minimum fitness remained unchanged. Obviously, this is the best solution, which coincides with the method of complete search.

For a better approximation of the output filter, let's increase the order of the FIR filter to 20. This filter will consist of 10 cascades with the following coefficients: 1. [6.32109790e-04, -3.17828355e-03, 4.23190299e-03]; 2. [1, -3.47495702, 5.62408813]; 3. [1, -1.06171835, 4.05576043]; 4. [1, 1.77252184, 1]; 5. [1, 1.98892234, 1]; 6. [1, 1.6528648, 1]; 7. [1, 1.90612165, 1], 8. [1, -2.61780342e-01, 2.46562887e-01]; 9. [1, -6.17870300e-01, 1.77806602e-01]; 10. [1, -7.51029398e-01, 1.49367741e-01].

After the complete search a result was obtained, but the search time was 67 minutes! The minimum value corresponds to the value of $3.083D_m$. The result of finding the optimal arrangement of the stages of the 20th order FIR filter using GA can be seen in Figure 4. A fairly good solution was found after 10 generations, an even better one after 14 generations ($3.097D_m$), and the optimal solution was found after 30 generations ($3.096D_m$). This is not the best solution, because it does not coincide with the method of complete search and corresponds to the arrangement of cascades (1, 4, 7, 3, 6, 2, 9, 8, 5, 0). The difference in error between the variants is very small, but the time to find the solution is significantly different (the GA search time was less than 2 seconds).

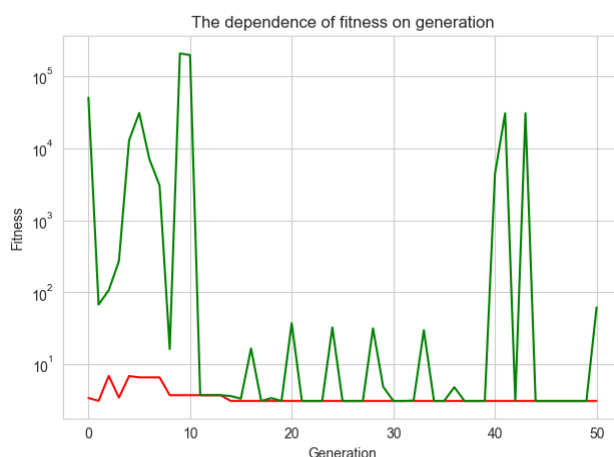


Figure 4 – Change in fitness by generation (20th-order DF)

Conclusions and prospects for further research

During the analysis, the noise model of the sequential implementation of the FIR filter was chosen. According to the noise model, an algorithm for arranging filter cascades based on GA was developed, which minimizes the total quantization error at the filter output. To solve this optimization problem, the following were chosen: tournament method of selection with three people; method of orderly crossing; method of mutation based on shuffling.

As a result of experimental studies, it was possible to find out that the developed algorithm has a high performance compared to algorithms that allow obtaining exact solutions. The proposed algorithm is more effective when ordering a large number of cascades (6 or more), because it significantly reduces the time spent on finding a solution to the problem.



References

1. Gazi O. Understanding Digital Signal Processing. Singapore : Springer Singapore, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-4962-0.
2. D. G. Manolakis, J. G. Proakis. Digital signal processing. New International Edition. Pearson Higher Ed, 2013.
3. L. R. Rabiner, B. Gold. Theory and application of digital signal processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J, 1975.
4. Ruslan Petrosian, Oleksandr Kuzmenko, Arsen Petrosian. Method for calculating the FIR filter based on genetic algorithm. Computer Systems and Information Technologies. 2021. Vol. 1. P. 19–24. URL: <https://csitjournal.khmnu.edu.ua/index.php/csit/article/view/45/33>.
5. Thakare V. V., Sahu R. K. A. Genetic Algorithm for Optimization of MSE & Ripples in Linear Phase Low Pass FIR Filter & Also Compare with Cosine Window Techniques. International Journals Digital Communication and Analog Signals. 2015. Vol 1, No. 1. P. 9–15. DOI: 10.37628/jdcas.v1i1.42.
6. Optimal design of digital FIR filters based on back propagation neural network / Yang J. et al. IEICE Electronics Express. 2023. Vol. 20, No 1. P. 20220491–20220491. DOI: 10.1587/elex.19.20220491.
7. Petrosian R., Chukhov V., Petrosian A. Development of a method for synthesis the FIR filters with a cascade structure based on genetic algorithm. Technology audit and production reserves. 2021. Vol. 4, No. 2(60). P. 6–11. DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237271.
8. Mutingi M., Mbohwa C. Grouping genetic algorithms: Advances and Applications. Switzerland: Springer International Publishing. 2017. 243 p.
9. Runwei Cheng J., Gen M. Parallel Genetic Algorithms with GPU Computing. Industry 4.0 - Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.89152.
10. Kaur S., Singh B., Singh M. Different Design Approaches for the Optimization of FIR Filter Coefficients. Research Cell: An International Journal Of Engineering Sciences. 2016. Vol. 17. P. 229–236. URL: <http://ijoes.vidyapublications.com/paper/Vol17/32-Vol17.pdf>.
11. Petrosian R. V. Vporiadkovuvannia kaskadiv tsyfrovoykh filtriv pry kaskadnii realizatsii. Visnyk ZhDTU. Seriya "Tekhnichni nauky". 2008. №2(45). S. 90–92. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/81607/79196>.
12. da Luz A. G., da Costa E. A. C., de Aguiar M. S. Ordering and partitioning of coefficients based on heuristic algorithms for low power FIR filter realization. Proceedings of the 23rd symposium on Integrated circuits and system design. 2010. P. 180–185. DOI: 10.1145/1854153.1854198.

Анотація. У статті пропонується алгоритм впорядкування каскадів КІХ-фільтра на основі генетичного алгоритму для мінімізації похибки, що виникає внаслідок квантування результатів множення. Вибір оптимального порядку розташування каскадів є складною задачею, оскільки вона належить до класу NP-повних задач.

Було обрано шумову модель послідовної форми реалізації КІХ-фільтра. Відповідно до шумової моделі розроблено алгоритм впорядкування каскадів фільтра на основі генетичного алгоритму. Для розв'язання задачі використано генетичний алгоритм, тому що він дозволяє



отримати квазіоптимальний розв'язок за менший час у порівнянні з алгоритмами, які дають точні розв'язки.

У роботі запропоновано фітнес-функцію для мінімізації похибки при впорядкуванні каскадів КІХ-фільтра. Проведено детальний аналіз методів селекції, схрещування та мутації, а також здійснено вибір методів, які найбільш підходять для вирішення поставленої задачі. Виконано налаштування гіперпараметрів генетичного алгоритму для отримання більшої ефективності.

Для перевірки роботи алгоритму проведено низку експериментів. Було синтезовано декілька КІХ-фільтрів різного типу та порядку. В результаті експериментальних досліджень вдалося з'ясувати, що розроблений алгоритм дійсно має високу швидкість порівняно з алгоритмами, які дозволяють отримати точні розв'язки. Запропонований алгоритм більш ефективний при впорядкуванні великої кількості каскадів, тому що суттєво зменшує витрати часу на пошук розв'язку задачі.

Ключові слова: впорядкування каскадів КІХ-фільтра, послідовна форма реалізації КІХ-фільтра, проектування КІХ-фільтрів, генетичний алгоритм.

Стаття відправлена: 17.05.2023 г.



УДК 004.056

SECURE IoT TECHNOLOGY STACK БЕЗПЕКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СТЕК IoT

Korobeinikova T.I. / Коробейнікова Т.І.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2487-8742

Iskovych T.V. / Іськович Т.В.

студент / student

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St. 12, Lviv, 79013

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Бандери, 12, 79013

Анотація. Робота присвячена аналізу існуючих рішень для побудови безпечного технологічного стеку для системи Інтернету речей (IoT). Як результат, було створене припасування обраних відомих технологій відповідно безпечовому підходу до організації IoT. Тут запропоноване приведення моделі до стандартів моделей OSI та TCP/IP із урахуванням принципів SOA для збільшення гнучкості системи. Проілюстровано співвідношення компонентів системи IoT до елементів безпеки, з деталізацією кожного з них. Здійснено аналіз та відповідний розподіл потенційних загроз для системи безпеки для кожного з рівнів IoT. Для виконання задач дослідження створено безпечову модель IoT з описом компонентів та функцій кожного та відображенням потенційних атак, та методами їх подолання. Питання забезпечення безпечного середовища для функціонування екосистеми IoT є важливим завданням під час проектування та впровадженні відповідних рішень.

Ключові слова: IoT, архітектура IoT, протокольний стек, безпека даних, безпечова модель IoT.

Вступ.

Популяризація Інтернету речей (Internet of Things, скорочено IoT) та його активне використання у побутових, корпоративних, управлінських та інших сферах життя породжують питання безпеки стосовно IoT [1–3]. Пристрої IoT (розумні дверні дзвінки, гаражні двері, термостати, спортивні відстежувачі, кардіостимулятори, світлофори, спеціально облаштовані місця для паркування тощо) взаємодіють людьми та з іншими пристроями, обмінюються даними, аналізують зібрані дані та здатні приймати на цій основі рішення. Всі такі комунікації здійснюються по мережі і за допомогою протоколів, що прошити і протокольні стеки та керуються відкритими моделями [4]. Нині більшість безпечових прикладних задач можна вирішувати на рівні побудови безпечових технологічних стеків.

Стек технологій – це типовий набір технологій, які допомагають в досягненні поставлених цілей [4]. У даній роботі під поняттям «стек технологій» ми будемо розуміти спільне використання необхідних технологічних рішень для вирішення проблеми проектування та реалізації [5] системи IoT. Такий підхід дає можливість уніфікувати та об'єднати певні технології в одне ціле, з певною метою та призначенням. Створення та використання безпечового стеку технологій для IoT, дозволяє нам отримати розуміння потрібних технологічних та програмних рішень для вирішення безпечової цілі без проведення великих та об'ємних наукових та технічних досліджень для всіх майбутніх учасників цих процесів. Також це виступає основою для подальших перспективних досліджень



технологій та програм для можливого удосконалення стеку чи створення нових технічних та/або технологічних рішень.

В цій роботі здійснено аналітичне припасування технологічного стеку IoT до відомих протокольних та технологічних стеків, зокрема TCP/IP та відомих моделей, зокрема, OSI [6–7]. Це дало можливість спроектувати систему IoT на основі вже проведених досліджень та набутого раніше досвіду щодо релевантності тієї чи іншої технології чи способу реалізації у відповідності до поставлених завдань.

1. Технологічний стек рівнів Інтернету речей.

Відповідно до моделі сервіс-орієнтованої архітектури (Service-oriented architecture, SOA) технологічний стек рівнів Інтернету речей буде містити 4 рівні (рис. 1). SOA-архітектура забезпечує взаємодію між великою кількістю різних пристроїв. Кожен з цих рівнів має такі функції:

- сенсорний рівень взаємодіє з обраними апаратними об'єктами для визначення стану речей та збору даних (рівень 1);
- рівень інтерфейсів надає різні методи користувачам та додаткам для можливості взаємодії між ними (рівень 2);
- мережевий рівень надає повноцінну інфраструктуру, яка необхідна для стабільної підтримки провідних і бездротових з'єднань у мережі (у т.ч., в корпоративній) (рівень 3);
- службовий рівень дає можливість створювати і управляти сервісами, які необхідні користувачам або додаткам (рівень 4);

Відобразимо модель OSI, протокольний стек TCP/IP та модель технологічного стеку IoT за принципами сервіс-орієнтованої архітектури SOA рівнозначно їх рівням.



Рисунок 1 – Приведення до стандартів технологічного стеку IoT

Авторська розробка



Під час використання такої моделі технологічного стеку, вся система ділиться на підсистеми, які не є строго залежними від інших і, які, при необхідності можуть бути повторно використані для забезпечення підтримки функціонування всієї системи. Такий підхід дозволяє створити безперебійне функціонування систем, адже якщо один елемент стане недоступним, то решта продовжить свою роботу. В тих системах, де надійність та доступність є головними пріоритетами при проектуванні, така модель є найкращим вибором.

Так простіше взаємодіяти з протоколами передачі даних та різними рівнями системи, бо така архітектура сприяє підвищенню взаємодії між об'єктами, а отже полегшує процес керування.

Така модель технологічного стеку IoT, організована за принципами SOA, дає можливість системі Інтернету речей розкритись повністю та показати усі свої переваги. Вона забезпечує можливість створення комплексних сервісів, де на виконання різного типу завдань, можна виділити різні типи об'єкти системи.

2. Розробка безпекової архітектури IoT.

Кожна система має свій тип структури, або іншими словами архітектури, тобто, як саме побудована ієрархія взаємодії всіх елементів [8]. Система Інтернету речей не виняток.

В сучасному світі, який все більше цифровізується в усіх своїх аспектах, питання повноцінного функціонування програмного чи апаратного продукту набуває все більшого масштабу та більшої пріоритетності. Завадити повноцінній роботі таких пристроїв чи програм може несанкціоноване втручання різного типу і на різних рівнях згадуваних тут об'єктів. Тож під час проектування системи будь-якого програмного чи апаратного продукту, в тому числі і нашої цільової системи Інтернету речей, надзвичайно важливо враховувати забезпечення питань безпеки [4]. Проаналізувавши джерела, було прийнято рішення проілюструвати співвідношення компонентів системи IoT до елементу безпеки, з деталізацією по кожному з них. Це зображено на рисунку 2. Така структура, яка є цілісною системою, повинна гарантувати бездоганну роботу власних компонентів (де головним фактором під час проектування є надійність) та пов'язувати фізичну і віртуальні складові.

Головною вимогою для досягнення цілісної системи є ретельний підхід під час проектування до процесу відновлення системи після її збоїв та її масштаби, враховуючи те, що це вагомий фактор в контексті забезпечення безпечного середовища. Враховуючи чим раз більшу мобільність у цьому світі, сучасна архітектура системи повинна прагнути до високого рівня адаптованості для правильної обробки різних динамічних взаємодій у всій своїй структурі. Надання рівня абстракції на більш високому рівні, який може приховувати деякі деталі реалізації, безсумнівно можна вважати перевагою еталонних архітектур і моделей.

На рисунку 3 зображено відповідність рівнів стеку системи IoT тим проблемам безпеки, що притаманні цим рівням.

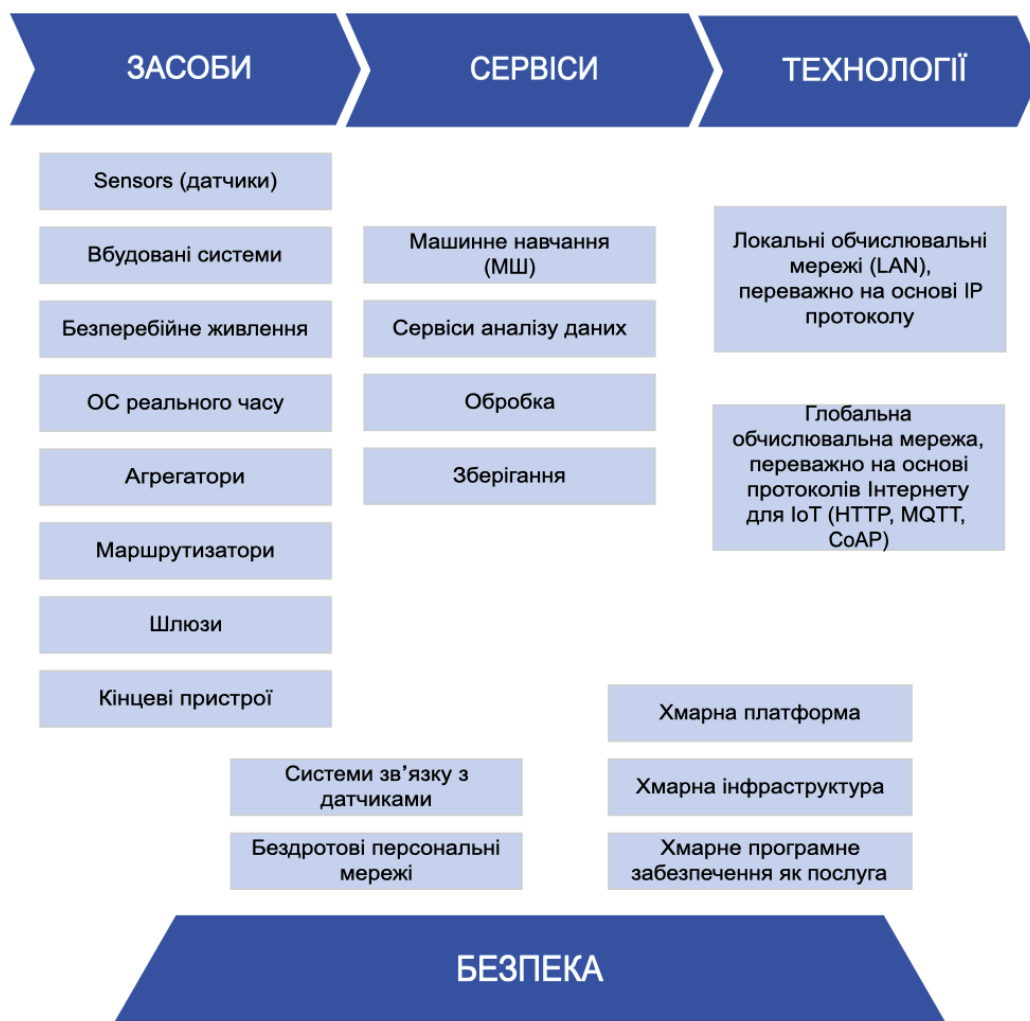


Рисунок 2 – Безпекова архітектура IoT

Авторська розробка



Рисунок 3 – Розподіл загроз безпеці по рівням моделі архітектури IoT

Авторська розробка



3. Безпекова модель IoT.

Якщо можемо орієнтуватися на відкриті стандарти, запропонуємо вирішення питань безпеки на кожному з рівнів технологічного стеку Інтернету речей [8].

Таблиця 1 – Безпекова модель IoT

OSI	ТС P/IP	IoT	Об'єкт захисту (протокол, технологія, тощо)	Метод захисту	Опис
Додатків	Додатків	Службовий рівень	DHCP, SSH, CoAP, AMQP, XMPP, masquerad	DHCP snooping, RSA, ACL, IPS, брандмауер, шифрування,	Хмарні послуги, сервіси аналізу даних, машинне навчання (МШ), зв'язок з пристроями (частково), безпека
Предста- влення					
Сесії					
Транспорт- ний	Транспортний	Мережвий рівень	DDoS, DoS, IPv4, IPv6, MQTT та DDS, TLS / SSL, MITM, TCP, UDP	SYN protection, 6LowPAN,	Зв'язок з пристроями, провідні та безпроводні мережі, протоколи передачі даних (частково), мережні пристрої (частково)
Мережвий	Інтернету				
Канальний	Мережевого доступу	Рівень інтерфейсів	MAC, DHCP, MIM, DNS, ARP, Адресні spoofing, STP, RFID, WSN, PKI, VLAN	PortSecurity , DHCP Snooping, DAI, IPSG, PortFast та BPDU Guard	Мережні пристрої (частково), протоколи передачі даних (частково), міжплатформне ПЗ
Фізичний		Сенсорний рівень	selfish загроза, фізична безпека, порушення цілісності даних, зловмисне ПЗ	IPsec, IEEE 802.11 AH	Датчики, безперебійне живлення, ОС реального часу, безпека, GPS, Bluetooth

Авторська розробка



З метою підвищення загального рівня захищеності системи IoT кожен рівень стеку забезпечує безпеку за допомогою різних протоколів безпеки, послуг та механізмів безпеки. Таким чином, кожен рівень намагається досягти окремо і в цілому основних цілей безпечної роботи, а саме: інформаційної безпеки, фізичної та стабільного функціонування системи управління безпекою.

Розподілимо рівні моделі IoT (згідно рис. 1) відповідно функціональним елементам та розпишемо протокольний стек IoT згідно архітектури IoT та з погляду безпеки та аналізу літературних джерел та відобразимо у вигляді Таблиці 1 безпекову модель IoT

У таблиці 1 наведені компоненти та функції кожного рівня безпеки IoT із відображенням атак, проблем та вимоги безпеки, які необхідні для кожного рівня. Крім того, таблиця 2.1 ілюструє перелік методів для вирішення проблем безпеки в системі IoT.

Для того, щоб продемонструвати вимоги до безпеки в системі Інтернету речей на прикладі, згадаємо зазначену нами раніше чотирирівневу IoT архітектуру, яка складається з сенсорного, інтерфейсного, службового та мережевого рівнів.

Кожен з цих рівнів має забезпечити сприяння чіткому процесу управління безпекою, зокрема забезпеченню контролю доступу, автентифікації, цілісності даних та їх конфіденційності, а також наявності інструментів для захисту системи IoT від вірусів та атак. Тож створювана система безпеки повинна мати можливість відстежувати кожен пристрій окремо, контролювати трафік та бути спроможною захистити чи тимчасово відімкнути пристрій/-ої щоб унеможливити критичні наслідки для цілої екосистеми IoT. Тепер коротко розглянемо кожен рівень архітектури в контексті безпекових загроз.

Безпека на сенсорному рівні. Даний рівень архітектури системи IoT можна охарактеризувати як сполучення трьох ланок, які забезпечують дані: пристрої збору інформації, їх місцезнаходження та безпосередньо люди. Для повноцінної реалізації функції безпеки необхідно передбачене виробником виконання елементів безпеки в пристроях, тобто можливість аутентифікації, шифрування даних та обмеження в локальному збереженні зібраної інформації. Проблемними питаннями безпеки на сенсорному рівні архітектури IoT є:

- 1) Фізична безпека пристроїв збору інформації. Це ускладнений або неможливий доступ до пристрою. Рішенням є конструкції пристрою, що дасть можливість доступу авторизованим особам (наприклад обслуговуючому персоналу) та його блокування для сторонніх.
- 2) Недостатня модернізація. Часто в пристроях немає передбаченої можливості для їх оновлення чи переналаштування. Нові вразливості розкриваються постійно, тож якщо пристрій не буде спроможний для оновлення своїх налаштувань, це може послабити безпеку системи.

Безпека на рівні інтерфейсів. Цей рівень є посередником між IoT системою і різними додатками. Він надає підтвердження того що процес взаємодії між додатками і системою є легальним. Потенційними проблемами на цьому рівні є:

- 1) Необхідність подібних налаштувань конфігурації на всіх пристроях для



досягнення сумісності.

- 2) Забезпечення безпеки даних на цьому рівні архітектури.
- 3) Створення ефективних рішень безпеки задля оптимізації процесу.

Рекомендаціями для вирішення проблем безпеки даного рівня є дотримання конфіденційності, цілісності та доступності, регулярне оновлення ПЗ, аутентифікація та авторизація користувачів та адміністратора.

Безпека на мережевому рівні. Мережевий рівень є надважливою частиною архітектури системи, так як виступає каналом передачі даних між іншими рівнями (сенсорним та службовим наприклад). Зважаючи на те, що екосистема ІОТ складається з великої кількості побічних гібридних систем, фактор проблеми масштабованості мережі, її складності та безпеки передачі даних є значним. Серед проблем, які виникають на даному етапі є:

- 1) Забезпечення базових вимог інформаційної безпеки - конфіденційності, цілісності та доступності.
- 2) Фізична безпека (стосується не лише сенсорного рівня), в випадку коли пристрої які забезпечують передачу даних можуть бути в вільному доступі.
- 3) Надмірність підключень в мережі, що створює додаткові складнощі в обслуговуванні, надмірні витрати мережевого ресурсу та збільшення вразливості до зловмисного впливу.
- 4) Можливість запобігання зловмисного роду атак, як-от атака типу «Man-In-The-Middle» щоб перехопити інформацію, яка передається між двома об'єктами.

Основними викликами для безпеки на мережевому рівні в системі Інтернету речей є мінімізація можливості впливу зловмисників на систему та збільшення ефективності її роботи для покращення якості обслуговування.

Безпека на службовому рівні. Службовий рівень забезпечує цій архітектурі ефективну взаємодію з точки зору використання апаратних та програмних ресурсів, в тому числі і можливість повторного використання цих ресурсів. На цьому рівні відбувається аналіз отриманих даних від сенсорного рівня, тож тут присутні служби обробки подій, служби інтеграції і аналітики та інші, які дозволяють обмін інформацією між службами, а також забезпечують виконання необхідних дій. Щодо проблем, які притаманні цьому рівню, то вони такі:

- 1) Забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності.
- 2) Можливість недобросовісних маніпуляцій службами та службовою інформацією цього рівня.
- 3) Створення захисту від атак різного плану, в тому числі і DoS та DDoS-атак.
- 4) Забезпечення аналізу трафіку задля недопущення жодних маніпуляцій з даними.

Одним із варіантів для вирішення проблем на службовому рівні є слідування стандартам та різним протоколам при проектування та впровадженні системи, у відповідності до ваших потреб та можливих загроз.



Висновки.

У цій роботі було здійснено аналіз існуючих програмних та/або протокольних рішень для побудови технологічного стеку системи Інтернету речей. Як результат, було створене припасування обраних нами технологій відповідних стеків до 4-рівневого стеку рівнів IoT.

Було описано кожен з рівнів 4-рівневого стеку IoT, та запропоноване приведення даної моделі до стандартів моделей OSI та TCP/IP з врахуванням принципів сервіс-орієнтованої архітектури, яка сприяє гнучкості та більшій ефективності системи. Проілюстровано співвідношення компонентів системи Інтернету речей до елементів безпеки, з деталізацією кожного з них. Здійснений аналіз та відповідний розподіл потенційних загроз для системи безпеки для кожного з рівнів IoT.

Також було створено безпекову модель IoT з наведенням компонентів та функцій кожного рівня безпеки Інтернету речей та відображенням потенційних атак, проблем та вимог безпеки. Крім того були запропоновані варіанти вирішення цих проблем. Питання забезпечення безпечного середовища для функціонування екосистеми Інтернету речей є надзвичайно важливим завданням при проектуванні та впровадженні відповідних рішень.

Література:

1. Cheng, X., Zhou, J., Zhao, X., Wang, H., & Li, Y. (2023). A presentation attack detection network based on dynamic convolution and multi-level feature fusion with security and reliability. *Future Generation Computer Systems*, 146, 114-121. doi:10.1016/j.future.2023.04.012
2. Sharma, R., & Arya, R. (2023). Secured mobile IOT ecosystem using enhanced multi-level intelligent trust scheme. *Computers and Electrical Engineering*, 108 doi:10.1016/j.compeleceng.2023.108715
3. Chauhan, P., & Atulkar, M. (2023). An efficient centralized DDoS attack detection approach for software defined internet of things. *Journal of Supercomputing*, 79(9), 10386-10422. doi:10.1007/s11227-023-05072-y
4. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5Мбайт). – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
5. Ma, W., Liu, R., Li, K., Yan, S., & Guo, J. (2023). An adversarial domain adaptation approach combining dual domain pairing strategy for IoT intrusion detection under few-shot samples. *Information Sciences*, 629, 719-745. doi:10.1016/j.ins.2023.02.031
6. Комп'ютерні мережі: навч. посібник / Т. І. Коробейнікова, С. М. Захарченко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 228 с.
7. Трояновська Т. І. Побудова захищених мереж на базі обладнання компанії Cisco. // Захарченко С.М., Трояновська Т. І., Бойко О.В. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. – 133 с.
9. Kumar, M., Singh, P. K., Maurya, M. K., & Shivhare, A. (2023). A survey on



event detection approaches for sensor based IoT. Internet of Things (Netherlands), 22
doi:10.1016/j.iot.2023.100720

Abstract. *This paper is devoted to existing solutions analysis of building a secure technological stack for the Internet of Things (IoT). As a result, a matching of selected known technologies was created according to the security approach to the IoT organization. It is proposed to bring the novel model to the standards of the OSI and TCP/IP models, considering the SOA principles to increase the system flexibility. The ratio of IoT system components to security elements is illustrated, detailing each of them. The analysis and appropriate potential threats distribution to the security system for each of the IoT levels was carried out. To fulfill the research objectives, an IoT security model was created with a description of the components and functions of each and a display of potential attacks and methods of overcoming them. The issue of providing a secure environment for the functioning of the IoT ecosystem is an important task during the design and implementation of relevant solutions.*

Key words: *IoT, IoT architecture, protocol stack, data security, IoT security model.*

Науковий керівник: к.т.н., доц. Коробейнікова Т.І.

Стаття надіслана: 13.05.2023 р.

© Коробейнікова Т.І.



УДК 004.056.5

SYSTEM NETWORK SECURITY MONITORING IN THE SIEM-EDR-NDR TRIAD

СИСТЕМНИЙ МОНІТОРИНГ МЕРЕЖЕВОЇ БЕЗПЕКИ В ТРІАДІ SIEM-EDR-NDR

Korobeinikova T.I. / Коробейнікова Т.І.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2487-8742

Fedorchenko V.V. / Федорченко В.В.

студент / student

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St. 12, Lviv, 79013

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Бандери, 12, 79013

Анотація. У роботі розглянуто ідею побудови системи захисту інформації, методи та засоби безпечного моніторингу мережі, сучасні підходи захисту інформації в рамках SOC та ідею системного моніторингу мережі в рамках моделі тріади SIEM-EDR-NDR. Проаналізовані та класифіковані поточні загрози інформаційній безпеці (ІБ). Згадані принципи побудови системи ІБ. Наведено приклади ефективного використання систем SOC і SIEM-EDR-NDR для забезпечення безпеки мережі. Розглянута взаємодія трьох компонентів тріади SOC між собою та їх взаємодоповнення.

Ключові слова: Інформаційна безпека, загрози ІБ, системний моніторинг, мережева безпека SIEM, EDR, NDR, SOC.

Вступ.

Згідно стандарту ISO/IEC 27005 [1–3] роботи з підготовки системи захисту інформаційно-комп'ютерних мереж (ІКМ) рекомендується проводити так: дослідити активи, що потребують захисту; дослідити потенційні загрози та їх джерела; дослідити можливі вразливості активів; сформулювати політики безпеки; підготувати рекомендації щодо засобів захисту ІКМ; оцінити вартість запропонованих рішень (рис. 1). Червоним кольором виділені ті пункти, де відбувається моніторинг мережевої безпеки.



Рисунок 1 – Узагальнений план підготовки системи захисту ІКМ

Авторська розробка



За визначенням, активами є все, що має цінність для компанії і має бути захищеним [1]. Активами є: приміщення, де розміщена ІКМ; інформація, яка обробляється і зберігається в мережі; засоби ІКМ: програмні і технічні (сервери, мережеві і кінцеві пристрої, засоби і лінії зв'язку тощо) [2]. Всі активи повинні бути ідентифіковані і обліковані. Експерти мають визначити цінність активів (низька, середня, висока) відносно їхньої втрати чи пошкодження. На рис. 2 зображена загальна схема дослідження активів, що потребують захисту.

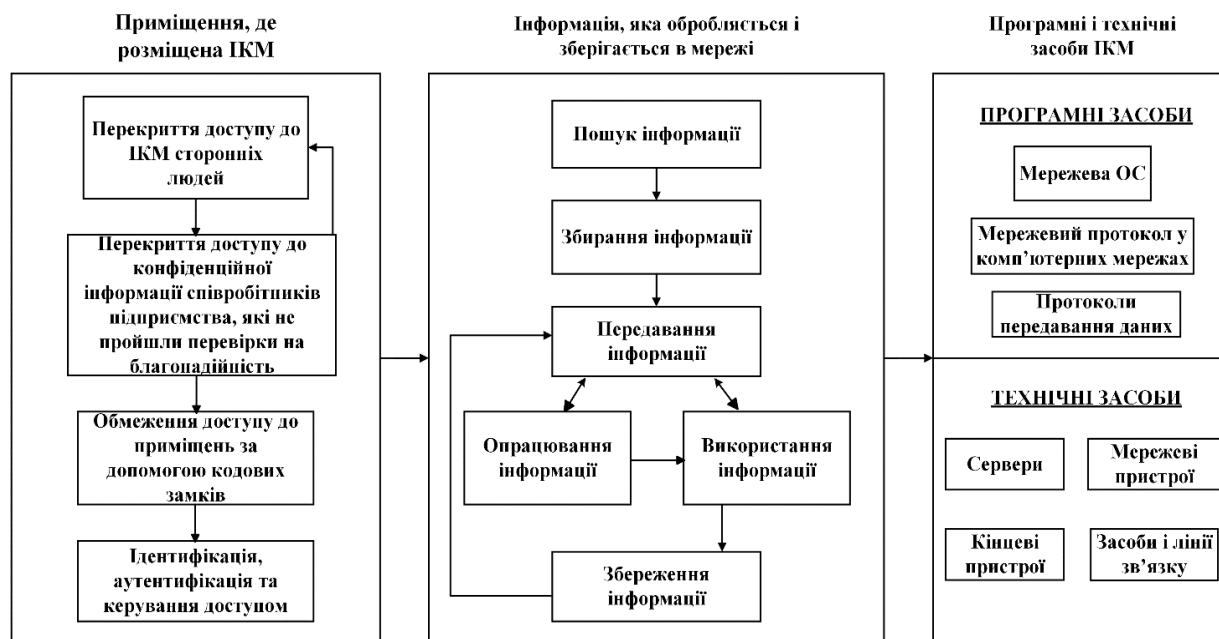


Рисунок 2 – Узагальнена схема дослідження активів для їх захисту

Авторська розробка

Інформаційна безпека (ІБ) – це комплекс заходів для забезпечення ЗІ від загроз [4]. Загроза має потенціал заподіяння шкоди активам. Необхідно ідентифікувати як випадкові і навмисні загрози та їх джерела. Типові загрози ІБ можуть бути класифіковані [5]: за аспектом ІБ, на який спрямовані загрози; за розміщенням джерела загроз; за ступенем впливу на ІКМ; за природою виникнення. Джерелами загроз можуть бути суб'єкти (особи), та об'єктивні прояви (конкуренти чи злочинці). Джерела загроз мають такі цілі: ознайомлення з даними, що охороняються, їх модифікація і знищення для завдання прямої матеріальної шкоди. Далі зв'яжемо кожен актив із відповідними видами загроз. Результатом аналітичної обробки опрацьованих літературних джерел [4, 6] стала схема загальної класифікації загроз ІБ (рис. 3).

Уразливість – це нестача активу або заходів захисту, яка може бути використана зловмисником [6]. Із їх загального переліку можна виділити такі: людський фактор; уразливості ОС; віддалений доступ; зовнішні мережеві підключення; засоби захисту та моніторингу; ПЗ.

Після дослідження активів захисту системи, їх потенційних загроз і вразливостей, формуються політики ІБ ІКМ. Згідно зі стандартом ISO/IEC 27002 [4], політика ІБ – це цільовий пакет нормативних, організаційно-розпорядчих та експлуатаційних документів, що охоплюють сфери організації, управління та



контролю безпеки і експлуатації засобів захисту. Цей пакет складається з документів трьох рівнів.

На 1-му рівні формується головний документ – «Концепція інформаційної безпеки», який визначає цілі і принципи системи ЗІ в ІКМ, а також вимоги і загальні правила управління ІБ. Документи 2-го рівня розробляються на підставі «Концепції» і містять: порядок поводження з конфіденційною інформацією, основні правила дій користувачів та їх відповідальність; технічні вимоги до програмно-апаратних засобів захисту, включно із системним ПЗ. На підставі документів 2-го рівня розробляються документи 3-го рівня, які містять [4]: конкретизовані і доповнені посадові інструкції; експлуатаційні документи засобів захисту інформації (ЗІ). Отже, основною ціллю забезпечення інформаційної безпеки є ЗІ від випадкового чи навмисного втручання. Водночас ІБ також покликана зберігати неперервність бізнесу.

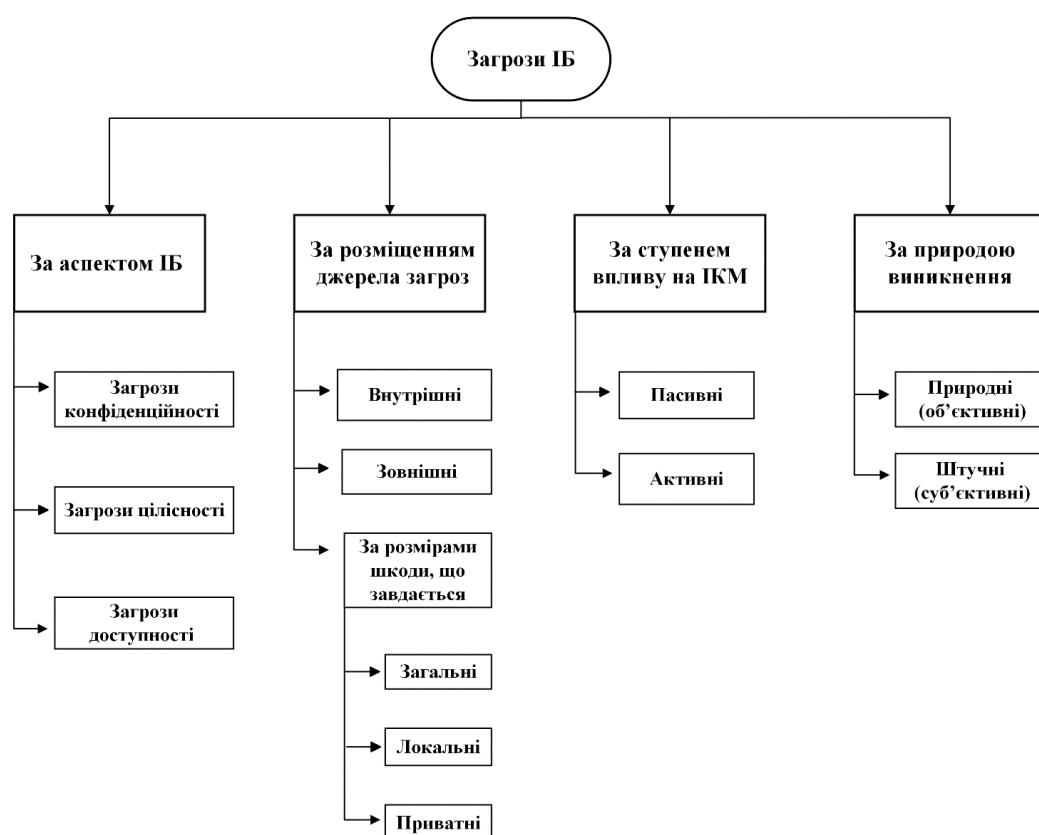


Рисунок 3 – Узагальнена класифікація загроз ІБ

Авторська розробка

У таблиці 1 вказані основні загальноприйняті принципи побудови системи ІБ. Примітка: в таблиці 1.1 використані такі скорочення: СЗ – система захисту; BYOD – Bring Your Own Device, особисті мобільні пристрої, яким дозволений доступ до ІКМ; PDCA – Plan-Do-Check-Act, модель безперервного поліпшення процесів.

Під час формування принципів політики ІБ враховують основні вимоги щодо інформації і за моделлю CIA (Confidentiality-Integrity-Availability): конфіденційність; цілісність; доступність. Для виконання політик ІБ реалізується ціла низка заходів.



Таблиця 1 – Принципи побудови системи інформаційної безпеки

Назва принципу	Суть принципу
Комплексний підхід	СЗ інформації повинна бути комплексною, охоплювати організаційні заходи, технічні та програмні засоби.
Системний підхід	Всі заходи і засоби захисту повинні бути пов'язані, узгоджені і забезпечувати цілісність системи.
Багаторівневність	Згідно із завданням тут повинен бути реалізований принцип поглибленого багаторівневого захисту.
Тотальність	Система захисту повинна охоплювати всі активи, всі вузли та кінцеві пристрої ІКМ, у тому числі BYOD.
Достатня надійність	Створення механізмів захисту, щоб вартість зламу системи була дорожчою за саму інформацію.
Повнота контролю	Будь-яке звернення до інформації має охоплювати всі рівні контролю: інформацію, ПЗ, апаратуру, персонал.
Цикл Демінга «PDCA»	Цикл моделі «PDCA» передбачає обов'язкові етапи: 1) Встановлення цілей та політик СЗ (Plan); 2) Реалізацію і впровадження СЗ (Do); 3) Оцінку, контроль, моніторинг і аналіз роботи СЗ (Check); 4) Покращення (удосконалення і розвиток) СЗ (Act).

Авторська розробка

1 Поняття, методи та засоби безпекового моніторингу мережі.

На виконання політики ІБ в компанії створюється система захисту ІКМ, яка призначена здійснювати неперервний моніторинг мережевої безпеки. В процесі цього моніторингу виявляються та усуваються кіберзагрози у мережі. Він здійснюється відповідним ПЗ: ідентифікації та аутентифікації користувачів; управління доступом користувачів; захисту від шкідливого ПЗ; контролю цілісності інформації.

У комплексному захисті мережі особливе місце займають спеціалізовані мережеві засоби захисту такі, як системи управління інформацією про моніторинг мережі (англ. SIEM – Security Information and Event Management) [8], системи виявлення загроз кінцевим точкам мережі (англ. EDR – Endpoint Detection and Response) [8], а також новітні системи мережевої безпеки, які забезпечують автоматизований моніторинг, виявлення, аналіз та реагування на складні кіберзагрози (англ. NDR – Network Detection and Response) [8].

Ідентифікація є засобом, яким користувач надає системі заявлену ідентичність. Автентифікація – це метод визначення дійсності цієї заявки. Зокрема, ідентифікація та аутентифікація досягаються за рахунок: інформації користувача (паролі та протоколи аутентифікації); власності користувача (модулі пам'яті, PIN-коди карток); особи користувач (біометричні дані).

Контроль та управління правом доступу убезпечують незаконне проникнення на об'єкти захисту та несанкціоноване використання ресурсів. У зальному розрізняють кілька рівнів контролю доступу: контроль доступу під час входу у систему; контроль доступу до окремих об'єктів (файлів, папок, баз даних тощо); контроль доступу до окремих пристроїв системи.



Моделі керування доступом поділяються на: дискреційне (виборче) управління; обов'язковий (мандатний) метод керування; рольова модель. Дискреційний контроль доступу (DAC – Discretionary Access Control) [7]. Передбачає право адміністратора об'єкта визначати та контролювати всіх, хто має доступ до системи, ґрунтуючись на ідентифікаційній інформації про суб'єктів (ключі доступу), допущених до контрольованої системи. Мандатний контроль доступу (MAC – Mandatory Access Control) [7]. Є найбільш обмежувальною формою доступу, оскільки надає контроль та керування системою лише адміністратору. Тут користувачам не дозволяється підвищувати рівень доступу до ресурсів, встановлений адміністратором. Модель рольового керування доступом (RBAC – Role-Based Access Control) [7]. Передбачає розподіл функцій персоналу з урахуванням типу діяльності. Тут достатньо встановити ступінь допуску для ролі, яку виконує типовий користувач ресурсу.

Засоби захисту від шкідливого ПЗ аналізує дані, що можуть зазнавати загроз: знищення інформації та (або) її носія; несанкціоноване отримання конфіденційної інформації; модифікація інформації; створення помилкових повідомлень; блокування доступу до інформації або ресурсів системи; несанкціоноване використання інформаційних ресурсів системи тощо.

Наведемо кілька ефективних сканерів: Advanced IP Scanner, Wireshark, Solarwinds, Tripwire, Nessus, Vulnerability Manger Plus, Splunk тощо.

Засоби контролю цілісності засновані на алгоритмах підрахунку контрольних сум і здійснюється за двома напрямками: контроль цілісності наборів даних; контроль цілісності програмного середовища. Активно використовується електронно-цифровий підпис (ЕЦП). За допомогою математично обґрунтованих алгоритмів обчислюється функція від конкретного підписаного повідомлення і обчислюється автором повідомлення на основі індивідуального ключа. ЕЦП залежить від кожного символу, тому неможливо змінити його або підмінити, не змінивши значення ЕЦП. За допомогою технології ЕЦП здійснюється підтвердження: дійсності електронного документа; контроль його цілісності; його авторство.

2 Сучасні підходи до організації захисту інформації в рамках SOC.

Ефективний та постійний ЗІ в ІКМ може здійснюватися спеціалізованими центрами і фахівцями з кібербезпеки, зокрема, це центри SOC. SOC – Security Operations Center, Ситуаційний центр інформаційної безпеки, є структурним підрозділом, що безперервно моніторить системи.

Центр SOC – це не тільки технічні системи, які в режимі реального часу передають аналітикам SOC повідомлення від засобів захисту, а й експерти, які можуть відрізнити помилкове спрацювання захисного засобу від справжнього, і здатні зрозуміти, чи є кілька явно пов'язаних між собою повідомлень від засобів захисту ланками одного ланцюга, що означає комп'ютерне зараження. У прийнятті рішень їм допомагають SIEM – системи управління інформацією про безпеку та події інформаційної безпеки. Основне завдання SOC-центру – реагування на інциденти ІБ. У SOC-центрі вхідні дані безперервно обробляються SOC-командою таких фахівців. Тож, основними завданнями SOC-центрів є: моніторинг та аналіз вторгнення в режимі реального часу; запобігання



кіберзагрозам на випередження: безперервно сканувати комп'ютерні мережі та аналізувати інциденти безпеки; швидка реакція на підтверджені інциденти та виключення помилкових спрацьовувань.

3 Ідея системного моніторингу в рамках тріади SIEM-EDR-NDR.

З метою удосконалення роботи SOC-Центру провідна дослідницька компанія Gartner розробила нову концепцію таких центрів – SOC Visibility Triad. Це мережево-орієнтована структура, яка розроблена для створення комплексного та завершеного підходу до стратегії кібербезпеки. Об'єднавши три основні принципи – виявлення та реагування на кінцеві точки, виявлення та реагування мережі і керування інформацією про безпеку та подіями – компанії можуть досягти рівня захисту кібербезпеки, який раніше був недосяжним.

Коли три компоненти тріади SOC об'єднуються, команди SOC отримують повну інформацію про мережу своєї компанії, що значно покращує ефективність виявлення загроз і реагування на них. Тріада видимості SOC складається з трьох окремих компонентів: SIEM, EDR і NDR. Кожен із цих компонентів гармонійно працює разом, доповнює один одного, щоб створити цілісну та завершену систему кібербезпеки, яка захищає кожен аспект ІКМ.

У цій тріаді система SIEM відстежує, реєструє, ідентифікує та аналізує сповіщення кібербезпеки, які впливають на мережу організації. Це досягається в режимі реального часу шляхом збору та зіставлення даних з усіх джерел даних мережі. Зрештою, це забезпечує повне уявлення про ІКМ, дозволяючи SOC-Центру оперативно досліджувати та усувати кіберзагрози.

Якщо SIEM використовується самостійно без можливостей EDR і NDR, то він може пропустити експлойти та уразливості, які не відображаються в журналах SIEM, що може призвести до виникнення сліпої зони.

EDR зосереджується на зборі й аналізі даних із кінцевих точок ІКМ. Система EDR поєднує збір даних із моніторингом загроз у реальному часі та можливостями автоматизованого усунення загроз кінцевим вузлам. Сама EDR не забезпечує глибину захисту, не запобігає бічному переміщенню трафіку та ізолювано захищає лише невелику частину мережевої інфраструктури.

NDR об'єднує тріаду SOC, надаючи повну інформацію про стан мережі та захищаючи її від внутрішніх і зовнішніх атак. NDR також має унікальну перевагу захисту від зловмисників, які переміщуються збоку в мережі, значно зменшуючи здатність зловмисника завдати шкоди після успішного зламу. NDR дозволяє командам SOC і безпеки швидко аналізувати дані мережі із внутрішньої та зовнішньої точки зору. Це обмежує кількість часу для зловмисника в мережі, і зменшує ймовірність зламу.

Висновки.

В цій роботі було розглянуто ідею побудови системи захисту інформації, методи та засоби безпекового моніторингу мережі, сучасні підходи захисту інформації в рамках SOC, поточні загрози інформаційної безпеки, ідею системного моніторингу мережі в рамках моделі тріади SIEM-EDR-NDR та взаємодія трьох компонентів тріади SOC між собою та їх взаємодоповнення.

Були запропоновані приклади ефективного використання систем SOC і SIEM-EDR-NDR для забезпечення безпеки мережі.



Це дає можливість вдосконалити системний моніторинг мережевої безпеки та запобігти майбутнім загрозам інформаційної безпеки.

Література:

1. Таченко І. А., Коробейнікова Т. І. & Захарченко С. М. (2021) Огляд сучасного стану питання в галузі оцінювання ризиків мережевої безпеки. Scientific Collection «InterConf», (84), 417-432. <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.11.2021>.
2. Tachenko I. & Korobeinikova T. (2021) The basic aspects of assessment and risk remediation technological chain. "Information protection and information systems security": coll.of scientific papers with Proceedings of the VIII-th International Scientific and Technical Conference (Vol. 1, p. 17-19). November 11, 2021, Lviv: NULP.
3. Щодо впровадження системи управління інформаційною безпекою та методики оцінки ризиків відповідно до стандартів Національного банку України (2021). Вилучено із: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0365500-11>.
4. Про засади інформаційної безпеки України (Закон України) (2014). Вилучено із: <https://ips.ligazakon.net/document/JG3TH00A>.
5. Захарченко С.М., Трояновська Т. І., Бойко О.В. (2017). Побудова захищених мереж на базі обладнання компанії Cisco. Вінниця: ВНТУ – 133 с.
6. Гребенюк А.М., Рибальченко Л.В. (2020). Основи управління інформаційною безпекою: навч. посібник. Дніпро: ДДУВС – 144 с.
7. Класифікація загроз інформаційній безпеці (2020). Вилучено із: <https://er.dduvs.in.ua/bitstream/>.
8. What is the SOC visibility triad? (2023). – Вилучено із: <https://www.nomios.be/en/resources/what-is-the-soc-visibility-triad/>.

Abstract. The paper considers the idea of building an information protection system, methods and means of network security monitoring, modern approaches to information protection within SOC and the idea of system network monitoring within the framework of the SIEM-EDR-NDR triad model. Analyzed and classified current threats to information security (IS). The mentioned principles of building an IS system. Examples of effective use of SOC and SIEM-EDR-NDR systems to ensure network security are provided. The interaction of the three components of the SOC triad with each other and their complementarity is considered

Key words: Information security, IS threats, system monitoring, network security SIEM, EDR, NDR, SOC.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Коробейнікова Т.І.

Стаття надіслана: 05.05.2023 р.

© Коробейнікова Т.І.



УДК 332.6

FUNCTIONING OF THE LAND MARKET IN THE CONDITIONS OF DECENTRALIZATION OF POWER IN UKRAINE ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЗЕМЛІ В УМОВАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ВЛАДИ В УКРАЇНІ

Titova S./ Тітова С.В.

*s.g.s., as.prof. / к.з.н, доц. PhD on geographical sciences, docent**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9250-805X>**Scopus ID: 57219950799*

Sydorenko S./ Сидоренко С.А.

*student, 4 year, bachelor/студент, 4 курс, бакалавр**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**Taras Shevchenko national university of Kyiv,**ave. Akademika Glushkova, 2a, Kyiv, 03127, Ukraine/**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**просп. Академіка Глушкова, 2а, м. Київ, 03127, Україна*

Анотація. В роботі розглядаються питання ринку землі та його функціонування в умовах децентралізації влади в Україні, а також висвітлюються питання сучасних реалій воєнного стану та його впливу на аспекти діяльності, функціонування та проблем, які пов'язані з цим. Надаються рекомендації щодо врахуванням важливості ефективного використання земель для сільськогосподарських потреб тощо.

Ключові слова: ринок землі та його функціонування, децентралізація влади.

Вступ.

Досвід європейських країн відображає, що запровадження ринку землі є необхідним для ефективного розвитку національного аграрного сектору. Діючі ринки землі в країнах ЄС приносять прибутки бюджету країни та землевласникам. Запровадження ринку землі в Україні з 1 липня 2021 року є ще одним кроком до європейського законодавства для досягнення зазначених цілей, скасування багаторічного мораторію на продаж землі сільськогосподарського призначення та реалізації конституційного права громадян України на вільне розпорядження своєю землею. Ринок земель сільськогосподарського призначення займає особливе місце на ринку економічних ресурсів.

Ринок землі в Україні – сукупність суспільних відносин щодо відчуження та набуття земельних ділянок.

Державне регулювання – це вплив держави на досягнення цілей своєї економічної політики в умовах ринкової економіки, принципи, засоби, важелі, методи і стимули, за допомогою яких держава регулює економічні процеси та забезпечує виконання соціально-економічних функцій. *Держава регулює ринок землі на таких основних принципах:* прозорість обігу земельних ділянок (прав на землю) на ринку землі; раціональне використання та охорона землі; забезпечення конституційних гарантій і захисту прав на землю суб'єктів ринку; аналіз та прогнозування для забезпечення сталого функціонування та розвитку ринку землі; визначення пріоритетів суспільних потреб, визначених національними інтересами або інтересами територіальної громади.



Основний текст.

На сьогоднішній день в Україні відбувається поступове відновлення ринку землі після введення воєнного стану та зупинення всіх земельних операцій. Уряд докладає зусиль для гарантування безпеки та прозорості всіх земельних угод, а також для забезпечення прав інвесторів та власників земельних ділянок. З метою забезпечення максимальної ефективності користування земельними ресурсами, держава впроваджує відкриті електронні майданчики для проведення земельних торгів та визначення переможців за допомогою електронної торгової системи. Цей підхід дозволяє забезпечити дотримання прав та законних інтересів усіх сторін земельної угоди та унеможливити корупцію. Однак, варто зазначити, що процес відновлення ринку землі є складним та потребує детального аналізу та планування, щоб запобігти можливим порушенням законодавства та втратам для бізнесу та громадян.

У травні 2022 року ухвалено законопроект, що стосується внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин умовах воєнного стану [1]. Ці зміни сприяли оновленню ринку землі, але наразі продаж землі на тимчасово окупованих територіях є нездійсненим. Ринок землі є продуктом компромісу та позитивний крок до інклюзивності нашого суспільства. Зі старту він супроводжувався обмеженнями, як щодо суб'єктів, так і щодо площ та типів об'єктів, якими можна володіти. Проте завдяки спільним зусиллям Міністерства аграрної політики та Міністерства юстиції система запрацювала і розпочалися продажі. Протягом першого року після зняття мораторію було розвінчано міфи про можливість надмірної консолідації земельних ресурсів в руках великих агрохолдингів, зловживання та низьку ціну землі. Ринок земельних ресурсів в Україні сформовано відповідно до ринкових механізмів, але його ефективність значною мірою залежить від темпів формування та розвитку супутньої ринкової інфраструктури та налагодження взаємодії у сфері купівлі-продажу земель з фінансовими інституціями, які можуть стати спеціалізованими земельними банками. Найбільш активними у відчуженні земельних ділянок є центр України та північний схід країни, тоді як західні області є аутсайдерами. Львівщина займає лідерську позицію серед регіонів, де землі для ведення товарного виробництва мають найвищу вартість. Це може залежати від кількох факторів, таких як родючість ґрунтів і потенціал для майбутньої забудови. На сьогоднішній день, у багатьох регіонах України відбувається активна торгівля земельними ділянками, що свідчить про великий інтерес до цього ринку. Проте, необхідно докласти зусиль для забезпечення прозорості та розвитку ринкової інфраструктури, а також для запровадження ефективних механізмів контролю за проведенням земельних операцій, щоб забезпечити розвиток ринку земельних ресурсів в Україні на належному рівні. Зважаючи на руйнівні наслідки війни, кількість транзакцій купівлі-продажу землі дещо зменшилася. За даними Міністерства юстиції, у грудні 2021 року було зареєстровано 332 угоди з купівлі-продажу нерухомості, в тому числі землі.

На сьогоднішній день, Державний земельний кадастр є важливою державною геоінформаційною системою, яка містить відомості про всі земельні



ділянки в межах державного кордону України. Ця система надає інформацію про цільове призначення земель, їх обмеження використання, а також детальну інформацію про якісні та кількісні характеристики земель, їх оцінку та розподіл між власниками та користувачами, а також інформацію про меліоративні мережі та складові частини меліоративних систем. Головним завданням Державного земельного кадастру є забезпечення інформаційної підтримки органів місцевого самоврядування у керуванні земельними ресурсами, проведення землеустрою та здійснення раціонального використання та охорони земель. Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин" від 28.04.2021 р. [2] передбачає впровадження обліку та моніторингу стану земельних відносин з використанням автоматизованої системи, до якої буде доступ за відкритим та безоплатним принципом. Діяльність Держгеокадастру спрямована на координацію та забезпечення належного рівня охорони земель та раціонального їх використання, а саме запроваджено принцип екстериторіальності для всіх ключових послуг, мета цього заходу полягає у максимальному зменшенні взаємодії між чиновником та споживачем послуг, що дозволяє забезпечити більш швидкий та ефективний доступ до послуг Державного земельного кадастру. Крім того, портал Національної інфраструктури геопросторових даних надасть уніфікований доступ до всіх даних про природні ресурси України. На сьогодні доступ до цього ресурсу обмежений з міркувань безпеки, пов'язаний з дією воєнного стану в країні.

Однією з великих переваг функціонування ринку землі в Україні є законодавче забезпечення права переважного викупу земельних ділянок для їх поточних орендарів. Проте в процесі формування ринку землі відбуваються зміни відносин оренди та потенційного викупу земель сільськогосподарського призначення. Прибуткові підприємства, які мають достатню кількість ресурсів, можуть орендувати належну кількість земель з правом викупу їх у 2024 році, що дає їм можливість запропонувати власникам землі більш вигідні умови. Головним аспектом, пов'язаним з функціонуванням ринку земельних ресурсів, є проблема консолідації землі. Ця проблема стосується обмежень, які закладені у законодавстві, але все ж дозволяє можливість створення дочірніх або залежних підприємств крупними агрохолдингами, які обходять встановлену межу у 10 тис. га власності. Це може призвести до надмірної концентрації землі в руках окремих власників, що загрожує монополізацією ринку та формуванням господарств-латифундистів. Для запобігання цієї проблеми, на нашу думку, варто запровадити обов'язкове розкриття власниками паїв кінцевого власника землі, аналогічно до того, як це реалізується у сфері регулювання діяльності фінансових установ та великих корпорацій. Це допоможе зберегти ринок земельних ресурсів від монополізації та формування господарств-латифундистів.

Багато земельних законів було прийнято, і більшість з них працюють. Прийняття закону про відкриття ринку землі мало за мету надати землі законного повноправного власника та забезпечити українцям вільний доступ до своєї землі згідно з їхнім власним розсудом. Гасло "Свій на своїй землі" стало символом



земельної реформи. За рік дії закону в Україні було укладено понад 105 тисяч правочинів, у тому числі 88 тисяч угод на купівлю-продаж землі загальною вартістю понад 7 млрд грн. Однак, через війну не відбулось понад 50 тисяч угод на купівлю-продаж землі, і землевласники не отримали 4,2 млрд грн. Станом на початок 2022 року в Україні було укладено понад 102 тисяч угод, відчужено 245 тисяч гектарів земель сільськогосподарського призначення з загальної площі 32,5 млн га. Наразі, кількість правочинів стосовно купівлі-продажу, міни, дарування та довічного утримання землі складає понад 105 тисяч. Згідно з даними Міністерства аграрної політики та продовольства України станом на червень 2022 року, площа відчужених земельних ділянок складає 252,241 га, кількість правочинів щодо відчуження земельних ділянок складає 105,173, вартість відчужених земельних ділянок становить 4,492 млн грн, а середня вартість відчужених земельних ділянок за 1 га становить 37,819 грн. В наслідок війни, економіка нашої країни зазнала певних втрат, зокрема, якщо у перший рік функціонування ринку було укладено 88 тис. угод купівлі-продажу, то до 24 лютого 2022 року було укладено 84,5 тис. угод, що на 3,5 тис. менше. Війна в Україні відбила великі втрати в усіх сферах життя, включаючи земельний ринок. Протягом майже трьох місяців державні реєстратори не працювали, але після відновлення їх роботи ринок почав оживати. У сфері управління земельними ресурсами територіальних громад діє законодавча основа, яка дозволила місцевим органам самоврядування формувати та управляти своїм земельно-ресурсним потенціалом на власний розсуд. Однією з головних постанов, яка забезпечила пришвидшення оформлення та реєстрації права комунальної власності територіальними громадами на земельні ділянки, є Постанова Кабінету Міністрів України "Деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин" [3].

Крім того, відповідно до Закону України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин" від 28.04.2021 р. [2], територіальні громади мають набути права власності на землі та земельні ділянки, які знаходяться за межами населених пунктів територіальних громад та є в державній власності. Облік та відстеження стану земельних відносин будуть здійснюватись за допомогою автоматизованої системи моніторингу земельних відносин, доступ до якої буде відкритим та безоплатним. За впровадження цієї системи відповідає Держгеокадастр України. Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель" від 17.06.2020 року [4] є важливим інструментом для забезпечення ефективного використання земельних ресурсів на території України. Цей закон передбачає ряд новацій, які сприятимуть раціональному плануванню використання земель.

Однією з найважливіших новацій є передача повноважень органам місцевого самоврядування щодо розпорядження та здійснення контролю за використанням та охороною земель. Це надає можливість забезпечити більш ефективний та гнучкий підхід до управління цими ресурсами та гарантує їх використання в інтересах громади.

Ще однією важливою новацією є введення посади державного інспектора з



контролю за використанням та охороною земель, який буде відповідати за збір та аналіз відомостей про земельні ресурси територіальної громади. Це забезпечить більш точний та об'єктивний контроль за використанням земельних ресурсів та їх охороною. Закон також передбачає процедуру зміни цільового призначення земельних ділянок, що надає можливість змінити вид діяльності на ділянці землі відповідно до потреб територіальної громади. Це може бути корисним у випадку, якщо змінився соціально-економічний стан території, або якщо з'явилися нові потреби та можливості для використання землі.

Передбачена законом обов'язковість проведення земельного моніторингу на території України, що дозволить відслідковувати зміни використання земельних ресурсів та вчасно реагувати на можливі проблеми. Зокрема, моніторинг повинен проводитись для встановлення кількості та стану земельних ділянок, а також для оцінки їх якості.

Національна економічна Стратегія на період до 2030 року [5] є ключовим документом, який сприяє розвитку ефективного та раціонального управління земельними ресурсами. Відповідно до Стратегії, необхідно правильно застосовувати візії регіонального розвитку, агросектору та інвестиційної привабливості. Втілення всіх законодавчих новел, які передбачені Стратегією, є можливістю формування якісно нових відносин у сфері управління земельними ресурсами територіальних громад з чіткою орієнтацією на підвищення ефективності, раціональності та відповідальності використання та технічного вдосконалення.

За допомогою Агентства USAID AGRO, більше 1,8 мільйонів громадян України отримали державні акти на володіння земельними ділянками. Крім того, було створено мережу правової допомоги для нових приватних землевласників та надана підтримка найменш захищеним суспільним групам, таким як молодь, люди похилого віку та інваліди. Це сприяє забезпеченню справедливого та економічно раціонального використання земельних ресурсів та їх охорони на території України. Згідно з результатами останнього Моніторингу реформи місцевого самоврядування та територіальної організації влади, що був проведений на 10 січня 2022 року в Україні існує 1470 територіальних громад, серед яких 410 міських, 433 селищних і 627 сільських, що включають 443 міста, 1960 селищ та 26261 сіл [6]. За січень листопад 2021 року плата за землю в територіальних громадах становила 12,6%, що стало можливим завдяки доходам до Загального фонду місцевих бюджетів. Варто відзначити, що збільшення надходжень не залежить тільки від збільшення ресурсів у власності, а також від актуальності грошової оцінки земель.

На сьогодні значні сподівання покладено на Закон України "Про адміністративну процедуру" від 17.02.2022 р. № 2073- IX, який набуде чинності 15.12.2023 року [7]. Цей закон регулює відносини між органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, їх посадовими особами та іншими суб'єктами, які здійснюють функції публічної адміністрації та мають владні повноваження. За допомогою прийняття та виконання адміністративних актів закон дозволяє розглядати і вирішувати адміністративні справи з фізичними та юридичними особами. Норми цього закону викликають особливий інтерес серед



органів місцевого самоврядування, а їх впровадження матиме позитивний вплив на взаємодію владних повноважних органів та громадян. Зважаючи на децентралізацію повноважень у сфері управління земельними ресурсами, важливо забезпечити посилення відповідальності органів місцевого самоврядування у вирішенні питань територіального розвитку. З цією метою державні органи повинні перейти від відносно незалежних технологій адміністрування до публічного та електронного управління земельними ресурсами, де взаємодія між різними ієрархічними рівнями управління буде взаємно узгодженою.

Враховуючи означені вище фактори, створення Інформаційно-аналітичної системи *"Землі територіальної громади"* на місцевому рівні може стати ефективним інструментом, що дозволить суб'єктам управління земельними ресурсами планувати та контролювати використання земельних ресурсів, призведе до якісно нових змін для територіальних громад. Локальна управлінська інформаційна система *"Землі територіальної громади"* збирає, зберігає, обробляє та передає всі дані щодо земельних ділянок у межах юрисдикції громади, допомагає чітко визначати та планувати діяльність органів місцевого самоврядування в сфері управління земельними ресурсами, використовувати правові засоби стимулювання для ефективного використання земельних ділянок, сприяє обміну інформацією та взаємодії з органами контролю. Ця система матиме безпосередній вплив на прийняття рішень на місцевому рівні для задоволення потреб територіальної громади. Інформація, отримана з Державного земельного кадастру та автоматизованої системи моніторингу земельних відносин, буде використана в інформаційно-аналітичній системі *"Землі територіальної громади"*.

Становище сьогоdnішнього землекористування в Україні може бути покращене завдяки впровадженню нової системи управління землями в об'єднаних територіальних громадах (ОТГ). Метою цієї системи є запобігання роздрібненню земель та їх спустошенню, а також забезпечення прийняття колективних рішень щодо їх використання з урахуванням потреб всієї громади, а не окремих осіб. При цьому, управлінці-практики в сфері земельних ресурсів повинні бути стратегічно орієнтовані на розвиток територіальних громад, відповідно до керівних принципів та приписів Стратегії, Концепції та Програм, прийнятих як на загальнодержавному, так і на регіональному та місцевому рівнях. Завдання держави, бізнесу та громадян полягає у спільних діях для досягнення позитивних результатів в розвитку територіальних громад.

Позитивною новиною є те, що влада нарешті почула місцеве керівництво та виробників і розпочала спільну роботу, щодо формування законодавчої бази регулювання земельних відносин. Це дозволить громадам висловити свої зауваження та надати пропозиції відносно змін у сфері земельних відносин.

Щоб підвищити ефективність діяльності об'єднаних громад в сфері земельних відносин, необхідно опрацювати можливі шляхи та дотримуватися відповідних інтересів мешканців громад. Також потрібно розробити реальні заходи для ефективного використання земельних ресурсів, що сприятиме підвищенню спроможності об'єднаних громад.



Умови децентралізації влади відкривають нові можливості для ефективного управління земельними ресурсами ОТГ, проте ці питання ще потребують глибокого вивчення. За результатами недавньої реформи місцевого самоврядування територіальним громадам було передано у власність більше 1,5 млн га сільськогосподарських угідь. Ці площі повинні надаватися в оренду сільськогосподарським роботодавцям, включаючи новостворені і діючі фермерські господарства та інші середньотоварні агроформування. У майбутньому можна буде розглянути питання передачі цих земель у постійне користування (до 50 років) або у власність, зокрема з метою стимулювання фермерського і кооперативного руху та збільшення кількості робочих місць у сільській місцевості. Важливо зазначити, що забезпечення стабільної та продуктивної роботи в аграрному секторі залежить від розумного та ефективного використання земельних ресурсів, включаючи управління земельними відносинами та орендою землі. Це не тільки допоможе забезпечити стабільний дохід для сільських родин та місцевих громад, але й сприятиме створенню нових робочих місць та розвитку економіки в цілому.

На сучасному етапі, особливо в умовах воєнного стану, пріоритетами в управлінні земельними активами територіальних громад є швидке залучення сільськогосподарських земель до виробництва та проведення посівної кампанії.

На даному етапі, власники земельних ділянок та організатори земельних торгів зобов'язані дотримуватись наступних правил: проводити земельні торги щодо передачі в оренду с/г земель, продажу земель не с/г призначення, тобто проводити аукціони на загальних підставах, які діяли до введення воєнного стану; очікувати завершення строку дії договорів оренди, які були укладені без проведення електронних торгів; після закінчення строку дії договору, який був укладений без проведення торгів, проводити земельний аукціон щодо цієї земельної ділянки в Прозорро. Орендар, з яким було укладено договір оренди раніше, може взяти участь в аукціоні та знову орендувати цю земельну ділянку через аукціон.

Організація земельних аукціонів, особливо щодо набуття прав на оренду землі, є новим явищем у нашій країні. Головна мета використання конкурентних принципів під час проведення земельних торгів - визначення переможця за допомогою електронної торгової системи, яка пропонує продавцеві найкращі умови. Такий підхід з боку держави дозволяє забезпечити дотримання прав та законних інтересів обох сторін земельної угоди, а також запобігти корупції.

До вересня 2022 року був установлений мораторій на проведення торгів з метою набуття оренди, емфітевзису та суперфіцію сільськогосподарських земель, що знаходилися у державній та комунальній власності. Наразі механізми проведення земельних торгів частково відновлено.

Завдяки головній регуляторній ролі держави на ринку землі, останній виступає як "державно-комерційна" структура. Регулювання ринково-правових відносин здійснюється шляхом розробки та впровадження правових норм, які регулюють взаємовідносини між суб'єктами ринку. Але такий підхід неможливий без впровадження жорстких заходів з метою контролю за ринком землі, його розвитком та функціонуванням.



Для забезпечення прозорості та ефективності управління земельними ресурсами, обов'язково проводяться земельні торги для земельних ділянок, які є комунальною або державною власністю. Громадяни повинні бути інформовані про майбутні продажі таких ділянок в першу чергу. Відповідальність за оприлюднення цієї інформації несуть відповідні органи виконавчої влади та місцевого самоврядування. Цей крок є важливим для розвитку земельних відносин і вигідним для держави, об'єднаних територіальних громад та власників земельних ділянок. Продаж ділянок через електронний аукціон дає можливість отримати реальну ринкову вартість землі. Земельні реформи та децентралізація, в тому числі розпорядження земельними ресурсами через електронні аукціони, є важливими антикорупційними складовими. Прозорість продажу прав на землю є невід'ємною складовою ефективного управління земельними ресурсами. Використання конкурентних принципів при реалізації земельних угод дає змогу передавати право власності на земельну ділянку максимально вигідно, з дотриманням принципів законності та прозорості.

Висновки.

Ринок землі є одним із пріоритетних ринків в Україні, оскільки земля є унікальним товаром, він тільки починає розвиватися, а принципи державного регулювання ринку землі покликані забезпечити його сталий розвиток та функціонування. Щодо результатів першого року функціонування ринку земельних ресурсів в Україні, вони є дуже успішними і важливими. Ринок землі вивів максимально з тіні все, що можливо, і земельна реформа працює без корупції. Один із важливих висновків полягає в тому, що управління земельними ресурсами потребує змін від домінування технологій використання землі та державного управління до активної взаємодії та погоджень між усіма зацікавленими сторонами. З врахуванням важливості ефективного використання земель для сільськогосподарських потреб, необхідно зазначити, що досвід країн ЄС демонструє, що це можливо завдяки правовим актам та економічним методам. Вільний ринок не означає нерегульований ринок, і тому важливо забезпечити належне правове регулювання земельного ринку в Україні. З огляду на недостатню розробку правових основ обігу землі в Україні, доцільним є врахувати європейську практику правового регулювання ринку земель.

Література:

1. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану» № 2247-IX від 12.05.2022 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2247-20#Text>;
2. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин» №1423-IX від 28.04.2021 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20/ed20210428#Text>;
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі заходи щодо прискорення реформ у сфері земельних відносин» від 16.11.2020 року №1113 зі змінами від 27.10.2021 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу:



<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1113-2020-%D0%BF#Text>;

4. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель» №711-IX від 17.06.2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/711-20/ed20200617#Text>;

5. Постанова Кабінету міністрів України «Про затвердження національної економічної стратегії на період до 2030 року» №179 від 03.03.2021 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npras/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>;

6. Моніторинг реформи місцевого самоврядування та територіальної організації влади Міністерством розвитку громад та територій України станом на 10.01.2022 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/800/10.01.2022.pdf>;

7. Закон України "Про адміністративну процедуру" від 17.02.2022 р. № 2073-IX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2073-20#Text>.

Abstract. *The work examines the issues of the land market and its functioning in the conditions of decentralization of power in Ukraine, as well as highlights the issues of modern realities of martial law and its impact on aspects of activity, functioning and related problems. Recommendations are provided, taking into account the importance of efficient use of land for agricultural needs, etc.*

Key words: *land market and its functioning, decentralization of power.*

Стаття відправлена: 04.04.2023 р.

© Тітова С.В. Сидоренко С.А



УДК 528.48(075.8)

**GEODESIC OBSERVATIONS OF SUBSIDENCE OF BUILDING
STRUCTURES OF THE STATE SPECIALIZED
"CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT" ENTERPRISES
ГЕОДЕЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРОСІДАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ДЕРЖАВНОГО СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО
ПІДПРИЄМСТВА «ЧОРНОБИЛЬСЬКА АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ»**

Titova S./ Тітова С.В.*c.g.s., as.prof. / к.г.н, доц. PhD on geographical sciences, docent**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**ORCID ID: 0000-0002-9250-805X**Scopus ID: 57219950799***Mordynska A./ Мординська А.І.***student, 4 year, bachelor/студент, 4 курс, бакалавр**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**Taras Shevchenko national university of Kyiv,**ave. Akademika Glushkova, 2a, Kyiv, 03127, Ukraine/**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**просп. Академіка Глушкова, 2а, м. Київ, 03127, Україна*

Анотація. В роботі розглядаються теоретичні основи визначення геодезичними методами просідання будівельних конструкцій державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція», а також обґрунтовуються методичні основи вибору зони для проведення геодезичних спостережень, надається оцінка якості землевпорядних територій із висвітленням питань практичної розробки моніторингу просідання будівельної конструкції нового безпечного конфайменту.

Ключові слова: землеустрій, геодезичні спостереження, земельна ділянка, деформаційні зміщення, будівельна конструкція.

Вступ.

Метою дослідження є проведення геодезичних спостережень просідання будівельних конструкцій Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція», на прикладі нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття». Визначення деформаційних зміщень та просідань є досить спірним питанням, бо в даний час досі невирішені безліч питань земельного характеру, а з початку повномасштабного російського вторгнення, ці питання набули широкої теоретичної точки зору та практичної спрямованості. В процесі їх вирішення особливо актуальним є питання забезпечення високоефективного науково-технічного обґрунтування питань моніторингу за вертикальними і горизонтальними зміщеннями таких інженерних конструкцій як нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», бо цей комплекс знаходиться в досить небезпечному регіоні та має на меті тримати всі небезпечні радіаційні частки в середині, без шкоди для суспільства та навколишнього середовища. Вирішення якого передбачає відновлення якості земельних ресурсів, які були залучені до процесу його експлуатації та відновлення їх стану для збільшення термінів використання. Проведення систематичного моніторингу на основі інженерно-геодезичних спостережень за просіданням будівельних конструкцій на Державному спеціалізованому



підприємстві «Чорнобильська атомна електростанція», на прикладі будівельної конструкції комплексу нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», може одразу знаходити певні деформації, тріщини та осідання споруди для того, щоб якнайшвидше усувати їх та в майбутньому на період експлуатації - це не викликало обвалів, зсувів та просідання землі під його фундаментом, через велику вагу та розміри даної конструкції, та в далекому майбутньому не призвело до другої масштабної катастрофи на підприємстві. Бо як відомо, чим швидше була знайдена проблема, то тим менше вона потребує витрат сили, ресурсів та часу для вирішення.

Основний текст.

Проблеми проведення інструментального інженерно – геодезичного моніторингу висвітлюються в наукових працях вітчизняних фахівців зокрема Смоля К., Волошина П., Дзуліта П., Віват А., Ісаєва О., Барана П. та інших.[2]

Так, Смолий К. у статті «Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд» оглядає класичні та більш сучасні методи дослідження деформацій.[3] А також, у відомій публікації «Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова» П. Волошина, наведено результати проведення моніторингу деформацій земної поверхні за даними високоточного нівелювання. [4] У публікаціях «Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements» [5] та «A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction» [6] науковців та дослідників «Львівської політехніки» основну увагу було приділено підвищенню точності вимірювання деформацій за допомогою електронних та роботизованих тахеометрів. А вченими кафедри інженерної геодезії КНУБА в періодичному виданні – «Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА» [7] розглянуто саме види методів моніторингу горизонтальних та вертикальних переміщень та їх вимірювання сучасними геодезичними приладами. Застосування більш класичних методів моніторингу наведено в роботі «Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта «Укриття» на Чорнобильській АЕС» під керівництвом Барана П.І. [8] Кореляція дистанційних датчиків при проведенні моніторингу та використанні роботизованих тахеометрів дозволяє отримувати інформацію дистанційно в режимі online, що розглядає польський вчений Malesa A.M. в роботі «Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique». [9] Моніторингом деформацій зсувних процесів ґрунтових масивів займаються також і зарубіжні науковці, а саме Devendra Kumar Yadav індійський вчений статті «A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT» [10], де виконання роботи геодезичними приладами доповнює робота інклінометра, за його дослідженням така комбінація дає значно більше інформації. На державному спеціалізованому підприємстві «Чорнобильська атомна електростанція», дослідження проводилися безпосередньо працівниками, ще до зведення нового безпечного конфайменту, для проведення геодезичних робіт та введення в експлуатацію об'єкта «Укриття» над четвертим блоком у 2006 році, які лягли в основу «Концептуальних засад організації інженерно-



геодезичних робіт при будівництві та експлуатації нового безпечного конфайменту об'єкта "Укриття" ЧАЕС» Баран, П.І. ; Сушко, В.Г. ; Чорнокінь, В.Я., [11, 78-79 с.] в даній статті наведено теоретичні дослідження похибок формоутворення металевої кругової арки нового безпечного конфайменту над об'єктом «Укриття» ЧАЕС, а також проведення дослідження та визначення методів врахування температурної деформації арки, аналіз похибок виготовлення та збирання блоків і секцій арки в єдину будівельну конструкцію, розрахунок допустимих похибок для геодезичного контролю збирання частин арки, необхідна величина точності для побудови головної планової та висотної геодезичної мережі та особисті пропозиції дослідників з організації спостережень за деформаціями споруди.

Новий безпечний конфаймент – це багатофункціональний комплекс для перетворювання об'єкта "Укриття" в екологічно безпечну систему (рисунок 1).



Рисунок 1 - Загальний вигляд комплексу нового безпечного конфайменту Чорнобильської АЕС

Джерело: [1]

Роботи з будівництва даного об'єкта були розпочаті в жовтні 2007 року, а вже в листопаді 2017 року закінчені і новий безпечний конфаймент введений в дослідно-промислову експлуатацію спостережувального пункту NOVARKA. Цей будівельний комплекс складається з 19 підструктур, включаючи основну: захисна споруда у вигляді арки із спеціальною подвійною обшивкою, а також особливі фундаменти, західну і східну торцеві стіни, нестандартні мостові крани, багатофункціональну систему вентиляції, технологічний комплекс з ділянками дезактивації, фрагментації і упаковки радіоактивних матеріалів, саншлюзи, майстерні, резервне електроживлення, системи протипожежного захисту, водоочисні споруди, радіаційний контроль, систему сейсмічного контролю і контроль стану будівельних конструкцій, систему зв'язку і промислового телебачення, засоби мобільного зв'язку та іншу інтегровану систему управління та інші допоміжні системи і технологічні приміщення.



Під терміном деформація мають на увазі змінення форми об'єкта, за яким ведуться спостереження. У практиці інженерів-геодезистів прийнято розглядати деформацію як зміну положень об'єкта щодо його початкового значення.

Деформації інженерних споруд. Причини виникнення деформацій частіше поділяють за походженням на деформації природного походження і в результаті людської діяльності. Деформація – це спотворення або зміни форми і розмірів об'єкту під дією зовнішніх впливів. Якщо об'єкт дослідження зазнає певних зсувних рухів, то відповідно головні контури змінюють своє положення в просторі, а відповідно змінюються його координати. Деформаційні процеси зазвичай проявляються - відхиленням від вертикалі (зміна планового положення – нахил, переміщення) та відхилення площини по горизонталі (зміна висотного положення, вертикальні переміщення – осідання, підйом, прогин). Для виявлення горизонтальних переміщень інженерних споруд визначають планові координати деформаційних марок та порівнюють їх з координатами в нульовому циклі вимірювання, тоді різниця координат й буде переміщенням. А вже для того, щоб виявити відхилення по вертикалі проводять вимірювання відміток осадкових марок та відповідно зрівнюють з нульовим циклом, різниця даних вважається вертикальним переміщенням.

Деформації ґрунтових масивів. Ґрунтовий масив – це територія зі складними формами рельєфу, які можуть піддаватися певним руйнуванням та обвалам під дією гравітаційних сил, гідродинамічного тиску, додаткових природних або техногенних навантажень (сейсмічних, навантажень схилу (забудова, яка там знаходиться) тощо). Моніторингом деформацій ґрунтових масивів називають комплекс інструментальних спостережень з метою виявлення зсувних процесів. Моніторинг деформацій здійснюють класичними способами (нівелюванням, лінійно-кутовим вимірюванням) та сучасними (лазерним скануванням, GNSS - моніторинг, роботизованими тахеометрами, датчиками нахилу тощо) та інструментальними інженерно-геодезичними методами з використанням деформаційних марок (аналогічно інженерним спорудам), або за допомогою інклінометрії. Якщо говорити, за актуальність моніторингу зсувних процесів ґрунтових масивів, то вона обґрунтовується збереженням та захистом територій від надзвичайних ситуацій.[2]

Геодезичному моніторингу, підлягають основи споруд, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди, споруди інженерного захисту територій, території та об'єкти інфраструктури, що їх оточують. Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічним супроводом і є складовою частиною основного моніторингу об'єкту будівництва. Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами (рисунок 2) та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами. Проект та програму для геодезичного моніторингу розроблюють відповідно до його технічного завдання.

Склад геодезичних робіт при вимірюванні зсувів, осідань і деформацій, то він має наступний вигляд (рисунок 3).



Рисунок 2 - Графічна модель методів геодезичного моніторингу

Авторська розробка



Рисунок 3 - Графічна модель складу геодезичних робіт

Авторська розробка

Об'єктами для контролю, спостережень і технічного обслуговування будівельних конструкцій нового безпечного конфайменту є:

- фундаменти сервісної зони в період стаціонарного положення Арки на постійних опорах для ферм-арок;
- несучі конструкції Арки;
- західна і східна торцева стіни Арки;
- огорожувальні конструкції Арки (зовнішні, внутрішні обшивки Арки і західної і східної торцевих стін);
- технологічної будівлі (ТЕБ), будівлі електротехнічних пристроїв (БЕП), шлюза доступу пожежних підрозділів (ШДПП), насосної станції протипожежного водопостачання (НСПВ) та залізобетонні торцеві стіни Арки.



Контроль планово-висотного положення північного і південного фундаментів сервісної зони нового безпечного конфайменту виконується шляхом спостереження за контрольними марками, які встановлюються на конструкціях зовнішньої стіни галереї шарнірних опор (ГШО), які спираються безпосередньо на ростверки і пов'язані з ними конструктивно. Марки встановлюють з кроком близько 20 м., при цьому враховується розташування температурних швів. В цьому випадку установка контрольних марок виконується по обидва боки від нього. Всього передбачається встановити 25 контрольних марок: 12 марок на північному фундаменті (марки N 10 - N 21) і 13 контрольних марок на південному фундаменті Арки (марки S 510 - S 522). Таким чином, для геодезичних спостережень за осіданнями і деформаціями будівель і споруджень нового безпечного конфайменту встановлено 85 контрольних марок, у тому числі 25 призм-відбивачів. Висотне положення осідальних марок визначається нівелюванням II розряду (рисунок 4).

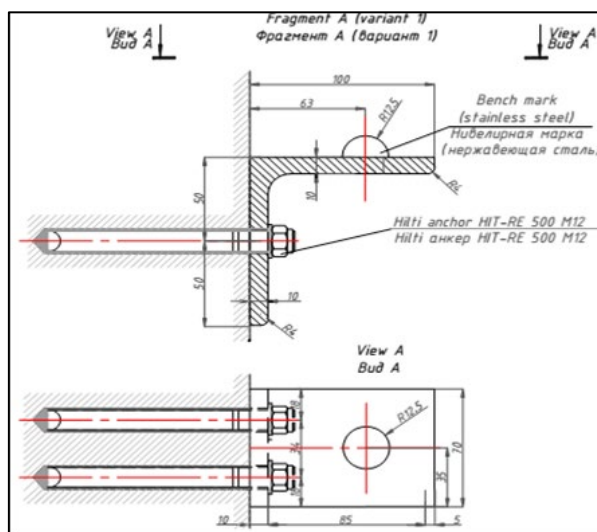


Рисунок 4 - Конструкція осідальної деформаційної марки

Джерело: [12]

Для геодезичного контролю планово-висотного положення несучих конструкцій Арки зі східної і західної сторін зовнішніх частин покрівлі Арки встановлюються відбиваючі призми в точках 7, 10, 17, 18, 26, 29 арок A_0 і N_0 (всього 12 шт., по шість - з кожної торцевої сторони Арки).

Планово-висотне положення призм визначається лінійно-кутовими засічками з пунктів геодезичної мережі нового безпечного конфайменту високоточним електронним тахеометром, схема установки (рисунок 5).

Проведення моніторингу просідання будівельних конструкцій були представлені дані за чотири цикли, перший з яких був виміряний в серпні 2018 (він вважається початковим), та всі інші виміряні починаючи з грудня 2021 року, закінчуючи листопадом 2022 року. Під час виконання кожного циклу здійснюють всі лінійно-кутові вимірювання по визначенню просторового положення контрольних марок за програмою тунельної тріангуляції II-Т розряду. При цьому половина прийомів спостережень виконується в ранкові години, а друга половина прийомів – у вечірні години. Вимірювання горизонтальних кутів



проводиться способом кругових прийомів. Висотне положення контрольних марок закладених в будівлях нового безпечного конфайменту визначене геометричним нівелюванням II класу. При цьому прямий хід проводиться у першій половині дня, а зворотний – у другій. Нівелювання контрольних осадових марок виконується за програмою геометричного нівелювання II-го класу. У разі недопустимих відхилень планових або висотних координат марок порівняно з попередніми циклами проводиться серія повторних спостережень для підтвердження або спростування отриманих результатів. Також, одну з головних ролей відіграє вимірювання температури під час виконання спостережень, це виконують для виключення періодичної складової і найбільш коректного виділення температурної складової в деформаційній динаміці контрольних марок, де для усіх марок повинні будуватися чотири математичні моделі. Кожна з моделей описує деформаційні еволюції даної контрольної марки "приблизно" в одних і тих самих температурних умовах. [12]

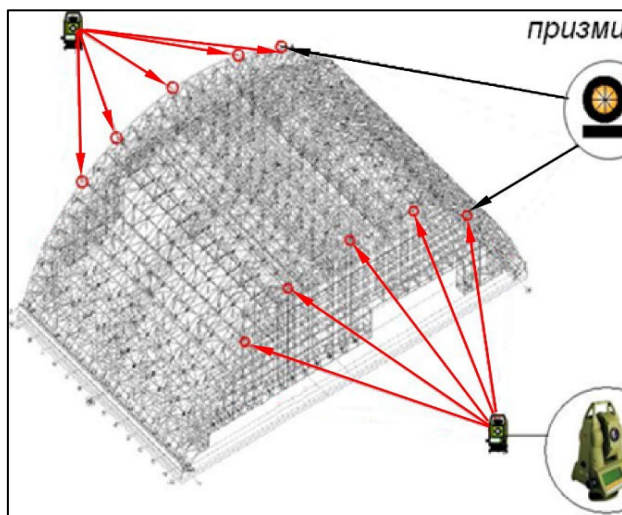


Рисунок 5 - Схема установки призм-відбивачів на конструкції нового безпечного конфайменту та принцип визначення планово-висотного положення призм

Джерело: [12]

Тобто математичні моделі для опису поведінки деформацій контрольних марок будуються відповідно до періодичності їх геодезичних спостережень. Такий підхід дозволяє спростити криві апроксимуючі експериментальні дані. Моніторинг за динамікою зміни вертикальних переміщень контрольних марок між трьома циклами досліджень встановлених на будівлі насосної станції пожежного водопроводу (НСПВ), будівлі електричних пристроїв (ЗЕУ) та технологічної будівлі (ТЕЗ) (рисунки 6,7,8).

За даними графіками динаміки вертикальних переміщень контрольних марок на різних частинах будівельної конструкції нового безпечного конфайменту, можна побачити, що всі вони мають хоч і незначні, але різного виду та складності деформації, що говорить про просідання деяких частин будівельної конструкції, але які знаходяться у межах встановленої норми.

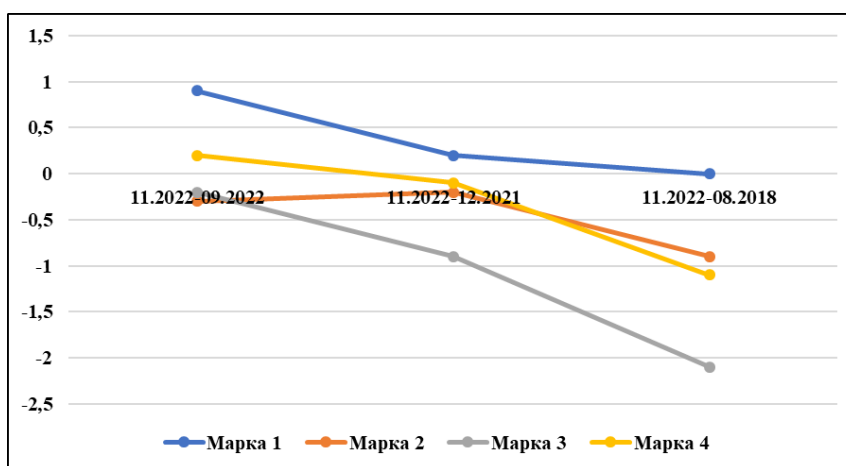


Рисунок 6 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі НСПВ

Авторська розробка

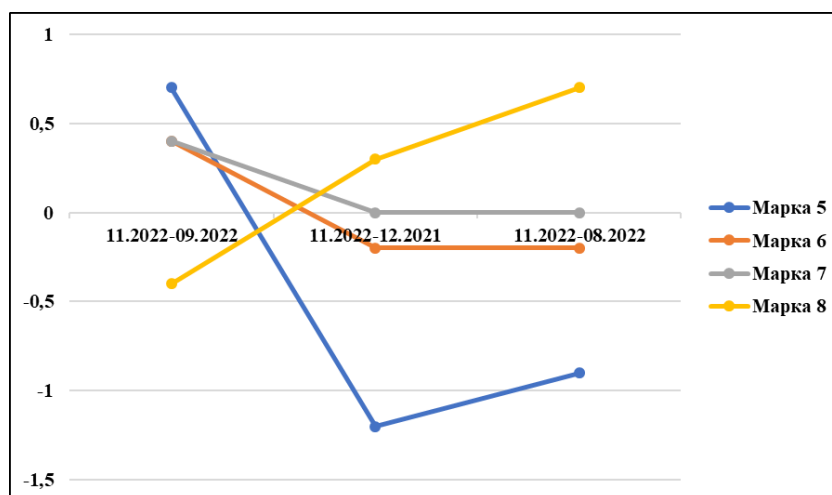


Рисунок 7 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі ЗЕУ

Авторська розробка

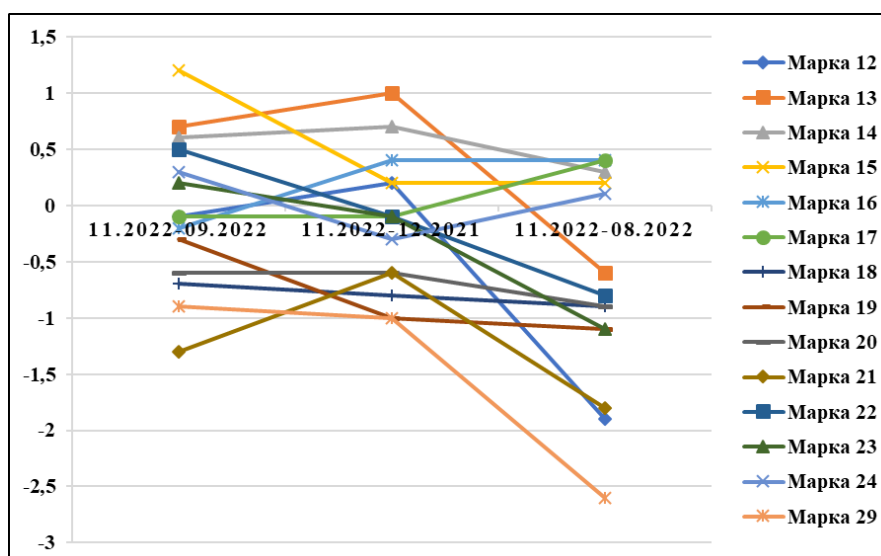


Рисунок 8 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі ТЕЗ

Авторська розробка



Висновки.

Визначено причини виникнення деформаційних зміщень та просідання будівельної конструкції нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», які полягають в тому, що дана конструкція має велику масу та об'єм, а її фундамент знаходиться на так званому плавучому ґрунті – мергелі, який складається переважно з глини та вапняку, тому він не дуже підходить для зведення габаритних споруд, бо не має достатньої міцності, щоб витримати великі навантаження та не є стійким до води. Проаналізовано методи геодезичного моніторингу, які допомагають виявити причини просідань та деформацій. Найбільш точні з яких – нівелювання, автоматизовані геодезичні комплекси та лінійно-кутовий метод. Саме ці методи надають можливість визначити точність та стійкість будівельних конструкцій та забезпечити безпечність їх використання. Описано положення та кількість геодезичних марок, що контролюються на конструкції Арки об'єкта «Укриття», які розташовані на фундаменті технологічної будівлі (ТЕБ), будівлі електротехнічних пристроїв (БЕП), шлюза доступу пожежних підрозділів (ШДПП), насосної станції протипожежного водопостачання (НСПВ) та західних і східних торцевих стінках Арки у кількості 85 одиниць, 25 з яких це призми-відбивачі. Проведено моніторинг за просіданням та деформаціями будівельної конструкції Арки нового безпечного конфайменту, за яким можна визначити динаміку деформаційних зміщень та просідань в період з серпня 2018 року (початок проведення геодезичних спостережень) та до листопада 2022 (кінець проведення), за який даний об'єкт майже не зазнає значних деформаційних зміщень або просідань конструкції (вони знаходяться в межах допустимої норми).

Література:

1. НБК для ЧАЕС вартістю 1,5 млрд євро пущено в експлуатацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mind.ua/news/20199560-nbk-dlya-chaes-varistyu-15-mlrd-evro-pushcheno-v-ekspluatatsiyu>
2. Яковенко М., Нестеренко О. Аналіз методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів / Яковенко М.С., Нестеренко О.В. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Зб. наук. пр. – Київ: Вид-во КНУБА, – 2020. – Вип. 56. - с. 345-363.
3. Смолій К. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К.Б. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», – 2015. – №1(29). – С.87-89.
4. Волошин П. Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова / П. Волошин // Вісник Львівського університету. Серія : Географічна. - 2013. - Вип. 41. - С. 83-90.
5. Dvulit P., Dvulit Z., Sidorov I. Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements – 2019. - с. 12-19.
6. Vivat A., Tserklevych A., Smirnova O. A study of devices used for geometric



parameter measurement of engineering building construction – ISTCGCAP, – 2018. - Volume 87, Number 87 – с. 21-29.

7. Ісаєв О.П., Шульц Р.В., Білоус М.В. Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / Ісаєв О.П., Шульц Р.В., Білоус М.В. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник, – 2013. - №47. – с 265-274.

8. Баран П.І. Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта “Укриття” на Чорнобильській АЕС / П.І. Баран, В.Г. Сушко, О.В. Холодюк, В.Я. Чорнокін // Вісник геодезії та картографії. – 1999. – № 1. – с. 18–23.

9. Malesa A.M. Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique - EDP Sciences, - 2010. – с. 1-8.

10. Devendra Kumar Yadav. Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT - IET Wirel. Sens. Syst., - 2019. - Vol. 9 Iss. 4, - p. 167-180.

11. Концептуальні засади організації інженерно-геодезичних робіт при будівництві та експлуатації нового безпечного конфайменту об'єкта “Укриття” ЧАЕС / П.І. Баран, В.Г. Сушко, В.Я. Чорнокін // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля: наук.-техн. зб. — 2006. — Вип. 5. — С. 66-79.

12. Технічний звіт по геодезичним спостереженням за осіданнями і деформаціями НБК Чорнобильської АЕС цикл № 3 (09.2022 р.).

Abstract. *The paper examines the theoretical basis for determining the subsidence of construction structures of the state-owned specialized enterprise "Chernobyl Nuclear Power Plant" by geodetic methods, as well as substantiates the methodological basis for choosing a zone for conducting geodetic observations, provides an assessment of the quality of land management territories, highlighting the issues of practical development of monitoring the subsidence of a building structure of a new safe confinement.*

Key words: *land management, geodetic observations, land plot, deformation displacements, building structure.*

Стаття відправлена: 12.05.2023 р.

© Тітова С.В. Мординська А.І.



УДК 72.03

**PROBLEMS OF FORMATION OF SPACE IN THE CREATIVITY OF
ARCHITECT HANS SHARUN****ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРУ В ТВОРЧОСТІ АРХІТЕКТОРА
ГАНСА ШАРУНА****Taranenko S.V. / Тараненко С.В.***assistant / асистент*

ORCID: 0009-0008-9553-7148

Borodai A.S. / Бородай А.С.*phD in Architecture / к.арх. асп. проф.*

ORCID: 0000-0003-4221-0332

Borodai S.P. / Бородай С.П.*senior lecturer /ст. викладач.*

ORCID: 0000-0003-1281-7766

Borodai Ya.O. / Бородай Я.О.*senior lecturer /ст. викладач.*

ORCID: 0000-0003-0048-815X

*Sumy National Agrarian University, Sumy, Kondratieva 160, 40026**Сумський національний аграрний університет, Суми, Г.Кондратьєва 160, 40026*

Анотація. У даній статті розглянуто основні етапи становлення та творчого шляху німецького архітектора Ганса Шаруна, яскравого представника органічного напрямку в архітектурі. В дослідженні акцентування уваги зосереджене на особливостях проектування форми його архітектурних об'єктів, виявлено та проаналізовано принципи, яких він дотримувався при організації внутрішнього простору будівель і споруд. Також наведено приклади та охарактеризовано деякі найвизначніші об'єкти, проектуванням яких займався митець: «Будинок для холостяків», Берлінська філармонія та планування поселення «Сіменштадт». Розкрито поняття «серединного простору» - прийому, що використовував у власних проєктах Ганс Шарун. Узагальнено та зроблено висновки про результати його творчого шляху.

Ключові слова: Ганс Шарун, простір, форма, органічна архітектура

**«Простір створюється людиною, яка
в ньому проживає і наповнює змістом»**

Ганс Шарун

Вступ.

Бернгард Ганс Генрі Шарун - без перебільшення найсвоєрідніший і один із найвідоміших зодчих Німеччини. Саме у творчості цього архітектора найбільш яскраво видно особливості органічного напрямку архітектури його батьківщини. Він творив, проєктуючи об'єкти на вістрі новітньої архітектурної течії, яка не тільки привертала увагу світової преси, але і була однією з найбільш суперечливих. Як би там не було, творчість Шаруна швидко здобула міжнародну зацікавленість, знайшла своїх послідовників і критиків [1].

Основний текст.

Формі споглядання у творчості архітектора Ганса Шаруна завжди відводилася першочергова роль. З 1919 року після вступу в гурток «Скляний ланцюг» під керівництвом Бруно Таута він починає раннє експериментування з формами різних будівель і створює їх фантастичні замальовки. Тоді на нього



справляють істотний вплив роботи американського художника Лайонела Файнінгера, який малював архітектурні «прозори» пейзажі, що містили в собі складні незамкнуті простори.

В середині 1920-х років з поліпшенням соціальної та економічної ситуації хвиля експресіонізму різко йде на спад, поступаючись місцем новому руху творчості під назвою раціоналізм. У цей час Ганс Шарун, покинувши гурток «Скляний ланцюг», вступає до нового товариства «Кільце», організованого архітектором Гуго Харінгом. Теорія «нової будівлі», створена Харінгом, надихнула Шаруна на новий архітектурний напрям, який повністю відходив від сформованих раніше схем і став ґрунтуватися на унікальності й функціональності, а також на зв'язку з народною архітектурою [1].

Шарун і Харінг разом впровадили нову теорію архітектури, яка прагнула кинути виклик панівним формальним методикам проектування форм, які ґрунтувалися на естетичних, стилістичних і пропорційних канонах.

У поняття «форма» починає входити її зв'язок з дією, з процесами, які повинні відбуватися в даній формі на прикладі органічного світу (гніздо птахів, нора тварин тощо). Гуго Харінг вважав, що створення нової архітектури має бути позбавлене холодної розсудливості, привнесеної геометричними формами, воно повинно бути подібним інстинктивній діяльності представників світу природи. Все це входить в поняття «органічної архітектури», що будується за тими ж законами, що і в природі.

Саме у цей період творчості в роботах Ганса Шаруна починає вироблятися головний композиційний прийом. Просторову структуру будь-якого об'єму він прагне komponувати навколо відносно великого «серединного простору» («простору середини»), яке ним наділяється особливим функціональним і емоційним значенням. Наприклад, при зведенні «Будинку для холостяків» у м. Вроцлав (Бреслау) 1929 року (рисунок 1) роль «серединного простору» виконував великий хол, що з'єднує два крила будівлі. Сам житловий будинок в плані є криволінійної форми. Зовнішні об'єми будівель Шаруна відображають внутрішню просторову структуру.

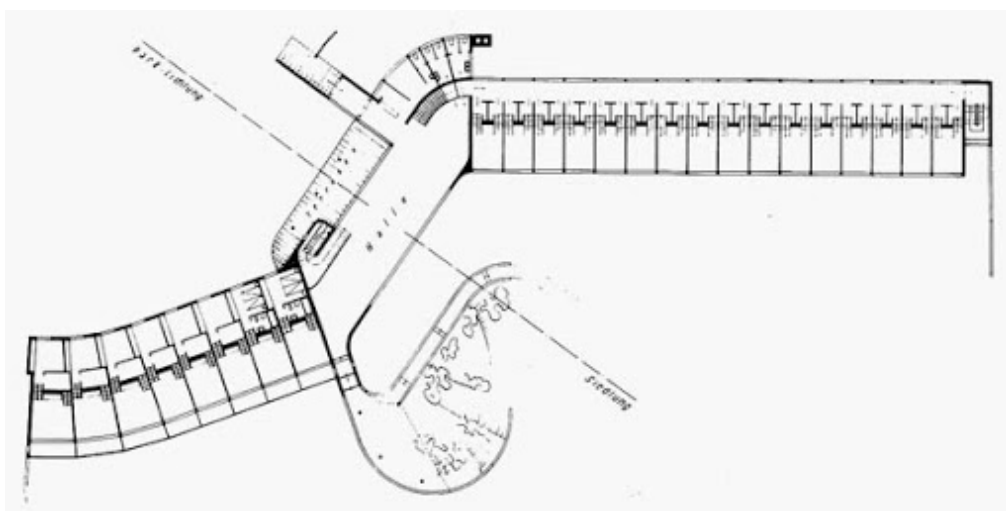


Рисунок 1 - «Будинок для холостяків» у м.Вроцлав (Бреслау), Польща (1929). Арх-р: Ганс Шарун



У поселенні «Сіменсштатт» (рисунок 2) роль «серединного простору» грає сад, який оточений з двох сторін блокованими корпусами. Житлові блоки орієнтовані по осі «північ-південь» для того, щоб збільшити доступ денного світла в квартири. У цьому проєкті орієнтація кожної будівлі в межах кварталу визначалася з точки зору її доступу до світла, вентиляції та зовнішнім виглядом [2].

Архітектура Шаруна пропонує набагато більше, як в своєму прагматичному підході, так і у формальній пластичності, що було б корисно для ландшафтного урбанізму, спрямованого на те, аби сформулювати конкретно розташовані і складні відносини між міськими, екологічними і соціальними умовами. Британський архітектор й історик Пітер Бланделл у своїй монографії про Ганса Шаруна писав: «Блоки приймають свою форму від квартир, але не навпаки. А самі квартири приймають свою форму від тих якостей, які Шарун вкладає в своє творіння» [3].



Рисунок 2 - Поселення «Сіменсштатт» у м.Берлін, Німеччина (1929-1934 рр.). Арх-ри: Ганс Шарун, Вальтер Гропіус

У післявоєнний період, який стає для архітектора найактивнішим, Майстер будує дорогі житлові будинки «Ромео» і «Джув'єтта», «Салюте», «Рауе капф». Але все ж в основному Шарун зосереджує свою увагу на роботі з простором в концертно-театральних будівлях. Адже особливо сильним впливом може володіти тільки «простір муз», тобто такий, сила впливу якого підкріплюється духовним, творчим процесом, які відбуваються в ньому. Даний «простір муз» властивий таким будівлям, як театр і концертна зала.

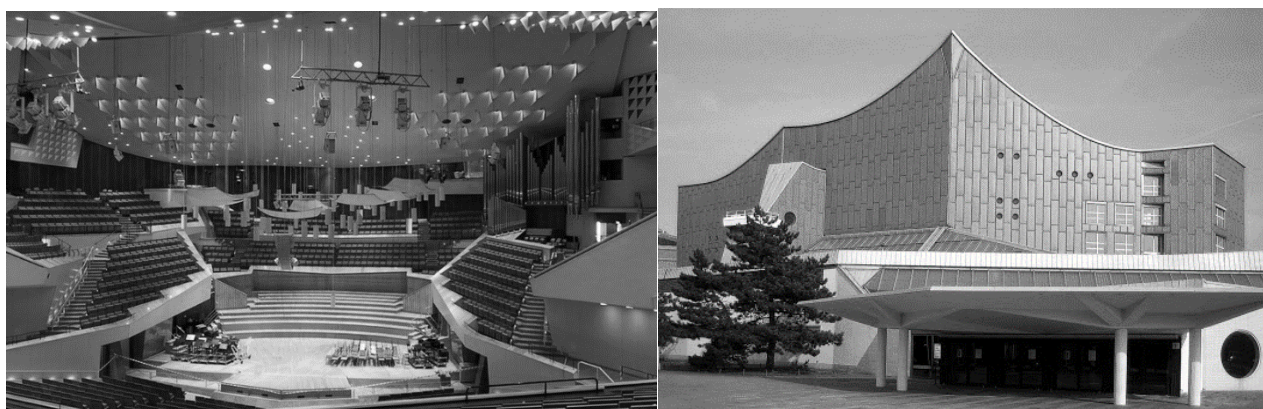
Ганс Шарун активно розвиває тему нового театрального простору - театру майбутнього, який виник з ідей відкритого грецького театру і театру Шекспіра. У якості яскравого прикладу можна навести нездійснений проєкт театру в Мангаймі (1953 р.), у якому архітектор заклав нові прийоми проведення вистави.

Шарун ускладнює глядацький і сценічний простір, завдяки зміщенню осей композиції і введенню великої кількості точок огляду для глядачів. У плані залу закладена центральна вісь, але між правою і лівою половиною залу симетрія практично відсутня, в результаті чого глядачі сидять під різними кутами до



сцени. Виникає таке відчуття, що простір чи то централізовано, чи то розділено на дві половини. Таким чином, завдяки новаторському просторовому рішенню зали в глядача створюється ефект присутності, він втягується в театральне дійство і сам стає центром композиції.

У концертній залі Берлінської філармонії (рисунок 3) Гансу Шаруну вдалося створити по-справжньому унікальний музичний простір, який демонструє зв'язок з людиною і музикою. У даній будівлі цей простір створено круговим розміщенням глядачів навколо оркестру, що було зроблено для того, аби слухачі були якомога більш активними, і сам концерт залишив свій слід в душі кожного присутнього [4]. Роль «серединного простору» тут відведена концертному подіуму, навколо якого розташовується глядацька аудиторія, яка має унікальну можливість поспостерігати за емоційною реакцією інших глядачів на те, що відбувається.



**Рисунок 3 - Берлінська філармонія в м.Берлін, Німеччина (1960-1963 рр.).
Арх-р: Ганс Шарун**

Принцип «кругового звуку і музики в центрі» можна вважати найбільш важливим в просторовій організації форми залу для глядачів. Шарун так описував філармонію: «Ідея музики як центру уваги була основною умовою з самого початку роботи. Ця головна думка не тільки дала форму залі нової Берлінської філармонії, але також забезпечила безперечне її верховенство над усім планом будівлі» [4]. Берлінська філармонія тісно пов'язана з міським середовищем і, будучи домінантою в її структурі, втілює ідею спільності культури містян.

Висновки.

Отож, Шарун виробив характерні для його творів прийоми складання композиції. Він виділяв досить великий «серединний простір», що мав особливе значення з функціональної та емоційної точки зору. Навколо цього «простору середини» архітектор вибудовував структуру всього іншого об'єму.

Ганс Шарун став одним з піонерів органічної архітектури. Він відмовляється від традиційних форм, його манера проектування відходить від геометричних планів і об'ємів, підвищення функціональності досягалося і за рахунок спрощення, і за рахунок ускладнення.

Будинки Майстра прекрасно втілюють ідеї естетичного, функціонального і



об'ємного рішення. Експериментування архітектора з формою і простором привели до значних змін у сфері проєктування будівель різного. Концепція «серединного простору» не тільки змінила планувальну організацію форми будівлі, але й зробила її складнішою та виразнішою. Надалі це послужило прикладом для майбутніх поколінь архітекторів.

Література:

1. Peter Blundell Jones: Hans Scharoun. London, 1995 (англ.) .
2. Christoph Bürkle: Hans Scharoun und die Moderne. Ideen, Projekte, Theaterbau. Frankfurt, 1986 (нім.)
3. Stadtbaurat Prof. Dr. Dr. h.c. Hans (Bernhard) Scharoun architect [Електронний ресурс] // archinform – режим доступу: <https://www.archinform.net/arch/271.htm>
4. Christina Threuter: «Organisches Bauen» versus «Nationaler Stil». Hans Scharoun und das Scheitern seiner Tätigkeit in der DDR. In: Holger Barth (Hg.): Grammatik sozialistischer Architekturen. Lesarten historischer Städtebauforschung zur DDR. Berlin, 2001, S. 279—292 (нім.)

References:

1. Christina Threuter: «Organisches Bauen» versus «Nationaler Stil». Hans Scharoun und das Scheitern seiner Tätigkeit in der DDR. In: Holger Barth (Hg.): Grammatik sozialistischer Architekturen. Lesarten historischer Städtebauforschung zur DDR. Berlin, 2001, P. 279—292/
2. Christoph Bürkle: Hans Scharoun und die Moderne. Ideen, Projekte, Theaterbau. Frankfurt, 1986/
3. Peter Blundell Jones: Hans Scharoun. London, 1995
4. Stadtbaurat Prof. Dr. Dr. h.c. Hans (Bernhard) Scharoun architect [Electronic resource] // archinform - access mode: <https://www.archinform.net/arch/271.htm>

Abstract. The article describes the role of the architect Hans Scharoun in the development of new architectural directions, in particular organic architecture, in the period 1919-1953. Special attention is focused on the artist's work with forms and space in buildings. The creative influence on Sharun of the American artist Lionel Feininger is mentioned, as well as the collaboration with the architect Hugo Haring. Emphasis is placed on the importance of functionality and connection with nature in Sharun's work, as well as his contribution to the development of a new theater space.

After joining the "Glass Chain" group and under the influence of the artist Lionel Feininger, Sharun begins to experiment with the forms of buildings. In the mid-1920s, having joined the "Ring" society, he develops the theory of organic architecture, which reduces form to its connection with action and processes. Sharun perfects the compositional technique by placing building volumes around a large "middle space" that has functional and emotional significance. His work includes examples such as the Bachelor House in Wroclaw, the unrealized theater project in Meinheim, and the Siemensstadt settlement in Berlin, which reflect this concept.

Sharun is also working on a new theater space, where he complicates the audience and stage space, creating the effect of presence. In the concert hall of the Berlin Philharmonic, it envisions a unique musical space where the audience surrounds the orchestra, promoting the active participation of the listeners in the performance.

Key words: Hans Scharoun, space, form, organic architecture



УДК 330.45-46

ASPECTS OF MULTI-CRITERION SELECTION OF ADMINISTRATIVE DECISIONS

АСПЕКТИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Mormul M. F. / Мормуль М. Ф.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8036-3236

*University of Customs and Finance, Dnipro, Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000**Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Володимира Вернадського 2/4, 49000***Shchytyov D. M. / Щитов Д. М.***c.e.s., as.prof. / к.ек.н.*

ORCID: 0000-0003-4306-8016

*Dnipro Faculty of Management and Business of Kyiv University of Culture,**Dnipro, Mykhailo Hrushevskyi 9, 49000**Дніпровський факультет менеджменту та бізнесу Київського університету культури,**Dnipro, Михайла Грушевського 9, 49000***Shchytyov O. M. / Щитов О. М.***c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1435-2918

*EEC-Lyceum No. 100, Dnipro, Uspenska 1, 49000**НБК-Ліцей № 100, Дніпро, Успенська 1, 49000***Rudyanova T. M. / Рудянова Т. М.***c.ph.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8685-4132

*University of Customs and Finance, Dnipro, Volodymyr Vernadsky 2/4, 49000**Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Володимира Вернадського 2/4, 49000*

Анотація. Розглянуто основні проблеми багатокритеріального вибору управлінських рішень в економічних, управлінських та технічних системах. Приведена практична реалізація багатокритеріального вибору альтернатив для оцінки ефективності роботи підприємств з використанням експертних оцінок.

Ключові слова: векторна оптимізація, багатокритеріальний вибір альтернатив, експертні оцінки.

Вступ.

Економічну безпеку держави забезпечують ефективні управлінські рішення, що приймаються у виробництві, маркетингу, аналізі та аудиті, фінансах, інвестиціях, митній справі, управлінні персоналу а також оцінки ефективності функціонування систем: підприємств, фірм, робітників, техніки тощо. Ефективна діяльність складної соціально-економічної або технічної системи залежить від оптимального вибору багатьох критеріїв (показників). Такі задачі багатокритеріальної оптимізації, в яких необхідно знаходити ефективні управлінські рішення, зустрічаються часто в економіці, управлінні та техніці. І тому важливе значення має розробка моделей, методів та алгоритмів розв'язання векторних задач оптимізації та багатокритеріального вибору альтернатив.

Проблемі вибору управлінських рішень в задачах, що характеризуються кількома критеріями, в останні часи на українському просторі приділяють все більше і більше уваги. Так, у статтях [1, с.23-27], [2, с. 6-17] розглядаються



питання постановки та розв'язання багатокритеріальних задач стосовно об'єктів економічної та фінансової природи, де разом з формальними аналітичними і чисельними методами використовуються також емпіричні методи. У публікації [3, с. 203-205] розглянуто задачі проектування багатокритеріальних систем, у тому числі на об'єктах зв'язку. Багатокритеріальним задачам та методам їх розв'язання присвячені монографії [4], [5], [6], [7]. У публікації [8, с. 51-61] розглянуто інтерактивну процедуру, яка дозволяє розв'язувати неперервні задачі багатокритеріальної оптимізації без необхідності апіорного встановлення серед заданих критеріїв головного. У роботі [9, с. 67-71] розглядаються способи вибору обладнання та деталей на виробництві за допомогою багатокритеріального вибору альтернатив. Автор публікації [10, с. 324-333] застосовує багатокритеріальну оптимізацію до вибору стратегії та напряму розвитку туризму, автор статті [11, с. 41-45] – до підбору та розміщення на підприємстві персоналу, а автори публікації [12, с. 19-29] – для знаходження вірогідного лікування пацієнтів з вродженими вадами серця. У статтях [13, с. 58-64], [14, с. 84-90] приведені загальні питання та методи багатокритеріальної оптимізації, вибору альтернатив та векторна оцінка ефективності роботи систем. У монографії [15, с. 61-73] розглядаються загальні питання та алгоритм векторної оптимізації. Використання експертних оцінок наведено у роботі [16, с. 476-490]. І таке інше.

І все ж можна стверджувати, що проблемі багатокритеріальної оптимізації та вибору альтернатив присвячено недостатньо наукових робіт. У приведених розвідках розглядаються загальні проблеми векторної оптимізації та вибору альтернатив з врахуванням кількох показників, часто використовують дуже формалізований математичний апарат без практичного застосування. Недостатньо розглянуто соціально-економічних задач з врахуванням багатокритеріальності і специфіки їх розв'язання. Крім того, в цих задачах для якісних критеріїв треба використовувати експертні оцінки, що практично не робилось.

Основний текст.

Загальний вигляд задачі багатокритеріальної оптимізації:

$$\begin{aligned} \bar{f}(\bar{X}) = (f_1(\bar{X}), f_2(\bar{X}), \dots, f_n(\bar{X})) \rightarrow \underset{\bar{X} \in D}{opt} \quad npi \quad f_i(\bar{X}) \rightarrow \underset{\bar{X} \in D}{extr}, \quad i = \overline{1, n}; \\ D = \{\bar{X} : g_j(\bar{X}) \geq 0, \quad (j = \overline{1, m})\}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\bar{X}$ – вектор керованих параметрів системи, які змінюються у певних межах і характеризують різні сторони системи; D – множина допустимих розв'язків (варіантів) системи, що задає область змінювання параметрів системи, що оптимізуються; $f_i(\bar{X})$, $(i = \overline{1, n})$ – показники ефективності (критерії якості) системи, n – кількість критеріїв, $extr$ – найкращий (екстремум), тобто максимум або мінімум критерію якості; $\bar{f}(\bar{X})$ – векторний критерій, opt – оптимізаційний оператор, який означає сукупність вимог до системи з усіх критеріїв якості, $g_j(\bar{X}) \geq 0$, $(j = \overline{1, m})$ – обмеження задачі.

Розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації полягає у виборі з



множини допустимих розв'язків D такого розв'язку $\bar{X}^*$, на якому критерії $f_i(\bar{X}^*)$, $(i = \overline{1, n})$ набувають якомога кращих значень. Не змінюючи загальності, критерії будемо максимізувати ($extr = max$), оскільки $\min_{\bar{X} \in D} f_i(\bar{X}) = -\max_{\bar{X} \in D} (-f_i(\bar{X}))$.

Розглянемо приклади задач багатокритеріальної оптимізації: транспортна задача (критерії – вартість, час); розподіл робіт між виконавцями (критерії – час, вартість, продуктивність, якість); планування діяльності фірми (критерії – витрати на рекламу, частка ринку, обсяг продажу); інвестування (критерії – очікуваний дохід, дисперсія доходу); ліквідація наслідків надзвичайної ситуації (критерії соціально-економічного та економіко-фінансового змісту); вибір об'єктів капіталовкладень (соціальні, економічні, технічні критерії підприємств) тощо.

При прийнятті управлінських рішень розглядаються наступні етапи: діагноз проблеми, формулювання обмежень та критеріїв, виявлення альтернатив, оцінка альтернатив, вибір альтернативи. При побудові багатокритеріальних моделей прийняття рішень повинно враховуватись наступне: особа, що приймає рішення (ОПР) структурує та уточнює модель; модель повинна бути логічно несуперечлива, давати можливість використовувати інформацію від ОПР, бути простою і зручною (хоча б не дуже громіздкою) для аналізу і використання ОПР. Критеріями приймають такі показники, що характеризують ступень досягнення поставленої мети; є загальними і вимірними для всіх припустимих рішень; характеризують загальну цінність рішень таким чином, що по ним бажають отримувати найкращі оцінки. Критерії, що застосовуються в задачах багатокритеріальної оптимізації при виборі альтернатив, повинні мати низку властивостей: повноту (критерії мають забезпечувати адекватну оцінку об'єкта експертизи чи ступеня досягнення мети); чіткість (критерії повинні мати зрозуміле для ОПР формулювання, ясний і однозначний зміст); операційність (сприяти прийняттю ефективних рішень, тобто характеризувати основні аспекти ситуації та бути доступними для отримання оцінок для кожного об'єкта по кожному з критеріїв); групування (ОПР зручно працювати з невеликою кількістю критеріїв, якщо критеріїв багато, то їх поділяють на групи); неповторність (критерії не повинні дублюватися); мінімальний розмір (до набору критеріїв включають тільки ті, без яких оцінка ситуації неможлива); вимірність (кожен критерій має допускати можливість кількісної або якісної оцінки). ОПР повинна приймати несуперечливі та транзитивні рішення при порівнянні альтернатив.

Значна роль при розв'язанні багатокритеріальних задач належить оціночним системам, які включають такі складові: критерії, що характеризують об'єкт або мету; оцінку порівняльної важливості критеріїв; шкалу для оцінки проектів по критеріям; формування принципу вибору. Оцінка об'єктів та ступені досягнення мети можуть бути вимірянні тільки за допомогою спеціальних критеріїв, що відповідають даній моделі, як кількісних, так і якісних. Якісні критерії, наприклад: імідж фірми, ступень ризику, конкурентоспроможність, ресурсозбереження, екологічна безпека, соціальна значущість проекту та об'єктивні критерії, що відносяться до майбутніх періодів, можуть бути вимірянні



тільки суб'єктивно. Тому важливим етапом є проведення процесу експертного оцінювання. Для якісних критеріїв дуже суттєвим є вибір шкали виміру. Можна виділити наступні види шкал. 1) Шкала порядку або рангова шкала (упорядкована або ранжована послідовність об'єктів відповідно до зменшення їх значущості з визначенням рангу об'єкта). 2) Бальна шкала відмінностей (визначає, наскільки показник одного об'єкту відрізняється від іншого). 3) Бальна шкала відносин (показує, у скільки разів показник по одному об'єкту відрізняється від іншого). 4) Шкала попарного порівняння (визначає перевагу одного об'єкта над іншим у кожній парі). 5) Вербально-числові шкали (шкала відповістей словесних оцінок числовим). Поширеною є шкала Харінгтона (таблиця 1).

Таблиця 1 – Шкала Харінгтона

<i>№ з/п</i>	<i>Змістовний опис градацій</i>	<i>Числові інтервали</i>
1	Надвисока	0,8 – 1,0
2	Висока	0,63 – 0,8
3	Середня	0,37 – 0,63
4	Низька	0,2 – 0,37
5	Надзвичайно низька	0 – 0,2

Джерело: [17, с. 15-16].

При оцінці об'єктів та ступеня досягнення мети прийняття управлінських рішень по критеріям, що допускають лише суб'єктивну оцінку експертів та ОПР, важливі розробка та використання спеціальних шкал, що виражають специфіку критеріїв, груп об'єктів, мети при прийнятті управлінського рішення. Формування вербально-числової шкали можна розбити на два етапи: вибір градацій (поділ) шкали, визначення числових значень градацій шкали. Змістовні інтерпретації набору градацій повинні бути зрозумілими, логічними і прийматися усіма експертами, що приймають участь у виробі управлінських рішень.

За багатокритеріальної оптимізації виникають три основні проблеми. Перша проблема пов'язана з вибором принципу оптимальності, який дає відповідь на запитання: в якому сенсі оптимальна альтернатива (розв'язок) краще за всі інші допустимі розв'язки. Сукупність показників якості системи доводиться порівнювати на основі деякої схеми компромісу, що відповідає методам розв'язку багатокритеріальних задач. Друга проблема пов'язана з нормалізацією векторного критерію ефективності $\bar{f}(\bar{X}) = \{f_1(\bar{X}), \dots, f_n(\bar{X})\}$. Оскільки дуже часто локальні критерії якості системи мають різні масштаби виміру, і їх порівняння стає важким або навіть неможливим, доводиться зводити критерії до одного масштабу виміру, тобто нормалізувати їх (зазвичай зводити до безрозмірних величин). Третя проблема пов'язана з урахуванням пріоритету (ступеня важливості) частинних критеріїв, для чого вводиться вектор розподілу важливості (пріоритету) критеріїв $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$, за допомогою якого корегується принцип оптимальності і підсилюється або ослаблюється роль відповідного критерію $(\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1)$. Усі ці труднощі мають не обчислювальний, а



концептуальний характер, тому при розв'язку цих проблем повинна брати участь ОНР. Задача векторної оптимізації (1) зводиться до скалярної задачі: $F(\bar{X}) \rightarrow \text{extr}_{\bar{X} \in D}$, де $F(\bar{X})$ – інтегральний критерій якості (узагальнена функція мети), який є інтеграцією усіх показників якості системи (об'єкту, мети) $f_i(\bar{X})$, ($i = \overline{1, n}$). Цю функцію отримують у чіткому вигляді – шляхом задання математичної формули, яка відповідає заданому принципу оптимальності, або в нечіткому вигляді – шляхом побудови алгоритму, що реалізує задану схему компромісу. Класифікація та опис методів багатокритеріальної оптимізації наводились, наприклад, у роботі [13, с. 61-62], де зазначались різні групи методів векторної оптимізації, типи згорток до узагальненої інтегральної функції мети, а також алгоритми побудови неявної інтегральної функції мети. Ці методи зводяться до одного або багатьох разів розв'язання скалярних екстремальних задач математичного програмування, які можуть бути в залежності від математичної моделі: лінійними, цілочисловими, бульовими, дискретними, нелінійними тощо. Такі моделі можуть бути досить складними: багатопараметричними, багатокритеріальними та багатоекстремальними. Розв'язання цих задач залежить від ефективного алгоритму побудови узагальненого критерію та алгоритмів і програм розв'язання скалярних екстремальних задач. Розв'язок задачі (1) знаходиться серед ефективних розв'язків за Перето. Вектор $\bar{X}^* \in D$ є ефективним розв'язком задачі (1), якщо не існує такого вектору $\bar{X} \in D$, що $f_i(\bar{X}) \geq f_i(\bar{X}^*)$, ($i = \overline{1, n}$), причому хоча б для одного значення i має місце строга нерівність. Область Парето – це є множина допустимих розв'язків, для яких неможливо одночасно покращити усі показники (тобто покращити хоча б один з них, не погіршуючи інших).

Під час прийняття управлінських рішень часто необхідно провести багатокритеріальний аналіз альтернатив, не використовуючи оптимізації критеріїв, як задач математичного програмування. Ці задачі мають специфічний характер розв'язання. Припустимо, що задано n критеріїв ефективності функціонування системи: $f_1, \dots, f_n$ та m альтернатив: $A_1, \dots, A_m$ (стратегій, проєктів тощо) при заданих зовнішніх умовах. Множина допустимих планів D є сукупність альтернатив: $D = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$. Відомі (обчислені) значення всіх критеріїв для кожної з альтернатив: $f_j(A_i) = f_{ij}$. Домінуючі стратегії (альтернативи), тобто такі, для яких усі критерії приймають значення не гірші за інших значень критеріїв на відповідних альтернативах – зустрічаються дуже рідко. Тому доводиться застосовувати методи багатокритеріального вибору з певним принципом компромісу. Ці задачі інколи розв'язуються методами порівняння альтернатив та методами компенсації [14, с. 88], які мають ряд недоліків, наприклад, не враховують важливість критеріїв. Використання формальних методів істотно підвищує якість прийняття рішень. Розглянемо ряд методів багатокритеріального вибору альтернатив для практичної задачі – оцінки ефективності функціонування системи. Але спочатку розглянемо нормалізацію критеріїв ефективності, оскільки вони мають різні одиниці виміру, з метою їх зведення до єдиного безрозмірного масштабу виміру (якщо критерії є



однорідними – мають однакові одиниці виміру, то їх необов'язково нормалізувати). Припускається, що перші l критеріїв $f_j, (j = \overline{1, l})$ максимізуються, а решта $(n - l)$ критеріїв $f_j, (j = \overline{l+1, n})$ мінімізуються. Найчастіше використовують наступні види нормалізації: абсолютну, відносну і природну. Відповідно до принципу максимальної ефективності (критеріальні оцінки альтернатив мають позитивний інгредієнт) нормалізовані критерії визначаються наступним чином.

Абсолютна нормалізація: $f_{ij}^0 = f_{ij} - f_j^{\min}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = f_j^{\max} - f_{ij}, j = \overline{l+1, n}.$ (2)

Відносна нормалізація: $f_{ij}^0 = \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = 1 - \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, j = \overline{l+1, n}.$ (3)

Природна нормалізація:

$$f_{ij}^0 = \frac{f_{ij} - f_j^{\min}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = \frac{f_j^{\max} - f_{ij}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, j = \overline{l+1, n}. \quad (4)$$

f_{ij} – значення j -го критерію для i -ї альтернативи, $f_j = f_j(A_i)$; $f_j^{\max}, f_j^{\min}, (j = \overline{1, n})$ – максимальні та мінімальні значення критеріїв для всіх альтернатив:

$$f_j^{\max} = \max_i f_{ij}; f_j^{\min} = \min_i f_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Відповідно до принципу мінімальної втрати (критеріальні оцінки альтернатив мають негативний інгредієнт) нормалізовані критерії визначаються наступним чином.

Абсолютна нормалізація:

$$f_{ij}^0 = f_j^{\max} - f_{ij}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = f_{ij} - f_j^{\min}, j = \overline{l+1, n}. \quad (6)$$

Відносна нормалізація:

$$f_{ij}^0 = 1 - \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}}, j = \overline{l+1, n}. \quad (7)$$

Природна нормалізація:

$$f_{ij}^0 = \frac{f_j^{\max} - f_{ij}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, j = \overline{1, l}; f_{ij}^0 = \frac{f_{ij} - f_j^{\min}}{f_j^{\max} - f_j^{\min}}, j = \overline{l+1, n}. \quad (8)$$

Нормалізація за формулами (8) є нормалізацією Севіджа. Абсолютна нормалізація зберігає одиниці вимірювання у критеріїв. Відносна нормалізація має недолік у тому, що суттєво залежить від максимально можливого рівня критеріїв, що визначаються умовами задачі. Якщо ОПР визначає (суб'єктивно) рівні «ідеальної» якості альтернатив, задаючи фіксовані величини $f_j^\phi, (j = \overline{1, n})$, то у формулах (3), (7) покладають замість $f_j^{\max}$ значення $f_j^\phi, (j = \overline{1, n})$. Суттєвим недоліком цього методу нормалізації є складність і суб'єктивність щодо визначення величин $f_j^\phi, (j = \overline{1, n})$. Це призводить до суб'єктивних



нормалізованих оцінок якостей стратегій. Нормалізовані згідно з природною нормалізацією елементи f_{ij}^0 приймають свої значення з проміжку $[0; 1]$ і є безрозмірними, що й зумовлює широке використання їх на практиці.

Розглянемо наступну багатокритеріальну задачу оцінки ефективності роботи підприємств. Ефективність діяльності шести підприємств (альтернативи $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$) визначається за допомогою семи критеріїв якості: прибутку, доходів, фондівіддачі, продуктивності, собівартості одиниці продукції, конкурентоспроможності, екологічної безпеки протягом планованого періоду. Необхідно провести ранжування ефективності роботи підприємств. Вихідні дані приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати ранжування ефективності роботи підприємств

Альтернативи (підприємства), A_i	Цілі (критерії)						
	Прибуток, тис. гр. од., f_1	Собівартість одиниці продукції, гр. од., f_2	Доходи, тис. гр. од., f_3	Фондовіддача, ум. од., f_4	Продуктивність, ум. од., f_5	Конкурентоспроможність, бали, f_6	Екологічна безпека, бали, f_7
A_1	15	37	19	0,2	310	8,4	3,6
A_2	22	20	30	0,3	200	5,7	4,8
A_3	25	15	34	0,15	230	6,6	5
A_4	23	30	35	0,4	150	8,4	6,4
A_5	16	12	22	0,2	280	7,8	6,6
A_6	24	20	39	0,25	190	6,8	5,6

Авторська розробка.

Перші п'ять критеріїв є кількісними і їх значення отримані для кожного підприємства в абсолютних або умовних одиницях. Останні два критерії є якісними і для отримання значень по ним для кожного підприємства використовуємо експертні оцінки. Припустимо, експерти для даних критеріїв можуть проставити бали (використати бальну шкалу відмінностей). П'ятеро експертів проставили наступні бали ефективності в 10-бальній системі для кожного підприємства по VI критерію: I експерт – 8; 5; 6; 9; 8; 7; II експерт – 7; 6; 5; 9; 7; 8; III експерт – 9; 5; 7; 8; 9; 6; IV експерт – 8; 6; 7; 9; 6; 7; V експерт – 10; 4; 8; 7; 9; 6. По VII критерію: I експерт – 4; 6; 5; 6; 8; 7; II експерт – 3; 5; 4; 7; 7; 6; III експерт – 5; 4; 6; 8; 7; 5; IV експерт – 2; 5; 4; 6; 5; 6; V експерт – 4; 4; 6; 5; 6; 4.

Використовувалась наступна відповідність між вербальними характеристиками та балами: $[0, 2)$ – надзвичайно низька якість; $[2, 3)$ – низька якість; $[3, 6)$ – середня якість; $[6, 9)$ – висока якість; $[9, 10]$ – надзвичайно висока якість.

Групову оцінку експертів будемо обчислювати за формулою: $f_{ij} = \sum_{k=1}^p q_k f_{ijk}$,

де f_{ijk} – оцінка (бал) k -го експерта для оцінки j -го критерію f_j для i -ої альтернативи A_i , $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$; $k = \overline{1, p}$; ($m = 6$; $n = 7$; $p = 5$); q_k – ваговий коефіцієнт компетентності для k -го експерта. Ступінь вірогідності оцінок виражаються за



допомогою вагових коефіцієнтів, що характеризують компетентність кожного експерта з аналізованої проблеми. Вагові коефіцієнти залежать від ступені знайомства кожного експерта з аналізованою проблемою k_z і ступені впливу різних джерел в аргументації на формування думки кожного експерта k_a : $q_k = \varphi(k_{zk}, k_{ak})$. Коефіцієнт знайомства може визначатися в результаті прямої самооцінки, коли кожен експерт, наприклад, за десятибальною шкалою оцінює ступінь свого знайомства з обговореною проблемою (інтегральна самооцінка). Використовуються наступні діапазони: 0 – незнайомий; (0, 3] – погано знайомий; (3, 6] – задовільно знайомий але практично не вивчав; (6, 9) – добре знайомий і практично зустрічався; [9, 10] – прекрасно знайомий (вузький фахівець з проблеми). Коефіцієнт аргументованості k_a може бути отриманий за формулою:

$k_a = \frac{k_d + k_c}{2}$, де k_d – коефіцієнт довіри, що установлює відповідність між галуззю спеціалізації експерта, рівнем його спеціалізації і рівнем обговорюваної проблеми; k_c – коефіцієнт відповідності експерта пропонованим до нього вимогам, що характеризує творчі можливості експерта його практичної і науково-організаційної роботи. Для визначення коефіцієнта k_c кожен експерт заповнює спеціальну таблицю, по якій нараховуються бали. Бал компетентності кожного експерта визначається за формулою:

$$c_k = \frac{k_{zk} + k_{ak}}{2} = \frac{k_{zk} + \frac{k_{dk} + k_{ck}}{2}}{2} = \frac{2k_{zk} + k_{dk} + k_{ck}}{4}.$$

А результуючий коефіцієнт компетентності обчислюється так:

$$q_k = \frac{c_k}{\sum_{k=1}^p c_k}, \quad k = \overline{1, p}. \text{ Для спрощення припускаємо, що коефіцієнти компетентності}$$

кожного експерта рівні: $q_k = \frac{1}{p}$, ($k = \overline{1, p}$). Тоді групова оцінка експертів обчислюється за формулою:

$$f_{ij} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p f_{ijk}.$$

Для нашої задачі:

$$\begin{aligned} f_{16} &= \frac{1}{5}(8+7+9+8+10) = 8,4; & f_{26} &= \frac{1}{5}(5+6+5+6+4) = 5,7; & f_{36} &= \frac{1}{5}(6+5+7+7+8) = 6,6; \\ f_{46} &= \frac{1}{5}(9+9+8+9+7) = 8,4; & f_{56} &= \frac{1}{5}(8+7+9+6+9) = 7,8; & f_{66} &= \frac{1}{5}(7+8+6+7+6) = 6,8; \\ f_{17} &= \frac{1}{5}(4+3+5+2+4) = 3,6; & f_{27} &= \frac{1}{5}(6+5+4+5+4) = 4,8; & f_{37} &= \frac{1}{5}(5+4+6+4+6) = 5; \\ f_{47} &= \frac{1}{5}(6+7+8+6+5) = 6,4; & f_{57} &= \frac{1}{5}(8+7+7+5+6) = 6,6; & f_{67} &= \frac{1}{5}(7+6+5+6+4) = 5,6. \end{aligned}$$

Ці середні оцінки експертів критеріїв f_6 та f_7 занесемо у таблицю 3.

Значення критеріїв у таблиці 3 приведені у різних одиницях виміру, тому



приводимо їх до безрозмірного вигляду згідно формулам (4). При цьому враховуємо, що критерії $f_1, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7$ максимізуються, а критерій f_2 мінімізується. Отримаємо нормалізовані значення показників (таблиця 3).

Таблиця 3 – Нормалізовані значення показників

Альтернативи	Цілі (критерії)						
	f_1^0	f_2^0	f_3^0	f_4^0	f_5^0	f_6^0	f_7^0
A_1	0	0	0	0,2	1	1	0
A_2	0,3	0,68	0,55	0,6	0,3125	0	0,4
A_3	1	0,88	0,75	0	0,5	0,(3)	0,4(6)
A_4	0,8	0,28	0,8	1	0	1	0,9(3)
A_5	0,1	1	0,15	0,2	0,8125	0,(7)	1
A_6	0,9	0,68	1	0,4	0,25	0,(407)	0,(6)

Авторська розробка.

Розв'яжемо задачу кількома методами.

1. Метод рівномірної оптимальності.

$$F(A^*) = \max_i \sum_{j=1}^n f_{ij}^0 \text{ або } F(A^*) = \max_i F_i(A_i), \quad i = \overline{1, m}; \quad F_i = \sum_{j=1}^n f_{ij}^0,$$

A^* – найкраща альтернатива.

$$\begin{aligned} &\max \{0 + 0 + 0 + 0,2 + 1 + 1 + 0; 0,3 + 0,68 + 0,55 + 0,6 + 0,3125 + 0 + 0,4; \\ &1 + 0,88 + 0,75 + 0 + 0,5 + 0,(3) + 0,4(6); 0,8 + 0,28 + 0,8 + 1 + 0 + 1 + 0,9(3); \\ &0,1 + 1 + 0,15 + 0,2 + 0,8125 + 0,(7) + 1; 0,9 + 0,68 + 1 + 0,4 + 0,25 + 0,(407) + 0,(6)\} = \\ &= \max \{2,2; 2,8425; 3,93; 4,8133; 4,0403; 4,3041\} = 4,8133. \end{aligned}$$

Згідно принципу рівномірної оптимальності маємо наступне ранжування ефективності роботи підприємств (у порядку зменшення): $A_4, A_6, A_5, A_3, A_2, A_1$.

2. Метод справедливого компромісу.

$$F(A^*) = \max_i \prod_{j=1}^n f_{ij}^0 \text{ або } F(A^*) = \max_i F_i(A_i), \quad i = \overline{1, m}; \quad F_i = \prod_{j=1}^n f_{ij}^0.$$

$$\begin{aligned} &\max \{0 \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0; 0,3 \cdot 0,68 \cdot 0,55 \cdot 0,6 \cdot 0,3125 \cdot 0 \cdot 0,4; 1 \cdot 0,88 \cdot 0,75 \cdot 0 \cdot 0,5 \cdot 0,(3) \cdot 0,4(6); \\ &0,8 \cdot 0,28 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 0,9(3); 0,1 \cdot 1 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 0,8125 \cdot 0,(7) \cdot 1; 0,9 \cdot 0,68 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,(407) \cdot 0,(6)\} = \\ &= \max \{0; 0; 0; 0; 0,0019; 0,0166\} = 0,0166. \end{aligned}$$

За цим методом найефективніше працює шосте підприємство (A_6), потім п'яте (A_5), далі йдуть усі інші підприємства разом. Якщо підприємство отримало найгірше значення хоча б по одному критерію, тоді інтегральне значення показника дорівнює 0 (у цьому недолік цього методу).

3. Метод вагової згортки критеріїв.

$$F(A^*) = \max_i \sum_{j=1}^n \alpha_j f_{ij}^0 \text{ або } F(A^*) = \max_i F_i(A_i); \quad F_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j f_{ij}^0,$$

де α_j – вагові коефіцієнти критеріїв ($\sum_{i=1}^n \alpha_j = 1$).

Ці коефіцієнти або отримують експерти в результаті проведення експертизи одним із методів, або їх визначає ОПР.

Припустимо, ОПР задає ненормовані вагові коефіцієнти критеріїв в 10-



бальній шкалі. Тоді нормуючи ці коефіцієнти, отримуємо:

$$\alpha_i = \frac{\alpha_i^0}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^0}, \quad i = \overline{1, n}, \quad \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \right).$$

Для нашої задачі ОПР задала такі коефіцієнти:

$$\alpha_1^0 = 9; \alpha_2^0 = 4; \alpha_3^0 = 8; \alpha_4^0 = 2; \alpha_5^0 = 6; \alpha_6^0 = 6; \alpha_7^0 = 5; \sum_{i=1}^n \alpha_i^0 = 40.$$

$$\alpha_1 = 0,225; \alpha_2 = 0,1; \alpha_3 = 0,2; \alpha_4 = 0,05; \alpha_5 = 0,15; \alpha_6 = 0,15; \alpha_7 = 0,125.$$

$$F_1 = 0,225 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,15 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 + 0,125 \cdot 1 = 0,2925;$$

$$F_2 = 0,225 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,68 + 0,2 \cdot 0,55 + 0,05 \cdot 0,6 + 0,15 \cdot 0,3125 + 0,15 \cdot 0 + 0,125 \cdot 0,4 = 0,3724;$$

$$F_3 = 0,225 \cdot 1 + 0,1 \cdot 0,88 + 0,2 \cdot 0,75 + 0,05 \cdot 0 + 0,15 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,3 + 0,125 \cdot 0,4(6) = 0,6463;$$

$$F_4 = 0,225 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,28 + 0,2 \cdot 0,8 + 0,05 \cdot 1 + 0,15 \cdot 0 + 0,15 \cdot 1 + 0,125 \cdot 0,9(3) = 0,6847;$$

$$F_5 = 0,225 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 1 + 0,2 \cdot 0,15 + 0,05 \cdot 0,2 + 0,15 \cdot 0,8125 + 0,15 \cdot 0,7 + 0,125 \cdot 1 = 0,5260;$$

$$F_6 = 0,225 \cdot 0,9 + 0,1 \cdot 0,68 + 0,2 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,4 + 0,15 \cdot 0,25 + 0,15 \cdot 0,407 + 0,125 \cdot 0,6 = 0,6724.$$

Згідно методу вагової згортки критеріїв маємо наступне ранжування ефективності роботи підприємств: $A_4, A_6, A_3, A_5, A_2, A_1$. Якщо змінювати пріоритети критеріїв, то буде, взагалі кажучи, змінюватись і порядок ранжованих альтернатив. Цей метод більш гнучкий і дозволяє визначати пріоритет ефективності роботи підприємств в залежності від вагових коефіцієнтів критеріїв.

4. Метод ідеальної точки (гарантованого результату або рівномірного стиснення).

$$F(A^*) = \min_i \max_j [\max_i f_{ij}^0 - f_{ij}^0] \text{ або } F(A^*) = \min_i \max_j [f_j^{0\max} - f_{ij}^0],$$

$$\text{де } f_j^{0\max} = \max_i f_{ij}^0.$$

Цей метод відповідає принципу Севіджа. Максимальні значення критеріїв $f_j^{0\max} = 1$. Матриця відхилень значень критеріїв від найкращих значень (аналог матриці ризику) має вигляд: $R = (r_{ij})_{mn}$, де $r_{ij} = f_j^{0\max} - f_{ij}^0$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$.

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0,8 & 0 & 0 & 1 \\ 0,7 & 0,32 & 0,45 & 0,4 & 0,6875 & 1 & 0,6 \\ 0 & 0,12 & 0,25 & 1 & 0,5 & 0,6 & 0,5(3) \\ 0,2 & 0,72 & 0,2 & 0 & 1 & 0 & 0,0(6) \\ 0,9 & 0 & 0,85 & 0,8 & 0,1875 & 0,2 & 0 \\ 0,1 & 0,32 & 0 & 0,6 & 0,75 & 0,592 & 0,3 \end{pmatrix}$$

Максимальні відхилення по кожній з шести альтернатив мають наступні значення: 1; 1; 1; 1; 0,9; 0,75. Виберемо мінімальне з цих відхилень: $\min\{1; 1; 1;$



$1; 0,9; 0,75\} = 0,75$. За цим методом найефективніше працює шосте підприємство (A_6), потім п'яте (A_5), далі йдуть усі інші підприємства разом. Результати та висновки для цього методу збігаються з методом справедливого компромісу.

5. Метод досягання недосяжного результату.

$$F(A^*) = \min_i \sqrt{\sum_{j=1}^n [\max_i f_{ij}^0 - f_{ij}^0]^2} \quad \text{або} \quad F(A^*) = \min_i \sqrt{\sum_{j=1}^n [f_j^{0\max} - f_{ij}^0]^2},$$

де $f_j^{0\max} = \max_i f_{ij}^0$.

Аналогічно попередньому методу знаходимо матрицю R . Обчислюємо мінімальні значення із квадратних коренів сум квадратів елементів матриці R по рядкам.

$$\begin{aligned} & \min \{ \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2 + 0,8^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2}; \sqrt{0,7^2 + 0,32^2 + 0,45^2 + 0,4^2 + 0,6875^2 + 1^2 + 0,6^2}; \\ & \sqrt{0^2 + 0,12^2 + 0,25^2 + 1^2 + 0,5^2 + 0,(6)^2 + 0,5(3)^2}; \sqrt{0,2^2 + 0,72^2 + 0,2^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0,0(6)^2}; \\ & \sqrt{0,9^2 + 0^2 + 0,85^2 + 0,8^2 + 0,1875^2 + 0,(2)^2 + 0^2}; \sqrt{0,1^2 + 0,32^2 + 0^2 + 0,6^2 + 0,75^2 + 0,(592)^2 + 0,(3)^2} \} = \\ & = \min \{ 2,1541; 1,6696; 1,4338; 1,2660; 1,5023; 1,2236 \} = 1,2236. \end{aligned}$$

Згідно методу досягання недосяжного результату маємо наступне ранжування ефективності роботи підприємств: $A_6, A_4, A_3, A_5, A_2, A_1$.

Використовують й інші методи при багатокритеріальному виборі альтернатив: метод головного критерію, лексикографічного упорядкування критеріїв, послідовних поступок, використання контрольних показників і таке інше.

Висновки.

Ефективності роботи підприємств достатньо суттєво залежать від використання методу багатокритеріального вибору альтернатив. Для різних соціально-економічних і технічних моделей треба обґрунтувати застосування принципу оптимальності і відповідного методу. Результати залежать також від повноти критеріїв ефективності, вагових коефіцієнтів кожного критерію, вагових коефіцієнтів компетентності експертів при наявності якісних критеріїв та методики проведення експертизи при отриманні кількісних значень для якісних показників. Приведена методика ефективно була реалізована на Excel. В перспективі необхідно використовувати дану методику для різних реальних соціально-економічних багатокритеріальних моделей з обґрунтуванням використання того або іншого методу, застосовувати експертні методи при наявності якісних критеріїв також з обґрунтуванням доцільності того чи іншого методу, шкал критеріїв, коефіцієнтів ваги критеріїв та компетентності експертів в залежності від специфіки моделі та можливостей експертів, визначати узгодженість думок експертів. Необхідно розробити комплекс програм для реалізації даної методики. В перспективі також необхідно розглядати багатокритеріальні задачі прийняття рішень не тільки в умовах визначеності але і в умовах ризику та невизначеності. Розроблену методику багатокритеріального вибору альтернатив ефективно можна використовувати у виробництві, маркетингу, аналізі та аудиті, фінансах, інвестиціях, митній справі, управлінні



персоналу, при плануванні та керуванні різними організаційними та автоматизованими системами (заводами, виробництвами, торговими комплексами, корпоративними системами, фірмами, системами транспорту і зв'язку, екологічними системами і т. ін.), виборі перспективних проектів, об'єктів капіталовкладень, при оцінюванні ефективності діяльності різних систем (підприємств, фірм, робітників, техніки), якості промислової продукції, рівня технічної досконалості пристроїв, устаткування, верстатів тощо з метою прийняття ефективних управлінських рішень при керуванні соціально-економічними та технічними системами для максимального забезпечення економічної безпеки держави.

Література:

1. Глущенко М. Методи розв'язку багатокритеріальної задачі оптимізації механізмів фінансової підтримки суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності // Інвестиційно-інноваційна діяльність, бюджетна і податкова політика. – 2015. – Вип. 2(112). – С. 23-27.
2. Гадецька С. В., Дубницький В. Ю., Кушнерук Ю. І., Ходирев О. І., Шкодін І. В. Багатокритеріальна (векторна) оптимізація портфеля валют при нестохастично невизначеному зовнішньому економічному середовищі // Системи обробки інформації. – 2021. – Вип. 3(166). – С. 6-17.
3. Чеботарьова Д., Безрук В. Автоматизація вибору оптимальних проєктних варіантів систем зв'язку на основі методів багатокритеріальної оптимізації // Information and communication technologies, electronic engineering. – 2021. – Vol. 1, No. 2. – P. 54-61.
4. Сєдих О. Л. Багатокритеріальна оптимізація / О. Л. Сєдих, О. О. Савчук // Інформаційні технології – 2019 (ІТ-2019): збірник тез VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців, 16 травня 2019 р. – Київ : Ун-т ім. Б. Грінченка, 2019. – С. 203-205.
5. Кондрук Н. Е., Маляр М. М. Багатокритеріальна оптимізація лінійних систем: Навчальний підручник. – Ужгород: РА «АУТДОР-ШАРК», 2019. – 76 с.
6. Ситник Ю. О. Дослідження методів багатокритеріальної оптимізації для перетворення серійного виробництва до масового. – Харків, 2020 / URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/156c7e5f-e96d-4445-ba1c-ae457e0a3d1a/content>.
7. Михайлов В. Т. Порівняльний аналіз алгоритмів чисельного розв'язання задач нелінійного програмування. Алгоритм багатокритеріальної оптимізації. – Суми, 2020. / URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/82227/1/Mikhailov_mag_rob.pdf.
8. Галузинський Г. П. Багатокритеріальна оптимізація з використанням показникових функцій // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Збірник наукових праць. – Київ: КНЕУ, 2019. – С. 51-61.
9. Івченко Р. А., Купін А. І. Дослідження методів багатокритеріальної оптимізації для вибору обладнання або деталей на виробництві // Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація. – 2021. – Т. 32(71), ч.1. - № 1. – С. 67-71.



10. Grytsiuk M. Yu. Багатокритеріальна оптимізація структури проекту стратегічного розвитку туризму на регіональному рівні // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Том 25. – № 2. – С. 324-333.

11. Скворчевський О. Є. Багатокритеріальна оптимізація процесів підбору та розміщення персоналу на підприємстві // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": збірник наукових праць. Сер.: Економічні науки. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – № 47 (1219). – С. 41-45.

12. Бабенко В. О., Носовець О. К. Вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації з використанням генетичного алгоритму та методу аналізу ієрархій // Індуктивне моделювання складних систем. – 2019. – Вип. 11. – С. 19-29.

13. Мормуль М. Ф., Щитов Д. М. Багатокритеріальна оптимізація та вибір альтернатив під час прийняття управлінських рішень // Вісник АМСУ. – 2005. – № 3. – С. 58-64.

14. Мормуль М. Ф., Буланова Н. С., Франко Н. В., Щитов О. М. Прийняття управлінських рішень щодо оцінки ефективності роботи систем за допомогою багатокритеріальної оптимізації // Вісник АМСУ. – 2005. – № 4. – С. 84-90.

15. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: Монографія. – К.: ЦУЛ, 2003. – 202 с.

16. Ульянченко О. В. Дослідження операцій в економіці: Підручник для студентів вузів. – Харків: Гриф, 2002. – 580 с.

17. Зіатдінов Ю. К., Воронін А. М. Багатокритеріальна оцінка проблемних ситуацій // Проблеми інформатизації та управління. – 2022. – № 3(71). – С. 12-16.

Abstract. *The main problems of multi-criteria selection of management solutions in economic, management and technical systems are considered. The practical implementation of the multi-criteria selection of alternatives for evaluating the efficiency of enterprises with the use of expert evaluations is given.*

Keywords: *vector optimization, multi-criteria selection of alternatives, expert evaluations.*

Стаття відправлена: 13.05.2023 р.

© Мормуль М. Ф.



УДК 517.9

CONSTRUCTION OF STABILITY DOMAINS FOR LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DELAY

ПОБУДОВА ОБЛАСТЕЙ СТІЙКОСТІ ЛІНІЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ІЗ ЗАПІЗНЕННЯМ

Klevchuk I.I. / Клевчук І.І.

d.p.-m.s., as.prof. / д.ф.-м.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4327-3549

Hrytchuk M.V. / Гритчук М.В.

postgraduate / аспірант

Chernivtsi National University, Chernivtsi, Kotsyubynskoho 2, 58012

Чернівецький національний університет, Чернівці, вул. Коцюбинського 2, 58012

Анотація. Досліджено стійкість лінійних автономних диференціально-різницевих рівнянь. Для цього знайдено умови на коефіцієнти рівняння, при яких всі корені відповідного характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини. Знайдено обмеження на параметри і побудовано області стійкості рівнянь із двома запізненнями на площині коефіцієнтів. Використано принцип аргументу, метод D -розбиттів і числові методи.

Ключові слова: диференціально-різницеве рівняння, область стійкості, принцип аргументу, D -розбиття.

Вступ

Дослідження стійкості розв'язків диференціально-різницевих рівнянь є важливою прикладною задачею. Необхідною і достатньою умовою асимптотичної стійкості розв'язків лінійних автономних систем диференціальних рівнянь із запізненням є від'ємність дійсних частин всіх коренів характеристичного квазіполінома [1 – 3]. Тому для знаходження області стійкості систем з багатьма запізненнями можна застосовувати амплітудно-фазовий метод, метод D -розбиттів, метод Меймана і Чеботарьова та ін.

Особливо простим є метод D -розбиттів, коли простір коефіцієнтів розбивається на області гіперплощинами, точкам яких відповідають квазіполіноми, що мають хоча б один нуль на уявній осі. Очевидно, що точкам кожної області такого D -розбиття відповідають квазіполіноми з однаковим числом нулів із додатною дійсною частиною. Часто існує нескінченне число областей D -розбиття, тому серед них важко виділити область стійкості.

Тому доцільно спочатку за допомогою принципу аргументу знайти обмеження, які задовольняє область стійкості, а потім уже застосовувати метод D -розбиттів. Такі задачі досліджено, зокрема, в [4 – 9]. У цій статті доведено обмеженість області стійкості і побудовано області стійкості при різних відхиленнях аргументу.

1. Основні результати

Розглянемо рівняння

$$\frac{dz}{dt} = a_1 z(t-1) + a_2 z(t-2) + \dots + a_n z(t-n). \quad (1)$$

Згідно з [1 – 3] для того, щоб нульовий розв'язок рівняння (1) був асимптотично стійким, необхідно і досить, щоб всі корені характеристичного



рівняння

$$\lambda = a_1 e^{-\lambda} + a_2 e^{-2\lambda} + \dots + a_n e^{-n\lambda} \quad (2)$$

лежали в лівій півплощині $\operatorname{Re} \lambda < 0$.

Означення. Областю стійкості рівняння (2) називається множина точок $(a_1, \dots, a_n) \in R^n$, для яких всі корені рівняння (2) задовольняють умову $\operatorname{Re} \lambda < 0$.

Нехай L -- проста неперервна крива, на якій вказано напрямок руху. Через $\Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} f(z)$ позначимо зміну аргументу функції $f(z)$ при русі вздовж кривої L .

Лема 1. Нехай функції $f(z)$ та $g(z)$ аналітичні в комплексній площині і для точок z із деякої простої неперервної кривої L виконуються нерівності $|g(z)| < |f(z)|$. Тоді

$$\Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} (f(z) + g(z)) \geq \Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} f(z) - \pi. \quad (3)$$

Доведення. Справджується рівність

$$L = \Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} \left(f(z) \left(1 + \frac{g(z)}{f(z)} \right) \right) = \Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} f(z) + \Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} \left(1 + \frac{g(z)}{f(z)} \right).$$

Оскільки $|g(z)/f(z)| < 1$, то функція $1 + g(z)/f(z)$ відображає криву L у внутрішність одиничного круга з центром в точці $z = 1$. Тому образ кривої L при відображенні $1 + g(z)/f(z)$ може змінити аргумент не більше, ніж на π . Із нерівності

$$\Delta \operatorname{Arg}_{z \in L} (1 + g(z)/f(z)) \geq -\pi.$$

випливає нерівність (3). Лема 1 доведена.

Позначимо $Q(z) = a_n z^n + a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z$.

Лема 2. Нехай для всіх $\alpha \in [0; 1]$ існує z таке, що $|z| = e^{-\alpha}$ і виконується нерівність $|Q(z)| \leq \pi + 1$. Тоді знайдеться стала $K > 0$ така, що $|a_j| \leq K$ для всіх $j \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Доведення. Розкладемо поліном $Q(z)$ на множники $Q(z) = a_n z(z - z_1) \dots (z - z_{n-1})$. Тоді вірна нерівність

$$|a_n| |z| (|z| - |z_1|) \dots (|z| - |z_{n-1}|) \leq |Q(z)|. \quad (4)$$

Розглянемо поліном $Q_1(x) = |a_n| x(x - |z_1|) \dots (x - |z_{n-1}|)$. Згідно з умовою леми, із (4) випливає, що для всіх $x \in [e^{-1}; 1]$ виконується оцінка $|Q_1(x)| \leq \pi + 1$.

Застосовуючи теорему Чебишова, одержимо, що існує $x \in [e^{-1}; 1]$ таке, що

$$|Q_1(x)| \geq 2|a_n| \left(\frac{1 - e^{-1}}{4} \right)^n.$$

Звідси випливає, що

$$|a_n| \leq \frac{\pi + 1}{2} \left(\frac{4e}{e - 1} \right)^n.$$

Одержимо оцінку для a_{n-1} . Оскільки

$$|a_{n-1} z^{n-1} + \dots + a_1 z| \leq |a_n z^n + \dots + a_1 z| + |a_n z^n| \leq \pi + 1 + \frac{\pi + 1}{2} \left(\frac{4e}{e - 1} \right)^n,$$

то

$$|a_{n-1}| \leq \frac{1}{2} \left(\pi + 1 + \frac{\pi + 1}{2} \left(\frac{4e}{e - 1} \right)^n \right) \left(\frac{4e}{e - 1} \right)^{n-1}.$$



Аналогічно можна одержати оцінки для всіх коефіцієнтів. Лема 2 доведена.

Теорема 1. Область стійкості рівняння (2) обмежена.

Доведення. Позначимо $P(\lambda) = \lambda - Q(e^{-\lambda})$. Тоді рівняння (2) перепишеться у вигляді $P(\lambda) = 0$.

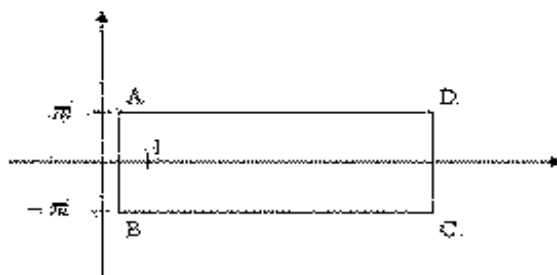


Рис. 1

Застосуємо принцип аргументу до прямокутника на рис. 1.

Згідно з принципом аргументу, число нулів квазіполінома $P(\lambda)$ у прямокутнику дорівнює зміні аргументу функції $P(\lambda)$ при русі λ вздовж контура $ABCD$.

Сторона AB прямокутника перетинає дійсну вісь у точці $x = \alpha$, $0 \leq \alpha \leq 1$. Число α ми виберемо пізніше. Сторону CD виберемо досить далеко від уявної осі. Тоді її образ при відображенні $P(\lambda)$ буде міститися в правій півплощині. На відріжку BC маємо

$$\lambda = -\pi i + x, x \geq \alpha \geq 0, P(\lambda) = -\pi i + x - Q(-e^{-x}).$$

Уявна частина функції $P(\lambda)$ залишається сталою, а дійсна частина прямує до $+\infty$ при $x \rightarrow +\infty$. На відріжку AD

$$\lambda = \pi i + x, x \geq \alpha \geq 0, P(\lambda) = \pi i + x - Q(-e^{-x}).$$

Тут знову уявна частина функції $P(\lambda)$ буде сталою. В результаті сумарна зміна аргументу функції $P(\lambda)$ при русі вздовж відрізків BC , CD і DA буде додатною. Залишилось оцінити зміну аргументу образу відрізка AB . Як ми побачимо, при досить великому $\max_{1 \leq j \leq n} |a_j|$ визначальним на відріжку AB для приросту аргументу функції $P(\lambda)$ буде вплив функції $Q(e^{-\lambda})$.

Приріст аргументу функції $Q(e^{-\lambda})$ при русі по відріжку AB дорівнює приросту аргументу функції $Q(z)$, коли z робить обхід кола $|z| = e^{-\alpha}$ проти годинникової стрілки. Згідно з принципом аргументу

$$\Delta \text{Arg}_{|z|=e^{-\alpha}} = 2\pi N,$$

де N – число нулів функції $Q(z)$ в крузі $|z| < e^{-\alpha}$. Але в цьому крузі завжди є нуль $z = 0$, тому $N \geq 1$, отже

$$\Delta \text{Arg}_{\pi \geq y \geq -\pi} Q(e^{-(\alpha+iy)}) \geq 2\pi.$$

Якщо виконуються умови леми 2, то коефіцієнти полінома $Q(z)$ обмежені. У протилежному випадку, при досить великому $\max_{1 \leq j \leq n} |a_j|$ знайдеться таке α , $0 \leq \alpha \leq 1$, що

$$|Q(e^{-(\alpha+iy)})| \geq \pi + 1 \geq |\alpha + iy|, \quad \pi \geq y \geq -\pi.$$

Використовуючи лему 1, оцінимо зміну аргументу функції $P(\lambda)$ при русі вздовж відрізка AB



$$\Delta \text{Arg}_{\pi \geq y \geq -\pi} (\alpha + iy - Q(e^{-(\alpha+iy)})) \geq 2\pi - \pi = \pi.$$

Отже, при досить великому $\max_{1 \leq j \leq n} |a_j|$ зміна аргументу функції $P(\lambda)$ при русі вздовж контура $ABCD$ буде додатною. Отже, згідно з принципом аргументу, функція $P(\lambda)$ матиме нуль в прямокутнику $ABCD$, а тоді $(a_1, \dots, a_n)$ не належить області стійкості рівняння (2).

Звідси випливає обмеженість області стійкості. Теорема доведена.

Лема 3. Якщо вектор $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ належить області стійкості рівняння (2), то $a_1 + a_2 + \dots + a_n < 0$.

Доведення. Нехай $a_1 + a_2 + \dots + a_n \geq 0$. Тоді квазімногочлен $P(\lambda) = \lambda - a_1 e^{-\lambda} - \dots - a_n e^{-n\lambda}$ задовольняє умови

$$P(0) \leq 0, \lim_{\lambda \rightarrow +\infty} P(\lambda) = +\infty.$$

Значить, існує число λ_0 , $0 \leq \lambda_0 < +\infty$, таке, що $P(\lambda_0) = 0$. Рівняння (2) має невід'ємний дійсний корінь. Отже, вектор $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ не належить області стійкості. Лема 3 доведена.

2. Рівняння із двома запізненнями

Застосуємо метод D -розбиттів до рівняння

$$\lambda = ae^{-m\lambda} + be^{-n\lambda}, \quad (5)$$

де m та n – взаємно прості натуральні числа, $m < n$. Квазіполіном має нульовий корінь, якщо $a + b = 0$. Ця пряма і є однією з ліній, що утворюють межу D -розбиття.

Нехай тепер рівняння (5) має суто уявний корінь iy , $y \neq 0$:

$$a(\cos my - i \sin my) + b(\cos ny - i \sin ny) = iy.$$

Відокремлюючи дійсну і уявну частини, одержимо систему

$$a \cos my + b \cos ny = 0, \quad a \sin my + b \sin ny = -y. \quad (6)$$

Розв'яжемо систему (6), якщо

$$\begin{vmatrix} \cos my & \cos ny \\ \sin my & \sin ny \end{vmatrix} = \sin(n-m)y \neq 0.$$

Рівняння ліній D -розбиття в параметричній формі матимуть вигляд

$$a = \frac{y \cos ny}{\sin(n-m)y}, \quad b = -\frac{y \cos my}{\sin(n-m)y}.$$

Ці лінії розбивають площину параметрів (a, b) на нескінченне число областей, всередині кожної з яких рівняння (5) має однакоє число коренів з додатною дійсною частиною.

Система (6) може бути сумісною також у випадку, коли її головний визначник $\sin(n-m)y = 0$. Це можливо при $y \neq 0$ тоді і тільки тоді, коли $\cos my = \cos ny = 0$ або $my = \pi/2 + k\pi$, $ny = \pi/2 + l\pi$, $k \in \mathbb{Z}$, $l \in \mathbb{Z}$. Такі рівності виконуються тільки у випадку, коли m та n непарні. Якщо ж m та n парні, то досить взяти $k = (m-1)/2$, $l = (n-1)/2$, $y = \pi/2$ і система (6) визначатиме пряму лінію $a \sin m\pi/2 + b \sin n\pi/2 = -\pi/2$. Крім цієї прямої існуватиме ще зліченне число однакоє віддалених взаємно паралельних прямих, які є лініями D -розбиття. У цьому випадку лініями D -розбиття будуть прямі, кут нахилу яких рівний $\pi/4$ або $-\pi/4$. При непарних m та n відбувається біфуркація появи нових ліній D -розбиття.



У випадку, коли $m = 1$, n – непарне натуральне число ($n > 1$), область стійкості обмежена $(n + 3)/2$ дугами ліній, серед яких дві дуги будуть відрізками прямих. Інші дуги одержуються із параметричного зображення

$$a = \frac{y \cos ny}{\sin(n-1)y}, \quad b = -\frac{y \cos y}{\sin(n-1)y}$$

при $0 < y < \pi/2$.

Як приклад знайдемо область стійкості рівняння

$$\lambda = ae^{-\lambda} + be^{-3\lambda}.$$

Щоб знайти оцінки для коефіцієнтів a та b , використаємо методику доведення теореми 1. Застосуємо принцип аргументу до прямокутника на рис. 1.

Спочатку припустимо, що $\alpha = 0$. Тоді при $||a| - |b|| \geq \pi$ маємо $|ae^{-iy} + be^{-3iy}| \geq \pi \geq |iy|$, тому зміна аргументу функції $P(\lambda) = \lambda - ae^{-\lambda} - be^{-3\lambda}$ при русі вздовж контура $ABCD$ буде додатною. Отже, функція $P(\lambda)$ буде мати нуль у прямокутнику $ABCD$.

Застосовуючи цю ж методику до прямокутника $ABCD$ при $\alpha = 1$, одержимо, що функція $P(\lambda)$ буде мати нуль у цьому прямокутнику при $||a|e^{-1} - |b|e^{-3}| \geq \sqrt{\pi^2 + 1}$.

Із наших міркувань випливає, що для точок (a, b) із області стійкості правильні нерівності

$$||a| - |b|| < \pi, \quad ||a|e^{-1} - |b|e^{-3}| < \sqrt{\pi^2 + 1}. \quad (7)$$

Згідно з лемою 3 область стійкості повинна задовольняти ще одну нерівність

$$a + b < 0. \quad (8)$$

Нерівності (7) і (8) визначають на площині параметрів a та b деякий обмежений багатокутник.

Для знаходження області стійкості застосуємо тепер метод D -розбиттів. Пряма $a + b = 0$ є однією з ліній, що утворюють межу D -розбиття.

Якщо квазіполіном має суто уявний корінь iy , то рівняння меж D -розбиття в параметричній формі матимуть вигляд

$$a = \frac{y(4\cos^2 y - 3)}{2 \sin y}, \quad b = -\frac{y}{2 \sin y}. \quad (9)$$

Побудуємо лінії, що відповідають випадку $\cos y = \cos 3y = 0$. Ці рівняння мають сумісні корені $y = \pi/2 + k\pi$, $k \in \mathbb{Z}$. Тому лініями D -розбиття будуть прямі $a - b = (-1)^{k+1}(\pi/2 + k\pi)$.

Відзначимо, що лінії D -розбиття досить нанести в багатокутнику, що обмежує область стійкості. Неважко переконатися, що зв'язна область, обмежена відрізками прямих

$$b = -a, -\frac{\pi}{4} \leq a \leq \frac{1}{2}; b = a + \frac{\pi}{2}, -3\frac{\pi}{4} \leq a \leq -\frac{\pi}{4}$$

та дугою лінії (9) при $0 \leq y \leq \pi/2$ є областю стійкості. Область стійкості рівняння (5), у якому $m = 1$, а $n = 3$ – це заштрихована частина площини, зображена на рис. 2. Область стійкості рівняння (5), у якому $m = 1$, $n = 2$ зображена в [6].

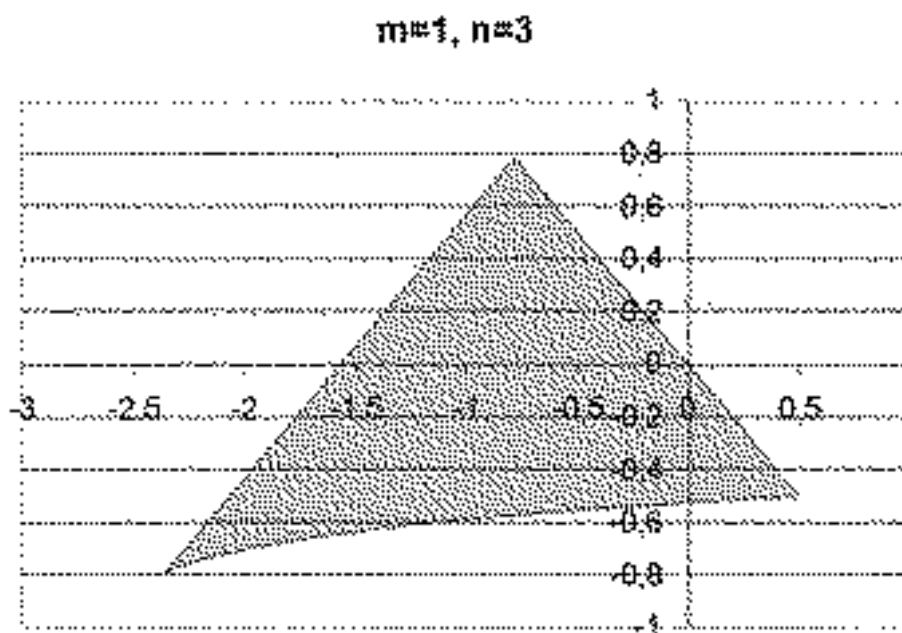


Рис. 2

Висновки

В пункті 1 доведено обмеженість області стійкості та одержано обмеження для точок, що належать області стійкості, а в пункті 2 побудовано області стійкості для рівняння із двома запізненнями.

Література:

1. Hale J.K. Theory of Functional Differential Equations. – New York: Springer, 1977. – 365 p.
2. El'sgol'ts L.E., Norkin S.B. Introduction to the theory and application of differential equations with deviating arguments. – New York and London: Academic Press, 1973. – 356 p.
3. Pinney E. Ordinary difference-differential equations. – Los Angeles: University of California Press, 1958. – 262 p.
4. Klevchuk I.I. Construction of stability domains for linear differential equations with many delays // Collect. sci. Works "Integral transformations and their applications to boundary value problems", 14, Kiev, 1997, P. 126 – 133.
5. Klevchuk I.I. Reduction of boundary value problems to difference and differential-difference equations // Nauk. Visn. Chernivets'kogo Univ., Math. – 2003. – No. 160, P. 80 – 83.
6. Klevchuk I.I., Pernay S.A., Cherevko I.M. Construction of stability domains for linear differential-difference equations // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2012, No. 7. – P. 28 – 34.
7. Levitskaya I.S. Stability domain of a linear differential equation with two delays // Comput. Math. Appl. – 2006. – **51**, No. 1. – P. 153 – 159.
8. Vaguina M. Yu., Kipnis M. M. Stability of the zero solution of delay differential equations // Math. Notes. – 2003. – **74**, No. 5. – P. 740 – 743.
9. Klevchuk I.I., Hrytchuk M.V. Construction of stability domains for linear differential equations with several delays // Bukovinian Math. Journal. – 2022. – **10**, No. 1. – P. 61 – 70.



Abstract. *The aim of the present article is to investigate of solutions stability of linear autonomous differential equations with retarded argument. It is obtained the necessary and sufficient conditions, for all the roots of the characteristic equation to have negative real part. We investigate the boundedness conditions and construct a domain of stability for linear autonomous differential equation with several delays. We use D-partition method, argument principle and numerical methods to construct of stability domains.*

Key words: *delay differential equation, stability domain, argument principle, D-partition.*



УДК 648.18

APPLICATION OF RED SLIME IN THE SYNTHESIS OF INORGANIC
PIGMENTS IN THE OXIDE SYSTEM Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Cr_2O_3 - ZnO - TiO_2
ЗАСТОСУВАННЯ ЧЕРВОНОГО ШЛАМУ ПРИ СИНТЕЗІ НЕОРГАНІЧНИХ
ПІГМЕНТІВ В ОКСИДНІЙ СИСТЕМІ Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Cr_2O_3 - ZnO - TiO_2

Ivanyuk E.V. / Іванюк О.В.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-4112-837x

Suprunchuk V.I./ Супрунчук В.І.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-1148-6451

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

03056, Kyiv, Prosp.Beresteysky, 37, building 4

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»,

м. Київ, просп. Берестейський 37, корпус 4

Анотація. В роботі проведено обґрунтування можливості використання червоного шламу, як базової сировини для процесів утворення кольоровизначальних шпінельних структур пігментів коричневої гами. Доведено можливість повної заміни чистих реагентних оксидів алюмінію(III) та феруму(III) в процесах синтезу неорганічних пігментів на червоний шлам та зменшення використання оксиду хрому(III) у шихтових складах пігментів коричневої гами з утворенням безперервного ряду твердих розчинів шпінелей. Використання червоного шламу зменшує техногенне навантаження на довкілля.

Ключові слова: Червоний шлам, неорганічний пігмент, дериватографічний аналіз, рентгенограма, змішана шпінель, шпінеліди-хромофори, коефіцієнти розупорядкування, температура синтезу.

Вступ. Червоний шлам (ЧШ) промисловий відхід виробництва глинозему методом Байера, який класифікують як високозалізістий зі значним вмістом оксидів алюмінію та титану. Хоча його і відносять за токсичністю до четвертої групи відходів, але він негативно впливає на довкілля та організм людини, потрапляючи через опади у ґрунт та ґрунтові води. Тому його утилізація і зменшення завалів на шламових майданчиках є важливою задачею.

Високозалізісті шлами, при нашому досвіді їх застосування [4], по співвідношенню оксидів заліза(III), алюмінію(III) та титану(II) придатні для використання у синтезі неорганічних пігментів коричневої гами у оксидній системі Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Cr_2O_3 - ZnO - TiO_2 .

Основний текст. Для дослідження використали Червоний шлам з масовою часткою перерахованою в оксиди, %: Fe_2O_3 - 55; Al_2O_3 -18; TiO_2 -6; SiO_2 -8; Na_2O -4; CaO -5; в.п.п.- 4.

Формування коричневого забарвлення неорганічних пігментів обумовлено утворенням змішаних шпінелідів хрому(III) та заліза(III) ($\text{Zn}[\text{Fe},\text{Cr}]_2\text{O}_4$ - цинк-залізо-хромового та $\text{Zn}[\text{Al},\text{Cr}]_2\text{O}_4$ - цинк-алюмо-хромового), які знаходяться в октаедрично-тетраедричній координації оксигенного каркасу шпінелі у відповідності з енергією переходу катіонів в октаедричні позиції. Тому створення стійкого коричневого забарвлення пігменту та барвника на його основі, обумовлює додаткове використання оксиду хрому(III) у шихтових



складах пігментів в яких як базову сировину застосовують червоний шлам.

Відповідно молярне співвідношення $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3$ має бути близьке до співвідношення оксидів у промислових пігментах цього ж кольору. Можливість заміни чистих оксидів хрому(III) та заліза(III) в шихтовому складі пігментів на відповідну кількість червоного шламу досліджено методом пробних синтезів в умовах окиснюваного середовища обпалювальної печі.

При складанні матриці планування складів пігментів було передбачено повну заміну Fe_2O_3 та Al_2O_3 , так і часткову заміну Cr_2O_3 . Для пошуку області стабільності кольору пігменту попередньо підготовлені шлами дошихтовували не тільки оксидами цинку, але й додатково кількістю оксиду хрому(III) для встановлення необхідного співвідношення $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3$. Шихтовий склад, умови синтезу та характеристики пігментів наведено в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, варіювання співвідношенням оксидів заліза та хрому, яке можна досягти шихтуванням різної кількості червоного шламу та оксиду хрому(III), дозволяє отримати коричневі пігменти різних відтінків (від ково-коричневого ($\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.12\div 0.36$) до темного коричневого ($\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.42\div 0.6$). Кількість оксидів TiO_2 , ZnO суттєвого впливу на змінення кольору пігментів не має, але при збільшенні кількості цих оксидів вище стехіометричного призводить до утворення змішаної цинк-алюміній-залізо-хромової шпінелі та шпінелеподібної композиційної структури: $\text{TiO}_2\text{-[Fe,Ti]O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$ що дозволяє передбачити формування світліших відтінків коричневого, за рахунок ефекту розбавлення та розбілення.

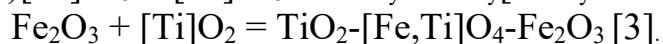
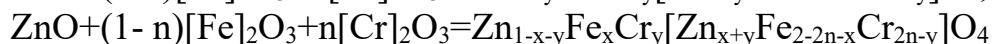
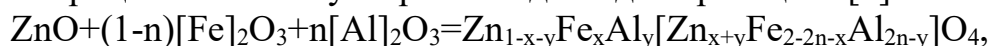
Таблиця 1 - Колористичні характеристики пігментів оптимальних складів, синтезованих з використанням червоного шламу

Індекс пігменту	Співвідношення $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3$	Компоненти шихти модельних пігментів, мас. %							Характеристика пігменту
		ЧШ	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cr_2O_3	ZnO	SiO_2	TiO_2	
Пром		-	15,0	9,0	16,0	57,0	-	3	Коричневий
K1	0.83	55.0	-	-	25.0	20.0	-	-	Коричнево-зелений
K2	0.62	53.0	-	-	18.0	23.0	-	-	Коричнево-зелений
K3	0.67	56.0	-	-	21.0	23.0		-	Коричнево-зелений
K4	0.12	75.0	-	-	5.0	20.0	-	-	Каво-коричневий
K5	0.15	73.0	-	-	6.0	21.0	-	-	Каво-коричневий
K6	0.23	70.0	-	-	9.0	21.0	-	-	Каво-коричневий
K7	0.29	68.0	-	-	11.0	21.0	-	-	Коричневий світлий
K10	0.36	64.0	-	-	13.0	23.0	-	-	Світло-коричневий брудний
K11	0.48	61.0	-	-	16.0	23.0	-	-	Шоколадно-коричневий
K12	0.42	65.0	-	-	15.0	20.0	-	-	Коричневий темний
K13	0.52	63.0	-	-	18.0	19.0	-	-	Коричневий темний
K14	0.60	60.0	-	-	20.0	20.0	-	-	Коричневий темний

Синтез пігментів проводили в інтервалі температур (900-1673K) [2].



Рівномірність температурного поля при синтезуючому обпалі забезпечувалася оптимальною товщиною завантаження шихти в капсулі – (100÷110) мм. Протікання процесів шпінелеутворення відповідало реакціям [1]:



Значення коефіцієнтів x , y , a , b розподілення катіонів Zn(II) , Fe(III) , Al(III) між тетраедричними та октаедричними положеннями оксигенного каркасу кристалічної ґратки шпінелі отримано розв'язанням рівнянь ізотерми хімічної реакції процесів шпінелеутворення при термодинамічному аналізі в оксидних систем високотемпературного синтезу, використовуючи температурну та концентраційну залежність значення ентальпії, ентропії та енергії Гібса процесу утворення простих та змішаних шпінелей-хромофорів [1]. Про можливість формування 86шпінельних структур при температурах, вищих за 1073 К, свідчать ІЧ-спектри оптимальних складів пігментів коричневої гами кольорів (рис.1).

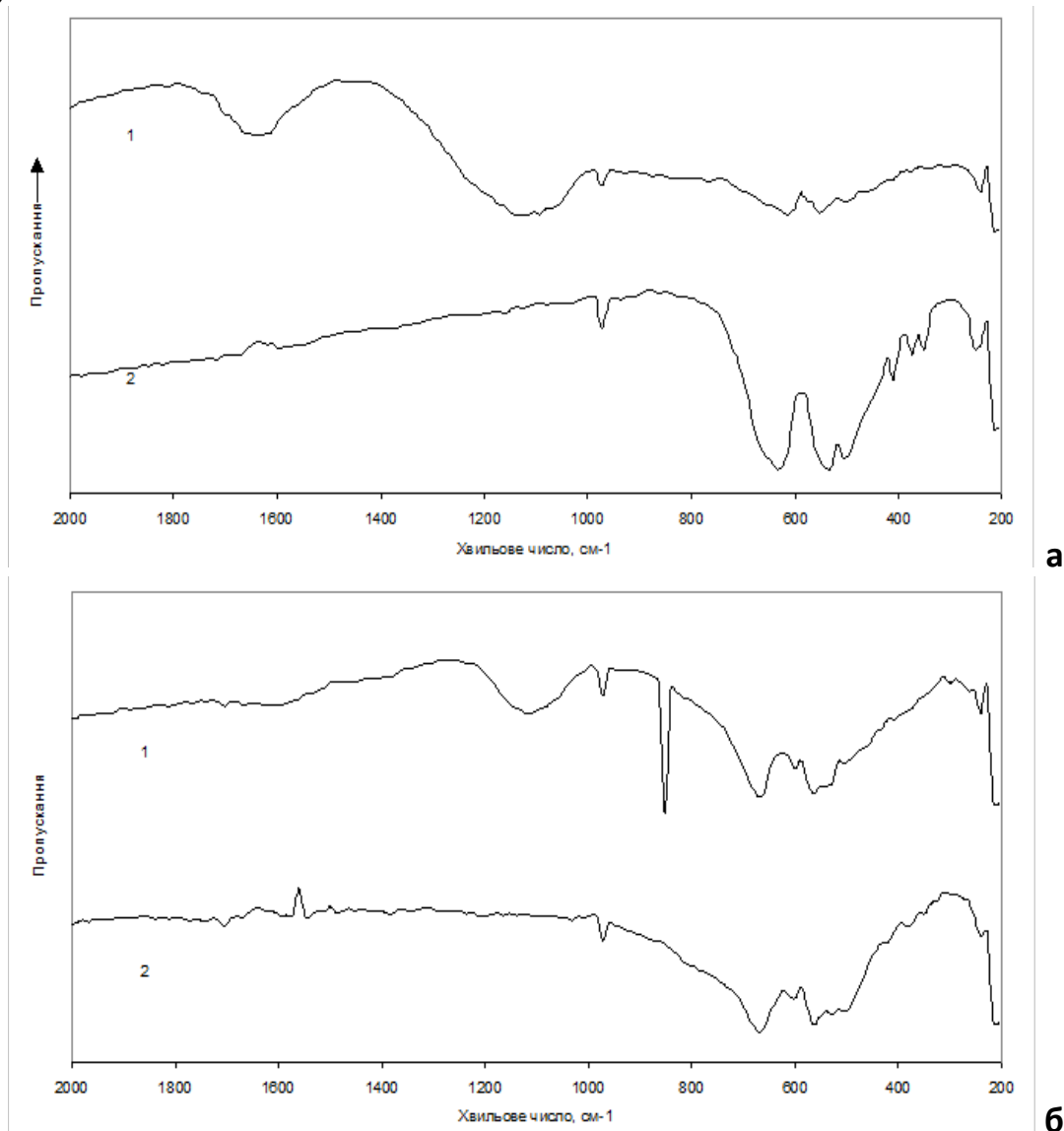


Рисунок 1 – ІЧ-спектри пігментів коричневого кольору синтезованих з використанням червоного шламу (а-склад К-12, б- склад К-10)



З аналізу рис.1 видно, що на ІЧ-спектрі пігментів К-12 та К-10, обпалених при 1100K, якнайбільшої інтенсивності набувають смуги поглинання, які відповідають хвильовим числам 1140 см^{-1} , 1056 см^{-1} та 972 см^{-1} . Максимум поглинання при 1140 см^{-1} , 1056 см^{-1} та 972 см^{-1} можна віднести до області групових частот поглинання деформаційних коливань Fe-O продукту неповної дегідратації гідроксиду заліза(III) [5].

В області низькочастотних коливань спостерігаються 8787малоінтенсивні смуги при 612 см^{-1} та 552 см^{-1} . Смуга поглинання з максимумом при $\nu = 612\text{ см}^{-1}$ відповідає області антисиметричних коливань зв'язку Fe-O [5]. Смуга поглинання з максимумом $\nu=552\text{ см}^{-1}$ найбільш вірогідно відповідає антисиметричним коливанням кристалічної ґратки Fe-O або Zn-O, що вказує на появу в реакційній суміші оксиду заліза(III) та оксиду цинку внаслідок дегідратації їх гідроксидів.

На ІЧ-спектрах продуктів, обпалених при 1273 K, зовсім не спостерігаються смуги поглинання при 1620 см^{-1} , 1140 см^{-1} та 1056 см^{-1} , що свідчить про повну дегідратацію модельних сумішей пігментів при цій температурі. Слід відмітити також ускладнення смуг поглинання ІЧ-спектрів продуктів обпалу шихт цинк-залізової в порівнянні з цинк-хромовою шпінеллю. Це ускладнення виявляється в тому, що смуга поглинання при 396 см^{-1} , яка відповідає за антисиметричне деформаційне коливання оксигеного каркасу октаедричної порожнини шпінельної ґратки [5], розділяється на декілька коливань, які при накладенні спотворюють симетрію смуги поглинання. Це може бути пояснено, виходячи з припущення утворення розупорядкованої оберненої цинк-залізової та цинк-хромової шпінелі. Таким чином, термодинамічний аналіз показує, що при 1273 K найбільш вірогідними є утворення змішаних обернених шпінелей: $\text{Zn}_{0.78}\text{Fe}_{0.22}[\text{Zn}_{0.22}\text{Fe}_{1.78}]$ та $\text{Zn}_{0.98}\text{Fe}_{0.071}\text{Cr}_{0.007}[\text{Zn}_{0.078}\text{Fe}_{0.929}\text{Cr}_{0.0997}]\text{O}_4$.

Виходячи із цього, використання червоного шламу перспективно використати для повної заміни Fe_2O_3 та Al_2O_3 та зменшення до шихтовки оксиду Cr_2O_3 в синтезі коричневих пігментів у системі $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Al}_2\text{O}_3$, а формування коричневого та каво-коричневого забарвлення пояснюється утворенням шпінелі складу: $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Fe}_x\text{Al}_y[\text{Zn}_{x+y}\text{Fe}_{2-2n-x}\text{Al}_{2n-y}]\text{O}_4$, $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Al}_x\text{Cr}_y[\text{Zn}_{x+y}\text{Al}_{2-2n-x}\text{Cr}_{2n-y}]\text{O}_4$, як і у випадку промислових пігментів, та $\text{TiO}_2\text{-[Fe,Ti]O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [3].

Ці міркування підтверджує рентгенофазовий аналіз синтезованих пігментів оптимальних складів: шоколадно-коричневого кольору (К-12), з вмістом, мас. %: ЧШ-65, Cr_2O_3 – 15, ZnO- 20.0 та каво-коричневого кольору (К-10), ЧШ-70.0, Cr_2O_3 – 9.0, ZnO- 21.0 – в яких досягнуто повну заміну ферум(III) оксиду та алюміній(III) оксидів в шихтах. Результати 87розшифровки дифрактограм наведено у 87табл. 2 [6].

Термообробка шихти К-12 при 1623 K, як і при синтезі пігментів з використанням чистих оксидів, призводить, в основному, до утворення шпінелі з загальною формулою $\text{Zn[Fe,Cr]}_2\text{O}_4$, на що вказує набір рефлексів з міжплощинними відстанями ($d = 4.76, 2.93, 2.88, 2.49, 2.47, 2.07, 1.69, 1.625, 1.621, 1.47\text{ Å}$). Окрім того утворюються: ганіт $\text{Zn[Al]}_2\text{O}_4$ ($d = 2.44, 2.03, 1.45, 1.29,$



1.25, 1.09 Å) та шпінелеподібний композит $(\text{Ti,Fe})_2\text{O}_4$ ($d = 1.32$ Å). У пігменті також присутня залишкова кількість сировинних компонентів, що не прореагували: корунд Al_2O_3 ($d = 2.7, 2.29, 1.115$ Å), цинкіт ZnO ($d = 2.83, 2.81, 1.256$ Å).

Таблиця 2 - Розшифровка дериваторам пігментів коричневої гами оптимальних складів

Індекс пігментів							
К-12 (шоколадно-коричневий)				К-10(каво-коричневий)			
Θ	d	I/I ₀ , %	Розшифровка рефлексів	Θ	d	I/I ₀ , %	Розшифровка рефлексів
9,23	4,80	12,3	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$	9,23	4,806	8,6	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
11,06	4,018	6,4	FeAl_2O_4	15,19	2,942	44,0	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
12,8	3,683	7,3	ZnCr_2O_4	17,87	2,512	100	$\text{Fe.(Fe,Cr)O}_4\text{-Ti}$
15,16	2,947	50,0	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$	18,66	2,409	7,1	ZnO
15,79	2,833	7,1	ZnO	19,67	2,290	2,3	Al_2O_3
15,92	2,81	4,1	ZnO	21,69	2,085	16,1	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
17,04	2,631	9,6	FeAl_2O_4	26,92	1,702	12,4	ZnCr_2O_4
17,52	2,7	10,1	Al_2O_3	35,73	1,32	3,2	$\text{Fe.(Fe,Cr)O}_4\text{-Ti}$
17,89	2,509	100	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$	28,69	1,605	32,1	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
18,62	2,444	6,9	$\text{ZnO, FeAl}_2\text{O}_4$	31,5	1,475	64,3	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
18,64	2,414	6,42	$\text{ZnO, ZnCr}_2\text{O}_4$	31,62	1,47	22,9	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$
19,46	2,314	6,1	FeAl_2O_4	35,75	1,319	4,12	$\text{ZnCr}_2\text{O}_4, \text{MgFe}_2\text{O}_4$
19,67	2,290	2,3	Al_2O_3	37,27	1,273	10,6	ZnO
21,66	2,088	15,1	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$	37,85	1,256	10,5	ZnO
26,92	1,702	13,3	FeAl_2O_4	43,71	1,115	5,1	Al_2O_3
28,69	1,605	28,9	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$				
31,5	1,475	48,2	$\text{Zn(Fe,Cr)}_2\text{O}_4$				
35,73	1,32	2,9	$\text{Fe.(Fe,Cr)O}_4\text{-Ti}$				
37,27	1,273	5,0	$\text{ZnO, Fe}_2\text{O}_3$				
37,35	1,27	6,8	$\text{ZnO, Fe}_2\text{O}_3$				
37,75	1,259	7,3	ZnCr_2O_4				
37,86	1,256	3,7	ZnO				
43,71	1,115	3,6	Al_2O_3				
43,84	1,112	9,2	ZnCr_2O_4				
45,13	1,087	9,2	ZnCr_2O_4				
45,21	1,086	4,2	ZnCr_2O_4				
53,31	0,963	4,35	FeAl_2O_4				

Для пігменту К-10 каво-коричневого кольору також притаманна присутність цинк-залізо-хромової шпінелі, яка є основною речовиною з набором міжплощинних рефлексів ($d = 4.806, 2.942, 2.085, 1.605, 1.475, 1.47$ Å), простої цинк-хромової шпінелі ($d = 1.702, 1.319$ Å). Більш світлий відтінок коричневого пояснюється утворенням шпінелеподібного композиту $(\text{Ti,Fe})_2\text{O}_4$ ($d = 1.32, 2.512$ Å) та цинкіту ZnO , що не прореагував ($d = 2.409, 1.273, 1.256$ Å) та корунду Al_2O_3 ($d = 2.29, 1.115$ Å).

Висновки.

Таким чином, експериментально доведено можливість використання червоного шламу, відходу виробництва глинозему, в синтезі неорганічних пігментів коричневої гами з одночасним поліпшенням екології довкілля.



Література:

1. Іванюк О.В. Розробка теоретичних та технологічних основ синтезу неорганічних пігментів з використанням як базової сировини гальванічних шламів: Автореф. дис. канд.техн.наук.-Київ, 2001.-21с.
2. ДСТУ 2999-95. Краски керамические подглазурные для тонкой керамики. Общие технические условия.; Введ.01.01.96. –К.: Госстандарт Украины, 1996. – 17с.
3. Шабельская Н.П., Зеленская Б.А. и др. Синтез композиционного материала $TiO_2-(Fe,Ti)O_4-Fe_2O_3$ и его каталитические свойства. Фундаментальные исследования. 2015, №9 (часть3)-С.532-535. ISSN 1812-7339
4. Ivanyuk E.V., Suprunchuk V. I., Osmuk M. P.; Synthesis of brown pigments iron-zink spinel from hydroxide Тези доп. III Міжнародна науково-практична конференція «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» м. Шостка; 23.11.2016, стор.56-57
5. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. -М.: Мир, 1991.-504с.
6. X-ray diffraction date cards, ASTM, 1973

References:

1. Ivanyuk O.V. Rozrobka teoretichnih ta tehnologichnih osnov sintezu neorganichnih pigmentiv z vikoristanniym galvanichnih shlamiv: Avtoref. Disert. K.t.n.-Kiyv.2001.21str.
2. DSTU 2999-95 Krasky keramicheskie podglazurnie dlay tonkoy keramiki. Obschie technicheskie usloviya.1.01.96.-K. Gosstandart Ukrainy, 1996.-17 str.
3. Shabelskaay N.P., Zelenskaya B.A. I dr. Sintez kompozicionnogo materiala $TiO_2-(Fe,Ti)O_4-Fe_2O_3$ I ego kataliticheskie svoystva. Fundamentalnie issledovaniay.2015.#9 (chast 3)-Str.532-535.
4. Ivanyuk E.V., Suprunchuk V. I., Osmuk M. P.; Synthesis of brown pigments iron-zink spinel from hydroxide/ Tezy dop.III Mizhнародna naukovo-praktichna konferencia “Chimichna tekhnologia nauka< economica ta virobnictvo” m/Shostka, 23.11.2016, stor.56-57
5. Nakamoto K. Infrakrasnye spektry neorganicheskikh I koordinacionnykh soedineniy.-M.: Mir,1991.-504s.
6. X-ray diffraction date cards, ASTM, 1973

Abstract. In Article substantiates the possibility of using red slime as a basic raw material for the processes of formation of color-determining spinel structures of brown pigments. The possibility of complete replacement of pure reagent oxides of aluminum (III) and ferrum (III) in the processes of synthesis of inorganic pigments with red slime and reduction of the use of chromium oxide (III) in the batch compositions of pigments with brown ligatures and the formation of a continuous series of solid solutions of spinels, which reduces load on environment.

Key words: Red slime, inorganic pigment, derivatographic analysis, X-ray pattern, mixed spinel, spinelides-chromophores, disordering coefficients, synthesis temperature.

Стаття відправлена: 20.05.2023 р.

© E.V.Ivanyuk



УДК 666.1.053.65

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF CHEMICAL INTERACTION OF INDUSTRIAL GLASS COMPONENTS WITH SULFUR OXIDES

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ХІМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ ПРОМИСЛОВИХ СТЕКОЛ З ОКСИДАМИ СУЛЬФУРУ

Kurikeru Galina / Курікеру Галина

assistant / ассистент

ORCID: 0000-0002-4800-0281

Alecu Russo Balti State University,

Balti, Republic of Moldova, Pushkin str., 38, 3100

Бельцький державний університет імені А. Руссо,

Бельци, Республіка Молдова, вул. Пушкіна, 38, 3100

Анотація. Стаття присвячена термодинамічному аналізу можливості хімічної взаємодії компонентів промислових стекол з оксидами сульфуру. Складено перелік найімовірніших хімічних реакцій між оксидами сульфуру та різними оксидами металів. Отримано графіки зміни енергії Гіббса залежно від температури хімічних реакцій між оксидами сульфуру та оксидами металів. З термодинамічної позиції визначено оксиди металів, які найефективніше вилуговуються з промислового скла оксидами сульфуру.

Ключові слова: промислове скло, оксиди сульфуру, оксиди металів, хімічна реакція, термодинамічний аналіз, зміна енергії Гіббса, температура, вилуговування.

Вступ.

Скловироби масового виробництва (скляна тара, листове скло, сортовий посуд та ін.) мають низьку механічну міцність та погану термічну стійкість, внаслідок чого втрати продукції при транспортуванні та експлуатації досягають 3-5 %. Підвищення фізичних та хімічних властивостей скла досягається шляхом зміни складу та структури його поверхневого шару. У скляній промисловості застосовуються різні методи поліпшення експлуатаційних властивостей скловиробів: загартування у різних середовищах, іонний обмін, нанесення різного роду покриттів, термомагнітна обробка та інші [1-2].

Ефективним методом підвищення хімічної стійкості поверхні скла є вилуговування кислими газами. Для термохімічної обробки застосовуються оксиди сульфуру, хлористий водень, фторхлорвмісні сполуки, а також суміші газів [3-4].

Водо- і кислотостійкість поверхні промислового скла під впливом кислих газів зростає в кілька разів, при цьому також підвищується його механічна міцність на 15-20 %, термостійкість і мікротвердість - на 10-15 % [3-4]. Чим інтенсивніше вилуговується поверхня скла кислими газами, тим більший ефект досягається у підвищенні його фізико-хімічних властивостей.

Мета цієї роботи полягала у з'ясуванні можливості хімічної взаємодії компонентів промислових стекол з оксидами сульфуру на основі термодинамічного аналізу.

Аналітична частина.

Методика термодинамічного аналізу можливості хімічної реакції між оксидами сульфуру і компонентами промислових стекол розроблялася з



урахуванням наступних умов:

- 1) складання списку оксидів металів, які входять до складу більшості видів промислових стекол;
- 2) складання списку найбільш вірогідних реакцій між оксидами металів і оксидами сульфуру;
- 3) розрахунок зміни енергії Гіббса для хімічних реакцій між оксидами металів і оксидами сульфуру в стандартних умовах;
- 4) розрахунок зміни енергії Гіббса для хімічних реакцій між оксидами металів і оксидами сульфуру при температурах $T = 300; 400; 500; 600; 700; 800, 900$ і 1000 К.
- 5) аналіз отриманих результатів і вибір найбільш складів стекол які найефективніше вилуговуються оксидами сульфуру.

Список оксидів металів для термодинамічних розрахунків складено з урахуванням хімічних складів скла, які застосовуються у наших експериментах (табл.1).

Таблиця 1 - Хімічні склади промислових стекол

Вид скла	Зміст оксидів (масова частка,%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
листо́ве	72,65	1,55	0,11	7,60	3,71	13,62	0,35	0,31
сорто́ве прозо́ре знеба́рвлене	71,95	4,22	0,04	6,52	0,20	17,15	0,10	0,12
сорто́ве ме́дове	71,27	1,52	0,05	9,44	0,21	17,01	0,25	0,33
тарне знеба́рвлене	71,81	2,53	0,07	6,54	4,60	13,72	0,25	0,43
пляшко́ве темно-зе́лене	69,68	4,83	0,69	9,68	0,35	14,37	0,21	0,34
світлотехні́чне роза́линове	71,48	2,74	0,04	7,32	0,22	17,10	0,36	0,31
світлотехні́чне мо́лочне	65,21	6,94	0,04	3,88	0,14	19,48	0,19	0,14
хімі́ко-лабора́торне	80,12	2,30	0,08	0,73	-	3,96	-	-
медичне безба́рвне	72,83	4,27	0,08	0,81	-	3,92	-	-

Список оксидів металів для термодинамічних розрахунків наступний: Li₂O, Na₂O, K₂O, CaO, MgO, BaO, FeO, Al₂O₃.

Зміна енергії Гіббса для хімічних реакцій сульфур (IV) оксиду з деякими оксидами металів при температурах 298 і 1000 К наводиться в таблиці 2.

З термодинамічних позицій критерієм можливості протікання хімічної реакції в стандартних умовах є від'ємне значення зміни енергії Гіббса. Більшість довідкових даних для термодинамічних розрахунків взяті з монографії [5].



Таблиця 2 - Зміна енергії Гіббса для хімічних реакцій SO₂ та суміші SO₂ з O₂ з оксидами металів при температурах 298 і 1000 K

Рівняння ймовірних реакцій SO ₂ та суміші SO ₂ з O ₂ з оксидами металів	$\Delta_r G^0$ (298 K), кДж/моль	$\Delta_r G$ (1000 K), кДж/моль
$\text{Li}_2\text{O} + \text{SO}_2 + = \text{Li}_2\text{SO}_3$	- 236	-1610
$\text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_3$	- 376	- 5159
$2\text{FeO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{FeSO}_4$	- 576	109967
$2\text{MgO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{MgSO}_4$	-606	- 35989
$2\text{CaO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$	- 832	- 11198
$2\text{Li}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{Li}_2\text{SO}_4$	-922	-106602
$2\text{Na}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{SO}_4$	-1177	-25780
$2\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2 + 3\text{O}_2 = 2 \text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$	-1235	- 52810
$2\text{K}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{K}_2\text{SO}_4$	-1388	126198

З представлених результатів випливає, що з термодинамічних позицій в стандартних умовах сульфур (IV) оксид та суміші SO₂ з O₂ повинні реагувати з усіма оксидами металів.

Можливість протікання хімічної реакції суміші SO₂ з O₂ з оксидами металів в стандартних умовах знижується зліва направо наступним чином: K₂O > Al₂O₃ > Na₂O > Li₂O > CaO > MgO > FeO.

При температурі 1000 K FeO та K₂O не повинні вступати в реакцію із сумішшю SO₂ і O₂. Зниження можливості протікання хімічної реакції суміші SO₂ з O₂ з оксидами металів є інше: Li₂O > Al₂O₃ > MgO > Na₂O > CaO.

Табличні дані також показують, що підвищення температури збільшує негативне значення зміни енергії Гіббса.

Зміна енергії Гіббса для хімічних реакцій сульфур (VI) оксиду з деякими оксидами металів при температурах 298 і 1000 K наводиться в табл.3.

Таблиця 3 - Зміна енергії Гіббса для хімічних реакцій SO₃ з оксидами металів при температурах 298 і 1000 K

Рівняння ймовірних реакцій SO ₃ з оксидами металів	$\Delta_r G^0$ (298 K), кДж/моль	$\Delta_r G$ (1000 K), кДж/моль
$\text{MgO} + \text{SO}_3 = \text{MgSO}_4$	- 232	- 4857
$\text{CaO} + \text{SO}_3 = \text{CaSO}_4$	- 341	- 4169
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_3 = \text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$	- 402	- 22413
$\text{BaO} + \text{SO}_3 = \text{BaSO}_4$	- 460	- 7327
$\text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{Na}_2\text{SO}_4$	- 519	-11681
$\text{K}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{K}_2\text{SO}_4$	- 598	- 4015

Отримано графічні залежності зміни енергії Гіббса від температури для ймовірних хімічних реакцій між SO₂, сумішшю SO₂ і O₂ та SO₃ з компонентами промислових стекол, які наводиться на рис. 1, рис. 2 і рис. 3

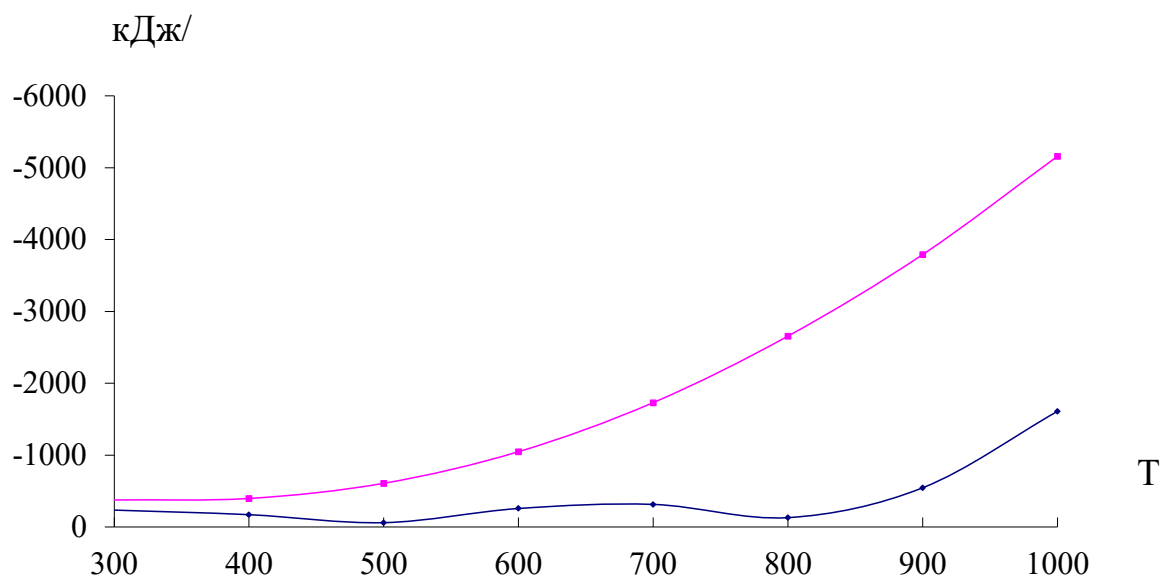


Рис.1. Залежність зміни енергії Гіббса від температури для хімічної реакції сульфур (VI) оксиду з оксидами натрію і калію

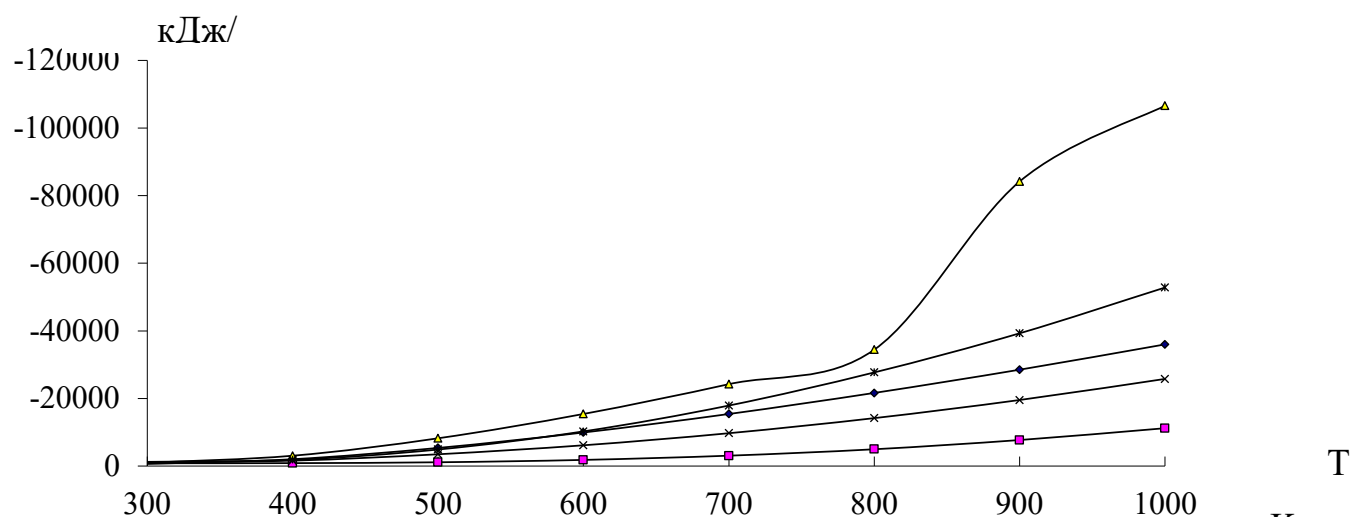
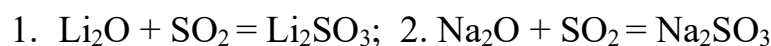
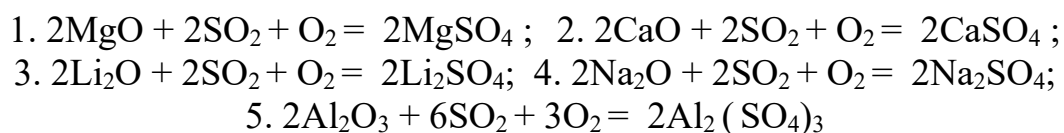


Рис.2. Залежність зміни енергії Гіббса від температури для хімічних реакцій суміші SO_2 з O_2 з оксидами металів



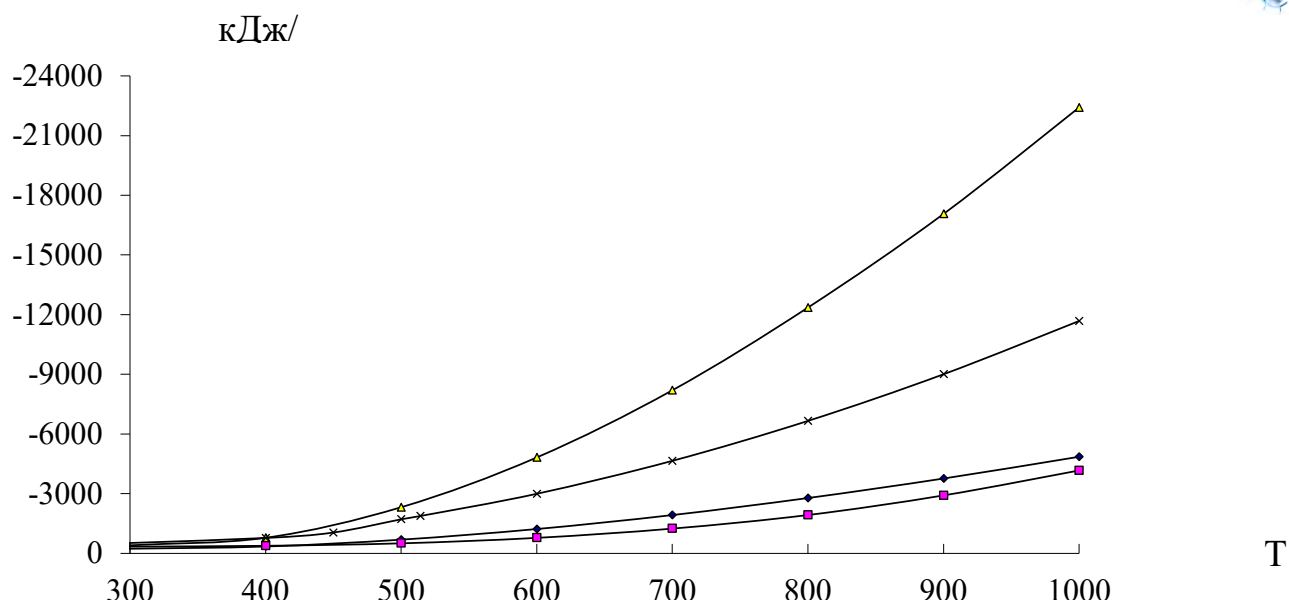


Рис.3. Залежність зміни енергії Гіббса від температури для хімічних реакцій SO_2 і SO_3 з оксидами металів

1 - $\text{MgO} + \text{SO}_3 = \text{MgSO}_4$; 2 - $\text{CaO} + \text{SO}_3 = \text{CaSO}_4$; 3 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;
4 - $\text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{Na}_2\text{SO}_4$

Графіки на всіх рисунках свідчать, що підвищення температури збільшує негативне значення зміни енергії Гіббса.

Висновки

Розроблена методика термодинамічного аналізу можливості протікання хімічної реакції між хлоридом водню та наступними оксидами, що входять до складу промислового скла: Li_2O , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , BaO , FeO , Al_2O_3 .

Отримано графічні залежності зміни енергії Гіббса від температури для ймовірних хімічних реакцій між SO_2 , сумішшю SO_2 і O_2 та SO_3 з компонентами промислових стекл.

Література

1. Бутаев А. М. Прочность стекла. Махачкала: Дагестанский государственный университет, 1997. 253 с.
2. Shelby J. E. Introduction to Glass Science and Technology. 2-nd ed. Royal Society of Chemistry. 2005. 276 p.
3. Шарагов В. А. Химическое взаимодействие поверхности стекла с газами / В. А. Шарагов. - Кишинев: Штиинца, 1988. - 130 с.
4. Hense C. R. Treatment of soda-lime-silica glass surfaces with fluorine-containing gases / C. R. Hense, J. Mecha, H. A. Schaeffer // Glasstech. Ber. Glass Sci. Technol. – 1990. - Vol. 63. - Nr. 5. - P. 127-134.
5. Бабушкин В. И. Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян. - Москва: Стройиздат, 1980. - 349 с.



Abstract. The article focuses on thermodynamic analysis of the possibility of chemical interaction of industrial glass components with sulfur oxides. The list of the most probable chemical reactions between sulfur oxides and different oxides has been made. Graphics of Gibbs energy changes depending on the temperature of chemical reactions between sulfur oxides and different metal oxides have been obtained. From the thermodynamic position, there have been determined metal oxides for the most effective dealkalization by sulfur oxides from industrial glasses.

Keywords: industrial glasses, sulfur oxides, metal oxides, chemical reaction, thermodynamic analysis, Gibbs energy changes, temperature, dealkalization.

Научный руководитель: Шарагов В. А. д.х.н., доцент.



UDC 616.314-08-036.8

EVALUATING OF THE EFFECTIVENESS OF DENTAL TREATMENT BY ANALOG AND DIGITAL METHODS

Proshchenko N.S.

c.m.s., as.prof.

ORCID: 0000-0001-7317-6590

National Medical University named after O.O. Bogomolets,

Kyiv, T. Shevchenko blvd. 13, 01601

Abstract. 50 patients with generalized periodontitis IA, IB under the conditions of a continuous dentition took part in our study. The state of the periodontal tissues was assessed using indices – PMA index, CPI, the Green-Vermillion hygienic index. The study of occlusion-articulation relationships was carried out with the help of Bausch articulating paper with a thickness of 100 microns. Selective diagnostic grinding was performed on gypsum casts in the articulator. Diagnostics and correction of premature occlusal contacts was carried out with the help of the T-scan 10 device. The following results were obtained - after our algorithm of prosthetic examination and occlusal correction, an improvement in the indicators of tooth mobility was established within 1 week and 6, 12 months after grinding. A change in the indicators registered on the T-scan device (the balance between the right and left sides became at the level of 55%-45% in 70% of patients, and 60%-40% in 30% of patients, the average disocclusion time was 0.44 ± 0.05 seconds, time of occlusion - 0.25 ± 0.05 sec.). The index assessment of the state of the periodontal tissues after the treatment showed a significant decrease in inflammation in the gums and improvement of oral hygiene. The obtained results indicate that improving the process of prosthetic examination of patients with generalized periodontitis and the tactics of selective grinding with our method allows to improve the effectiveness of controlling of occlusal-articulation relationships.

Key words: generalized periodontitis, occlusal-articulation relationships, digital method, analog method, partial tooth loss, occlusion correction.

Introduction.

The problems of marginal periodontal disease are still actual at the current stage of development of science and practice. It is conditioned by the fact that inflammatory periodontal disease along with caries and its complications are the main reasons of tooth loss. According to the literature, 40-75% of the population aged 35-49 years have inflammatory marginal periodontal disease accompanied by loss of bone volume [1; 2].

In the development of inflammatory processes the leading role is assigned to microorganisms, periodontopathogens, toxins and enzymes that have not only a direct damaging effect on the tissue, but also indirectly initiate endogenous mechanisms in the development of inflammation [3].

An important role in the pathogenesis of marginal periodontal disease is played by microcirculatory disorders, hypercoagulation and vascular thrombosis. The greatest changes are noted at the capillary level, as a result of which the blood flow rate decreases, tissue hypoxia develops, disorganization of the connective tissue of the periodontal complex occurs, which leads to the formation of secondary autoantigens and eventually to the development of osteonecrotic and osteolytic processes.

In the diagnosis of marginal periodontal pathology special attention is now given to functional physical criteria for comparative diagnosis of bone tissue structure and identification of abnormalities of the occlusal plane, occlusal load [4; 5].



Studies have shown that the correction of pathological processes must be carried out from the results of a comprehensive diagnostic analysis. It has been established that a single highly effective means, local diagnostic factor or method is not sufficient for the complex topical correction of therapeutic measures. In this connection the use of modern diagnostic criteria, allowing objective standardisation of quantitative changes of periodontal tissues is an urgent and promising trend.

In the era of evidence-based medicine great importance is given to objective standardised evaluation of damaging factors that allow in dynamics to analyse the state of the marginal periodontium before treatment, during treatment, to characterise the slowing down or progression of chronic disease, which finally characterises the rationality of the conducted treatment methods, including the quality of life of patients.

Modern new methods of diagnostic monitoring - digital scanning of the oral cavity and dental model of patients in the 3D plane, allows to substantiate the main regularities of the action of damaging factors, effectively and safely standardise the conditions of the real clinical picture in patients with chronic inflammatory processes in the periodontium [6].

However, a comprehensive quantitative diagnostic characterisation of alveolar periodontal tissue changes without taking into account various combinations of qualitative changes is insufficient.

The practical use of orthopantomography as a method of objective diagnosis of the condition of the alveolar processes of the jaw, to date finds absolute confirmation [7].

The researches of the last years have determined the basic laws of X-ray examination of patients and discovered the expediency of analyzing not only the total volumetric changes of bone condition along the whole thickness of the alveolar process, but also the necessity of detailing the X-ray symptoms depending on the depth and volume of lesions. This allows for a comprehensive assessment of the topical diagnostic and clinical picture of the periodontium, rationally outlining and optimising treatment methods and tools with an in-depth understanding of the structural change of the periodontium in the various sites.

Thus optimisation of radiological examination of patients, especially in the period of secondary adentia with subsequent prosthetic rehabilitation, allows to estimate comprehensively the efficiency and safety of combined methods of orthopaedic restoration of masticatory load on periodontium.

In real clinical practice, the use of computed tomography of the alveolar processes is justified. Analysis of qualitative changes of the periodontal complex in patients with chronic periodontitis and establish the significance of this method for the correct choice of prosthodontic treatment as an optimization and rehabilitation method based on methods of directional correction of the occlusal plane and masticatory efficiency.

The principle of an in-depth understanding of pathogenesis, when predetermining the condition, is essential in these patients.

Serious progress [8; 9].

Studies of the functional load on the detection of traumatic nodules, the periodontium are obtained using the T-scan method.

Thus, modern automated systems for functional and structural examination of the



periodontium of patients with chronic periodontitis require a comprehensive analysis. This involves objectivisation of the resolution of each method, which allows studying the accuracy and diagnostic significance of various methods of periodontal assessment in patients with chronic inflammatory process in the periodontium, to detect both local changes and systemic status in the oral cavity [7; 9].

In this regard, there is a clear need for further research to investigate the standardisation of a set of methods. Determination of the discrepancy between instrumental and automated standard examinations depending on the jaw, dental segment, tooth surface taking into account the anatomical and functional features will make it possible to identify the dynamics of changes in pathological processes in the periodontium [7; 8; 9].

Main text

Object and research methods.

The 80 patients were involved into investigation about chronic generalized periodontitis (CGP) of the I-II types. The diagnosis was established according to the current systematization of periodontal diseases, edited by Prof. M. F. Danilevsky (1994). The average age of patients was 36.0 ± 6.8 years. The control group ($n=20$) was as comparable as possible in age and sex to the patients examined. The standard of clinical examination included the collection of complaints, a history of life and illness, an objective examination – the determination of periodontal indices of inflammation, the depth of periodontal pockets, tooth mobility, which made it possible to combine these patients into one nosologically homologous series. To determine the violation of occlusive ratios and to carry out a comparative morpho-functional state of periodontium, digital scanning, T-scan and X-ray examination (orthopantomography and computed tomography) were performed. All studies were carried out at the Dental Medical Center of the Bogomolets National Medical University, Kyiv city, Ukraine.

Methods for assessing occlusive ratios of dentition were carried out on the T-scan apparatus of the American company Tekscan. This computer analysis system made it possible to evaluate data on the sequence of contacts, the time of occurrence of the first contact and its localization, the sequence of contacts in real time, the force of compression of the dentition over a certain period, to follow the change in occlusive ratios of dentition from the first contact to the maximum intertubercular contact, followed by video recording in color differential scales. This contributed to the objectification of the identified violations with the full standardization of the survey method in dynamics with a comparative time mode, and made it possible to present graphically obtained results.

Intraoral scanning method. Scanning of recession and dehiscence areas before and after treatment using the Medit i500 intraoral scanner (MEDIT Corp., Seoul, Korea) (FOV scanning – 14×13 mm, scan accuracy – (4.2 ± 0.49) microns, scanning precision – (2.1 ± 0.58) microns, scanning depth range – 1221 mm). Further analysis of recession and dehiscence sites was carried out by Medit Link v2.6 software based on the scanner manufacturer's digital platform (MEDIT Corp., 88 Seoul, Korea) using available functions to diagnose the initial clinical characteristics and their changes achieved as a result of the treatment.

Computed tomography. Statistical calculations were carried out using the



Microsoft Excel Statistics for Windows application package. The reliability of the differences was determined by the Student's criterion, at $p \leq 0.05$.

Research results.

It was established that the chronic generalized periodontitis of I-II types in 99.7% of patients is accompanied by the presence of signs of chronic inflammation in the gums, recession, dehiscence, fenestration, exposure of anatomical necks and roots of teeth up to 1/3–1/2 length ($P < 0.01$).

In the clinical assessment of the state of inflammation of the gums, anatomical disorders were identified, in particular deformations of the marginal edge in the form of recessions from 1 to 4 mm, with exposure of the anatomical teeth and roots of the teeth up to 1/3–1/2, displacement of teeth in the mesio-distal and vestibule-oral direction, uneven abrasion of tubercles or cutting edge, wedge-shaped defects ($p < 0.01$). The presence of periodontal pockets of different depths up to 4 mm was indicated by different levels of quantitative and qualitative destruction of the alveolar shoots of the upper and lower jaw, which occurred due to the vertical, uneven type of resorption. During clinical examination of periodontal pockets, all patients have a point release of hemorrhagic-serous exudate, uneven moderate edema, poorly defined redness of the mucous membrane within the interdental spaces ($p < 0.01$). Uneven changes in the exposure of teeth, the severity of signs of inflammation in the gums contributed to the formation of a more differentiated, in-depth comprehensive examination of patients to identify determinant destabilization of the dentition functional state and jaw system, and further control of structural changes. All documents regulating the strategy and phasing of treatment of this group of patients, firstly, professional hygiene and the appointment of local anti-inflammatory therapy, provide for the consistent elimination of traumatic occlusion, which is aggravated primarily by the mobility of the teeth and the destruction of the spongy bone of the interdental membranes.

In this regard, the sequence and choice of methods for restoring occlusive balance and chewing efficiency will be determined by multi-link, standardized, objective comprehensive study of periodontal tissues, with the identification of topical multi-level damage.

Due to this, we have proposed an algorithm for a comprehensive standardized automated modern examination of a periodontal tissues state comple. Comparing the data of digital intraoral scanning with X-ray methods (orthopantomography and computed tomography) of alveolar shoots, an ambiguous interpretation was found regarding the ratio of structural, quantitative, and qualitative changes ($p < 0.01$).

Digital intraoral scanning – as a method of visualizing the structural external manifestations of CGP is not quite sufficient to determine the severity of existing objective structural changes in periodontium. There is an absolute correspondence between reliability relative to the degree of recession, fenestration ($p < 0.01$).

However, determining the degree of resorption of the interdental membranes, osteolytic bone destruction is not the main criterion for the final choice of using method for further treatment and the restoration of chewing efficacy. A mandatory assessment of qualitative changes in bone tissue is necessary, which is more accurately reflected in computed tomography. Dental panoramic radiography suggests the level of



osteolysis, while the qualitative characteristics of the osteonecrosis in the form of varying degrees of severity of osteoporosis are leading, but not sufficiently in-depth and correctly ($p < 0.05$) are visualized in the orthopantomogram.

Probably local heel osteoporosis should be considered primarily as a sub- and decompensatory process due to peripheral circulatory disorders. Therefore, conversion as a rejection of the proposal to conduct only traditional orthopantomography, and the use of modern standardized methods for diagnosing functional disorders using T-scan, morphological comparative computed tomography for the qualitative characterization of the altered structure of interdental membranes. At the present stage, medical complex diagnostics is a necessary and argumentative fact.

The main indications for conversion are:

1) Anatomical features of each individual patient (determined by the primary analysis of clinical manifestations and necessarily complemented by holistic visualization due to intraoral scanning of dentition, which is a duct of reliable examination of the patient in dynamics)

2) Changes in the objective assessment of the severity between the external manifestation of the jaw ridge bone and the functional pathophysiological activity of the process (this is manifested by the discrepancy between the visualization of intraoral scanning data and the state of the occlusal plane, taking into account the adaptive and complex rebuilding in the area of traumatic nodes – sequence, occlusal contact force level, the presence of tubercle contacts, the duration of closure, which is objectively recorded by the "T-scan" device.

3) Insufficient resolution of orthopantomography in terms of step-by-step qualitative changes in bone tissue and periodontium around interdental membranes (this is due to the impossibility of determining the reliable and objective analysis of osteoporosis and changes in bone architectonics around traumatic nodes).

The objectivity of the functional changes is assumed when carrying out complex method for assessing the occlusive ratios of dentition "T-scan". Without these data, the doctor, due to the low resolution of the visual apparatus, cannot indicate the preservation of the balance between true osteoporosis and bone osteonecrosis (pic. 1). An uneven step-by-step change in the architectonics of bone tissue in the integral volume of the interdental membrane is an objective fact in 97.5% without considering the cut depth of the study plane.

The analysis of orthopantomogram indicates that it is impossible to detect the degree of osteoporosis within the interdental shades ($P < 0.01$) (pic. 2). With this mechanism, the imbalance of osteoporosis, depending on the step-by-step study of the interdental membrane, is consistent with our data.

Thus, the peripheral conversion index at the current level of diagnosis varies. This indicates the preservation of a balance between the main functional-structural mechanism, which determines the pathophysiological activity of inflammatory-destructive processes.

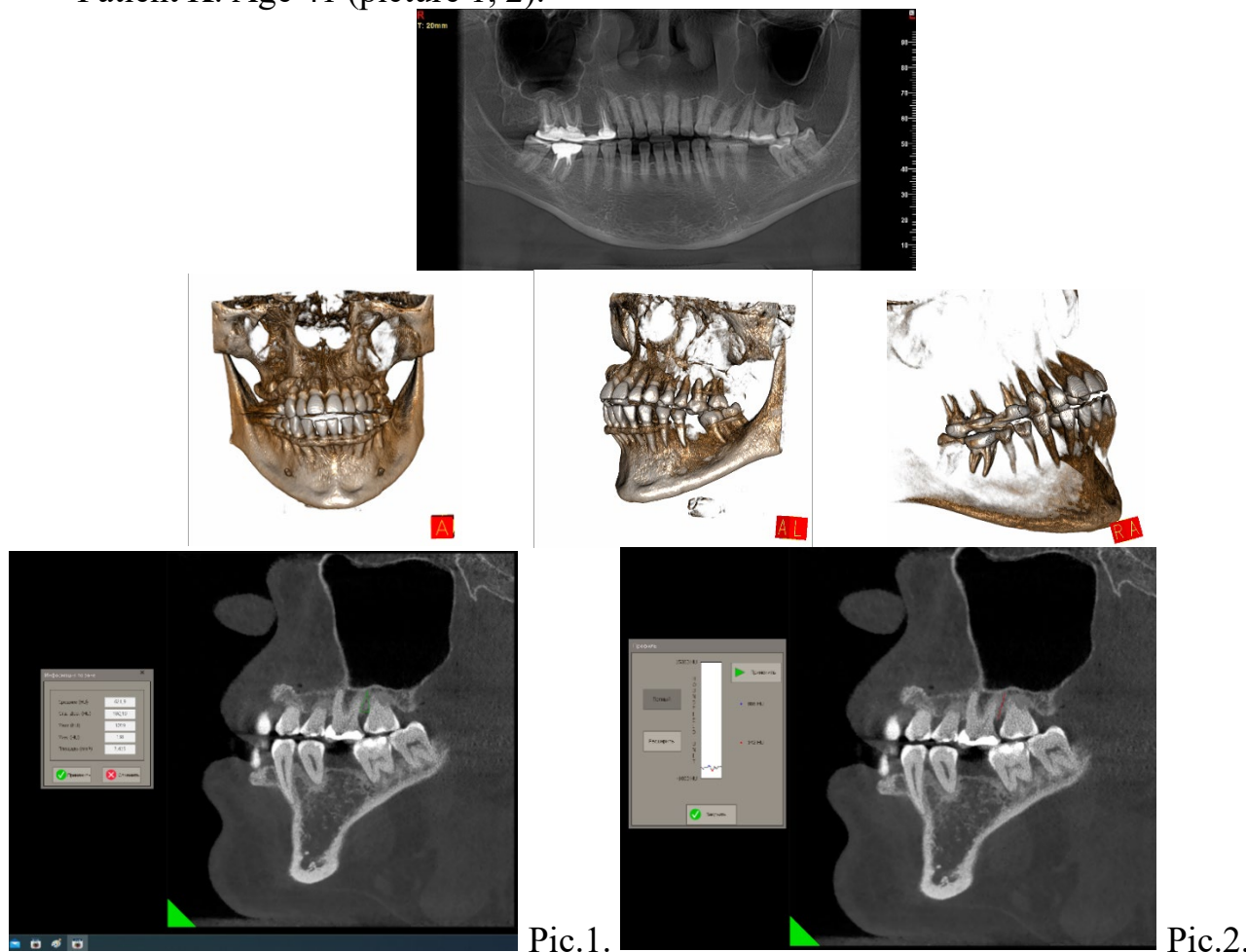
Summarizing, standardized hardware examination of periodontal tissues for chronic generalized periodontitis of I-II types will allow an objective assessment of the functional and structural changes complex to detail topical disorders, to determine methods, directions of pathogenetic treatment, predicting the course disease (pic. 3).



To confirm, a comprehensive additional study of patients diagnosed with chronic generalized periodontitis of the I-II types will be possible by using the auxiliary digital intraoral scanning, T-scan, orthopantomography, computed tomography of alveolar shoots. We have presented several clinical examples.

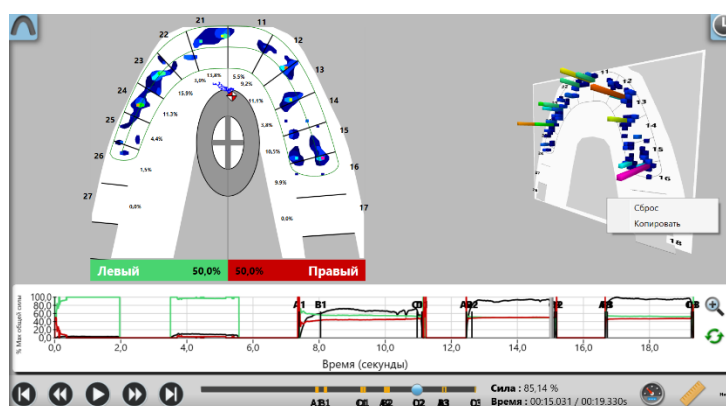
Pictures

Patient K. Age 41 (picture 1, 2).



Picture 1.

Area within 26-27 teeth, histogram, densitometry. Hounsfield unit average value 621,9 un, within osteoporosis 138 un, maximum density 1089 un.



Picture 3.

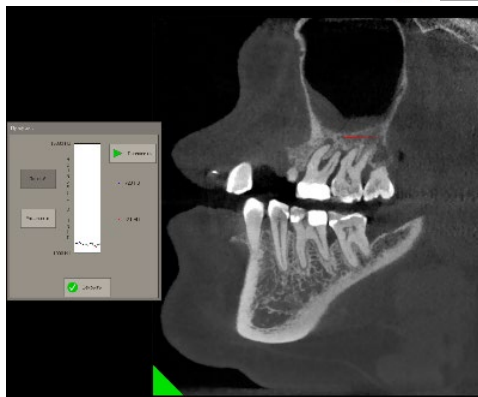
T-Scan . Different level of occlusal load during primary occlusion of teeth.
Patient V. Age 43 (picture 3).



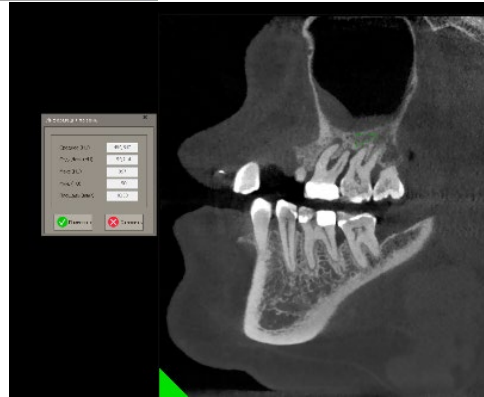
A

AL

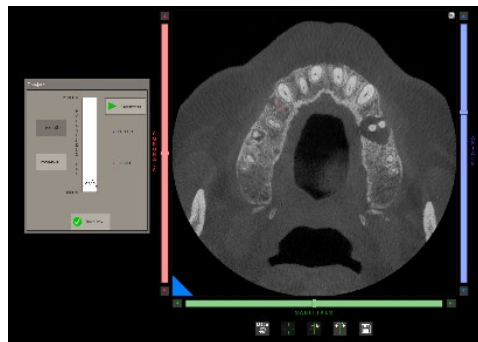
RA



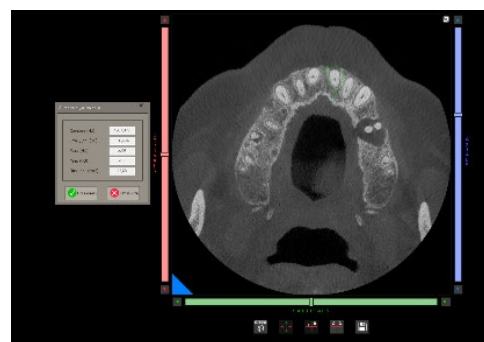
Pic.1.



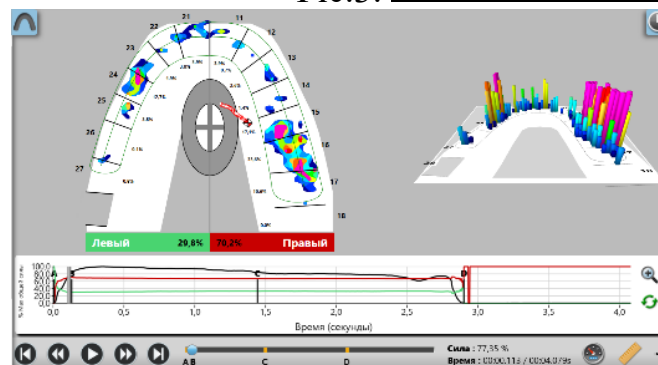
Pic.2.



Pic.3.



Pic.4.



Pic.5.

Picture 2.

**Sagittal projection. Area within 16-17 teeth, histogram, densitometry.
Hounsfield unit average value 484,6 un, within osteoporosis 150 un, maximum
density 897 un.**



Summary and conclusions.

1. A comprehensive study of periodontal tissues, which includes digital intraoral scanning, T-scan, orthopantomography, computed tomography of the alveolar germs of the jaws, is a mandatory standardized automated study.

2. This diagnostic complex can allow to identify functional and structural changes, which in turn involves minimizing errors in objective diagnostics, to correct and predict treatment methods depending on the individual characteristics of the course of the disease.

References:

1. Nespriadko VP, Lyseiko NV, Topka PP. Vyiavlennia roli okliuziinykh vzaiemovidnoshen v patohenezi heneralizovanoho parodontytu na rannikh stadiakh zakhvoriuvannia. Ukr. Stomatol.almanakh. 2011.3:57-59.

2. Mansour M. The Use of Digital Impressions to Fabricate Tooth-Supported Partial Removable Dental Prostheses A Clinical Report / M. Mansour, E. Sanchez, C. Machado // Journal of Prosthodontics. – 2016. – Vol. 25, № 6. – P. 495-497.

3. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication/ M.T. Kattadiyil [et al.] // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2014. – Vol. 112, № 3. – P. 444-448.

4. Wu J. Use of intraoral scanning and 3-dimensional printing in the fabrication of a removable partial denture for a patient with limited mouth opening / J. Wu, Y. Li, Y. Zhang // The Journal of the American Dental Association. – 2017. – Vol. 148, № 5. – P. 338-341.

5. Fabrication of a definitive obturator from a 3D cast with a chairside digital scanner for a patient with severe gag reflex: a clinical report / J. Londono [et al.] // The Journal of Prosthetic Dentistry. – 2015. – Vol. 114, № 5. – P. 735-738.

6. Lyseiko NV, Hushcha DK, Shevchuk VO. Funktsionalne doslidzhennia okliuziinykh spivvidnoshen zubnykh riadiv u patsiientiv z patolohichnoiu rukhomistiu zubiv na tli zapalnykh zakhvoriuvan tkanyn parodonta. Bukovynskyi medychnyi visnyk. 2015;19(4):100-103.

7. Irving Glickman, Perry A. Ratcliff, Marvin M. Sugarman, Helmut A. Zander. In Our Opinion: When and to What Extent Do You Adjust the Occlusion During Periodontal Therapy? J Periodontol. 1970 Sep;41(9):536-541. Doi: 10.1902/jop.1970.41.9.536.

8. Yuris VO. Sravnitel'naya yefektivnost metodov korektsii oklyuzionnykh vzaimootnoshenii v kompleksnom lechenii patsientov s boleznyami parodonta. Meditsinskie novosti. 2016;2:49-54.

9. Fastovets O.O, Malynovskyi V H. Kompleksna otsinka efektyvnosti likuvannia heneralizovanoho parodontytu. Visnyk stomatolohii.2018;4:48-52.

The article was prepared as part of the scientific topic «Complex digital planning of fixed constructions in prosthodontic dentistry» № 0120U100655.

Article sent: 01.04.2023

© Proshchenko N.S.



УДК 579.262:001.891

MODERN METHODS OF BIOFILM RESEARCH

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОПЛІВКИ

Zabolotna I.I. / Заболотна І.І.

c.med.s., as. prof. / к.мед.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3284-0392, Scopus ID: 57225012445, Researcher ID: GXM-5946-2022

Donetsk National Medical University, Liman, Privokzalna, 27, 84404

Донецький національний медичний університет, Лиман, Привокзальна, 27, 84404

Анотація. Біоплівка є переважною формою росту більшої кількості мікроорганізмів. У даній роботі представлений огляд сучасних наукових публікацій, що стосуються методів її дослідження. Доведено, що стандартна мікробіологічна діагностика у клінічній практиці має бути доповнена доступними, швидкими та інформативними методами аналізу біоплівки. Але більшість розглянутих методів використовується в основному лише у наукових дослідженнях і не знаходить застосування у клінічній практиці. Вивчення особливостей біоплівки має велике значення для подальшого обґрунтування вибору засобів індивідуальної гігієни порожнини рота і комплексного лікування і профілактики стоматологічної патології.

Ключові слова: біоплівка, мікроорганізми, порожнина рота

Вступ.

Порожнина рота людини уявляє собою другий за різноманітністю мікробіом в організмі, який містить понад 700 видів бактерій, і відрізняється надзвичайно сприятливими умовами для росту і розмноження мікрофлори за рахунок лужної реакції середовища, наявності залишків їжі, оптимальної вологості і сприятливої температури [1]. Переважною формою існування більшої кількості мікроорганізмів, особливо патогенних, є біоплівка (biofilm), яка відіграє головну роль в етіології стоматологічних захворювань. Накопичуючись у дентальній біоплівці (сукупність зубного нальоту і каменю), що складається з полімікробних співтовариств, популяції мікроорганізмів розвиваються послідовно, вони тісно пов'язані з внутрішнім середовищем організму і його оточенням, чутко реагуючи на їх стан [2]. Якщо у складі біоплівки превалюють кислотопродукуючі мікроорганізми, баланс процесів демінералізації/ремінералізації зміщується у бік довготривалих епізодів зниження рН, що призводить до втрати мінеральної компоненти зубів [3]. Біоплівки, які формуються грибами, швидко колонізуються представниками бактеріальної мікробіоти, багато з яких володіють високим патогенним потенціалом [4]. Для дентальної біоплівки характерна така властивість, як саморегуляція. Її архітектура і функції індивідуальні навіть при подібному бактеріальному складі, а сама біоплівка в нормі знаходиться у метаболічно рівноважному стані [5]. Її склад залежить від локалізації (над'яснева і під'яснева) і анатомічної ділянки порожнини рота. У біоплівках на верхній щелепі частіше мешкають стрептококи і лактобацили, на нижній щелепі - вейлонели і ниткоподібні бактерії [5]. Мікробні метаболічні взаємодії та міжвидова комунікація є важливими аспектами виживання співтовариств, які також можуть бути об'єктом антимікробних стратегій, що ґрунтуються на екологічному розумінні біоплівок [6]. Отже, вивчення особливостей їх формування, обумовлених плівкоутворюючими штамми, є одним із важливих питань сучасної медицини і біології.



Основний текст

Ідентифікація біоплівки заснована на візуалізації принаймні двох із наступних трьох обов'язкових критеріїв: прикріплення мікроорганізмів до поверхні; структуровані зборки мікробних клітин; наявність екзополімерного матриксу [6, 7]. Для того, щоб довести присутність біоплівки, використовують різноманітні методичні підходи, спрямовані на виявлення: елементів біоплівкового позаклітинного матриксу; генів, що контролюють біоплівкоутворення; складних архітектурних структур, специфічних для неї. Попередньо проводять видову ідентифікацію мікроорганізмів, що формують біоплівку [7].

Але дентальні біоплівки мають складну багаторівневу тривимірну організацію, яка ускладнює їхнє вивчення. Існує досить велика кількість методів, що дозволяють провести візуалізацію мікробних співтовариств, які сформувались. До них відносяться електронна мікроскопія і конфокальна лазерна скануюча мікроскопія (CLSM) [8]. Самим наочним методом візуалізації матриксу, а отже виявлення біоплівки, є електронна мікроскопія [7]. Скануюча електронна мікроскопія (SEM) з 2D-візуалізацією дозволяє проводити цитоморфологічні дослідження складу під'ясневої біоплівки. SEM з 3D-візуалізацією використовують для кращого вивчення морфології мікроорганізмів та архітектоники непорушеної під'ясневої мікробної біоплівки [6]. Більш удосконаленим є специфічне офарблення матриксних біополімерів за допомогою спеціальних наборів флуоресцентних фарбників (наприклад, «FilmTracer™ Sypro® Biofilm Matrix Stain», Invitrogen), позиціонованих фірмами-виробниками в якості препаратів для виявлення матриксу [7].

Але традиційно у мікробіологічних дослідженнях розглядаються результати вивчення планктонних бактеріальних клітин. Ідентифікацію чистих виділених культур проводять за морфологічними, тінкторіальними, культуральними та біохімічними ознаками, користуючись класифікаційною схемою Bergey [3]. Прийнято вважати за «критичне число» для бактерій $> 10^5$ в 1 мл, у деяких випадках $> 10^4$; для грибів, анаеробів і найпростіших воно $> 10^3$ - 10^4 . Існуючі методи визначення КУО розроблені тільки для планктонних форм бактерій без урахування здібності мікроорганізмів формувати біоплівку, що знижує достовірність отриманих результатів [8]. Існують також тест-системи для ідентифікації мікроорганізмів, розробкою яких займаються багато відомих виробників. Не дивлячись на деякі недоліки методу (відносна тривалість досліджень, при використанні складних діагностичних середовищ при культивуванні вимогливих мікроорганізмів – висока ціна), переваги (висока чутливість і точність, можливість отримання даних про кількість мікроорганізмів у досліджуваному матеріалі і чутливості до антимікробних препаратів) роблять його основним у практиці бактеріологічних лабораторій у цей час [8]. Застосування молекулярно-генетичних технологій дозволяє виявити та ідентифікувати патогенні мікроорганізми з використанням методів молекулярної гібридизації, полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР), рестрикційного аналізу хромосомної і плазмидної ДНК. Перспективним виглядає ПЛР, за допомогою якого можна зробити заключення про вірогідність



наявності мікроорганізму-збудника в досліджуваному матеріалі без виділення чистої культури [9].

Нове системне сприйняття стало можливим з появою сучасних технологій діагностики мікробних скупчень, що дозволило розвивати і вдосконалювати методи профілактики і лікування полімікробних захворювань [10]. У клінічній практиці стандартна мікробіологічна діагностика має бути доповнена доступними, швидкими та інформативними методами аналізу бактеріальної біоплівки. При цьому бакпосів може бути використаний для виділення культури бактерій, що входять до її складу [11]. У вирощуванні мікробних співтовариств домінують два напрямки досліджень: культивування у динамічних (імітація природних умов проживання мікроорганізмів) і статичних умовах [8]. До динамічних можна віднести методи з використанням біореакторів (лабораторних ферментерів). Загальна сутність методів полягає у культивуванні мікроорганізмів у поживному середовищі без додавання додаткових живильних речовин [8]. Саме мікроскопічне спостереження за живою біоплівкою у режимі реального часу дозволило виявити особливий вид хаотичного (теплого) руху стафілококів, що перебувають у її складі. Деякі стафілококи, будучи мікроскопічними частинками, здійснюють хаотичні коливання всередині обмеженого обсягу, порівнянного з їх розмірами. При цьому стафілококи можуть не мати прямих контактів із сусідніми клітинами. На відміну від класичного броунівського руху, переміщення стафілококів обмежені. Це свідчить про те, що стафілококи механічно пов'язані між собою, що є непрямим підтвердженням існування необхідного атрибуту будь-якої біоплівки - позаклітинного матриксу, який пов'язує біоплівкові мікроорганізми між собою і з поверхнею, що підлягає [7]. Основною перевагою динамічних методів формування біоплівок є максимальне приближення до умов живих систем [8]. Дослідження, проведені на біоплівках у їх природному стані, показали, що існують великі відмінності у поведінці бактерій в лабораторних умовах і в їх природних екосистемах. Наприклад, бактерія у біоплівках виробляє такі речовини, які вона не продукує у планктонній культурі. Крім того, матрикс навколо мікроколонії служить захисним бар'єром [12]. Також існує більш складна модель вивчення біоплівки, яка отримала назву мікрокосмос (microcosm), що максимально близько імітує природні умови утворення матриксу біоплівки. Прикладом такого варіанту є використання гідроксиапатиту і ротової рідини для формування моделі дентальної біоплівки [8]. Інша група методів заснована на створенні статичних умов культивування мікроорганізмів. Технікою, що найбільш часто використовується у цій групі, є метод з використанням пластикового посуду у різних модифікаціях. Відомі методи, засновані на сорбції молекул фарбника на структурах біоплівки з наступною їх отмивкою (десорбцією) в органічних розчинниках. Такий спосіб індикації біоплівок найбільш часто використовується у статичних методах культивування мікробних біоплівок і дозволяє дати умовну кількісну характеристику мікробним співтовариствам, що утворились [8]. Окремо розглядається метод, розроблений D.E. Kadouri з співавторами, який займає проміжне положення між статичними і динамічними методами. У ньому використовуються 6-лункові планшети, у кожній лунці яких підведена система



подачі і відводу живильного середовища. Після інкубації підключається система мікроциркуляції, яка забезпечує оптимальне надходження живильних речовин до біоплівки, що формується [8]. Вимірювання біоломінесценції (BPI) – достатньо новий метод вивчення і детекції біоплівок, який можна використовувати як *in vitro*, так і *in vivo*. При штучному введенні у бактерії плазмід, відповідальних за синтез люмінесцентного білка, можна проводити візуалізацію як адгезованих бактерій, так і матриксу біоплівки. Метод флуоресцентної гібридизації *in situ* (FISH) став порівняно нещодавно використовуватись для вивчення біоплівок у медицині. Він часто поєднується з CLSM. Метод гібридизації використовують для детекції і визначення розташування специфічних мРНК в клітинах, що утворюють біоплівки. Це дозволяє встановити просторові-часові особливості експресії генів у бактеріях. За допомогою цього методу була визначена неоднорідність бактерій у біоплівці і визначені клітини-персистери, які відповідальні за виживання популяції під час впливу несприятливих факторів навколишнього середовища і дії антимікробних препаратів [8].

Висновки.

Виявлення певних мікроорганізмів у складі біоплівки, оцінка їх кількості, локалізації, взаємин дозволить прогнозувати перебіг захворювань органів і тканин порожнини рота з урахуванням природи їх збудника та завчасно вжити профілактичних заходів. Особливості біоплівки також мають велике значення для подальшого обґрунтування вибору засобів індивідуальної гігієни порожнини рота і комплексного лікування стоматологічної патології. Але більшість розглянутих методів її дослідження використовується лише у наукових розробках і не знайшло застосування у клінічній практиці.

Література:

1. Pathak J.L., Yan Y., Zhang Q., Wang L., Ge L. The role of oral microbiome in respiratory health and diseases. *Respir Med.* 2021;185:106475. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106475.
2. Катола В.М., Тарасенко С.В., Комогорцева В.Е. Влияние микробиоты полости рта на развитие воспаления и соматических заболеваний // Российский стоматологический журнал. – 2018. – 22 (3). – С. 162-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-3-162-165>.
3. Рожко В.І., Лучинський М.А., Петрунів В.Б., Пясецька Л.В., Рожко О.В. Мікробіологічний спектр зубного нальоту при захворюваннях шлунково-кишкового тракту в дітей // Вісник стоматології. – 2021. – № 2 (115). – Т. 40. – С. 74-77. DOI: <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2021-40-2.14>.
4. Арутюнов А.С., Царева Т.В., Киракосян Л.Г., Левченко И.М. Особенности и значение адгезии бактерий и грибов полости рта как этапа формирования микробной биопленки на стоматологических полимерных материалах // Стоматология. – 2020. – Т. 99. – №2. – С. 79-84. DOI: <https://doi.org/10.17116/stomat20209902179>.
5. Седнева Я.Ю., Пашкова Г.С. Микробиота полости рта. Перспективы использования комплексных средств на основе бактериофагов для профилактики



заболеваний полости рта у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. - 2018. - №5. – С. 57-60.

6. Слажнева Е.С., Елизова Л.А., Лобода Е.С., Орехова Л.Ю., Атрушкевич В.Г. Новые возможности в визуализации поддесневой микробной биопленки с помощью сканирующей электронной микроскопии // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2020. – № 15 (4). – С. 544-548. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2020.15128>.

7. Чеботарь И.В., Погорелов А.Г., Яшин В.А., Гурьев Е.Л., Ломинадзе Г.Г. Современные технологии исследования бактериальных биопленок. СТМ. – 2013. - №5 (1). – С. 14-20.

8. Окулич В.К. Микробные биопленки в клинической микробиологии и антибактериальной терапии / В.К. Окулич, А.А. Кабанова, Ф.В. Плотников. – Витебск: ВГМУ, 2017. – 300 с.

9. Доменюк Д.А., Карслиева А.Г., Быков И.М., Кочконян А.С. Оценка количественных параметров пародонтопатогенной и резидентной микрофлоры в биопленке десневой борозды у детей и подростков с зубочелюстными аномалиями // Кубанский научный медицинский вестник. – 2014. - №4 (146). – С. 39-50.

10. Тончева К.Д. Біоплівка в стоматології // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник Української медичної стоматологічної академії. - 2015. – Т. 15. – Вип. 4 (52). – С. 338-343.

11. Ярец Ю., Шевченко Н. Новый метод анализа бактериальной биопленки // Наука и инновации. – 2016. - №10 (164). – С. 64-68.

12. Медведєва М.Б. Порівняльна характеристика мікрофлори зубного нальоту контактних і вестибулярних поверхонь зубів // Сучасна стоматологія. – 2014. - №1. – С. 24-26.

References.

1. Pathak J.L., Yan Y., Zhang Q., Wang L., Ge L. The role of oral microbiome in respiratory health and diseases. *Respir Med.* 2021;185:106475. DOI: 10.1016/j.rmed.2021.106475.

2. Katola V.M., Tarasenko S.V., Komogortseva V.E. Effect of oral microbiota on the development of inflammation and somatic diseases. *Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal.* 2018;22(3):162-165. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-3-162-165>.

3. Rozhko V.I., Luchynskiy M.A., Petruniv V.B., Piasetska L.V., Rozhko O.V. Microbiological spectrum of dental plaque in children with gastrointestinal tract diseases. *Bulletin of Dentistry.* 2021;2(115):4:74-77. DOI: <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2021-40-2.14>.

4. Arutyunov AS, Tsareva TV, Kirakosyan LG, Levchenko IM. Features and significance of adhesion of bacteria and fungi of the oral cavity as the initial stage of the formation of a microbial biofilm on dental polymer materials. *Stomatologiya.* 2020;99(2):79-84. DOI: <https://doi.org/10.17116/stomat20209902179>.

5. Sedneva Ya.Yu., Pashkova G.S. Microbiota of the oral cavity. Prospects for the use of bacteriophages complex for oral diseases prevention. *Pediatric dentistry and dental profilaxis.* 2018;5:57-60.

6. Slazhneva E.S., Elizova L.A., Loboda E.S., Orekhova L.Yu., Atrushkevich V.G. New possibilities in the visualization of subgingival microbial biofilm using scanning electron microscopy. *Medical News of North Caucasus.* 2020;15(4):544-548. DOI: <https://doi.org/10.14300/mnnc.2020.15128>.

7. Chebotar I.V., Pogorelov A.G., Yashin V.A., Guryev E.L., Lominadze G.G. Modern



Technologies of Bacterial Biofilm Study. STM. 2013;5(1):14-20.

8. Okulich V.K., Kabanova A.A., Plotnikov F.V. Microbial Biofilms in Clinical Microbiology and Antibacterial Therapy. - Vitebsk: VSMU, 2017. – 300 p.

9. Domenyuk D.A., Karslieva A.G., Bykov I.M., Kochkonyan A.S. Evaluation of quantitative parameters of parodontopathogenic and residential microflora in gingival sulcus biofilm in children and adolescents with dentoalveolar anomalies. Kuban Scientific Medical Bulletin; 2014;4(146):39-50.

10. Toncheva K.D. Biofilm in dentistry. Actual problems of modern medicine: Bulletin of Ukrainian Medical Stomatological Academy, 2015;15,4(52):338-343.

11. Yarets Yu., Shevchenko N. A new method for the analysis of bacterial biofilm. Science and innovation. 2016;10(164):64-68.

12. Miedviedieva M. Comparative characteristics of dental deposit microflora of contact and vestibular teeth surfaces. Actual dentistry. 2014;1:24-26.

Abstract. Biofilm is a special form of existence of microorganisms in the oral cavity. The purpose of the presented review was to generalize modern scientific information related to the methods of its research. But many literary sources are devoted to microbiological studies of only planktonic bacterial cells. However, this is not justified. The analysis of recent publications has shown that biofilm is the predominant form of growth of a greater number of microorganisms. Growth of microbial communities is dominated by two areas of research: cultivation in dynamic and static conditions. The main advantage of dynamic methods is the maximum approximation to the conditions of living systems. There has been proven relevance of the methods that allow visualization of microbial communities, electron microscopy and confocal laser scanning microscopy (CLSM). The study of biofilm features is of great importance for the further justification of the choice of individual oral hygiene products and comprehensive treatment and prevention of dental pathology. It has been proven that standard microbiological diagnostics in clinical practice should be supplemented with accessible, fast and informative methods of its analysis. But most of the considered methods are used only in scientific developments and they are not widely used in clinical practice.

Key words: biofilm, microorganisms, oral cavity

Стаття відправлена: 14.05.2023 р.

© Заболотна І.І.



УДК 616.3:628.1.033:502.175:711.454

**IMPLEMENTATION OF THE PROGRAM OF SOCIAL AND
HYGIENE MONITORING OF DRINKING WATER BY THE CENTERS
FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION IN THE INDUSTRIAL
REGION OF UKRAINE****ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРАМИ СОЦІАЛЬНО-ГІГІЄНИЧНОГО
МОНІТОРИНГУ ПИТНОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ ЦЕНТРАМИ КОНТРОЛЮ ТА
ПРОФІЛАТИКИ ХВОРОБ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ****Zaitsev V.V. / Зайцев В.В.***k.m.s. / к.мед.н..*

ORCID ID: 0000-0003-0955-2699

Borvinko E.V. / Борвінко Е.В.*k.m.s., docent / к.мед.н., доцент*

ORCID ID 0000-0002-6353-3678

*Dnipro State Medical University of MOH of Ukraine,**Dnipro, Vernadskogo, 9, 49044**Дніпропетровський державний медичний університет МОЗ України,**м. Дніпро, вул. Вернадського 9, 49044*

Анотація. У роботі представлені підсумки досліджень, що ґрунтуються на гігієнічній оцінці лабораторних досліджень води поверхневого вододжерела, а також питної водопровідної води, що споживає населення індустріального регіону України, аналізу онкологічної захворюваності, а також аналізу канцерогенних ризиків за методикою Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Проведений аналіз дозволив розробити пропозиції щодо впровадження програми регіональної соціально-гігієнічного моніторингу питної води.

Ключові слова. Хлороформ, питна вода, моніторинг

Вступ.

В Україні 80 % населення споживає питну воду отриману з поверхневих вододжерел, серед яких найбільш вагому роль відіграє р. Дніпро. Стан води р. Дніпро в Україні найчастіше не відповідає деяким гігієнічним вимогам, що свідчать про її органічне забруднення [1]. Серед багатьох причин незадовільного стану вододжерел в Україні найбільш вагомою є скидання стічних вод понад 2 тис. об'єктів, що мають понад 1200 випусків господарчо-побутових і 800 випусків промислових стічних вод [2]. На водопровідних очисних спорудах Дніпровського регіон як правило використовуються традиційні основні методи водопідготовки та водоочистки: коагуляція, відстоювання та фільтрація, які сьогодні не можуть забезпечити необхідну якість та безпеку питної води, зокрема щодо її органічного забруднення [3].

В Україні відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 182 від 22.02.2006 року передбачений контроль якості та безпеки питної води у рамках державного соціально-гігієнічного моніторингу. У той же час, єдиних науково обґрунтованих підходів до організації та проведення якого в Україні дотепер не розроблено [4].

Тому метою роботи є обґрунтувати можливість впровадження в центрах контролю та профілактики хвороб проєкту програми соціально-гігієнічного



моніторингу на підставі гігієнічної оцінки питної водопровідної води та її впливу на здоров'я населення,

Матеріали та методи дослідження.

Для вирішення поставленої мети було проаналізовано понад 300 проб води р. Дніпро, 1700 проб питної водопровідної води за показниками забарвленості, органічного забруднення та хлороформу за період 2007-2019 роки. Проаналізовано захворюваність населення м. Дніпро онкологічними захворюваннями, розраховані канцерогенні ризики від споживання питної хлорованої води. За результатами для впровадження територіальними центрами контролю та профілактики хвороб запропонований проект програми державного соціально-гігієнічного моніторингу питної водопровідної води..

Результати дослідження та його обговорення.

За результатами лабораторних досліджень протягом 2007-2019 років встановлено, що для річки Дніпро, яка використовуються в якості джерел централізованого питного водопостачання міста Дніпро, притаманне постійне органічне забруднення, про що свідчать понаднормативні рівні БСК, ХСК, забарвленості ($p < 0,05$) [5].

Результати досліджень питної водопровідної води, що споживає населення м. Дніпро, свідчить про те що, водопровідна питна вода достовірно не відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4.171-10 [3] за рівнями перманганатної окиснюваності в (до 1,63 рази вище нормативу, $p < 0,05$) та вмістом хлороформу (ХФ та сума ТГМ, до 2,1 ГДК, $p < 0,05$) [6, 7].

Розрахований за методикою ВООЗ канцерогенний ризик для міського населення від споживання водопровідної води відноситься до третього діапазону.

Враховуючи вищевикладене, одним з засобів контролю за якістю питної води, з боку держави, повинен виступити соціально – гігієнічний моніторинг: система постійного спостереження за якістю питної води та встановлення її впливу на стан здоров'я населення.

Державний соціально-гігієнічний моніторинг - це система спостереження, аналізу, оцінки і прогнозу стану здоров'я населення та середовища життєдіяльності людини, а також виявлення причинно-наслідкових зв'язків між станом здоров'я населення та впливом на нього факторів середовища життєдіяльності людини Основними завданнями моніторингу є [8]:

- 1) формування загальнодоступного інформаційного фонду;
- 2) виявлення кореляційних зв'язків між якістю питної водопровідної води та станом здоров'я населення на основі їх системного аналізу і оцінки ризиків;
- 3) підготовка пропозицій, щодо забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення, яке проживає на території області (управління ризиком).

У ході дослідження визначені основні підходи до виконання програми регіонального соціально-гігієнічного моніторингу питної водопровідної води (табл. 1).



Таблиця 1 - Проект регіональної програми соціально-гігієнічного моніторингу питної водопровідної води

Предмет моніторингу	Суб'єкт моніторингу	Показник моніторингу	Кратність контролю
Вода р. Дніпро та р. Інгулець у місцях питних водозаборів	Дніпровський міський контроль та профілактики хвороб, Державна екологічна інспекція, Обласна водна агенція в Дніпропетровській області, Дніпровський міський водоканал	Забарвленість, перманганатна окиснюваність, сума ТГМ, ХФ	1 раз на місяць/ або сезон
Питна водопровідна вода на виході з водоочисних споруд до розподільної мережі	Дніпровський міський контроль та профілактики хвороб, Дніпровський міський водоканал	Забарвленість, перманганатна окиснюваність, сума ТГМ, ХФ	1 раз на місяць/ або сезон
Питна водопровідна вода у постійних точках контролю на мережі (місцях дохлорування)	Дніпровський міський контроль та профілактики хвороб, Дніпровський міський водоканал	Забарвленість, перманганатна окиснюваність, ХФ	1 раз на місяць/ або сезон
Онкологічна захворюваність індикаторними нозологіями	Дніпровський обласний онкологічний диспансер	Кількість випадків за остаточними діагнозами, за звітом за ф.35здрав	1 раз на рік
Забезпеченість населення централізованим водопостачанням та водовідведенням	Дніпровський департамент житлово-комунального господарства	% населення, забезпеченого централізованим водопостачанням та водовідведенням	1 раз на рік
Перебої у подачі питної води	Дніпровський міськводоканал	Кількість випадків відключення питної води понад 12 годин на добу та обсяги постраждалого населення	1 раз на місяць, квартал, рік



Головними принципами в діяльності регіонального моніторингу питної водопровідної води повинні бути: послідовність, систематичність, оперативність, доступність, повнота, оптимізація, достовірність, репрезентативність.

До основних результатів регіональної системи моніторингу, які необхідно отримати в ході здійснення контролю у питній водопровідній воді треба включити:

- показники якості води р. Дніпро на водозаборах (забарвленість, окиснюваність, БСК повн, ХСК);
- показники якості та безпеки питної водопровідної води на виході з НФС та ВНС (забарвленість, окиснюваність, суму ТГМ або ХФ);
- показник забезпеченості централізованим водопостачанням та каналізуванням (у відсотках від загальної кількості населення та території);
- показник перебоїв у подачі питної води понад 12 годин на добу, як найменший допустимий період відсутності у споживача питної води згідно із вимогами «Правил технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення»;
- показник онкологічної захворюваності індикаторними нозологіями від споживання хлорованої питної води (рак ободової кишки, рак сечового міхура).

Такий моніторинг доцільно передбачити у постійних точках (водозабір, питна вода на виході до розподільчої мережі, не менш 3-5 точок на мережі) в обсязі не менш 4 раз на рік (посезонно) для кожного водопроводу.

Постійні точки контролю на розподільній водопровідній мережі повинні охоплювати: перших споживачів після резервуарів чистої води, найбільш віддалені та нагортні ділянки населених пунктів. До переліку показників доцільно включити перелік моніторингу питної води, передбаченого додатком 2 [3]: забарвленість (кольоровість), каламутність, окиснюваність, хлороформ, сума тригалометанів.

Програмою проведення моніторингу слід передбачити наявність єдиних по регіону інформаційних електронних баз накопичення даних та програмного забезпечення з метою їх автоматизованої обробки.

До технічного завдання для розробки програмного забезпечення моніторингу питної водопровідної води доцільно включити:

1. Перелік показників якості та безпечності питної водопровідної води, що підлягають моніторинговому контролю.
2. Перелік гігієнічних нормативів показників якості та безпечності питної водопровідної води, що підлягають моніторинговому контролю.
3. Перелік постійних точок контролю.
4. Можливість проводити математичну оцінку показників якості та безпечності питної водопровідної води у порівнянні з їх гігієнічними нормативами із розрахунками коефіцієнтів концентрації. Для гігієнічного нормування вмісту у питній воді речовин першого та другого класів небезпеки необхідно ввести формулу сумачії із розрахунками коефіцієнтів сумачії.



5. Можливість проводити математичну оцінку достовірності отриманих результатів за критерієм достовірності Стьюдента.
6. Перелік показників стану здоров'я населення.
7. Формули коефіцієнтів кореляції між рівнями показниками якості та безпечності питної водопровідної води та показниками стану здоров'я населення.
8. Показники забезпечення населення централізованим питним водопостачанням та водовідведенням.
9. Показники перебоїв у подачі питної водопровідної води.
10. Рангову шкалу для усіх показників моніторингу як за окремими позиціями, та і комплексну.
11. Можливість відображати результати моніторингу в вигляді графіків, діаграм, на топографічних картах відповідної території.
12. Архівування отриманих даних та їх автоматизована передача до центру управління моніторингом та до всіх його виконавців.
13. Антивірусний захист отриманих даних.
14. Можливість відображати отримані результати на окремому сайті, який повинен бути у вільному доступі.

Висновки.

Обґрунтовано проект програми регіонального соціально-гігієнічного моніторингу питної водопровідної води, оптимізовано її інформативність і ефективність на підставі переліку показників, які повинні підлягати контролю, необхідної кратності досліджень, порядку оцінки результатів.

Література:

1. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ МОЗ України від 02.05.2022 № 721. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text>
2. Загороднюк К.Ю. Шляхи забезпечення населення України якісною питною водою / К.Ю. Загороднюк, С.Т. Омельчук, М.Г. Новіков та інші. // Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії : матер. XV з'їзду гігієністів України. – Львів, 2012. С. 287–288.
3. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПін 2.2.4-171-10. – К.: Офіційний вісник України. – 2010. – № 5
4. Зорина О.В. Новый порядок эколого – гигиенического мониторинга качество природных и питьевых вод // Экологичні науки. – 2017. - №1-2(16-17). С. 5–15.
5. Гаркавий С.І., Сало Т.Л., Чернокозинський А.В. Екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти впливу скиду стічних вод міст на якість поверхневих вод басейну р. Дніпро // Науковий вісник Національного медичного університету імені О.О. Богомольця. 2010. № 27. С. 83–92.
6. Гуленко С.В. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью при употреблении хлорированной питьевой воды / Гуленко С.В., Прокопов В.А. // ГУ "Институт гигиены и медицинской экологии им. А.Н. Марзеева НАМН



Украины", г. Киев, 2013. - № 2. С. 50.

7. Прокопов В.О. Хлорорганічні сполуки у питній воді: фактори та умови їх утворення / В.О.Прокопов, Г.В. Чичковська, В.О. Зоріна // Довкілля та здоров'я. - 2004. - № 2 (29). С. 70–73.

8. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 лютого 2006 року № 182 «Про затвердження Порядку проведення державного соціально-гігієнічного моніторингу». [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/182-2006-%D0%BF#Text>

Abstract. *The work presents the results of research based on the hygienic assessment of laboratory studies of water from a surface water source, as well as drinking tap water consumed by the population of the industrial region of Ukraine, the analysis of cancer incidence, as well as the analysis of carcinogenic risks according to the methodology of the World Health Organization (WHO). The conducted analysis made it possible to develop proposals for the implementation of the program of regional socio-hygienic monitoring of drinking water.*

Keywords. *Chloroform, drinking water, monitoring*

Статья відправлена: 18.05.2023 г.

© Зайцев В.В.



UDC 616.37-092.9:613.65:577.118

THE EFFECT OF CHRONIC IMMOBILIZATION STRESS ON THE CONTENT OF MICRO- AND MACROELEMENTS IN THE PANCREAS AND BLOOD SERUM OF RATS AND THEIR NEWBORN OFFSPRING.

Pavlova O.O.

d.t.s., prof.

ORCID: 0000-0002-0570-3931

Sirenko V.A.

c.med.n

Kharkiv National Medical University,

Kharkiv, Nauky Avenue 4, 61022

Abstract. Have been considered the role of macro- and microelements - Ca, Mg, Zn, Fe, and Cu imbalance in the blood serum and pancreatic tissue homogenate of rats, whose pregnancy took place against the background of chronic immobilization stress and their newborn offspring, compared to the control, where it is established: heterogeneity changes in the level of macro- and microelement composition as a whole, can be traced regularly in the direction of deviations from the control values of indicators in the tissue of the pancreas, which consists in a decrease in the level of Ca and Mg and Zn and Cu in female rats and their offspring. A more stable reduction of Zn and Cu is determined in the blood serum of female rats and their newborn offspring. Changes in macro- and microelement composition in pancreatic tissue and blood serum are not identical, which manifests organ specificity regarding their balance in different organs, particularly in the pancreas. Such changes in the composition of macro- and microelements with a predominant deficiency of Ca, Mg, Zn, and Cu are an essential link in the pathogenesis of pancreatic damage, which occurs during stereotypic events inherent in the body's neurohumoral response to stress as a result of animal immobilization.

Keywords: macro- and microelements, immobilization stress, pancreas, blood serum

Introduction.

Diseases of the digestive organs and the pancreas, among them, are the most important problem today. According to official statistics, the rate of prevalence of diseases associated with damage to the pancreas will significantly exceed the rate of growth of the general prevalence of diseases of the digestive organs [1]. The pancreas plays a leading role in the activity of the body as a whole, and therefore when it is damaged (intoxication, autoimmune diseases) due to endo- and exocrine dysfunction, systemic metabolic disorders occur [2, 3, 4, 5].

Chronic stress has been shown in many studies to increase levels of corticosterone, blood glucose, and decrease insulin levels, which is associated with pancreatic β -cell damage, metabolic shifts, and abnormalities in the prenatal development of offspring that are observed up to the postpubertal period of life [3,5]. Currently, the literature is actively considering the impact of vital macro- and microelements on the functioning of the body of adults [7] and children [8,9]. This group today includes potassium (K), sodium (Na), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), manganese (Mn), selenium (Se), iodine (I) and many others. All of them enter the body with food and drinking water, and their biological activity can be preserved even in very low concentrations, while in elevated, relative to the norm, concentrations, even irreplaceable microelements are capable of exhibiting a toxic effect [7,10]. Macro- and microelements are activators of many enzymes, have



a multifaceted effect on all links of immunity, regulate the processes of proliferation and differentiation of cells of the immune system, are able to directly block oxidative processes, influence the state of proteins, membrane excitability, muscle contraction, energy accumulation [7, 9, 11, 12, 13]. Thus, the question of the dynamics of changes and the balance of macro- and microelements of elements in the tissue of the pancreas and in the blood of animals that were under the influence of stress during pregnancy [13,14], as well as the negative impact of their imbalance on the functional state of the pancreas is relevant as for both theoretical and practical medicine and needs further clarification.

The purpose of the study was to determine the specifics of the content of macro- and microelements - Ca, Mg, Zn, Fe, Cu in the blood serum and pancreatic tissue homogenate of rats pregnancy which takes place against the background of chronic immobilization stress and their newborn offspring.

The volume of the study included experiments on 30 nonlinear rats (WAG/G Sto population) aged 4.5-5 months and their offspring. The animals were divided into the groups: the rats that received chronic immobilization stress, their newborn offspring, and the rats of a control group (C-group). Rats of the control group were kept in a vivarium in comfortable living conditions during the experiment (30 ± 1.1 days). The content of micro- and macroelements was studied by the spectrophotometric method (by color intensity, at a wavelength of 540-580 nm) on a biochemical analyzer Stat Fax (USA). The level of Ca, Mg, and Fe in blood serum and pancreas homogenate was determined with the help of reagent kits from the company "Filisit-Diagnostika" (Dnipro) according to the instructions. Color intensity was measured photometrically at 540 nm - proportional to Ca concentration; 540-560 nm is proportional to the concentration of Mg. The content of Zn and Cu in the PZ homogenate and blood serum was determined using Zn-DAC. Lq (companies DAC-Spectro-Med, Moldova) according to the attached instructions. The color intensity, measured at a wavelength of 550 ± 10 nm, is directly proportional to the concentration of Zn. The color intensity, measured at a wavelength of 580 ± 10 nm, is directly proportional to the concentration of Cu.

Taking into account the normally distributed population, the research results were processed using the method of variational statistics with the calculation of the arithmetic mean value (M), the mean error of the arithmetic mean value (m), and the probability value (P). Statistical processing of the obtained results was carried out using the analysis package of the Microsoft Excel-2003 program, the computer program Biostat.exe-2008, and STATISTICA-10. One-way analysis of variance and the U Mann-Whitney test was used to determine the reliability of differences between experimental groups. Differences were considered significant at $p < 0.05$ [15, 16].

The results of the study and their discussion. In the pancreatic tissue of female rats, a decrease in the content of four out of five (80%) studied micro- and macroelements: Ca, Mg, Zn, and Cu (by 41.5%, 40.0%, 25.6%, and 26.7% ($p < 0.01$) respectively) (Table 1). Only the level of Fe was insignificantly increased (by 7.4%, $p > 0.05$). The Ca/Mg ratio indicator does not differ from the average statistical value of animals of the control group (K gr.), which indicates the balanced effects of these macroelements. Less pronounced changes in the balance of micro- and macroelements



were found in blood serum than in the pancreas (Table 1) the normal content of not only Fe, but also Ca is noted (the level of the indicator is 38.7% higher than the indicator in the pancreas); the content of Mg and Zn is reduced by 32,5% and 18,8% ($p < 0.01$) compared to the norm and is greater than in the pancreas by 7,5% and 6,8% ($p < 0.01$) respectively, and the Cu level is 31,3% lower than the norm, which is not significantly different from that in the pancreas.

Table 1. The content of macro- and microelements ($M \pm m$) in the tissue of the pancreas and blood serum of rats whose pregnancy took place against the background of chronic immobilization stress.

Indicators		Rats	
		Pancreatic homogenate (n=7)	blood serum (n=7)
Ca (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	3,44±0,36**	2,4±0,05 ($p_{\text{panc}} < 0,05$)
	Contr. gr.	5,88±0,15	2,47±0,04 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Ca pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	1,44±0,14**	
	Contr. gr.	2,35±0,05	
Mg (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	1,04±0,06**	0,76±0,03** ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
	Contr. gr.	1,95±0,04	1,12±0,02 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Mg pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	1,38±0,08**	
	Contr. gr.	1,72±0,04	
Ca/Mg (un.)	Main gr.	3,33±0,32	3,23±0,09**
	Contr. gr.	3,02±0,07	2,21±0,02 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Fe (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	22,49±0,74	13,06±0,31 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
	Contr. gr.	20,94±0,43	13,74±0,29 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Fe pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	1,73±0,07*	
	Contr. gr.	0,52±0,04	
Zn (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	4,3±0,17**	14,76±0,2** ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
	Contr. gr.	5,78±0,13	18,17±0,29 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Zn _{panc/s} (un.)	Main gr.	0,29±0,01	
	Contr. gr.	0,32±0,01	
Cu (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	5,5±0,23**	7,33±0,26** ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
	Contr. gr.	7,5±0,18	10,68±0,16 ($p_{\text{panc}} < 0,01$)
Cu _{panc/s} (un.)	Main gr.	0,76±0,02*	
	Contr. gr.	0,69±0,02	

Notes: 1. ** - $p < 0.01$; * - $p < 0.05$ – comparison with the control group (C. group).

2. P_{panc} - comparison with indicators in the pancreas.



The values of $\text{Ca}_{\text{panc/s}}$, $\text{Mg}_{\text{panc/s}}$, $\text{Fe}_{\text{panc/s}}$, $\text{Zn}_{\text{panc/s}}$, and $\text{Cu}_{\text{panc/s}}$ show the nature of the difference in the content of micro- and macroelements in the pancreas and blood serum (decrease in comparison with the norm by 38,6% and 19,7% ($p < 0.01$), respectively, $\text{Ca}_{\text{panc/s}}$ and $\text{Mg}_{\text{panc/s}}$, by 8.9% ($p > 0.05$) – $\text{Zn}_{\text{panc/s}}$ and an increase of 14.0% and 10.6% ($p < 0.05$) respectively $\text{Fe}_{\text{panc/s}}$ and $\text{Cu}_{\text{panc/s}}$) (see Table 1).

In the pancreatic tissue of newborn offspring from rats the pregnancy of which took place against the background of chronic immobilization stress, in comparison with animals of the control group (KN group), only the content of Cu was found to be without significant changes (-2.6%, $p > 0.05$). The content of trace elements - Ca, Zn, and Fe was significantly reduced (by 44.8%, 35.9%, and 8.3% ($p < 0.01$), respectively), and Mg - increased by 13.7% ($p < 0.01$) (see Table 2).

Table 2. The content of macro- and microelements ($M \pm m$) in the tissue of the pancreas and blood serum of newborn offspring of rats, the pregnancy of which took place against the background of chronic immobilization stress.

Indicators		Newborn rat offspring Pancreatic homogenate (n=9)
Ca (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	$1,98 \pm 0,03^{**} p_{\text{frat}} < 0,01$
	Contr. gr.	$3,59 \pm 0,09 p_{\text{frat}} < 0,01$
Ca pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	-
	Contr. gr.	-
Mg (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	$1,64 \pm 0,02^{**} p_{\text{frat}} < 0,01$
	Contr. gr.	$1,44 \pm 0,03 p_{\text{frat}} < 0,01$
Mg pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	-
	Contr. gr.	-
Ca/Mg (un.)	Main gr.	$1,21 \pm 0,02^{**} p_{\text{frat}} < 0,01$
	Contr. gr.	$2,43 \pm 0,09 p_{\text{frat}} < 0,01$
Fe (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	$20,16 \pm 0,13^{**} p_{\text{frat}} < 0,05$
	Contr. gr.	$21,98 \pm 1,18 p_{\text{frat}} < 0,05$
Fe pancreas / blood serum (un.)	Main gr.	-
	Contr. gr.	-
Zn (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	$2,56 \pm 0,03^{**} p_{\text{frat}} < 0,01$
	Contr. gr.	$4,0 \pm 0,1 p_{\text{frat}} < 0,01$
$\text{Zn}_{\text{panc/s}}$ (un.)	Main gr.	-
	Contr. gr.	-
Cu (mg/100 gr. of tissue (pancreas)) (mM/L – blood serum)	Main gr.	$2,98 \pm 0,03 p_{\text{frat}} < 0,01$
	Contr. gr.	$3,06 \pm 0,05 p_{\text{frat}} < 0,01$
$\text{Cu}_{\text{panc/s}}$ (un.)	Main gr.	-
	Contr. gr.	-

Notes: 1. $** - p < 0.01$; $* - p < 0.05$ – comparison with the control group (C. group).

2. P_{frat} - comparison with female rat indicators



This led to a significant decrease in the value of the ratio of Ca and Mg more than twice ($p < 0.01$) increased by 52.8% ($p < 0.01$), and $\text{Cu}_{\text{panc/s}}$ decreased by 8.1% ($p < 0.01$). In general, the comparison of indicators of the content of micro- and macroelements in the tissue of the pancreas allows us to state that in all newborn rats that have experienced prenatal stress, a stably low level of Ca, Zn, and Cu is observed; the level of Mg and Fe, although it has a predominant tendency to decrease, is not so stable, as its deviation towards a moderate increase is noted in certain age groups.

The effect of chronic immobilization stress on rats during pregnancy causes in females and their newborn offspring a violation of the balance of micro- and macroelements both in the tissue of the pancreas and in the blood serum, which mainly consists in reducing their content in the specified biological environments. The content of individual micro- and macroelements in the tissue of the pancreas and blood serum in female rats and newborn offspring has reliable differences, but in general, the amount of micro- and macroelements, the level of which exceeds the limits of normal fluctuations, has unidirectional deviations in the tissue of the pancreas and in the serum blood [14,17,18,19].

Characteristic feature of the balance of micro- and macroelements in the pancreas due to chronic stress in female rats and prenatal stress in newborn rats is a low level of Ca, Zn, and Cu content, which occurs in almost all animals and is not prognostically favorable. Changes in the level of micro- and macroelements in the tissue of the pancreas and blood serum are not absolutely identical, which indicates the presence of organ specificity regarding the balance of macro- and microelements, which means the relative informativeness of blood serum indicators for determining the state of metabolic processes in individual organs, in particular in the pancreas gland

Probably, the negative effect of chronic stress on the composition of macro- and microelements is realized through an increase in the blood serum levels of precursors and metabolites of catecholamines, which contribute to a decrease in their content due to the stimulation of the secretion of such hormones as parathormone and cortisol, the absorption of Ca in the intestines is inhibited and its content in the body decreases. increases excretion of Mg-magnesiumuria, which regulates the transmembrane transfer of calcium and sodium ions, independently participates in many metabolic reactions related to the production, accumulation, transfer, and utilization of energy, free radicals, and their oxidation products, transmembrane transfer of calcium and sodium ions, affects the function of the nervous system and the coordination of all processes, including the formation of adequate adaptive and adaptive reactions and stress resistance [12,15,20,21]

There are data that during stress in the organism, there are phase changes in the content of Zn in the homogenate of the PZ tissue: the accumulation of Zn levels in the PZ cells with an increase in corticosterone and corticotropin in the blood passes into a phase of a decrease in Zn concentration with a decrease in the levels of these hormones [22]. In a healthy pancreas, Zn is concentrated in granules and is contained in β -cells, and is necessary for the normal production and storage of insulin, Zn exhibits an insulin-mimetic and antidiabetic effect [23], is a coenzyme of many enzymes (carbonic anhydrase and lactate dehydrogenase), as well as superoxide dismutase, which protects the body from the products of peroxidation of lipids, the damaging effect of which is



also realized during stress. It shows similar effects and Cu, which also affects carbohydrate metabolism by accelerating glucose oxidation processes, inhibits the breakdown of glycogen in the liver. Cu is part of many enzymes: cytochrome oxidase, tyrosinase, etc. It is a cofactor of the enzyme superoxide dismutase, which plays an important role in the neutralization of free radicals.

Taking into account the importance of micro- and macroelements in the activation of all functions of mitochondria, DNA and RNA replication, cell division, the inflammatory process, immune cells, regulation of carbohydrates (secretion of glucagon and insulin), lipid and protein metabolism, the release of hormones and neurotransmitters, secretion of glands, regulation of protective function AOS, participating in both the exocrine and endocrine functions of the pancreas (including the processes of activation of digestive enzymes) [5, 61], it can be noted that stress-induced disturbances in their balance can be one of the links in the pathogenesis of pancreatic damage during pregnancy and prenatal development of rat offspring, which can contribute to the emergence of various pathologies of the pancreas in the future.

The given data have substantiated the feasibility of further research aimed at clarifying the possibilities of restoring the functional state of pancreatic cells with the help of magnesium and zinc preparations, which should probably be included in the pathogenetic therapy of its damage because, unlike various organic compounds, macro- and microelements in the body are not synthesized.

Summary and conclusions

Were received the experimental data obtained are indicative of the fact that the immobilization stress of rats during pregnancy is a significant risk factor for the development of organic pathology of the pancreas in their offspring.

1. The pregnancy of rats, which takes place against the background of chronic immobilization stress, is characterized by a violation of the balance of the macro- and microelement composition of the pancreatic tissue and blood serum with a predominant decrease in their content in the specified biological environments.

2. Changes in the composition of macro- and microelements in pancreatic tissue and blood serum are not identical, which manifests organ specificity regarding their balance. Despite the heterogeneity of the above-mentioned changes in general, there is a regularity in the direction of deviations of indicators from control values in the tissue of the pancreas, which consists in a decrease in the level of Ca and Mg and Zn and Cu, and a more stable decrease in Zn and Cu in blood serum in both female rats and their offspring.

3. Violation of the balance of macro- and microelement composition with a predominant deficiency of Ca, Mg, Zn, and Cu, which occur during stereotypic events inherent in the implementation of the body's neurohumoral response to stress, the cause of which is animal immobilization, is an important link in the pathogenesis of pancreatic damage.

References:

1. Stepanov, Yu. M., Gravirovskaya, N. G., Skirda, I. Yu., & Petishko, O. P. (2014). Diseases of the pancreas as one of the leading problems of gastroenterology and abdominal surgery (modern epidemiology). *Gastroenterology*, 53(3), 7-14.



2. Belousov YuV, Belousova OYu. (2012) Exocrine pancreatic insufficiency. *Health of Ukraine*, (2), 18-9.
3. Daminova, L., & Muminova, S. (2018). Diabetes mellitus and exocrine pancreatic insufficiency (review of literature). *International journal of endocrinology (Ukraine)*, 14(1), 55–58. <https://doi.org/10.22141/2224-0721.14.1.2018.127093>.
4. Kinash, M. I. (2020). Some aspects of the development and correction of secondary exocrine insufficiency of the pancreas in children. *Modern Pediatrics. Ukraine*, (8 (112)), 40-46.
5. Ghodeif AO, Azer SA. (2020). Pancreatic Insufficiency. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. PMID: 32310386.
6. Rostamkhani, F., Zardooz, H., Zahediasl, S., & Farrokhi, B. (2012). Comparison of the effects of acute and chronic psychological stress on metabolic features in rats. *Journal of Zhejiang university science B*, 13, 904-912.
7. Bedzai, A. O. (2019). Chemical elements in the human body, their importance and influence on biological processes (literature review). *Bukovyna Medical Bulletin*, 23(4 (92)), 179-184.
8. Banadiga, N. V. (2017). A current look at the reality of scarcity in children of the early age. *Zaporozhye Medical Journal*, (19, No. 2), 181-185.
9. Gorobets, A. O. (2019). Vitamins and microelements as specific regulators of physiological and metabolic processes in the body of children and adolescents. *Ukrainian Journal of Perinatology and Pediatrics*, (4 (80)), 75-92.
10. Shapovalov, S. O. (2011). Theoretical and practical aspects of the role of essential, biogenic, biophilic microelements in organisms. *Biology and Valeology*, (13), 69-79..
11. Gupta, U. C., & Gupta, S. C. (2014). Sources and deficiency diseases of mineral nutrients in human health and nutrition: a review. *Pedosphere*, 24(1), 13-38.
12. Pogorelov, M., Bumeister, V., Tkach, G., (2010). Macro- and microelements (exchange, pathology and methods of determination): monograph. Sumy: Publishing House of Sumy State University, 147 p.
13. Zhemela, N., (2013) The influence of vitamins and microelements on the course of pregnancy (literature review). *Women's Health*, 3(1). 44-5.
14. Milnerowicz, H., Jablonowska, M., & Bizon, A. (2009). Change of zinc, copper, and metallothionein concentrations and the copper-zinc superoxide dismutase activity in patients with pancreatitis. *Pancreas*, 38(6), 681-688. | DOI: 10.1097/MPA.0b013e3181a53d1
15. Chubukov, Zha. A., Ugolnyk T. S. (2012) Descriptive statistics: educational and methodological manual for students of all medical subjects. universities, graduate students, graduate students, applicants and teachers. Gomel: GomSMU, 28 p.
16. Grzhibovsky, A. M., Ivanov, S. V., & Gorbatoeva, M. A. (2016). Comparison of quantitative data of two paired samples using Statistica and SPSS software: parametric and non-parametric tests. *Science and Health*, (3), 5-25.
17. Turova, L. O., (2010) Balance of zinc and iron in the case of delayed intrauterine development of the fetus. *Bulletin of the Sumy State University. Medicine series*. 2 (S). 169-175.
18. Milnerowicz, H., Jablonowska, M., & Bizon, A. (2009). Change of zinc,



copper, and metallothionein concentrations and the copper-zinc superoxide dismutase activity in patients with pancreatitis. *Pancreas*, 38(6), 681-688. | DOI: 10.1097/MPA.0b013e3181a53d1

19. Surpac S.A. (2003). The role of the balance of trace elements and vitamins in the maintenance of the gestational process. Magnesium metabolism and its disorders. *The Clinical Biochemist Reviews*, 24 (2), 47p.

20. Ismail, Y., Ismail, A. A., & Ismail, A. A. (2010). The underestimated problem of using serum magnesium measurements to exclude magnesium deficiency in adults; a health warning is needed for “normal” results. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 48(3), 323-327..

21. Sansuwan, K., Jintasataporn, O., Rink, L., Triwutanon, S., & Wessels, I. (2023). Effects of Zinc Status on Expression of Zinc Transporters, Redox-Related Enzymes and Insulin-like Growth Factor in Asian Sea Bass Cells. *Biology*, 12(3), 338.

22. Haase, H., & Schomburg, L. (2019). You’d Better Zinc—Trace Element Homeostasis in Infection and Inflammation. *Nutrients*, 11(9), 2078.

sent: 18.05.2023

© Pavlova O.O.



УДК : 613.953.1

INFANT FEEDING - A STRATEGY FOR PRESERVING CHILDREN'S HEALTH**ВИГОДОВУВАННЯ НЕМОВЛЯТ - СТРАТЕГІЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗДОРОВ'Я ДІТЕЙ****Melnychuk L. V. / Мельничук Л.В.***s.m.s., as.prof. / к.м.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9954-745X

Researcher ID (Web of Science): C-6949-2017

Bukovinian State Medical University

Theatre sq., 2, Chernivtsi, 58002, Ukraine.

Буковинський державний медичний університет

Театральна площа, 2, м. Чернівці, 58002, Україна.

Vostrikova I.S. / Вострікова І.С.

Department of Health Care, Chernivtsi

Str. Kobylyanska 22, Chernivtsi, 58001, Ukraine.

Управління охорони здоров'я Чернівецької міської ради,

вул. Кобилянська 22, м. Чернівці, 58001, Україна.

Анотація: Стаття присвячена проблемам вигодовування немовлят та його впливу для здоров'я дитини. Численні наукові дослідження інформують, що «омолодження» таких хвороб як цукровий діабет, ожиріння, гіпертонічна хвороба, онкологічні хвороби можуть бути пов'язані з нераціональним вигодовуванням немовлят, а саме нехтуванням природнім вигодовуванням, раннім введенням штучних замінників грудного молока, недотриманням рекомендацій щодо термінів введення прикорму. Метою програми підтримки грудного вигодовування дітей в Україні було зниження рівня захворюваності та смертності дітей першого року життя, післяпологових ускладнень, покращення репродуктивного здоров'я жінок. Стратегія підтримки грудного вигодовування рекомендує раннє прикладання до груді матері (до 30-60 хвилин) після пологів, сумісне перебування матері та дитини, годування за вимогою, а не по годинах, відмова від штучних сумішів, води та імітаторів груді. За даними статистичних звітів виключне грудне вигодовування до 6 місяців мали 72,3% дітей. В той же час опитування батьків демонструють нижчі показники виключно грудного вигодовування (52,4%). Проблемою залишається рекомендації використання штучних сумішів з хибних причин: «відсутності молока в перші доби», втрати маси тіла на 3 добу, неспокій дитини. Отже, програма підтримки грудного вигодовування потребує безперервного навчання медичного персоналу та батьків з питань грудного вигодовування та раціонального харчування дітей.

Ключові слова: грудне вигодовування, штучне вигодовування, прикорм, діти.

Здоров'я нації визначається насамперед станом здоров'я її дітей. Дані численних досліджень показують, що погіршення стану здоров'я дорослих треба шукати в їхньому дитинстві, зокрема у вигодовуванні дитини в перші роки життя. Саме підтримка грудного вигодовування дітей в Україні дає можливість зниження рівня захворюваності та смертності дітей першого року життя та зменшення захворюваності в наступні періоди дитинства. Численні наукові дослідження інформують, що «омолодження» таких хвороб як цукровий діабет, ожиріння, гіпертонічна хвороба, онкологічні хвороби можуть бути пов'язані з нераціональним вигодовуванням немовлят, а саме нехтуванням природнім вигодовуванням, раннім введенням штучних замінників грудного молока, недотриманням рекомендацій щодо термінів введення прикорму[1,2]. У 1990



році представники ВООЗ (Всесвітньої організації охорони здоров'я) та Дитячого фонду ООН ЮНІСЕФ (UNICEF) прийняли «Декларацію Інноценті» (The Innocenti Declaration) на підтримку грудного вигодовування. Україна приєдналася до програми підтримки грудного вигодовування у 1995 році. Рекомендації ВООЗ та ЮНІСЕФ щодо грудного вигодовування: забезпечити контакт «шкіра до шкіри» та прикладати дитину до грудей матері якнайшвидше після народження немовляти; якнайшвидше почати грудне вигодовування, найкраще — впродовж першої години життя дитини; забезпечити перебування матері та новонародженої дитини в одній палаті 24 год/добу, щоб мати змогла годувати дитину на вимогу (тобто так часто, як хоче дитина, вдень і вночі); забезпечити виключно грудне вигодовування протягом перших 6 міс від народження — немовлятам не слід давати жодних інших продуктів харчування, навіть воду; не використовувати жодних сумішей, пляшечок, сосок чи пустушок, якщо можливе виключно грудне вигодовування; поступово вводити прикорм, починаючи з 6 міс, але продовжувати грудне вигодовування до досягнення дитиною віку 2 років і старше. Україна підтримує ці рекомендації та створює умови, щоб забезпечити їх виконання.

Грудне молоко матері є унікальним продуктом харчування для новонароджених. Воно містить усі поживні речовини, що необхідні для розвитку та росту дитини протягом перших місяців життя. Грудне молоко матері є найбезпечнішим джерелом поживних речовин, вітамінів та енергії, оскільки не містить жодних додаткових, шкідливих речовин. Грудне молоко повністю покриває потреби дитини в поживних речовинах протягом перших 6 місяців життя, з 6 до 12 місяців продовжує задовольняти щонайменше половину потреб дитини в поживних речовинах, а протягом другого року життя — покриває третину цих потреб[3].

Ранній початок грудного вигодовування впродовж 30-60 хвилин після народження дитини забезпечує високий рівень захисту немовляти від інфекційних захворювань. Згідно з даними ВООЗ, виключно грудне вигодовування значно знижує ризик смерті внаслідок діареї, пневмонії та інших інфекційних захворювань, а у разі хвороби діти швидше одужують. Діти й підлітки, які в грудному віці отримували молоко матері, рідше страждають від надлишкової ваги або ожиріння у старшому віці, грудне вигодовування має профілактичний ефект щодо алергічних захворювань[4].

Дослідження доводять, що діти, яких годували материнським молоком, демонструють вищі результати психомоторного розвитку, а також закладає основу для подальшого інтелектуального розвитку[4,5]. Грудне вигодовування для дитини - це також відчуття безпеки, особливо важливе в умовах військового стану в країні.

Метою дослідження було вивчення показників грудного вигодовування, причин, які призводять до штучного вигодовування, термінів введення прикорму.

Матеріали і методи дослідження.

Проведено опитування 42 матерів дітей раннього віку. Розроблено анкету-опитувальник, яка мала 10 запитань щодо вигодовування дитини. Статистичну



обробку результатів дослідження проводили за допомогою стандартних методів з розрахунком відносних величин (абсолютна кількість спостережень, % співвідношення).

Результати досліджень та їх обговорення.

За даними статистичних звітів медичних закладів м. Чернівців у 2022 році на виключно грудному вигодовуванні (ГВ) було 72,3% дітей до 6 місяців, 22,8% - до 3 місяців (рис.1).

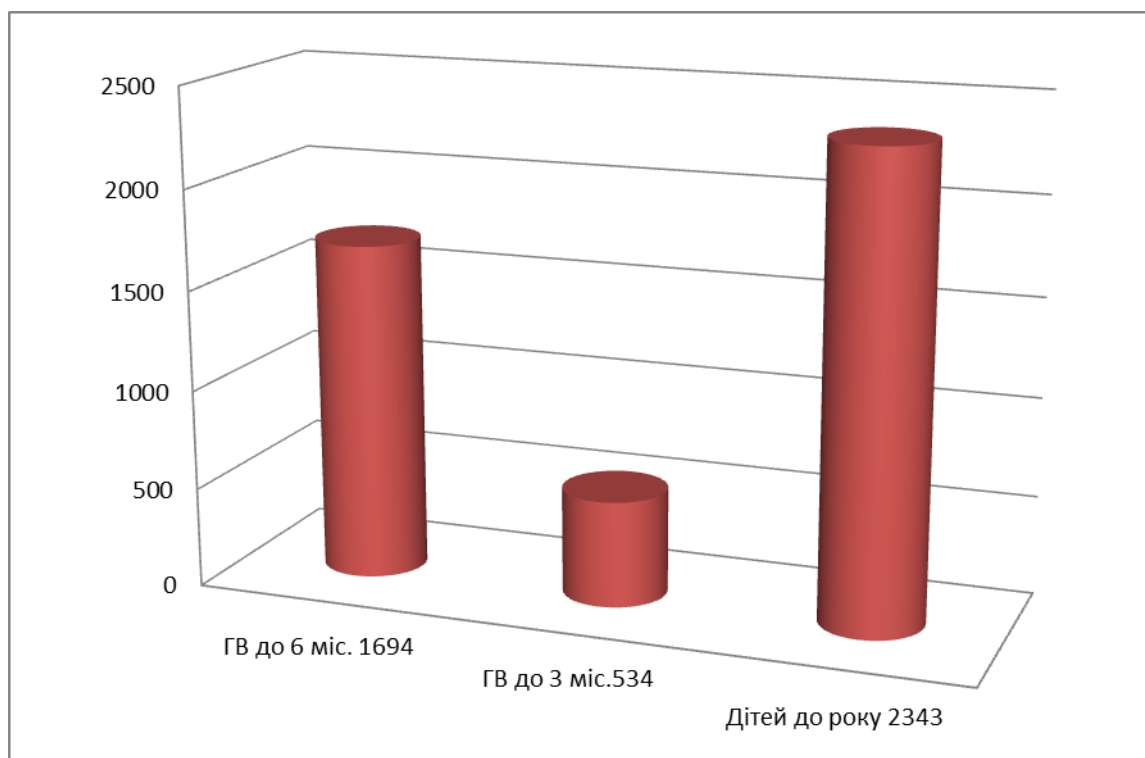


Рис.1. Кількість дітей на грудному вигодовуванні за даними статистичних звітів.

Проведено опитування 42 матерів дітей раннього віку, щодо характеру вигодовування, термінів та причин завершення грудного вигодовування. За результатами опитування матерів в структурі характеру вигодовування дітей до 6 місяців: виключне грудне вигодовування – 52,4% (22); штучне вигодовування – 33,3% (14); змішане вигодовування – 14,3 % (6). Під час опитування матерів встановлено, що причинами рекомендацій введення штучних сумішей на перших тижнях життя були: «відсутність молока в першу добу», втрата маси тіла на 3-4 добу, епізоди неспокою дитини або відсутність прибавки маси тіла на 10-12 добу життя. Ці «причини» не можуть вважатися підставами для рекомендацій введення штучної суміші, скоріше свідчать про низький рівень знань щодо фізіологічних процесів в цей період життя немовлят.

Впродовж кількох днів після пологів молочні залози виробляють густе поживне молозиво, яке має високу енергетичну цінність, і навіть у малих дозах може повністю задовольнити потреби дитини в необхідних поживних речовинах в перші дні життя. Молозиво містить велику кількість секреторного імуноглобуліну А, що захищає слизові оболонки дитини, містить багато лейкоцитів – кліток імунної системи, що руйнують віруси і бактерії.

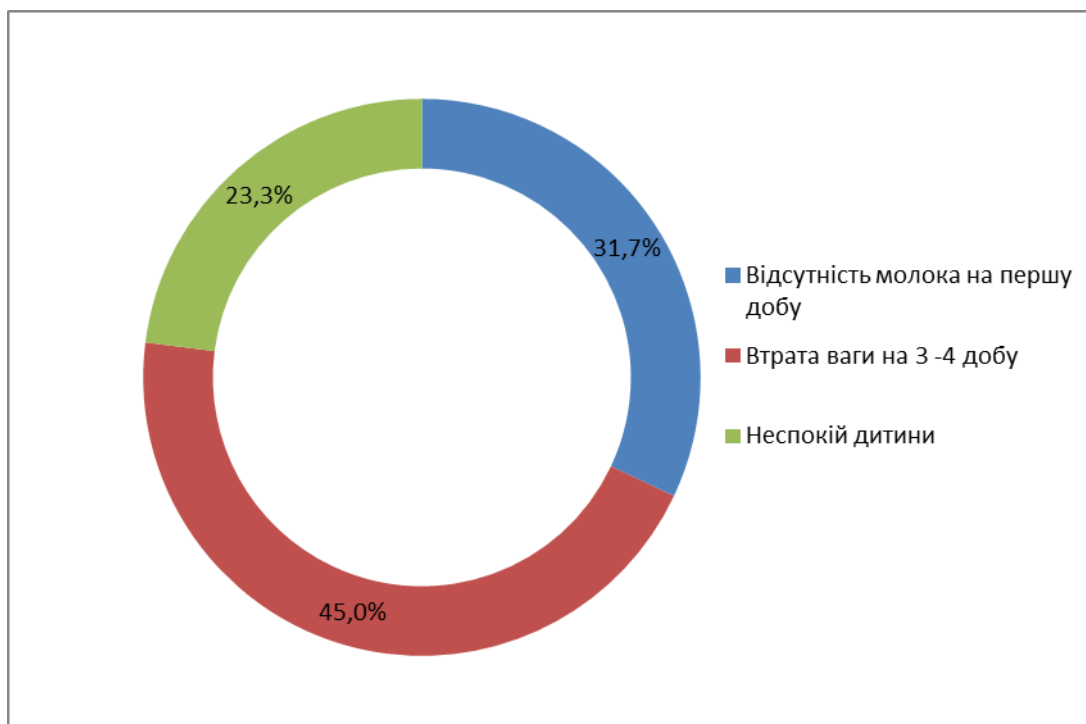


Рис.2. Причини введення штучної суміші на першому тижні життя (за даними опитування)

У 2 респондентів грудне вигодовування в дитини було відсутнім з народження (4,8%). Грудне вигодовування повністю було завершене у дітей до 6 місяців у 13 опитаних (31%). У 15 дітей (35,7%) грудне вигодовування було завершене у терміни від 6 місяців до 1 року. Більше року груддю вигодовувались 10 дітей (23,8%), 2 роки і довше – 2 дітей (4,8%) (рис.3).

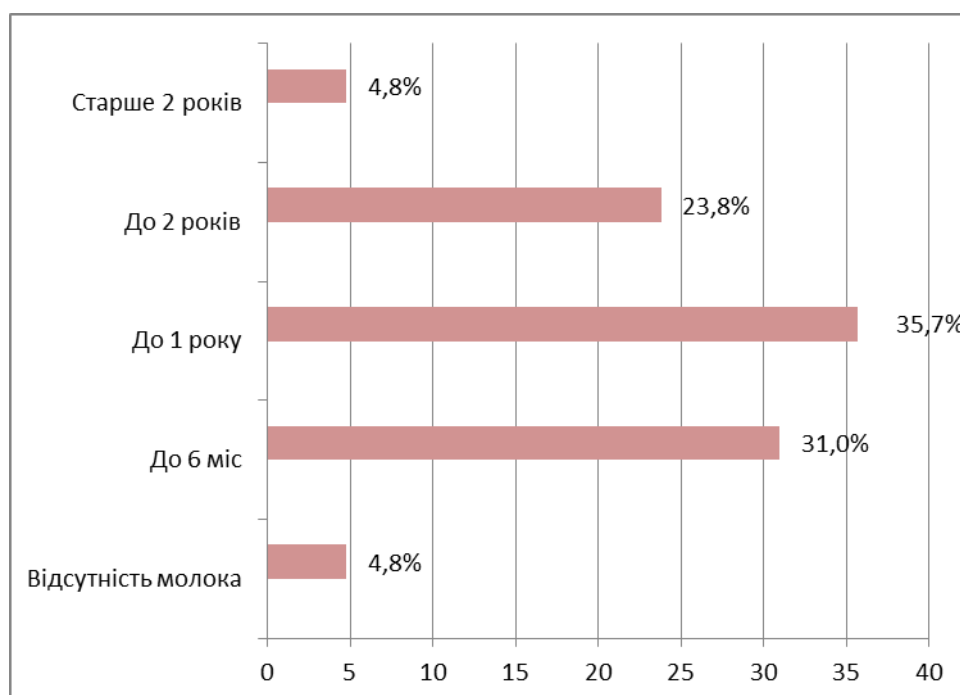


Рис.3. Терміни припинення грудного вигодовування дітей першого року за даними анкетування матерів.



За результатами опитування матерів серед найбільш поширених причин завершення грудного вигодовування до 1 року: соматичний стан у матері, що перешкоджав грудному вигодовуванню – 9,5% (4 дитини); зменшення кількості грудного молока – 61,9% (26 дітей); відмова дитини від годування – 9,5% (4 дитини); рішення жінки завершити годувати груддю – 19,0% (8 дітей).

Харчування дітей із лабораторно підтвердженою анемією в 9 місяців життя характеризувалось більш пізніми термінами введення першого прикорму та продуктів, збагачених залізом, ніж у дітей із показниками Hb > 110 г/л. Термін введення прикорму у дітей з анемією склав $7,5 \pm 0,6$, у дітей з гемоглобіном вище 110 г/л – $6,1 \pm 0,4$ ($p < 0,05$). Таким чином, профілактикою залізодефіцитної анемії у дітей першого року життя є своєчасне введення прикорму, однак слід дотримуватись термінів введення прикорму, не раніше 4-6 місяців (згідно рекомендацій ESPEGAN).

Висновки:

1. За даними статистичних звітів виключно грудне вигодовування до 6 місяців мали 72,3% дітей. Опитування батьків демонструють нижчі показники виключно грудного вигодовування (52,4%).

2. Проблемою залишається рекомендації використання штучних сумішей з хибних причин: «відсутності молока в перші доби», втрати маси тіла на 3 добу, неспокій дитини.

3. Питання грудного вигодовування та раціонального харчування дітей потребують безперервного навчання медичного персоналу та батьків та є вирішальними в парадигмі збереження здоров'я дітей.

Література:

1. Мельничук Л.В., Михаськова А.А. Роль медичного працівника в сучасній парадигмі здорового способу життя. Буковинський медичний вісник. 2018; 22(1) (85): 165-170. Melnychuk L.V., Mykhaskova A.A. Rol medychnoho pratsivnyka v suchasniy paradyhmi zdorovoho sposobu zhyttia. Bukovynskyi medychnyi visnyk. 2018; 22(1) (85): 165-170. (in Ukrainian).

2. Домітрашук І.С., Мельничук Л.В. Профілактична медицина як важлива складова діяльності закладів первинної допомоги. SWorldJournal. 2020;6(7):12-6. doi: 10.30888/2663-5712.2020-06-07-112. Domitrashchuk I.S., Melnychuk L.V. Profilaktychna medytsyna yak vazhlyva skladova diialnosti zakladiv pervynnoi dopomohy. SWorldJournal. 2020;6(7):12-6. doi: 10.30888/2663-5712.2020-06-07-112 (in Ukrainian).

3. Кісельова М.М., Моштук О.С., Григоренко Л.В., Шлемкевич О.Л. Грудне вигодовування дітей – «золотий стандарт», давній досвід і нові науково доведені переваги. Неонатологія, хірургія та перинатальна медицина. 2022; XII; 2(44): 53-58. Kiselova M.M., Moshtuk O.S., Hryhorenko L.V., Shlemkevych O.L. Hrudne vyhodovuvannia ditei – «zoloty standart», davnii dosvid i novi naukovo dovedeni perevahy. Neonatolohiia, khirurhiia ta perynatalna medytsyna. 2022; KhII; 2(44): 53-58. (in Ukrainian).

4. Добрик Д.С., Добрянський Д.О. Можливості та перспективи імунного харчування передчасно народжених немовлят. Неонатологія, хірургія та



перинатальна медицина. 2021; XI; 1(39): 39-47. Dobryk D.S., Dobrianskyi D.O. Mozhlyvosti ta perspektyvy imunnoho kharchuvannia peredchasno narodzhenykh nemovliat. Neonatolohiia, khirurgiia ta perynatalna medytsyna. 2021; KhI; 1(39): 39-47. (in Ukrainian).

5. Котова Н.В., Старець О.О., Хіменко Т.М., Геращенко Ю.О., Федоренко О.В. Як оптимізувати практику вигодовування немовлят. Неонатологія, хірургія та перинатальна медицина. 2020; X; 2(36): 29-36. Kotova N.V., Starets O.O., Khimenko T.M., Herashchenko Yu.O., Fedorenko O.V. Yak optymizuvaty praktyku vyhodovuvannia nemovliat. Neonatolohiia, khirurgiia ta perynatalna medytsyna. 2020; Kh; 2(36): 29-36. (in Ukrainian).

Abstract: The article is devoted to the problems of infant feeding and its impact on the child's health. Numerous scientific studies inform that the "rejuvenation" of such diseases as diabetes, obesity, hypertension, and oncological diseases can be associated with irrational feeding of infants, namely neglect of natural feeding, early introduction of artificial breast milk substitutes, non-compliance with recommendations regarding the timing of introduction supplement. The goal of the breastfeeding support program in Ukraine was to reduce the morbidity and mortality of children in the first year of life, postpartum complications, and improve women's reproductive health. The breastfeeding support strategy recommends early attachment to the mother's breast (up to 30-60 minutes) after delivery, coexistence of mother and child, feeding on demand, not by the hour, rejection of artificial formulas, water and breast simulators. According to statistical reports, 72.3% of children were exclusively breastfed up to 6 months. At the same time, surveys of parents show lower rates of exclusive breastfeeding (52.4%). The problem remains recommendations for the use of artificial mixtures for false reasons: "lack of milk in the first days", loss of body weight on the 3rd day, restlessness of the child. Therefore, the breastfeeding support program requires continuous training of medical staff and parents on breastfeeding and children's nutrition.

Key words: breastfeeding, artificial feeding, supplementary food, children.



MODERN APPROACHES TO DIAGNOSTIC AND TREATMENT OF ADENOIDITIS IN CHILDREN

Yakovets Karolina

Hluhovska Svitlana

Yakovets Ruslan

Chornenka Zhanetta

Bukovinian State Medical University, Ukraine

Abstract. Diseases of adenoids are one of the most frequent types of ENT pathology in childhood. They often occur against the background of frequent episodes of acute respiratory viral infections (ARVI), bacterial rhinosinusitis, allergic rhinitis. Infectious agents are mainly adeno- and rhinovirus, Epstein-Barr virus, and bacteria include *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Moraxella catarrhalis*, *Staphylococcus aureus*. Sometimes it is possible to trace a hereditary predisposition to the development of adenoid diseases in children. Among the diseases of the ENT organs, in children of preschool and primary school age, hypertrophy of the pharyngeal tonsil and chronic adenoids are most often detected, which is due to the anatomical location of the pharyngeal tonsil and its physiological features.

Key words: ENT organs, adenoids, treatment, children

Adenoids are growths in the size of the nasopharyngeal tonsils, which, as a result of the increase, cause difficulty in nasal breathing, hearing loss and lead to other problems of the child's body. Being in a normal state, during a visual inspection, the tonsil is not visible. Adenoids are part of the immune system, which helps fight infection and protects the body from bacteria and viruses. They begin to grow from birth and are at their largest around the time a child is three to five years old.

Today, chronic inflammatory diseases of the lymphadenoid pharyngeal ring are the most common among chronic forms of childhood pathology, and operations in this area remain the most frequent surgical intervention in children [1,2]. Therefore, the development of modern effective methods of conservative treatment of children with pathology of the lymphadenoid pharyngeal ring is relevant not only for children's otorhinolaryngologists, but also for pediatricians and family doctors. Taking into account the above, it becomes clear that the pathology of the lymphadenoid tissue of the pharynx, which is quite common among children, is an urgent problem of modern medical science and requires the appropriate attention of specialists. Diseases of the pharyngeal tonsil in the structure of pathology of the upper respiratory tract in children of preschool age make up to 30% [3].

Anatomical and physiological features of the pharyngeal tonsil in children

The surface of the pharyngeal tonsil has the appearance of folds placed sagittally. There are a total of 5–9 oblong, roller-like folds, which are separated by grooves (slits) and are similar to crypts. Follicles and a diffuse accumulation of lymphoid elements are located in the thickness of the folds. Normally, the thickness of the pharyngeal tonsil is 5–7 mm, the width is 20 mm, and the length is 25 mm [4]. These sizes are relative, but their increase indicates hypertrophy of the pharyngeal tonsil (adenoid vegetations).

The pharyngeal tonsil does not have crypts, but only grooves into which the eyes of the glands fall, does not have a capsule and is covered with a multi-row ciliated epithelium.



The pharyngeal tonsil is supplied with blood by the ascending pharyngeal artery. Venous blood drains into the veins of the pharyngeal plexus. The pharyngeal tonsil is innervated by nerve fibers of the branches of VII, IX, X pairs of cranial nerves and sympathetic fibers from the periarterial plexuses [5,6].

Clinical picture

The main ones are airway obstruction and/or symptoms of recurrent upper respiratory tract infections. The frequency of SARS in children with adenoid diseases increases significantly - it can reach 10 episodes per year. The course of infections is longer, they are more often complicated by rhinosinusitis and otitis media. Hypertrophied and/or inflamed adenoids are exactly the "weak" place in the nasopharynx that increases susceptibility to respiratory infections.

Clinical manifestations of adenoid diseases

- Obstructed nasal breathing
- Snoring
- Humility
- Constant mouth breathing
- Frequent prolonged runny nose
- Sleep apnea

Classification of pharyngeal tonsil diseases

All diseases of the pharyngeal tonsil are divided into inflammatory and tumorous [7,8].

Inflammatory diseases:

- acute adenoiditis;
- recurrent adenoiditis;
- chronic adenoiditis;
- pharyngeal tonsil abscess;
- hyperplasia of pharyngeal tonsils (adenoid growths, adenoid growths, adenoids).
- tumor diseases:
- benign (cyst);
- malignant (lymphosarcoma).

Acute adenoiditis

Adenoiditis in childhood is characterized by the course both against the background of the growth of adenoid tissue (hypertrophy of the pharyngeal tonsil) and in the absence of the latter. The terms "adenoids" and "adenoiditis" can complement each other, that is, indicate whether adenoid vegetations are accompanied by an inflammatory process or not [9,10,11].

Patients with acute adenoiditis (acute inflammation of the pharyngeal tonsils) complain of pain and a burning sensation in the nasal part of the pharynx and nasal cavity, difficulty breathing through the nose, mucous-purulent secretions from the nose, snoring during sleep, general weakness, and "closed" hoarseness. The sensation of plugging the ear indicates changes in the auditory tube.

During anterior rhinoscopy, the phenomena of acute rhinitis are observed. During posterior rhinoscopy, an increase in the pharyngeal tonsil, its hyperemia, mucopurulent secretions, which flow down the hyperemic back wall of the pharynx, are noted.



The disease lasts 5–6 days, but often turns into a subacute or chronic form. Often, the acute process passes to the tubal tonsils and then to the side rolls. At the same time, during pharyngoscopy, swollen rolls, sharply hyperemic follicles with the presence of whitish point plaques on some of them are visible. The disease can be complicated by acute otitis media, throat abscess, pharyngitis, laryngitis.

During differential diagnosis, it is necessary to take into account diphtheria of the nasal part of the pharynx; it occurs rarely, but is difficult to diagnose.

Treatment includes the use of aerosols with antiseptics 2–3 times a day, vasoconstrictor, antiseptic nasal drops (4–5 drops 3 times a day). It is advisable to use multivitamins, antihistamines and tonics. If the treatment is ineffective and the subacute form of the disease develops, the nasal cavity is washed with solutions of antiseptics and decoctions of medicinal herbs, and antibiotics are used according to the antibiotic chart for 10 days. Shorter courses of treatment (5–7 days) often do not ensure the eradication of bacterial microflora [9].

Chronic adenoiditis

The frequency of development of chronic adenoiditis is up to 10% in patients without hypertrophy of the pharyngeal tonsil, and in its presence it is much higher (21.5–83.7%).

In the development of chronic adenoiditis, suppurative cocci, bacteria, viruses and opportunistic microorganisms are most important, which, against the background of a decrease in local and general immunity due to the action of exo- and endogenous factors, lead to the development of chronic inflammation of the pharyngeal tonsils. The latter most often occurs as a result of transferred acute adenoiditis. Pathomorphological changes are almost similar to those in chronic tonsillitis. Often, the inflammatory process spreads to the lateral rolls, the auditory tube, and the mucous membrane of the pharynx.

The child periodically notices difficult nasal breathing, frequent and prolonged runny nose, sleep and appetite disturbances. Hoarseness, subfebrile body temperature, headache, general weakness, enuresis, a feeling of congestion in the nasal part of the pharynx and ear, dry mouth and slight pain in the nasal part of the pharynx, cough due to the flow of mucous secretions in the larynx are also registered.

During the general examination, pallor of the skin, a decrease in the layer of subcutaneous fat, impaired development of the jaw and respiratory systems, and an increase in occipital and cervical lymph nodes are noted. Often these children lag behind in physical and mental development as a result of chronic intoxication. During rhinoscopy, the inflammatory process in the pharyngeal tonsil is noted; mucous, mucopurulent and (rarely) purulent secretions that flow into the oral and laryngeal parts of the pharynx and even into the larynx, trachea.

During an endoscopic examination of the nasal part of the pharynx, the surface of the adenoid vegetations is loose, pale gray or vitreous, the swelling resembles nasal polyps. At the bottom of the nasal cavity, the back surface of the soft palate, the back wall of the nasal part of the pharynx, mucous secretions of a milky white color are found. There is no plaque, which excludes diphtheria. However, patients with chronic adenoiditis should always be swabbed for diphtheria bacillus because the nasal part of the pharynx is a reservoir for it.



Patients with chronic adenoiditis often have diseases of the nasal cavity, paranasal sinuses, auditory tube and ear, pharynx and larynx, as well as pathological changes in the lower respiratory tract, cardiovascular and immune systems. Violation of systemic immunity is manifested in suppression of the phagocytic and T-cell link, imbalance of immunoglobulins (immunoglobulin — Ig) A, M, G and secretory Ig A.

2-3 courses of conservative therapy are carried out, which consists in the use of antihistamine, immunocorrective, stimulating drugs, vitamins, aerosols (Aqua Maris® line of drugs, Meralis® nasal spray based on sea water with minerals and trace elements), electroaerosols with antiseptics, antibiotics and washing of the nasal part of the pharynx with a 10% solution of povidone-iodine, diluted 10–30 times, or with another modern antiseptic.

In case of failure of conservative therapy, adenoidectomy is performed under general anesthesia. As a rule, surgical treatment is carried out for hypertrophy of the pharyngeal tonsils of the II-III degree; however, the indication for the operation is not so much the size of the adenoids, but the development of disorders caused by them in the child's body.

The Dane Wilhelm Meyer is considered the founder of pharyngeal tonsil surgery, who discovered a bulging tissue in the nasal part of the pharynx, similar in appearance and color to earthworms, and made a ring-shaped knife (curette) to remove this tissue. Adenoidectomy — the removal of a hypertrophied pharyngeal tonsil — was performed by V. Meyer for the first time in 1868 in Copenhagen according to his own method using an instrument he had designed himself. This operation has not only become the most common surgical intervention in children - it is considered the most successful surgical method of treatment in general. With the help of a qualitatively performed adenoidectomy (if it is performed according to the indications, technically correctly and in advance), it is possible to positively influence the work of the respiratory and hearing organs, the physical and mental development of the child, as well as to determine and improve the quality of his future life [4,9].

It should be noted that adenoidectomy should be performed only after the inflammatory process subsides, regardless of the degree of enlargement of the pharyngeal tonsil and the patient's age [9].

Hypertrophy of the pharyngeal tonsil

Etiological factors in the development of hypertrophy of the pharyngeal tonsils and adenoiditis in childhood are not only recurrent viral and bacterial infections, but also allergic diseases, concomitant pathology of the immune and neuroendocrine systems, metabolic disorders [10,12,13].

The main clinical sign of the presence of adenoids is difficulty in nasal breathing, sleeping with the mouth open, general and local manifestations of inflammation. The degree of nasal breathing disorder depends on the size, shape and structure of the adenoids, the relative size of their volume to the size of the cavity of the nasal part of the pharynx, as well as accompanying inflammatory changes [4,7]. Obstruction of nasal breathing and limitation of the mobility of the soft palate due to impaired blood circulation in it, as well as changes in the volume of the upper resonators cause speech function disorders, the so-called rhinolalia clausa posterior. At the same time, children pronounce nasal consonant sounds with great difficulty; their speech becomes muffled



and fragmentary. Significant difficulty in nasal breathing leads to breathing through the mouth, children are in a state of constant oxygen starvation. Their chest is narrow and flattened on the sides, the breastbone is slightly forward ("chicken breast") [9,13]. Breathing through the mouth leads to insufficient moistening, warming and purification of inhaled air, constant cooling of the oral cavity, pharynx and lower respiratory tract. A mass of microorganisms and dust particles inhaled through the mouth settles on the mucous membrane of the pharynx and trachea, causing colds, sore throat, pharyngitis, diseases of the bronchi and lung tissue.

Adenoid vegetations during sleep can increase due to venous stasis and lead to a pronounced violation of respiratory function up to the cessation of breathing due to intermittent obstruction of the upper respiratory tract, i.e. to obstructive sleep apnea syndrome. Therefore, children with adenoids often sleep restlessly, with their mouths open, they often snore, and saliva flows from their open mouths. Often, with adenoids and adenoiditis, mucus flows from the nasal to the oral and laryngeal parts of the pharynx, which leads to a prolonged cough.

The inflammatory process often spreads to the nasal cavity, forming rhinitis, rhinosinusitis with abundant secretions from the nasal cavity, irritation of the skin of the bridge of the nose and the upper lip, which becomes hyperemic, thickened, and covered with cracks [9]. As mentioned above, often these pathological conditions develop in parallel with recurrent and chronic inflammatory diseases of the bronchopulmonary system, therefore such patients are simultaneously in the field of vision of otorhinolaryngologists, pulmonologists and pediatricians.

Diagnostics

Diagnosis of adenoid diseases consists in a thorough examination of the nasopharynx. In rare situations, a finger examination of the nasopharynx can be performed. Computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) of the head and neck are not indicated to evaluate the size of adenoids, but if they were performed for another reason (for example, chronic rhinosinusitis or brain pathology), then with the help of these methods it can be carefully assess the size of the adenoids and their ratio to the choans. An MRI should also be considered if a child's adenoid tumor is suspected.

Flexible (fiberoptic) nasopharyngoscopy is considered the gold standard for diagnosing and assessing the degree of adenoid hypertrophy. This method provides direct visualization of the nasal cavity and nasopharynx. The diagnostic accuracy of flexible nasopharyngoscopy can be of primary importance in determining the indications for adenoidectomy. Only after an endoscopic examination can the degree of hypertrophy of the adenoids is determined. The most common is the classification, according to which three degrees of enlargement of adenoids are distinguished (Table 1).

Degree	Characteristics
I	small-sized adenoids (cover the upper $\frac{1}{3}$ of the choanal lumen)
II	medium-sized adenoids (cover $\frac{2}{3}$ of the blade)
III	adenoids of large size (cover all or almost all of the choanal lumen)



Treatment

Treatment of adenoid diseases is conservative and surgical. It depends on the degree of obstruction of the respiratory tract and the presence of other concomitant diseases that can be complications.

Surgical treatment

Indications for adenoidectomy – surgical removal of adenoids – are:

- chronic (more than 12 weeks) adenoiditis with rhinorrhea, despite at least a 3-week course of antibiotics;
- chronic (more than 12 weeks) sinusitis, despite at least a 3-week course of antibiotics;
- 4 or more episodes of recurrent adenoiditis with purulent otorrhea in the last 12 months in a child under 12 years of age;
- chronic secretory otitis in a child aged 4 years or older with a history of ineffectiveness of previous tympanostomy surgery;
- hypertrophy of adenoids, detected endoscopically/radiologically, with symptoms of airway obstruction, having one of the following manifestations:
- in children under 3 years of age, there is a syndrome of breathing disorders during sleep lasting more than 3 months with information from parents about apnea, sobbing, shortness of breath during night sleep;
- in children aged 3-17 years, RDS with assessment of ventilation adequacy at night, including snoring, mouth breathing, apnea;
- pathological conditions that may be associated with sleep-disordered breathing (including growth retardation, poor academic performance, enuresis, behavioral problems, and more);
- obstructive sleep apnea syndrome, diagnosed by polysomnography, with an apnea/hypopnea index >1.0 .

Conservative treatment

Operations on adenoids and tonsils are very common, but recently, due to the short-term risks of surgical treatment and the advent of alternative methods of therapy, their frequency has decreased. If there are no indications for surgical intervention, conservative drug treatment is prescribed. According to the tactics of treatment, all children with adenoid problems can be divided into 3 groups (Table 2). This distribution may not depend on the degree of tonsil hypertrophy.

<i>Group</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Tactics of treatment</i>
A	Children with minimal manifestations of adenoid diseases that do not require surgical and medical treatment	General strengthening measures (hardening, sanatorium-resort treatment, dispensary observation)
B	Children who do not have indications for surgical treatment	Drug treatment, strengthening measures, dispensary observation
C	Children who have indications for surgical treatment	Surgery

One of the modern and relatively new methods of adenoid treatment is cryotherapy. It consists in point impact on adenoids with liquid nitrogen, the



temperature of which is minus 100-180 degrees Celsius. With this effect of cold on the affected tissue, its subsequent dying and rejection occurs. A new, healthy tissue is formed in its place.

Indications for cryotherapy:

- Adenoiditis (stages 1 and 2);
- Acute rhinitis;
- Chronic rhinitis;
- Frequent colds due to adenoids.

The procedure of cryotreatment of adenoids in children is completely painless and takes place in a playful way. LOR administers local anesthesia through the nose. After that, special tubes are inserted into the nasal passages. Through them, liquid nitrogen is applied to the adenoids. The procedure lasts a few seconds. During cryotherapy, a white vapor begins to come out of the child's nose, which is associated with the smoke from a steamship or the breath of a baby dragon. This situation is used to conduct the procedure in a game manner. The total number of such approaches is from 2 to 3 times.

After the first cryotherapy session, the recovery process takes place, which usually takes up to 2 weeks. After 2-3 months, the procedure is repeated.

At the time of cryotherapy, the child must be clinically healthy. Immediately before the procedure, the child does not need to be fed.

Advantages of cryotherapy:

- Treatment of adenoids in children without surgery;
- Painlessness of the method;
- Reducing the number of colds;
- Hardening of the body;
- Parallel cryoirrigation of ENT organs is possible for the prevention of other ENT diseases.

Cryotherapy (or "cold treatment") is one of the most effective methods of treatment for many ENT diseases. Learn more about how cryotherapy is used in the treatment of snoring and in the treatment of tonsils (tonsillitis).

Cons of cryotherapy:

- The desired result is not always achieved (most often in children with 3rd degree inflammatory processes);
- Aggravation of symptoms is possible within a few days after the procedure.

Endonasal corticosteroids (for example, mometasone furoate) are indicated for long-term elimination of adenoid hypertrophy. The recommended starting dose is 50-100 mcg/day until the effect is achieved (for example, 4 weeks). Then the dose can be reduced to a maintenance dose (25-50 mcg/day for 2 weeks per month), which provides a long symptom-free period. Pan-American recommendations [7] state that the course of treatment for hypertrophy of adenoids should be 8-12 weeks. Mostly, in various studies, a higher dose was first prescribed for 4-8 weeks, and then it was reduced and the treatment was continued for the same amount of time.

A new trend in the treatment of adenoid diseases is the use of respiratory cytoprotectors, represented by Ectobris. Since children with diseases of adenoids suffer from SARS significantly more often and for longer, cytoprotection of the mucous membrane of the upper respiratory tract is aimed at strengthening it, reducing



inflammation of adenoids, duration and frequency of exacerbations of adenoiditis. Cells of the mucous membrane of the respiratory tract under the influence of cytoprotector become more resistant to the influence of negative factors (viruses, bacteria, allergens, etc.) and react less with inflammation to them. Inflammation is less pronounced and lasts less. This can also explain the need to use Ectobris in case of exacerbation of adenoiditis.

Conclusions.

Thus, adenoid diseases are one of the most frequent chronic diseases of childhood. Accurate diagnosis and the use of modern medicines will help with adenoid diseases. Medical treatment is an effective alternative to surgical treatment, so it is worth using the chance of high-quality and safe non-surgical treatment. The emergence of modern methods of conservative treatment makes it possible to reduce the number of surgical interventions in children.

Reference:

1. Cohen D., Shechter Y., Slatkine M. et al. (2001) Laser myringotomy in different age groups. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 127(3): 260–264.
2. Yilmaz M.D., Hoşal A.S., Oğuz H. et al. (2002) The effects of tonsillectomy and adenoidectomy on serum IGF-I and IGFBP3 levels in children. *Laryngoscope*, 112(5): 922–925.
3. Melnikov M.N., Sokolov A.S. (2000) Endoscopic shaver adenoidectomy. *Russia Rhinology*, 1: 3–8.
4. Laiko A.A., Zabolotnyi D.I., Kosakovskiy A.L. (2006) Adenoid vegetations and adenoiditis. *Logos, Kyiv*, 170 p.
5. Shustova T.Y., Samotkin M.B. (2000) Adrenergic innervation of nasal polyps and pharyngeal tonsils in children. *Vestn. Otorhinolaryngol.*, 3: 36–39.
6. Bogomilsky M.R., Harashchenko T.Y., Babakina L.A. (2009) Use of the elimination drug Aqua Maris (Jadran, Croatia) in the complex treatment of allergic rhinitis in children. *Wedge. immunol. Allergol.*, 3(22): 52–56.
7. Laiko A.A., Zabolotny D.I., Rautskis P.A. etc. (2010) Pharyngeal tonsil hypertrophy and chronic adenoiditis. *Logos, Kyiv*, 144 p.
8. Bredun O.Yu. (2011) Pharyngeal tonsil pathology in children. *Health of Ukraine*, 2: 58–59.
9. Laiko A.A., Kosakovskiy A.L., Zabolotna D.D. etc. (2013) Pediatric Otorhinolaryngology. *Logos, Kyiv*, 575 p.
10. Pukhlyk S.M., Neivert E.G. (2008) Adenoids, adenoiditis and allergic rhinitis. *Wedge. immunol. Allergol infectol.*, 5(2): 16–20.
11. Bezshapochny S.B., Sonnik N.B., Loburets V.V., Vahnina A.P. (2009b) Optimal approach and pharmacotherapy of long-term adenoiditis in children. *Journal ears the nose and throat of diseases*, 3: 14–15.
12. Darrow D.H., Siemens C. (2002) Indications for tonsillectomy and adenoidectomy. *Laryngoscope*, 112(8 Pt. 2 Suppl. 100): 6–10.
13. Bezshapochny S.B., Sonnik N.B., Loburets V.V., Vahnina A.P. (2009b) Optimal approach and pharmacotherapy of long-term adenoiditis in children. *Journal ears the nose and throat of diseases*, 3: 14–15.



MODERN VIEWS ON THE PATHOGENESIS AND PRIMARY PREVENTION OF CERVICAL CANCER СУЧАСНІ ПОГЛЯДИ НА ПАТОГЕНЕЗ ТА ПЕРВИННУ ПРОФІЛАКТИКУ РАКУ ШИЙКИ МАТКИ

Sokolov V. V./Соколов В.М.

d.m.s., prof. / д.м.н., проф.

Bondar O.V./Бондар О.В.

d.m.s., prof. / д.м.н., проф.

Rybin A.I./Рибін А.І.

d.m.s., prof. / д.м.н., проф.

Osyk V.V./Осик В.В.

Odessa National Medical University, Odessa, Tynista 8, 65062

Одеський національний медичний університет, Одеса, Тіниста 8, 65062

Анотація: Рак шийки матки є четвертим найпоширенішим онкологічним захворюванням серед жінок. Інфікування вірусом папіломи людини (ВПЛ) є основною причиною розвитку раку шийки матки. Інфікування вірусом папіломи людини високого ризику (ВПЛ) та інтеграція геному ВПЛ у хромосому епітеліальних клітин шийки матки є ключовими ранніми подіями в неопластичному прогресуванні уражень шийки матки. Вірусні онкобілки, головним чином Е6 і Е7, відповідають за початкові зміни в епітеліальних клітинах. Вірусні білки інактивують два основні білки-супресори пухлин, p53 та ретинобластому (pRb). Інактивація цих білків хазяїна порушує як механізми репарації ДНК, так і апоптоз, що призводить до швидкої проліферації клітин. При цервікальній інтраепітеліальній неоплазії (CIN) та раку шийки матки (РШМ) високо експресуються численні гени, що відповідають за репарацію ДНК, проліферацію клітин, активність факторів росту, ангиогенез, а також гени мітогенезу. Ця геномна нестабільність заохочує ВПЛ-інфіковані клітини прогресувати до інвазивної карциноми. Ключові молекулярні події, що беруть участь у канцерогенезі шийки матки, будуть розглянуті в цьому огляді.

Ключові слова: рак шийки матки; цервікальна інтраепітеліальна неоплазія; вірус папіломи людини; канцерогенез; вірусний онкопротеїн; ген-супресор пухлини.

Вступ.

Рак шийки матки є четвертим за поширеністю раком серед жінок у всьому світі, лише в 2018 році було зареєстровано приблизно 570 000 випадків і 311 000 смертей. Було підраховано, що близько 85% смертей у світі від раку шийки матки припадає на країни з низьким і середнім рівнем доходу, де рівень смертності у 18 разів вищий, ніж у розвинених країнах. Показники смертності дуже високі в деяких країнах Африки, Латинської Америки та Азії. Кілька досліджень показали, що низький економічний статус, погана особиста та сексуальна гігієна, куріння, ранній вік сексуальної активності та наявність кількох сексуальних партнерів є одними з факторів ризику розвитку раку шийки матки. Вірус папіломи людини є основним етіологічним фактором у процесі канцерогенезу. Однак не всі інфекції вірусу папіломи людини (ВПЛ), якими страждають жінки, призводять до раку шийки матки. Патогенез ВПЛ-інфекції включає надмірну експресію вірусних онкобілків, які можуть пригнічувати різноманітні клітинні білки та впливати на біологічні процеси, включаючи клітинну проліферацію, клітинний цикл і апоптоз. Вірусні та клітинні зміни, які індукують канцерогенез шийки матки, дають глибоке розуміння природи захворювання, а також надихають на розробку специфічної молекулярно-цільової терапії.



Основний текст

Шийка матки – нижня частина матки; має циліндричну форму і з'єднується з піхвою через ендцервікальний канал. Ендцервікальний канал вистелений багатошаровим плоским епітелієм і стовпчастим епітелієм, які покривають ектоцервікс і ендцервікс відповідно. Перехідна зона між цими клітинами називається плоскостовпчастим з'єднанням. Будь-яка передракова трансформація клітин відбувається здебільшого в плоскостовбурному з'єднанні та тісно пов'язана з переважно генотипом 16 і 18 ВПЛ високого ризику. Передракові зміни або дисплазія плоских клітин епітелію шийки матки спільно відомі як інтраепітеліальна неоплазія шийки матки (CIN). CIN може прогресувати до карциноми *in situ* та інвазивної карциноми, якщо її не лікувати на ранній стадії або якщо ВПЛ здатний дезактивувати клітинні функції господаря. Крім того, існують переконливі докази того, що певні вірусні білки ВПЛ відповідальні за диспластичні зміни в інфікованих клітинах, і вони також спричиняють трансформацію передракових у ракових уражень. Людина, у якої діагностовано легку дисплазію або CIN 1 (CIN низького ступеня), може одужати від інфекції за допомогою імунної системи господаря. Гістологічно, CIN класифікуються відповідно до тяжкості. У нормальній шийці матки епітеліальні клітини добре організовані. Однак при CIN і раку клітини, інфіковані ВПЛ, стають диспластичними. CIN 1, також відомий як CIN низького ступеня (LGCIN), позначає легку дисплазію, коли нижня третина епітелію виявляє дисплазію. Якщо уражені дві третини епітелію, це називається CIN 2 або помірною дисплазією. Важка дисплазія (CIN 3) класифікується, коли уражено більше двох третин повної товщини епітелію. Ураження CIN 2 і CIN 3 разом класифікуються як CIN високого ступеня (HGCIN).

Віруси папіломи людини (ВПЛ) — це невеликі дволанцюгові ДНК-віруси без оболонки, геноми яких містять 8 кб послідовностей ДНК. На сьогоднішній день виявлено понад 200 генотипів ВПЛ, які класифікуються на ВПЛ слизових оболонок і шкіри. ВПЛ високого ризику пов'язані з інфекцією слизової оболонки, а ВПЛ низького ризику пов'язані з ураженнями шкіри. Типи ВПЛ низького ризику, такі як ВПЛ 6, 11, 42, 43 і 44, пов'язані з доброякісними ураженнями, які часто утворюють бородавки, але рідко зустрічаються у злоякісних пухлинах. І навпаки, ВПЛ високого ризику, такі як ВПЛ 16, 18, 31, 33, 34, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59, 66, 68 і 70, пов'язані з ураженням раку шийки матки з найбільшою кількістю поширеним ВПЛ високого ризику є ВПЛ 16, а потім ВПЛ 18. У випадку канцерогенезу 70% випадків раку шийки матки та 50% уражень CIN 3 розвиваються через стійку інфекцію ВПЛ 16 або ВПЛ 18 [17]. Геном ВПЛ кодує лише вісім білків, які перераховані в Таблиці 1, причому кожен з них відіграє важливу роль у життєвому циклі ВПЛ і трансформації клітин господаря в ракові клітини. Після вірусної інфільтрації базальних епітеліальних клітин вищезгадані вірусні частинки вивільняються, щоб полегшити інтеграцію вірусного геному в хазяїн шляхом пошкодження кількох клітинних шляхів у хазяйських клітинах. Таблиця 1 перелічує основні функції вірусних білків ВПЛ в ініціації інфекції та подальшому прогресуванні до раку.



Таблиця 1 Список білків вірусу папіломи людини (ВПЛ) та їх основні функції.

Вірусний білок	Функції білків
E1	Реплікація та транскрипція вірусної ДНК
E2	Реплікація вірусної ДНК, апоптоз, репресор транскрипції E6/E7
E4	Реплікація вірусної ДНК
E5	Імунне розпізнавання (головний комплекс гістосумісності)
E6	деградація p53, зміна регуляції клітинного циклу, стійкість до апоптозу
E7	деградація ретинобластоми (pRb), повторне входження в S-фазу клітинного циклу, надмірна експресія p16
L1	Головний вірусний капсидний білок
L2	Міnorний вірусний капсидний білок

Прогресування інфікованих ВПЛ епітеліальних клітин до інвазивного раку є тривалим процесом, пов'язаним із накопиченням змін ДНК у генах клітини-господаря. Ці зміни включають як епігенетичні, так і генетичні зміни в онкогенах і генах-супресорах пухлин. ВПЛ проникає в базальні клітини плоского клітини хазяїна через мікропошкодження. Вірус повинен бути здатний інтегруватися в клітину-хазяїна, щоб ініціювати інфекцію, де серія генетичних подій відбувається в базальних епітеліальних клітинах, що безпосередньо забезпечує реплікацію вірусу. Потім ці зміни створюють сприятливе середовище для прогресування пухлини. У цей момент вірус повинен уникати імунної системи господаря, щоб забезпечити його безперервну реплікацію в базальних епітеліальних клітинах. CIN 1 - це стадія, коли вірус стійко вражає клітини шийки матки. Перехід від передракового ураження до інвазивної карциноми займає щонайменше 10–12 років. Ураження CIN 1, які не регресують, можуть розвинути в CIN 2/3 протягом 2–3 років після інфікування.

Загалом, після інфікування клітина-хазяїн активує вроджену та адаптивну імунні системи, які контролюються головним комплексом гістосумісності (англ. major histocompatibility complex, МНС) класів I та II. Молекули МНС класу I представляють антиген цитотоксичним Т-клітинам з рецепторами CD8+, тоді як молекули МНС класу II представляють антигени хелперним Т-клітинам з рецепторами CD4+. Під час інфікування ВПЛ вірус проникає в епітелій, який є зовнішнім фізичним бар'єром проти інфекцій, і активує вроджену імунну систему хазяїна. Макрофаги, клітини Лангерганса та природні клітини-кілери намагаються пригнічувати ВПЛ шляхом експресії Toll-подібних рецепторів (TLR). TLR розпізнають вірусні компоненти та активують транскрипційний фактор-подібний ядерний фактор каппа В (NF-κB) і фактор відповіді на інтерферон-3 (IRF3) для виробництва цитокінів. У цьому сценарії TLR також опосередковано активують МНС класу I та класу II. Повідомляється, що



вірусний білок E5, який експресується ВПЛ високого ризику, може інгібувати МНС клас I. Крім того, вірусний онкопротеїн E6 здатний інгібувати TLR, який потім активує IRF3.

Toll-подібні рецептори (TLR) у клітинах-господарях відіграють фундаментальну роль у розпізнаванні патогенів та активації вродженого імунітету та індукують продукцію цитокінів, необхідних для розвитку ефективного імунітету. Було встановлено, що TLR 3, 4, 7, 8 і 9 відіграють важливу роль у протівірусному імунітеті, запускаючи подальше виробництво інтерферонів (IFN) [27]. Під час ранньої стадії канцерогенезу шийки матки епітелій шийки матки, який диференціюється, запускає регуляцію рецепторів TLR, що, у свою чергу, викликає протівірусні відповіді через IFN-регуляторний фактор (IRF). Дослідження показало, що експресія гена TLR-9 відрізняється між стадіями розвитку раку шийки матки. Повідомлялося, що ген TLR-9 показав нижчу експресію в CIN 1 порівняно з CIN 2/3 і продемонстрував найвищу експресію в групових зразках плоскоклітинної карциноми (SCC). Однак безперервна надлишкова експресія онкобілків E6 і E7 може знижувати регуляцію TLR-9, і відповідна реакція інтерферону порушується, що призводить до ухилення від імунної відповіді, що призводить до стійкої інфекції. Повідомляється, що онкопротеїн E7 HPV здатний зв'язуватися з гістондеацетилазою 1 (HDAC1) і запобігати ацетилюванню гістонів, таким чином дерегулюючи сигналізацію TLR9. В іншому дослідженні повідомлялося, що ВПЛ посилює рецептор епідермального фактора росту (EGFR), щоб спонукати експресію пов'язаного з інтерфероном регулятора розвитку 1 (IFRD1) до зниження виробництва цитокінів шляхом пригнічення NF-κB.

ВПЛ може уникнути вродженої імунної системи та інтегруватися в епітеліальні клітини. Потрапляючи в клітину, дендритні клітини поглинають антиген ВПЛ і проходять процес дозрівання. Потім фаголізосома посилює антиген для зв'язування з поверхнею клітини молекул МНС класу I або II. Після зв'язування CD4⁺ і Т-клітини також зв'яжуться з Т-клітинним рецептором (TCR). Потім антигенпрезентуючі клітини (APC) активують CD4⁺ і Т-клітини, щоб продемонструвати цитотоксичний ефект. Активація APC активує прозапальні та протівірусні цитокіни, такі як IFN-γ і фактор некрозу пухлини альфа (TNF-α). Це призводить до стимуляції макрофагів і сприяє запаленню або пухлинному імунітету. Однак активація APC також запускає виробництво Tregs (регуляторних Т-клітин). Tregs активують інтерлейкін (IL-10) і бета-трансформуючий фактор росту (TGF-β), що пригнічує функцію APC. Таким чином, при прогресуванні раку ВПЛ трансформація клітин з нормальних у передракові ураження та рак пов'язана з кількістю вироблених клітин Treg. Повідомляється, що у жінок із стійкою інфекцією ВПЛ 16 спостерігається значно вищі Tregs, ніж у жінок з ВПЛ-негативними. Крім того, в іншому дослідженні було показано, що молекули, що індукують Treg, такі як TGF-β1, збільшуються в ураженнях, що прогресують від CIN 1 до інвазивного раку шийки матки.

Дослідження Гіуса встановило, що на ранній стадії інфекції ВПЛ змінює гени рецептора 1 IL (IFNAR1), білка 1 епітеліальної мембрани (EMP1) і



антагоніста рецептора інтерлейкіну 1 (IL1RN) клітинної імунної системи, що свідчить про те, що на ранній стадії Інфекція ВПЛ, вірус змінює експресію цих генів таким чином, щоб уникнути імунної системи господаря та дозволяє прогресувати інфіковані клітини до ракових. Крім того, інший дослідник виявив, що рецептор інтерлейкіну 1 типу 2 (IL1R2) знижується під час прогресування раку шийки матки. Недавнє дослідження показало, що шлях Нірро-Яр відіграє певну роль у розвитку раку шийки матки. Головний ефектор сигнального шляху Нірро, Yes-асоційований білок (YAP1), взаємодіє з онкобілком Е6 HPV, щоб ініціювати та сприяти прогресуванню раку шийки матки. Онкопротеїн ВПЛ зв'язується з YAP1 і працює синергетично, запобігаючи деградації YAP1. Ампліфікація онкогену YAP1 була продемонстрована в плоскоклітинному раку шийки матки людини, тоді як його надмірна експресія в епітеліальних клітинах шийки матки викликала розвиток плоскоклітинного раку в моделі миші. Крім того, гіперактивований YAP1 підвищив сприйнятливості до інфікування ВПЛ шляхом посилення регуляції передбачуваних рецепторів ВПЛ, включаючи EGFR, субодиницю рецептора інтегрину альфа 6 (ITGRA6) і синдекан 1 (SDC1). Дослідження також продемонструвало, що посилення YAP1 знижує регуляцію TLR 2 і 4, які є ключовими компонентами вродженого імунітету. YAP1 негативно регулює вироблення інтерферону I типу шляхом пригнічення активності TANK-зв'язуючої кінази 1 (TBK1). TBK1 — це молекула, яка активується рецепторами розпізнавання образів (PRR) при вірусній інфекції, важливим білком, що бере участь у сигнальних шляхах, таких як клітинна проліферація, аутофагія та інсулінові сигнальні шляхи. Специфічні механізми, пов'язані з YAP1-індукованим раком шийки матки, все ще досліджуються, хоча YAP1 може бути потенційним прогностичним біомаркером раку шийки матки. Підводячи підсумок, рак шийки матки, асоційований з ВПЛ, розвивається при ухиленні від імунної системи хазяїна, що призводить до подальшої клітинної дисфункції хазяїна.

Канцерогенез – це процес, за якого нормальні клітини стають аномальними та перетворюються на ракові. Зараження ВПЛ високого ризику призводить до розвитку передракових уражень шийки матки. Онкогенез відбувається лише в результаті плідних геномних та епігеномних змін у цих клітинах. Для розвитку раку шийки матки однієї інфекції ВПЛ недостатньо. Під час інкубаційного періоду вірусу в тканині хазяїна діє кілька інших факторів.

Онкопротеїни ВПЛ, головним чином Е6 і Е7, відіграють важливу роль у зміні клітинної функції господаря. ВПЛ надмірно експресують онкобілки Е6 і Е7, щоб порушити нормальну функцію генів-супресорів пухлини в хазяїні. Після інтеграції вірусні білки починають пошкоджувати клітини господаря. Клітини-господарі розробили спеціальний механізм для відновлення пошкоджень, завданих їхнім ДНК, шляхом реакції на пошкодження ДНК. Лише після відновлення пошкодженої ДНК можна пом'якшити контрольні точки клітинного циклу та дозволити клітинам продовжувати ділитися. За певних обставин, якщо клітини не можуть відновити пошкодження ДНК, відбувається апоптоз. Однак при раку, пов'язаному з ВПЛ, вірусні білки Е6/Е7 порушують контроль контрольних точок клітинного циклу шляхом інгібування інгібіторів



циклінзалежної кінази (CDK) (p21, p27, p16) і деградації p53 і ретинобластоми (pRb). Деградація p53 апоптозом, індукованим онкобілком E6, дозволяє клітинам продовжувати реплікацію. ВПЛ використовує цей шлях реакції на пошкодження для власної реплікації та виробляє достатню кількість епісомального ВПЛ, необхідного для інтеграції ДНК ВПЛ у геном господаря. Таким чином, деградація pRb онкобілком E7 призведе до незапланованого переходу в S-фазу клітинного циклу, що зрештою сприяє проліферації клітин. Реплікація вірусу ВПЛ вимагає, щоб клітина увійшла в S-фазу клітинного циклу. Це досягається шляхом інактивації pRb і вивільнення транскрипційних факторів сімейства транскрипційних факторів (E2F), які забезпечують прогресування клітинного циклу з G₁. Сімейство E2F може опосередковувати як клітинну проліферацію, так і p53-залежний або незалежний апоптоз. Надмірна експресія E2F призводить як до інгібування активності залежної кінази цикліну D1, так і до індукції надекспресії продукту гена інгібітора циклін-залежної кінази 2A (p16) CDKN2A.

Основна причина, через яку ВПЛ руйнує ген хазяїна, полягає в тому, щоб він міг продовжувати реплікацію та виживати в тканині хазяїна, використовуючи механізм клітинного циклу хазяїна. Відомо, що розвиток раку шийки матки — це тривалий процес від нормального стану до CIN1, потім CIN 2/3 і, зрештою, до раку. Хоча ключовими регуляторами раку шийки матки є онкопротеїни ВПЛ, існують значні геномні зміни, залучені в трансформацію з передракового стану в раковий. При переході від CIN 1 до CIN 2/3 відбувається скупчення аномальних клітин до двох третин товщини епітелію. Це досягається шляхом проліферації клітин, критичного фактора розвитку пухлини.

За даними Gius та ін., на ранній стадії ВПЛ-інфекції значною мірою задіяні проліферативні геномні сигнатури. Дослідження виявило посилення регуляції генів CDKN2A, члена сімейства кінезинів (KIF23), білка Centromere E (CENPE) і субоддиниці інтегрину альфа V (ITGAV), які беруть участь у регуляції клітинного циклу та сприянні проліферації клітин. Крім того, у дослідженні CIN 2/3 було виявлено, що гени, залучені до поділу клітин, реплікації ДНК, клітинного циклу та регуляції транскрипції, були високорегульованими, включаючи альфа-актиніни (BUB1B), мітотичний дефіцит 2 (MAD2L1), кіназа контрольної точки 1 (CHEK1), циклін B1 (CCNB1), циклін B2 (CCNB2), цикл поділу клітини 20 (CDC20), цикл поділу клітини 6 (CDC6), циклін A2 (CCNA2), фактор реплікації 3 (RFC3), гени фактора реплікації 4 (RFC4), кінази фокальної адгезії (FEN1) і ядерного антигену проліферуючих клітин (PCNA). Крім того, Niu et al. виявили, що гени клітинної проліферації були сильно активовані в CIN 2/3 порівняно з нормальною шийкою матки. Здорова клітина має ідеальний баланс між проліферацією та загибеллю клітин. Дисбаланс може призвести до захворювань, включаючи рак. Отже, ми постулюємо, що під час стадії CIN 2/3 клітини швидко проходять процес клітинної проліферації. Це найважливіший етап у переході від здорових клітин до ракових. Фактично, апоптотична активність знижується в передракових і ракових клітинах, таким чином сприяючи виживанню клітин і проліферації. Існує кілька генів, залучених до клітинної проліферації, як повідомляється в кількох дослідженнях. Однак більшість досліджень зосереджено на p16, також відомому як CDKN2A. Деякі



дослідження показали, що CDKN2A є потенційним біомаркером раку шийки матки. Коли клітини швидко проліферують і розмножуються на стадії CIN 2/3, їм може не вистачати поживних речовин через високу швидкість метаболізму під час поділу клітин. Дослідження показало, що ці клітини активують шлях неоангіогенезу, щоб забезпечити адекватне постачання поживних речовин під час розвитку ракових клітин. Ангіогенез відбувається на передраковій стадії як ознака розвитку раку.

Ангіогенез - це утворення нових кровоносних судин, які необхідні для росту пухлини та утворення метастазів. Фактор росту ендотелію судин (VEGF) є ключовим стимулятором ангіогенезу. Активація VEGF викликає проліферацію, диференціювання та міграцію ендотеліальних клітин. Крім того, VEGF також підвищує проникність судин і посилює вироблення протеаз, які беруть участь у зміні процесу позаклітинного матриксу. Томас та ін. також виявили, що гени рецептора епідермального фактора росту (ERBB) підвищуються на передраковій стадії. При розвитку раку посилене виробництво генів ERBB сприяє клітинній проліферації та пригнічує клітинний апоптоз. Таким чином, клітини порушують регуляцію кількох клітинних функцій.

Коли хвороба прогресує до інвазивної карциноми, виникає значна різниця в експресії генів, і кількість дерегульованих генів збільшується з прогресуючими передпухлинними станами. Неспроможність пригнічувати проліферацію клітин є вирішальним елементом у розвитку раку. Ці клітини підтримують свій гіперпроліферативний стан шляхом посилення регуляції генів, які контролюють кілька етапів реплікації ДНК. Ці гени включають білки підтримки мініхромосом (MCM); MCM2, MCM4, MCM5, MCM6 і MCM10, які є важливими білками для ініціації реплікації та дозволяють ДНК-полімеразі ініціювати реплікацію ДНК. Дослідження довели, що MCM сильно активізується при раку шийки матки і досліджується як біомаркер для скринінгу уражень шийки матки. Коли ці гени активуються, гени, що кодує ДНК-полімеразу; епсилон-каталітичні субодиниці полімерази POLE2 і POLE3 узгоджено посилюються, оскільки вони повинні працювати разом з MCM для ініціації мітотичного процесу. Ядерний антиген проліферуючих клітин (PCNA) є найбільш важливим у клітинній проліферації та бере участь у шляху репарації ДНК, залежному від генів радіаційної репарації (RAD6). Декілька досліджень з використанням імуногістохімії та мікрочіпів виявили, що експресія PCNA зростала в міру прогресування захворювання.

Крім того, для здійснення активності клітинної проліферації гени, що беруть участь у мітозі, також відіграють значну роль. Утворення мітотичного веретена є важливим і контролюється клітинним циклом, який з'являється під час фази G₁ до S і зникає після цитокінезу. Фактор нуклеації мікротрубочок (TRX2), також відомий як білок асоціації проліферації з обмеженою експресією (REPP86), є білком мікротрубочок, який пов'язаний з розвитком веретена. Підвищена експресія цього гена в пухлинах призводить до аномальної ампліфікації центросом, утворення анеуплоїдії та злоякісної трансформації клітин. Окрім сприяння проліферації, він також бере участь у клітинному циклі та регуляції апоптозу, диференціації пухлини, метастазуванні та рецидивах. При



раку шийки матки TPX2 сильно експресується в плоскоклітинній карциномі та збільшується зі ступенем пухлини. Ген вважається фактором ризику метастазування раку шийки матки, а також є потенційним біомаркером для діагностики раку шийки матки. На додаток до мітозу було виявлено, що гени, задіяні в контрольній точці мітотичного веретена Bub1, яка контролює збірку мітотичного веретена та забезпечує точну сегрегацію сестринських хроматид, сильно експресуються.

Активація клітинного циклу є фактором, пов'язаним з ВПЛ-асоційованим раком шийки матки. Повідомлялося, що білки цикліну CCNA2 і CCNB1 і пов'язані з ними кінази CHEK1 і CDK1 значно посилювали регуляцію в тканині раку шийки матки; ці білки сприяють переходу клітинного циклу від фази G₁ до фази S і від фази G₂ до фази M. Було також виявлено, що PCNA посилюється в тканинах раку шийки матки. CDC20 посилюється як у CIN 2/3, так і в SCC шийки матки. Фактор реплікації C (RFC) важливий для реплікації ДНК і контролю клітинного циклу. Інше дослідження показало, що RFC3 і RFC4 сприяють проліферації пухлинних клітин, а висока експресія RFC3 була пов'язана з поганим прогнозом при різних видах раку.

На стадії інвазивної карциноми гени, пов'язані з регуляцією клітинного циклу та метастазуванням, сильно експресуються. Більшість досліджень узгоджуються з Gius та ін., які повідомили, що під час переходу від CIN 2/3 до раку спостерігається переважання клітинного стресу через перенаселеність клітин, що викликає активацію генів, які запускають ангиогенез та інвазію [19]. Клітини повинні подолати фізичний бар'єр епітеліальних клітин і базальної мембрани, щоб проникнути глибше в тканину. На додаток до цього, більше поживних речовин необхідно для розширення клітин. Інше дослідження виявило, що під час переходу в ракові клітини брали участь такі біологічні процеси, як організація позаклітинного матриксу (ECM), диференціювання епітеліальних клітин і гени організації фібрил колагену. Серед ідентифікованих генів були фосфоінозитид-3-кіназа (PIK3CA), судинно-ендотеліальний фактор росту A (VEGFA), субодиниця інтегрину альфа 1 (ITGA1), протеїн тирозинкіназа (PTK2), субодиниця інтегрину бета 1 (ITGB1), альфа актиніни (ACTN1), фібронектин 1 (FN1), колаген типу 1 (COL1A1), колаген типу 2 (COL1A2) і синдекан 2 (SDC2), який асоціюється з вогнищевою адгезією. Фокальні спайки — це великі макромолекулярні вузли, через які механічна сила та регуляторні сигнали передаються між позаклітинним матриксом (ECM) і взаємодіючими клітинами. Кіназа фокальної адгезії (FAK) є ключовим ферментом, що регулює утворення фокальних спайок, і є ключовим регулятором виживання, проліферації, міграції та інвазії, ця активність наділяє клітини більшою рухливістю. Дійсно, гіперекспресія FAK була ідентифікована при агресивному раку шийки матки. Аберантна експресія багатьох генів залучена до прогресування раку шийки матки, завдяки чому клітини набувають здатності підтримувати проліферацію та протистояти спробам клітинної смерті або апоптозу. Крім того, ці аномальні клітини набувають здатності вторгатися в підлеглі тканини.



Знання специфічних молекулярних механізмів, що лежать в основі етіопатогенезу раку шийки матки, є важливим для виявлення потенційних молекулярних маркерів. На сьогоднішній день є декілька рядків доказів, що підтверджують перспективу використання біомаркерів у ідентифікації передракових уражень і ранніх стадій раку шийки матки, що сприятиме ранньому лікуванню та забезпечуватиме кращий прогноз для людей. Посилення регуляції CDKN2A (p16) на ранній стадії раку є показником реакції організму-господаря на деактивацію pRb і вивільнення родини E2F. Взаємодія між ВПЛ високого ризику та CDKN2A відіграє важливу роль у канцерогенезі шийки матки. Імуногістохімічна експресія CDKN2A вища при плоскоклітинному раку порівняно з іншими типами пухлин, пов'язаних з ВПЛ. Більше того, CDKN2A пов'язаний з інфекцією ВПЛ високого ризику та CIN 2/3, підтверджуючи його роль як корисного біомаркера для передракових уражень і раку шийки матки.

Іншим багатообіцяючим біомаркером раку шийки матки є Ki-67, ядерний антиген, пов'язаний з проліферацією клітин. Білок присутній протягом усіх активних фаз клітинного циклу (G_1 , S, G_2 і мітоз), але відсутній у клітинах, що знаходяться в стані спокою (G_0); отже, він використовується для визначення частки росту клітинної популяції. Кілька досліджень показали, що спільна експресія p16 і Ki-67 покращує діагностичну точність при скринінгу раку шийки матки і що експресія Ki-67 збільшується лінійно зі ступенем пухлини. У нормальній шийці матки Ki-67 локалізується в базальному та супрабазальному шарах, тоді як при CIN він експресується в епітеліальних шарах, що вказує на проліферацію клітин, Ki-67 також є потенційним біомаркером для CIN 1.

Ухилення від імунної системи хазяїна має вирішальне значення для розвитку раку шийки матки. Інфекція ВПЛ індукує широкий спектр імунних реакцій господаря, які включають основні шляхи, такі як toll-подібні рецептори та NF- κ B. Багато білків, включаючи ліганд програмованої смерті (PDL1), імпортин- β , експортин-5, клітинний FLICE-подібний інгібуючий білок (с-FLIP), білок проліферації клітин мієлоїдної лейкемії (Mcl1), були запропоновані як нові біомаркери для CIN та рак шийки матки. Однак необхідні додаткові дослідження, перш ніж їх можна буде ввести в програми скринінгу раку шийки матки.

Висновки.

ВПЛ-інфекція відіграє важливу роль у канцерогенезі шийки матки. Надмірна експресія онкобілків E6/E7 є ключовим фактором, який впливає на гени-супресори пухлин, головним чином на ті, що регулюють клітинний цикл, що потім змінює багато шляхів, що ведуть до прогресування раку. Розуміння ключових молекулярних механізмів, порушених у прогресії від ВПЛ-інфікованих клітин до інтраепітеліальної неоплазії шийки матки і, нарешті, до інвазивного раку, дає змогу зрозуміти безліч залучених шляхів і надихає на майбутній розвиток цільової терапії.

Література:

1. Всесвітня організація охорони здоров'я. Вірус папіломи людини (ВПЛ) і рак шийки матки. Всесвітня організація охорони здоров'я; Женева, Швейцарія:



2019. [(дата доступу 17 липня 2019)]. Доступно в Інтернеті: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/human-papillomavirus-\(hpv\)-and-cervical-cancer](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/human-papillomavirus-(hpv)-and-cervical-cancer) [Google Scholar]

2. He C., Lv X., Huang C., Angeletti PC, Hua G., Dong J., Zhou J., Wang Z., Ma B., Chen X. та ін. Незалежна від вірусу папіломи людини тваринна модель раку шийки матки розкриває нетрадиційні механізми канцерогенезу шийки матки. *Cell Rep.* 2019; 26 :2636–2650.e5. doi: 10.1016/j.celrep.2019.02.004. [Безкоштовна стаття PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

3. Wang C., Davis JS У центрі канцерогенезу шийки матки: синергізм між ВПЛ високого ризику та гіперактивованим YAP1. *мол. Стільниковий. Онкол.* 2019;1–2. doi: 10.1080/23723556.2019.1612677. [CrossRef] [Google Scholar]

4. Cancer Genome Atlas Research Network Інтегрована геномна та молекулярна характеристика раку шийки матки. *природа* 2017 рік; 543 :378–384. doi: 10.1038/nature21386. [Безкоштовна стаття PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

5. Мадхуматі Г., Кавіта С., Анджу М., Ума С., Радж М. Імуногістохімічна експресія клітинного проліферуючого ядерного антигену (PCNA) і білка p53 при раку шийки матки. *Ж. Обстет. Гінекол. Індія.* 2012 рік; 62 :557–561. doi: 10.1007/s13224-012-0180-6. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

6. Dadlani K., Lopez C., Gabler F., Roa JC, Villota C., Lina-Villa L., Boccardo E., Bustamante E., Burzio V., Olavarria JV Оцінка експресії довгих некодуючих мітохондріальних РНК (lncmtRNAs) Під час прогресування раку шийки матки та карциноми шийки матки. *J. Cancer Sci. Тер.* 2016 рік; 8 :38–45. doi: 10.4172/1948-5956.1000386. [CrossRef] [Google Scholar]

7. Kufer TA, Silljé HH, Körner R., Gruss OJ, Meraldi P., Nigg EA Людський TPX2 необхідний для націлювання кінази Aurora-A на веретено поділу. *J. Cell Biol.* 2002 рік; 158 :617–623. doi: 10.1083/jcb.200204155. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

8. Cheng J., Chang H., Wang J., Tian Y., Xu J., Gou X. Ген TPX2 є багатообіцяючою діагностичною та терапевтичною мішенню для раку шийки матки. *Онкол. Респ.* 2012; 27 :1353–1359. doi: 10.3892/або.2012.1668. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

9. Zhang H., Zhang T., You Z., Zhang Y. Позитивний хірургічний край, персистенція ВПЛ та експресія як TPX2, так і PD-L1 пов'язані з персистенцією/рецидивом цервікальної інтраепітеліальної неоплазії після конізації шийки матки. *ПЛОС ОДИН.* 2015 рік; 10 :0142868. doi: 10.1371/journal.pone.0142868. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

10. Кім Ю., Чой Дж. В., Лі Дж.-Х., Кім Ю. С. MAD2 і CDC20 посилюються при плоскоклітинних інтраепітеліальних ураженнях високого ступеня та плоскоклітинних карциномах шийки матки. *Міжн. J. Gynecol. патол.* 2014 рік; 33 :517–523. doi: 10.1097/PGP.0000000000000082. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

11. Zouheir Y., Fechtali T., Elgnaoui N., Zouheir TFY Генотипування вірусу папіломи людини та експресія p16INK4a в ураженнях шийки матки: комбінований тест для запобігання прогресуванню раку шийки матки. *J. Рак*



Поперед. 2016 рік; 21 :121–125. doi: 10.15430/JCP.2016.21.2.121. [Безкоштовна стаття PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] 10.3802/jgo.2008.19.3.162. [Безкоштовна стаття PMC] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

12. Silva DC, Gonçalves AK, Cobucci RN, Mendonça RC, Lima PH, Cavalcanti G., Júnior GC. Імуногістохімічна експресія p16, Ki-67 і p53 у ураженнях шийки матки — систематичний огляд. патол. рез. Пр. 2017 рік; 213 :723–729. doi: 10.1016/j.prp.2017.03.003. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

13. Tjalma WA Діагностична ефективність цитології подвійного фарбування для скринінгу раку шийки матки: систематичний огляд літератури. Євро. Ж. Обстет. Гінекол. Репрод. кип'ятити. 2017 рік; 210 :275–280. doi: 10.1016/j.ejogrb.2017.01.009. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

14. Nicol AF, De Andrade CV, Gomes SC, Brusadelli MG, Lodin HM, Wells SI, Nuovo GJ Розподіл нових біомаркерів у карциномі in situ, мікроінвазивній та плоскоклітинній карциномі шийки матки. Енн діагност. патол. 2019 рік; 38 :115–122. doi: 10.1016/j.anndiagpath.2018.12.001. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

Abstract: *Cervical cancer is the fourth most common cancer among women. Infection by high-risk human papillomavirus (HPV) is the main aetiology for the development of cervical cancer. Infection by high-risk human papillomavirus (HPV) and the integration of the HPV genome into the host chromosome of cervical epithelial cells are key early events in the neoplastic progression of cervical lesions. The viral oncoproteins, mainly E6 and E7, are responsible for the initial changes in epithelial cells. The viral proteins inactivate two main tumour suppressor proteins, p53, and retinoblastoma (pRb). Inactivation of these host proteins disrupts both the DNA repair mechanisms and apoptosis, leading to rapid cell proliferation. Multiple genes involved in DNA repair, cell proliferation, growth factor activity, angiogenesis, as well as mitogenesis genes become highly expressed in cervical intraepithelial neoplasia (CIN) and cancer. This genomic instability encourages HPV-infected cells to progress towards invasive carcinoma. The key molecular events involved in cervical carcinogenesis will be discussed in this review.*

Keywords: *cervical cancer; cervical intraepithelial neoplasia; human papillomavirus; carcinogenesis; viral oncoprotein; tumour suppressor gene.*

Стаття відправлена: 24.05.2023 г.

© Осик В.В.



CONTENTS

Computer science, cybernetics and automatics

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-030> 3

ABOUT ONE IMPLEMENTATION OF AN EXPERT SYSTEM ON THE ANDROID PLATFORM

Burdaev V.P.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-036> 16

ALGORITHM FOR ORDERING CASCADES OF NONRECURSIVE DIGITAL FILTERS BASED ON A GENETIC ALGORITHM

*Petrosian R.V., Petrosian A.R.,
Loktikova T.M., Kuzmenko O.V.*

Security systems in the modern world

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-020> 24

SECURE IoT TECHNOLOGY STACK

Korobeinikova T.I., Iskovych T.V.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-029> 33

SYSTEM NETWORK SECURITY MONITORING IN THE SIEM-EDR-NDR TRIAD

Korobeinikova T.I., Fedorchenko V.V.

Architecture and construction

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-001> 40

FUNCTIONING OF THE LAND MARKET IN THE CONDITIONS OF DECENTRALIZATION OF POWER IN UKRAINE

Titova S., Sydorenko S.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-016> 49

GEODESIC OBSERVATIONS OF SUBSIDENCE OF BUILDING STRUCTURES OF THE STATE SPECIALIZED "CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT" ENTERPRISES

Titova S., Mordynska A.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-034> 59

PROBLEMS OF FORMATION OF SPACE IN THE CREATIVITY OF ARCHITECT HANS SHARUN

*Taranenko S.V., Borodai A.S.,
Borodai S.P., Borodai Ya.O.*

**Physics and mathematics**

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-018> 64

ASPECTS OF MULTI-CRITERION SELECTION OF ADMINISTRATIVE DECISIONS

Mormul M. F., Shchytov D. M.

Shchytov O. M., Rudyanova T. M.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-062> 77

CONSTRUCTION OF STABILITY DOMAINS FOR LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DELAY

Klevchuk I.I., Hrytchuk M.V.

Chemistry and pharmaceuticals

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-041> 84

APPLICATION OF RED SLIME IN THE SYNTHESIS OF INORGANIC PIGMENTS IN THE OXIDE SYSTEM Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Cr_2O_3 - ZnO - TiO_2

Ivanyuk E.V., Suprunchuk V.I.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-072> 90

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF CHEMICAL INTERACTION OF INDUSTRIAL GLASS COMPONENTS WITH SULFUR OXIDES

Kurikeru G.

Medicine and health care

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-002> 96

EVALUATING OF THE EFFECTIVENESS OF DENTAL TREATMENT BY ANALOG AND DIGITAL METHODS

Proshchenko N.S.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-019> 104

MODERN METHODS OF BIOFILM RESEARCH

Zabolotna I.I.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-023> 110

IMPLEMENTATION OF THE PROGRAM OF SOCIAL AND HYGIENE MONITORING OF DRINKING WATER BY THE CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION IN THE INDUSTRIAL REGION OF UKRAINE

Zaitsev V.V., Borvinko E.V.



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-024> 116

THE EFFECT OF CHRONIC IMMOBILIZATION STRESS
ON THE CONTENT OF MICRO- AND MACROELEMENTS
IN THE PANCREAS AND BLOOD SERUM OF RATS AND
THEIR NEWBORN OFFSPRING.

Pavlova O.O., Sirenko V.A.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-046> 124

INFANT FEEDING - A STRATEGY FOR PRESERVING
CHILDREN'S HEALTH

Melnychuk L. V., Vostrikova I.S.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-052> 130

MODERN APPROACHES TO DIAGNOSTIC AND TREATMENT
OF ADENOIDITIS IN CHILDREN

Yakovets K., Hluhovska S.

Yakovets R., Chornenka Zh.

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj19-01-056> 138

MODERN VIEWS ON THE PATHOGENESIS AND PRIMARY
PREVENTION OF CERVICAL CANCER

Sokolov V. V., Bondar O.V.

Rybin A.I., Osyk V.V.



Scientific publication

International periodic scientific journal

ScientificWorldJournal

Issue №19

Part 1

May 2023

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 89.14)

Articles published in the author's edition

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: May 30, 2023

e-mail: editor@sworldjournal.com

site: www.sworldjournal.com



www.sworldjournal.com





www.sworldjournal.com