

ISSN 1815-1779



Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi  
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan  
Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики



Azərbaycan Texniki Universiteti  
Azerbaijan Technical University  
Азербайджанский Технический Университет

**ELMİ ƏSƏRLƏR**

**PROCEEDINGS**

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**

**№1**

**2024**

# **ELMİ ƏSƏRLƏR**

Elmi-texniki jurnal

# **PROCEEDINGS**

Scientific-technical journal

# **УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**

Научно-технический журнал

**№1**

**2024**

DOI: 10.61413/SRGU5174

**Təsisçi:** Azərbaycan Texniki Universiteti  
**Founder:** Azerbaijan Technical University  
**Учредитель:** Азербайджанский Технический Университет

Jurnal 1992-ci ildən nəşr olunur. Şahadətnamə №305.  
The journal is published since 1992. Certificate No. 305.  
Журнал издается с 1992 года. Сертификат №305.

## REDAKSIYA HEYƏTİ

### Baş redaktor:

prof. V.M.Vəliyev

### Baş redaktorun müavinləri:

prof. N.A.Yusifbəyli

prof. S.N.Namazov

### Məsul katib:

t.f.d. X.M.Nəbiyev

### Redaksiya heyətinin üzvləri:

akademik A.M.Paşayev

(Azərbaycan)

akademik T.A.Əliyev (Azərbaycan)

AMEA-nın müxbir üzvü

A.Z.Məlikov (Azərbaycan)

prof. V.Mixaylov (Almaniya)

prof. S.Təkəli (Türkiyə)

prof. S.Simon (Almaniya)

prof. İ.A.Babayev (Azərbaycan)

prof. M.Güdən (Türkiyə)

prof. Z.D.Kovalyuk (Ukrayna)

prof. N.V.Zik (Rusiya)

prof. İ.A.Balova (Rusiya)

prof. H.N.Nəcəfov (Türkiyə)

prof. M.İsmayilov (Türkiyə)

prof. E.Ə.Məsimov (Azərbaycan)

prof. P.D.Lazzaro (İtaliya)

prof. Z.A.Cahangirli (Azərbaycan)

prof. E.M.Qocayev (Azərbaycan)

prof. V.Ə.Qasimov (Azərbaycan)

prof. F.V.Yusifov (Azərbaycan)

prof. V.İ.Nəsirov (Azərbaycan)

prof. A.N.Məmmədov

(Azərbaycan)

prof. R.M.Rzayev (Azərbaycan)

prof. A.Y.Yerşov (Rusiya)

prof. İ.İ.Əliyev (Azərbaycan)

prof. Ə.Q.Əlirzayev (Azərbaycan)

prof. F.Ə.Qənbərov (Azərbaycan)

dos. A.N.Eminov (Azərbaycan)

dos. H.B.Quliyev (Azərbaycan)

i.e.f.d. N.V.Namazova (Azərbaycan)

## EDITORIAL BOARD

### Chief editor:

prof. V.M.Valiyev

### Deputy chief editors:

prof. N.A.Yusifbayli

prof. S.N.Namazov

### Senior secretary:

PhD Kh.M.Nabiyev

### Member of the editorial board:

academician A.M.Pashayev

(Azerbaijan)

academician T.A.Aliyev

cor.member of ANAS A.Z.Melikov

(Azerbaijan)

prof. V.Mikhailov (Germany)

prof. S.Tekeli (Turkey)

prof. S.Simon (Germany)

prof. I.A.Babayev (Azerbaijan)

prof. M.Guden (Turkey)

prof. Z.D.Kovalyuk (Ukraine)

prof. N.V.Zik (Russia)

prof. I.A.Balova (Russia)

prof. H.N.Najafov (Turkey)

prof. M.Ismailov (Turkey)

prof. E.A.Masimov (Azerbaijan)

prof. P.D.Lazzaro (Italy)

prof. Z.A.Jahangirli

(Azerbaijan)

prof. E.M.Godjayev (Azerbaijan)

prof. V.A.Gasimov (Azerbaijan)

prof. F.V.Yusifov (Azerbaijan)

prof. V.I.Nasirov (Azerbaijan)

prof. A.N.Mammadov

(Azerbaijan)

prof. R.M.Rzayev (Azerbaijan)

prof. A.Y.Yershov (Russia)

prof. I.I.Aliyev (Azerbaijan)

prof. A.G.Alırzaev (Azerbaijan)

prof. F.A.Ganbarov (Azerbaijan)

ass.prof. A.N.Eminov (Azerbaijan)

ass.prof. H.B.Guliyev (Azerbaijan)

PhD N.V.Namazova (Azerbaijan)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Главный редактор:

проф. В.М.Валиев

### Зам. гл. редактора:

проф. Н.А.Юсифбейли

проф. С.Н.Намазов

### Ответственный секретарь

д.ф.т. Х.М.Набиев

### Члены редакционной коллегии:

академик А.М.Пашаев

(Азербайджан)

академик Т.А.Алиев

(Азербайджан)

член-корреспондент НАНА

А.З.Меликов (Азербайджан)

проф. В. Михайлов (Германия)

проф. С.Текели (Турция)

проф. С.Симон (Германия)

проф. И.А.Бабаев (Азербайджан)

проф. М.Гюден (Турция).

проф. З.Д.Ковалюк (Украина)

проф. Н.В.Зик (Россия)

проф. И.А.Балова (Россия)

проф. Х.Н.Наджафов (Турция)

проф. М.Исмаилов (Турция)

проф. Е.А.Масимов (Азербайджан)

проф. П.Д.Лаззаро (Италия)

проф. З.А.Джахангирли

(Азербайджан)

проф. Е.М.Годжаев (Азербайджан)

проф. В.А.Гасымов (Азербайджан)

проф. Ф.В.Юсифов (Азербайджан)

проф. В.И.Насиров (Азербайджан)

проф. А.Н.Мамедов

(Азербайджан)

проф. Р.М.Рзаев (Азербайджан)

проф. А.Е.Ершов (Россия)

проф. И.И.Алиев (Азербайджан)

проф. А.Г.Алирзаев (Азербайджан)

проф. Ф.А.Ганбаров (Азербайджан)

доц. А.Н.Эминов (Азербайджан)

доц. Х.Б.Гулиев (Азербайджан)

д.ф.э. Н.В.Намазова (Азербайджан)

**Redaksiyanın ünvanı:** AZ1073, Bakı ş., H.Cavid prosp., 25. AzTU.

Tel.: (+99412)5391452; <https://proceedings.aztu.edu.az>; E-mail: [elmieserler@aztu.edu.az](mailto:elmieserler@aztu.edu.az)

Azərbaycan Texniki Universitetinin “Elmi əsərlər” jurnalında fizika, riyaziyyat, kimya, mexanika, avtomatika, informatika, telekommunikasiya, maşınqayırma, elektrotexnika, metallurgiya, maşınşünaslıq, energetika, iqtisadiyyat, nəqliyyat, ekologiya bölmələri üzrə məqalələr və qısa məlumatlar dərc edilir.

\*\*\*\*\*

Articles and brief information on physics, mathematics, chemistry, mechanics, automatics, informatics, telecommunications, machine-building, electrical engineering, metallurgy, theoretical engineering, energetics, economics, transport, ecology are published in the journal “Proceedings” of Azerbaijan Technical University.

\*\*\*\*\*

В журнале «Ученые записки» Азербайджанского Технического Университета публикуются статьи и краткие сообщения по физике, математике, химии, механике, автоматике, информатике, телекоммуникациям, машиностроению, электротехнике, металлургии, машиноведению, энергетике, экономике, транспорту, экологии.

---

Jurnal Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının təsdiq etdiyi elmi dərəcə iddiaçılarının əsərlərinin çap edildiyi dövrü elmi nəşrlərin siyahısına daxil edilmişdir.

\*\*\*\*\*

The journal is included in the list of periodical scientific publications approved by the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Azerbaijan where the works of scientific degree candidates are published.

\*\*\*\*\*

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, в которых публикуются работы соискателей ученых степеней, утверждаемый Высшей аттестационной комиссией при Президенте Азербайджанской Республики.

## MÜNDƏRİCAT \* CONTENTS \* ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Viktor Stepanovich Artemyev, Shahid Tahir Yusubov, Natalya Vladislavna Mokrova</b> – Integration of two-dimensional control device in information technology for system synthesis .....	5-12
<b>Kifayət Aslan qızı Məmmədova, Yeganə Novruz qızı Əliyeva, Aytən Əmiraslan qızı Əliyeva, Nigar Gündüz qızı Bağırova</b> – Üç sərbəstlik dərəcəli robot manipulyator sistemi üçün optimal PİD tənzimləyicisinin modelləşdirilməsi.....	13-21
<b>Mehti Əvəz oğlu Camalov</b> – İstismardakı kabellərdə zədələrin aradan qaldırılmasının müasir üsulları .....	22-30
<b>Bəhruz Məmməd oğlu Sadıqlı, İlahə Mirzəağa qızı Abdullazadə, Günel Qəşəm qızı İbrahimli, Araz Bəxtiyar oğlu Məmmədzadə</b> – Enerji sisteminin paylayıcı elektrik şəbəkələrində avtomatik nəzarətin və idarəetmə çevikliyinə artırılması.....	31-36
<b>Heybətulla Mabud oğlu Əhmədov, Qəzənfər Nəsrulla oğlu Axundov</b> – Turizm logistikası və onun məhsulu olan nəqliyyat təşkilədicisinin araşdırılması .....	37-42
<b>Nəcəf İsmayıl oğlu Orucov, Hüseyinqulu Bayram oğlu Quliyev, Sara Cavanşir qızı Əliməmmədova</b> – Qövs ifrat gərginliyin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığının regressiya modeli.....	43-48
<b>Rəna Qasım qızı Əliyeva</b> – Neft sənayesində texnoloji inkişaf.....	49-54
<b>Sübhən Nadir oğlu Namazov, Orxan Mirzəağa oğlu Vətənxah, Mətanət Həsən qızı Paşayeva, Anar Babaqədir oğlu Hacıyev</b> – Azərbaycanda aqrar klasterlərin formalaşdırılması üçün avropa təcrübəsi .....	55-62
<b>Arzu Jamil Safarlı</b> – The economics of sustainable development: balancing growth and environmental conservation .....	63-67
<b>Gulzar Jamil Safarlı, Arzu Jamil Safarlı</b> – The impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems: a theoretical study .....	68-72
<b>Abdülhüseyn Vəfadar oğlu Ağayev</b> – Üstün məxfiliyin qorunması texnikaları ilə ağıllı müqavilələrdə məlumat məxfiliyinin təkmilləşdirilməsi.....	73-76
<b>Yegana Novruz Aliyeva, Laman Qadir İbrahimova</b> – Analysis of the problem of protection of information in the corporate information systems segment.....	77-82
<b>İlahə Həsən qızı Qəhrəmanova</b> – PUA-ların kibertəhlükəsizliyi haqqında.....	83-89
<b>Сергей Евгеньевич Пуненков</b> – Получение фиброцементных изделий с использованием хризотила – хризотилцементная промышленность .....	90-97
<b>Агададаш Махмуд оглы Алиев, Гюльмира Ахмед кызы Али-заде, Махизар Гафар кызы Алиева, Агиль Рафик оглы Сафаров</b> – Влияние метильной группы на скорость реакции окислительного дегидрирования метилциклогексанолов на модифицированном цеолитном катализаторе.....	98-104

## INTEGRATION OF TWO-DIMENSIONAL CONTROL DEVICE IN INFORMATION TECHNOLOGY FOR SYSTEM SYNTHESIS

Viktor Stepanovich Artemyev<sup>1</sup>, Shahid Tahir Yusubov<sup>2</sup>, Natalya Vladislavna Mokrova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

Russian Biotechnological University: artemyevvs@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0860-6328>

<sup>2</sup>Azerbaijan Technical University: shahidyusub@aztu.edu.az

<https://orcid.org/0009-0008-6429-0664>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

Russian Biotechnological University: mokrovanv@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8444-2935>

**Abstract.** This article is devoted to the research and development of an innovative approach to the integration of a two-dimensional control device in the field of information technology for complex control systems. Complex management systems, including production processes, industrial installations and infrastructure, require effective solutions to optimize performance and reliability. The article discusses technologies and techniques that allow integrating a two-dimensional control device into information systems for more effective monitoring and management of complex processes. Special attention is paid to data analysis, signal processing and software development that can provide synergy between a two-dimensional control device and information technology. The study also addresses the issue of cybersecurity and data protection, as the integration of information technology and control devices can potentially face threats of cyber-attacks and unauthorized access.

**Keywords:** two-dimensional control device, integration, information technology, synthesis of control systems.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

In today's world, permeated with many complex systems and high technologies, the concept of control has become a key element in ensuring efficiency, reliability and safety in various fields, ranging from industrial production and energy to transport and medical fields. Complex control systems involve many variables, relationships and dynamic processes that require increasingly sophisticated tools and solutions to effectively control them. In the context of these challenges and requirements, this paper discusses an innovative approach to integrating 2D control into the information technology field to provide greater efficiency and reliability to complex process control systems. This is one of the current and promising areas of development that can change the paradigm of management and control in various industries. The article will focus on a practical example of research and implementation of projects that illustrate the potential of integrating a two-dimensional control device into information technology for complex control systems [1]. This example demonstrates the real achievements and benefits of this approach, and also points to possible directions for future development in this area. Research methods object of research in this work is the integration of two-dimensional control devices into information technologies in order to synthesize more efficient and adaptive control systems in various fields, including industrial production, transport, energy, and other complex systems.

### Methodology

The research includes mathematical modeling of integration processes into information technologies and analysis of their interaction. Mathematical modeling allows you to create abstract models of control systems and information technologies for further analysis and optimization. To assess the effectiveness of integration and synthesis of control systems, the data analysis method is used. Which includes the collection, processing and interpretation of data obtained as a result of the functioning of integrated systems. The study also includes an analysis of modern information technologies, including an analysis of their specifications and capabilities. This will allow us to determine

which technologies can be integrated in the synthesis of control systems. Given the importance of protecting data and systems from cyber threats, the study includes an analysis of cybersecurity techniques and technologies that can be applied to integrated systems [2]. To confirm the results of the study, we solved the equation in the state variables of a two-dimensional device, including integration into real control systems and evaluation of their performance.

Research in this area requires an integrated approach and the use of a variety of methods to determine optimal ways to integrate and synthesize control systems using two-dimensional control device and information technology. Which in turn made it possible to measure the effectiveness and reliability of control systems and their ability to adapt to changing conditions [3]. To compare different methods and approaches to integration in information technology, the method of comparative analysis is usually used. Which helps to identify the advantages and disadvantages of different approaches.

The study of the interaction of a two-dimensional control device and information technology for the synthesis of control systems is a multidimensional and multidisciplinary approach that requires the use of a variety of methods and tools.

### Results and Findings

To search for equations in the state variables of a two-dimensional control device with a relative degree  $\mu_{yy} = 1$ , let's consider the equations of state of the object control system [3].

The general form of the state equations in state space for an object with a relative degree  $\mu_{yy} = 1$  is as follows:

$$\dot{x}' = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

where:  $x'$  - derivative of the state vector  $x$  with respect to time;  $A$  - state system matrix;  $B$  - input matrix;  $u$  - vector of control actions;  $y$  - output vector;  $C$  - output matrix;  $D$  - forward transmission matrix.

For an object control system, where  $\mu_{yy} = 1$ , it is important that one of the outputs  $y$  depends on one of the states  $x'$  in accordance with direct transmission  $D$ .

Let, for example, we want the state  $x_1$  to influence the output  $y_1$ . Then, given that  $\mu_{yy} = 1$ , we might have the following equation for one of the outputs:

$$y_1 = C_1 x_1 + D_1 u$$

Here:  $y_1$  - one of the exits;  $x_1$  - one of the states;  $C_1$  - corresponding matrix element  $C$  in row corresponding  $y_1$  and column corresponding  $x_1$ ;  $D_1$  - corresponding matrix element  $D$  in the row corresponding  $y_1$  and column corresponding to the control action  $u$ .

Further, in the state system  $x'$ , the corresponding equation will depend on this output  $y_1$ :

$$\dot{x}'_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_1u$$

where:  $A_{11}$  -  $A$  matrix element row, corresponding  $x_1$  and column, corresponding  $x_1$ ;  $A_{12}$  -  $A$  matrix element row, corresponding  $x_1$  and column, corresponding  $x_2$ ,  $B_1$  -  $B$  matrix element (row corresponding  $x_1$  and column corresponding to the control action  $u$ ).

This equation is one of the equations of state of an object control system with a relative degree  $\mu_{yy} = 1$ , where one of the outputs depends on one based on the state. Let's try to find equations in the state variables of a two-dimensional control device with a relative degree  $\mu_{yy} = 1$  at which the object control system.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 3 & 6 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 1,3 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,3 \end{bmatrix} f, \quad (1)$$

$$y = [0,5 \quad 2] x. \quad (2)$$

Equation (1) describes the dynamics of the variable  $x$ , where  $x$  depends on the previous value, external influence  $u$ , and disturbance  $f$ .

The factor 2, 4, 3, 6 before  $x$  can represent a gain or damping factor, which determines how quickly the variable  $x$  responds to changes in its original value  $x$ . If this value is large, then the system will be more sensitive to changes in  $x$ .

The coefficient 1 and 1.3 before  $u$  indicates the influence of external influence  $u$  on the variable  $x$ . This coefficient may represent the system's sensitivity to influences or its ability to respond to a control signal  $u$ .

The coefficient 0.5 and 0.30, before  $f$  it is assumed that this is a typo, because such an entry does not correspond to the generally accepted form. There should probably be two different coefficients here: one for  $f$  and one for  $u$ . So, assuming these are two different coefficients, a coefficient of 0.5 before  $f$  may indicate the effect of the disturbance  $f$  on the variable  $x$ . This coefficient may represent the system's sensitivity to disturbances or its ability to suppress their effects.

Equation (2) defines the variable  $y$  as 0.5 and 2, which can mean that the variable  $y$  depends linearly on the variable with proportionality coefficients of 0.5 and 2. This can be interpreted as the output variable  $y$ , which is a function of the input variable  $x$ .

These examples often have second-order astaticism to the reference action  $g$  and first-order astaticism to the disturbance  $f$ . In this case, the control time according to the reference influence should be  $t_p \leq 1,5c$ , and the overregulation should not exceed 10%. Deviation  $\varepsilon = g - y$  and the manipulated variable  $y$  are measured, but disturbance  $f$  and impact  $g$  are not measured.

To solve our problem, we will use the analytical method of synthesizing two-dimensional control devices according to the desired indicators

Analyzing (1) and (2), we will find polynomials:

$$B(p) = \beta_m^{-1} B_\Omega(p) = 3,1(p + 0,129),$$

$$A(p) = p^2 - 8p, H(p) = 0,85p + 0,9$$

from the input-output equation of a given object

$$A(p)y(p) = B(p)u(p) + H(p)f(p) \quad (3)$$

In our case, the zeros of the polynomial  $A(p)$  are 0 and 8, and the zero of the polynomials  $B(p)$  is  $-0.129$ , i.e. these polynomials do not have common zeros. Consequently, the given control object is complete and minimally phased. Therefore, it is possible to synthesize a system with matched poles by assuming the characteristic polynomial of a closed-loop system



$D(p) = B_{\Omega}(p)\tilde{D}(p) = (p+0,129)\tilde{D}(p)$ , where  $\tilde{D}(p)$  is a Hurwitz polynomial selected according to the quality conditions of the synthesized system.

In this case, one of the standard transfer functions with a suitable value of the time scale factor can be taken as the desired transfer function of the closed-loop system to the reference action.

In accordance with the above analytical synthesis method, we first look for the input-output equation of a two-dimensional control device of the form

$$R(p)u(p) = Q(p)g(p) - L(p)y(p) \quad (4)$$

where  $R(p), Q(p), L(p)$  – polynomials to be determined during the synthesis process. In this case, according to the conditions of physical realizability, the inequalities must be satisfied

$$r - q \geq \mu_{yy}, \quad r - l \geq \mu_{yy} \quad (5)$$

where  $r = \deg R(p), q = \deg Q(p), l = \deg L(p), \mu_{yy}$  – index or relative degree of a two-dimensional control device. It depends on the properties of the elements from which the synthesized two-dimensional control is built.

As you can see, the synthesized control device (4) has two inputs: namely, a reference action  $g$  and an output  $-y$ , which is why it is called two-dimensional.

Note that the relative degree  $\mu_{ss}$  of a controlled dynamic system is the minimum order of the time derivative of the system output, which clearly depends on the control. In the case of a linear two-dimensional control device (4), its relative degree will be equal to:

$$\mu_{yy} = \min \{r - q, r - l\} \quad (6)$$

To solve the synthesis problem, the input-output equation of a closed-loop system is compiled according to (3) and (4)

$$D(p)y(p) = B(p)Q(p)g(p) + H(p)R(p)f(p). \quad (7)$$

Here the characteristic polynomial  $D(p)$  is defined by the expression

$$D(p) = A(p)R(p) + B(p)L(p). \quad (8)$$

As is known, to ensure second-order astatism with respect to the reference action, it is necessary that there are two integrators in the open circuit of the system. In our case, there is only one integrator in the object. Therefore, another one is introduced into the two-dimensional control device, for which the polynomial  $R(p)$  is taken in the form  $R(p) = p\tilde{R}(p)$ , where  $\tilde{R}(p)$  is an arbitrary polynomial. In this case, according to (7), the condition of first-order astatism with respect to the disturbance  $f$  will also be satisfied, since in this equation the image of the disturbance  $f(p)$  is multiplied by a polynomial  $R(p)$ .

As noted above,  $D(p) = (p+0,129)\tilde{D}(p)$ , therefore, substituting expressions for polynomials in (8), we arrive at the equation

$$(p+0,129)\tilde{D}(p) = (p^2 - 8p)p\tilde{R}(p) + 3,1(p+0,129)L(p). \quad (9)$$

In equation (9.9), the binomial  $p + 0,129$  is contained in two products, so it must also be in the third product, that is, it is necessary that  $\tilde{R}(p) = (p + 0,129)\bar{R}(p)$ , where  $\bar{R}(p)$  is an arbitrary polynomial of degree  $r - 2$ . Next, substituting the resulting expression for  $\tilde{R}(p)$  in (9) and reducing the entire equality to a binomial  $p + 0,129$ , we will have

$$\tilde{D}(p) = (p^2 - 8p)p\bar{R}(p) + 3,1L(p). \quad (10)$$

The resulting expression is a polynomial equation, which is equivalent to a system of algebraic equations in which the unknowns are  $r - 2 + 1$  the coefficients of a polynomial  $\bar{R}(p)$  of degree  $\bar{r} = r - 2$  and  $r$  the coefficients of a polynomial  $L(p)$  of degree  $l = r - 1$ , according to (5), since by assignment  $\mu_{yy} = 1$ .

The degree  $\tilde{\eta}$  of the polynomial  $\tilde{D}(p)$  in (10) is obviously equal to the degree of the product  $(p^2 - 8p)p\bar{R}(p)$ , i.e.  $\tilde{\eta} = r - 2 + 3 = r + 1$ . Consequently, the system of equations to which the polynomial equation (10) is equivalent contains  $N_y = \tilde{\eta} + 1 = r + 2$  equations and  $N_k = r - 1 + r = 2r - 1$  unknown coefficients.

For the said system to be solvable, it is necessary that  $N_k = N_y$ , i.e.  $2r - 1 = r + 2$ . From here  $r = 3$ , and using the above formulas we find:  $\bar{r} = 3 - 2 = 1, l = 3 - 1 = 2, \tilde{\eta} = 3 + 1 = 4$ . In this case, the polynomials:  $L(p) = \lambda_2 p^2 + \lambda_1 p + \lambda_0, \bar{R}(p) = \rho_1 p + \rho_0, \tilde{D}(p) = \delta_4 p^4 + \delta_3 p^3 + \delta_2 p^2 + \delta_1 p + \delta_0$ .

To select the coefficients of the polynomial  $\tilde{D}(p)$ , as noted above, standard transfer functions are used. In this case, the coefficients of the transfer function corresponding to the fourth-order system are necessary, since  $\tilde{\eta} = 4$  with second-order astaticism and overshoot of no more than 10%. These data are satisfied by the transfer function with standard coefficients:  $\Delta_0 = 1, \Delta_1 = 11,8, \Delta_2 = 16,3, \Delta_3 = 7,2, \Delta_4 = 1$  and  $t_{pm} = 12c$ .

To ensure the required regulation time, the value of the time scale factor is calculated  $\omega_0 = t_{pu} / t_p^* = 12 / 3 = 4$ . The desired coefficients of the polynomial  $\tilde{D}(p)$  are determined by the formula

$$\delta_i = \Delta_i \omega_0^{n-i} \quad (11)$$

at  $n = \tilde{\eta} = 4$ .

Substituting numerical values gives:  $\delta_0 = 256; \delta_1 = 755,2; \delta_2 = 260,8; \delta_3 = 28,8; \delta_4 = 1$ .

Now we can write the system corresponding to equation (10).

Here it looks like

$$\begin{bmatrix} 3,1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3,1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,1 & -8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \rho_0 \\ \rho_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 256 \\ 755,2 \\ 260,8 \\ 28,8 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

The solution to this system:  $\rho_1 = 1; \rho_0 = 36,8; \lambda_2 = 179,1, \lambda_1 = 243,6, \lambda_0 = 82,58$  allows us to write polynomials:  $R(p) = (p + 0,129)(p^2 + 36,8p), L(p) = 179,1p^2 + 243,6p + 82,58$ .

The product  $B(p)Q(p)$ , according to equation (7), is the numerator of the transfer function of a closed-loop system for the reference action. On the other hand, the order of astatism according to the driving influence of the synthesized system is equal to 2, this product should be equal to  $(\delta_1 p + \delta_0)(p + 0,129)$ . From here the coefficients are found  $\chi_0 = 82,58; \chi_1 = 243,6$  polynomial  $Q(p)$ . As a result, we can write the following equation (4) of the desired two-dimensional control device:

$$(p^2 + 36,8p)(p + 0,129)u(p) = (82,58 + 243,6p)g(p) - (82,58 + 243,6p + 179,1p^2)y(p). \quad (12)$$

According to the conditions of the problem, the deviation  $\varepsilon = g - y$  and the controlled variable  $y$  are measured. Therefore, in equation (9.12)  $g$  is replaced by the formula  $g = \varepsilon + y$ . After bringing similar and multiplying polynomials; we get

$$(p^3 + 36,929p^2 + 4,7472p)u(p) = (82,58 + 243,6p)\varepsilon(p) - 179,1p^2y(p). \quad (13)$$

This input-output equation corresponds to the following system of equations in state variables:

$$\dot{z} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -4,7472 \\ 0 & 1 & -36,929 \end{bmatrix} z + \begin{bmatrix} 82,58 \\ 243,6 \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 179,1 \end{bmatrix} y, \quad (14)$$

$$u = [0 \quad 0 \quad 1]z. \quad (15)$$

The resulting equations describe the two-dimensional control device, the input of which is the deviation  $\varepsilon$  and the controlled variable  $y$  of the object. The relative degree of the found control device is obviously equal to unity.

To check the solution, it is necessary to find, for example, the transfer functions of a closed-loop system. Eliminating deviation  $\varepsilon$  and control from equations (3) and (13), we find (at zero initial conditions) the following expressions for the transfer functions of the synthesized control system:

$$W_{yg}(p) = \frac{(p + 0,129)(256 + 755,2p)}{(p^4 + 28,8p^3 + 260,8p^2 + 755,2p + 256)(p + 0,129)},$$

$$W_{yf}(p) = \frac{(p + 0,129)(0,85p^2 + 32,18p + 33,12)p}{(p^4 + 28,8p^3 + 260,8p^2 + 755,2p + 256)(p + 0,129)}.$$

Based on the results obtained, the following conclusions can be drawn:

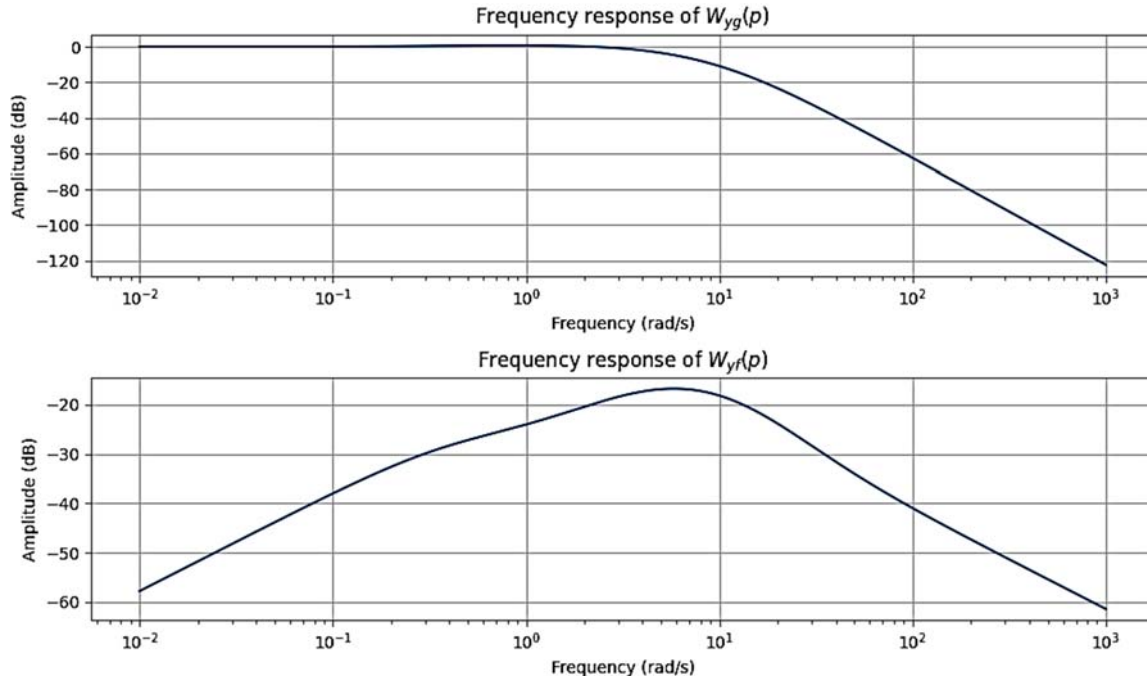
Both transfer functions  $W_{yg}(p)$  and  $W_{yf}(p)$  depend on the Laplace variable ( $p$ ) and contain polynomials in both the numerator and denominator. These functions can be used to analyze and model system dynamics as a function of time frequency.

Both functions have a common denominator  $(p^4 + 28,8p^3 + 260,8p^2 + 755,2p + 256)(p + 0,129)$ , which may indicate the presence of a general dynamic nature in the system.

The functions differ in their numerators:  $W_{yg}(p)$  has a numerator  $(p + 0,129)(256 + 755,2p)$  while  $W_{yf}(p)$  has a numerator  $(p + 0,129)(0,85p^2 + 32,18p + 33,12)p$ . These differences in numerators may indicate different aspects of the system or different input signals that are being considered.

Analyzing these transfer functions can help understand how the system reacts to external influences and what dynamic characteristics it has. Solutions to the system of equations associated with the transfer functions can provide information about stability, response to different frequencies, and other important properties of the system [4, p. 104]. The constructed transient functions of the closed-loop system (1), (2), (14), (15), corresponding to the obtained transfer functions and simulation results, it follows that the synthesized system satisfies the requirements for the transient process for the master action, as well as the requirements for the accuracy of the master influencing  $g$  and suppressing the influence of disturbance  $f$ .

The graphs in figure show the change in the amplitude of the transfer functions depending on the frequency. We see that both functions have different amplitude response profiles, which may indicate different dynamic properties of the system [5]. Dips and peaks are detected in the graphs, which may indicate the presence of resonances or frequency resonances in the system. These features may affect the dynamics of the system and require additional analysis. The graphs show no signs of system instability, which is a positive aspect. However, for a more accurate assessment of the stability of the system, additional analysis is necessary, for example, analysis of the roots of the characteristic polynomial. Amplitude characteristics allow us to evaluate how the system reacts to external disturbances. Differences in amplitudes may indicate different sensitivity of the system to different input signals.



The graphs of change in the amplitude of the transfer functions depending on the frequency

To effectively integrate a two-dimensional control device, it is necessary to develop methods and technologies that will allow interaction with them through modern information platforms. This includes the creation of specialized software interfaces, the development of algorithms for processing data from control devices and ensuring compatibility between physical devices and information systems [6].

Another aspect of the problem is related to ensuring security and data protection when integrating physical control devices with information technology. This includes protecting against unauthorized access to control devices, ensuring the confidentiality of information transferred between devices and information systems, and ensuring the integrity of data during transmission and processing. The problem of integrating a two-dimensional control device into information technology for the synthesis of systems requires the development of integrated approaches and innovative solutions that will allow the effective use of physical devices in modern information systems.

### Conclusion

According to the simulation results, transient processes in the system in response to the command signal  $g$  correspond to pre-established requirements. This means that the system quickly and stably responds to changes in the input signal and achieves the specified goals within the specified time frame [1-4]. The accuracy of the master action in the synthesized system ensures high accuracy when working out the master influence. This is important, especially in the context of control systems where accuracy and reliability are key. The simulation results also indicate the system's ability to effectively drive the disturbance signal  $f$ . This means that the system is stable and able to cope with external influences or disturbances, minimizing their impact on the output.

Synthesis of a control system that includes a two-dimensional control device requires an integrated approach that combines both hardware and software components, and information technology plays a key role in the optimization and automation of control systems. The integration of 2D control into information technology opens up new prospects for creating more efficient and adaptive control systems, which is of great importance in today's world where automation and optimization play an important role in improving the productivity and quality of various processes. The obtained results confirm that the synthesized system has desirable properties in terms of accuracy and stability, making it suitable for specific applications and requirements related to driving inputs and disturbance suppression.

### REFERENCES

1. Artemyev V.S., Nazoikin E.A., Savostin S.D. Automation of methods for controlling cooperation in mathematical modeling systems. Development of agro-industrial complex branches based on the formation of an effective management mechanism: collection of scientific works of the IV International scientific and practical conference, Kirov, November 16, 2022. P. 307-309.
2. Artemyev V. Construction and regulation of static characteristics for control objects / V.Artemyev, E.Nazoikin, V.Pankov // Machine Science. 2022. Vol. 11, No. 2. P. 80-85.
3. Processing of time signals in a discrete time domain / V.Artemyev, S.Mokrushin, S.Savostin [et al.] // Machine Science. – 2023. Vol. 12, No. 1. P. 46-54.
4. Maksimov A.S. SCADA systems / A.S.Maksimov, S.D.Savostin, V.S.Artemyev. – Kursk: Closed Joint Stock Company "University Book", 2023. 127 p. ISBN 978-5-907776-95-1.
5. Singh V. "Elimination of overflow oscillations in 2-D digital filters employing saturation arithmetic: an LMI approach," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 3, pp. 246-249, 2005.
6. Yin S., Ding S.X., Sari A.H.A. and Hao H. "Data-driven monitoring for stochastic systems and its application on batch process," *International Journal of Systems Science*, vol. 44, no. 7, pp. 1366-1376, 2013.

Accepted: 27.05.2024

## ÜÇ SƏRBƏSTLİK DƏRƏCƏLİ ROBOT MANİPULYATOR SİSTEMİ ÜÇÜN OPTİMAL PİD TƏNZİMLƏYİCİSİNİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ

**Kifayət Aslan qızı Məmmədova, Yeganə Novruz qızı Əliyeva,  
Aytən Əmiraslan qızı Əliyeva, Nigar Gündüz qızı Bağirova**  
*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

### MODELING AN OPTIMAL PID CONTROLLER FOR A THREE-DEGREE-OF-FREEDOM ROBOT MANIPULATOR SYSTEM

**Kifayat Aslan Mammadova, Yegana Novruz Aliyeva, Aytan Amiraslan Aliyeva, Nigar Gunduz Baghirova**  
*Azerbaijan State Oil and Industry University, Department of Computer Engineering, Baku, Azerbaijan:*  
*ka.mamedova@yandex.ru, yegane.aliyeva.1969@mail.ru, aytan\_aliyeva@gmail.com, bagirovan2309@gmail.com*  
*https://orcid.org/0000-0002-6530-2021, https://orcid.org/0000-0002-4211-9806,*  
*https://orcid.org/0009-0000-1379-4944, https://orcid.org/0009-0003-4170-1620*

**Abstract.** In this research work, the application and analysis of the optimization methodology based on the dynamic flying objects algorithm to design the robot manipulator based on the optimal PID controller is considered. Based on the dynamic analysis of robot manipulators, the interaction between the torques created by the actuators and the position and speed of the manipulator was investigated. The optimal PID control law obtained from the proposed algorithm is applied to the robot system. The proposed controller optimizes the trajectory of the robot's end-effector for input during variable time and hardens the robot against perturbing effects. To achieve a highly adaptive optimization process, the correct formulation of the utility function leads to optimal solutions. Three different objective functions were used in the process of optimization of control parameters in the robot system and their results were compared.

In this work, a new debugging methodology for trajectory tracking in robotic manipulator systems is presented. Optimum benefit is obtained by using the proposed PID regulation law. The obtained results are satisfactory and competitive. It has been determined that the problems of the smooth control system in the places where the robot system is highly non-linear are regulated by classical methods.

**Keywords:** *PID regulator, control systems, robotic manipulators, trajectory optimization.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

## 1. Giriş

Robot manipulyatoru öz funksiyalarını inteqrasiya olunmuş şəkildə yerinə yetirmək üçün ən azı bir quraşdırılmış qolu ehtiva edən mobil robot bazasıdır. Mobil manipulyatorların istifadəsi insan təhlükəsizliyi ilə bağlı amillərə görə müxtəlif sahələrdə eksponent olaraq artır. Real həyatda tətbiq olunan mühitlər, məsələn, yüksək temperaturlu ərazilər və ya zərərli qazların mövcud olduğu yerlər insanlar üçün təhlükəli ola bilər. Manipulyatorun əsas məqsədi müəyyən bir yerə çatmaq və obyekt-ləri götürməkdir. Sənaye sahələrində mobil manipulyatorlardan istifadənin iki ssenarisi var. Birinci ssenari, məlum mühitlərdə obyektlərin və alətlərin daşınmasında robot manipulyatorlarından istifadəni nəzərdə tutur. İkincisi, robotların strukturlaşdırılmamış mühitlərdə, xüsusən də insanlar üçün yararsız olan təhlükəli yerlərdə istifadəsini nəzərdə tutur. Hətta, köməkçi robotlar evdə gündəlik məişət işlərini yerinə yetirməkdə kömək edə biləcək başqa bir avtonom robotlar kateqoriyasını da təşkil edir. Bütün tətbiqlərdə robotlardan yüksək etibarlılığa nail olmaq üçün işlərini yüksək səviy-yədə dəqiqliklə yerinə yetirmək tələb olunur.

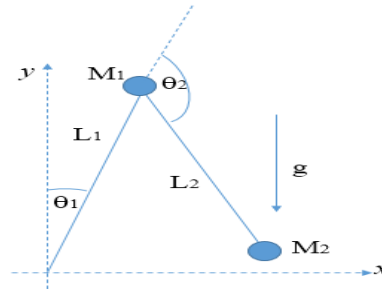
Robot manipulyatorlarının idarə edilməsi onun mürəkkəb dinamik modelinə görə çox öyrənilən bir sahədir. [1]-də robot modelin dinamik təhlili əsasında aktuatorların birgə fırlanma momentləri ilə robot manipulyatorunun mövqeləri arasında birləşmə əlaqəsi araşdırılmışdır. Qeyri-xətti dinamika və mövqelərin birləşmə əlaqələri dəqiq və ciddi idarəetməni çətinləşdirir. Belə ki, robot sisteminin dinamikasından asılı olan klassik idarəetmə üsulları əsasında tənzimləyicinin layihələndirilməsi çox çətinidir. İki keçid manipulyator robot sistemi üçün müxtəlif idarəetmə sxemləri verilmişdir. Perez neyron şəbəkələrdən asılı olan PİD tənzimləmə qanununu təqdim edilmişdir. Qeyri-səlis PİD kontrollerlər əsasında trayektoriyaları izləyən robot sistemlərindən istifadə edilmişdir [2]. Son

dövrərdə təkamül alqoritmləri əsasında robot sistemlərinin hərəkət trayektoriyasının planlaşdırılması geniş öyrənilir. Başqa sözlə desək, təkamül alqoritmləri robotların sistem tətbiqləri üçün alternativ layihələnmə metodologiyası kimi meydana çıxmışdır [3,4].

Təkamül alqoritmləri bir çox tədqiqatçılar üçün təbii sistemləri və ya bioloji prosesləri təqlid edən stoxastik optimallaşdırma üsullarıdır [5]. Təbii sistemləri təqlid etmək, möhkəmlik və kollektiv öyrənmə prosesi təkamül alqoritmlərinin əsas xüsusiyyətləri olub, qlobal optimal həlli tapmaq qabiliyyəti və çoxlu sayda qeyri-xətti dəyişən problemlərlə üzləşə bilmək imkanına malikdir [6]. Ədədi optimallaşdırma məsələlərini həll etmək üçün [7]-də virtual təkamül alqoritmı təqdim edilmişdir. Bu alqoritmə problemlər robotun qida mənbələrinin seçilməsi və tətbiqi kimi model-ləşdirilmişdir. Onlara münasib uyğunluq funksiyaları qida mənbələrinin keyfiyyətinə uyğunlaşdırılır. Robotun qida mənbələrinin həcmi ölçmək üçün ölçü cihazı və ya müşahidəçi sensorlar adlanan qurğuya informasiyalar göndərilir.

## 2. Robot sisteminin dinamik modeli

Robot manipulyatoru robot sisteminin insan operatoru tərəfindən idarə olunan və kompo-nentlərin, alətlərin və s. daşınmasında xüsusi tapşırıqların yerinə yetirilməsi üçün istifadə edilən hissəsidir. Müxtəlif hərəkətləri yerinə yetirmək üçün tapşırıqlar yazılı proqramla daxil edilə bilər [9,10]. Robot manipulyatoru kinematik cütlərlə birləşən və xətti hərəkət edən bir neçə bənddən ibarətdir. Hərəkət, robot bəndlərinin mövqelərini ölçən bir neçə aktuator və sensor vasitəsilə idarə olunur (şəkil 1).



Şəkil 1. Robot modeli

Burada  $M_1$  və  $M_2$  kq-la ölçülən oynaq (şarnir) kütlələridir,  $L_1$  və  $L_2$  bəndlərin uzunluqlarıdır,  $g$  gravitasiya sabitidir,  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$  və  $\ddot{\theta}$  müvafiq olaraq vəziyyət, sürət və təcillərdir.

İdarəetmə sisteminin məqsədi tapşırığı yerinə yetirmək üçün aktuatoru (bəzi ədəbiyyatlarda son effektor da adlanır) və ən uzaq əlaqəni əvvəlcədən müəyyən edilmiş koordinatlarda yerləşdirməkdir. Aktuatorlar (bunlara informasiya ötürücüləri də deyilir) xüsusi fırlanma momenti tətbiq etməklə manipulyatorun birləşmə bucaqlarını hərəkət etdirirlər.

### 2.1. Robot manipulyatorun hərəkət dinamikası məsələsi

Robot manipulyatorunun seqmentlərinin dekart və qütb koordinatları arasında sadə keçid mövcuddur. 2DOF (Degree of Freedom – Sərbəstlik dərəcəsi) robot manipulyatoru üçün XY koordinat müstəvisində cütlərin bucaqları arasında keçid etmək üçün aşağıdakı birbaşa keçid tənliklərindən istifadə olunur [7,8].

$$x_1 = L_1 \sin(\theta_1); \quad (1)$$

$$y_1 = L_1 \cos(\theta_1); \quad (2)$$

$$x_2 = L_1 \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2); \quad (3)$$

$$y_2 = L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2); \quad (4)$$

Yuxarıdakı robot sisteminin kinetik enerjisini hesablayan tənlik aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$KE = \frac{1}{2}(M_1 + M_2)L_1^2\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}M_2L_2^2\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}M_2L_2^2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \frac{1}{2}M_2L_2^2\dot{\theta}_2^2 + M_2L_1L_2\cos(\theta_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_1^2) \quad (5)$$

Potensial enerji aşağıdakı kimidir:

$$PE = M_1gL_1\cos\theta_1 + M_2g(L_1\cos\theta_1 + L_2\cos(\theta_1 + \theta_2)) \quad (6)$$

Kinetik enerji tənliyini sadələşdirməklə Karteziandan polyar tənliklərinə keçdikdən sonra robot manipulyatorunun hərəkətini təsvir edən tənlik aşağıdakı kimi olacaq:

$$B(q)\ddot{q} + C(\dot{q}, q) + g(q) = F, \quad (7)$$

Buradan (8) alınır:

$$q = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$n$  ölçülü ardıcıl keçidli robot manipulyator sistemi üçün  $B(q) \in R^{n \times n}$  müəyyən müsbət ətalət matrisidir,  $C(\dot{q}, q) \in R^n$  mərkəzdənqaçma qüvvələrin vektoru,  $g(q)$  qravitasiya matrisidir və  $F \in R^n$  birləşmələrdə tətbiq olunan fırlanma anını göstərir. Bu matrislər robot sisteminin dinamik hərəkətini təsvir edir [4,10]:

$$B(q) = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

Burada,

$$B_{11} = (M_1 + M_2)L_1^2 + M_2L_2^2 + 2M_2L_1L_2\cos(\theta_2); \quad (10)$$

$$B_{12} = B_{21} = M_2L_2^2 + 2M_2L_1L_2\cos(\theta_2); \quad (11)$$

$$B_{22} = M_2L_2^2; \quad (12)$$

Ətalət (13) və cazibə (14) matrisləri aşağıda verilib:

$$C(\dot{q}, q) = \begin{pmatrix} -M_2L_1L_2\sin(\theta_2)(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \\ -M_2L_1L_2\sin(\theta_2)(\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2) \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$g(q) = \begin{pmatrix} -(M_1+M_2)gL_1\sin\theta_1 - M_2gL_2\sin(\theta_1+\theta_2) \\ -M_2gL_2\sin(\theta_1+\theta_2) \end{pmatrix}, \quad (14)$$

Tətbiq olunan fırlanma momenti:

$$F = \begin{pmatrix} f_{\theta_1} \\ f_{\theta_2} \end{pmatrix} \quad (15)$$

kimi təyin edilir.

## 2.2. İdarəetmə sisteminin qurulması

**Məsələnin həlli üsulu.** İstənilən sistem modeli üçün PİD tənzimləyicisinin ümumi strukturunun xəta signalının proporsional, inteqral və differensial hərəkət qanunları əsasında təyin olunduğu məlumdur [11,12]. PİD tənzimləyicisinin riyazi təsviri (16)-da verilir:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$



Robot manipulyator modeli üçün tənzimləyicinin çıxışı robot dinamik sisteminə (17) tətbiq olunan fırlanma momentidir:

$$\ddot{q} = B(q)^{-1}[-C(\dot{q}, q) - g(q)] + F, \quad (17)$$

(17.1)-də verilmiş  $\hat{F}$  qeyri-fiziki fırlanma momentidir. Robot sisteminin dinamik təsviri,  $B(q)$  faktiki giriş momenti ilə ətalət matrisi əsasında əlaqələndirilir (17.1):

$$\hat{F} = B(q)^{-1}F \leftrightarrow F = B(q)\hat{F} \quad (17.1)$$

Qeyri-fiziki giriş momentinə sahib olmaq üçün yuxarıdakı sistemi ayırmaqla aşağıdakılar əldə edilir:

$$\hat{F} = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Dinamik sistemin fiziki giriş anı (19-21) kimi təyin edilir:

$$\begin{pmatrix} f_{\theta_1} \\ f_{\theta_2} \end{pmatrix} = B(q) \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$f_1 = K_{P1}(\theta_{1f} - \theta_1) + K_{11} \int e(\theta_1)dt - K_{11}\dot{\theta}_1 \quad (20)$$

$$f_2 = K_{P2}(\theta_{2f} - \theta_2) + K_{12} \int e(\theta_2)dt - K_{12}\dot{\theta}_2. \quad (21)$$

Beləliklə, tam tənliklər sistemi (22) kimi təyin edilir:

$$\ddot{q} = B(q)^{-1}[-C(\dot{q}, q) - g(q)] + \begin{pmatrix} K_{P1}(\theta_{1f} - \theta_1) + K_{11} \int e(\theta_1)dt - K_{11}\dot{\theta}_1 \\ K_{P2}(\theta_{2f} - \theta_2) + K_{12} \int e(\theta_2)dt - K_{12}\dot{\theta}_2 \end{pmatrix} \quad (22)$$

İndi məqsəd kinematikanın trayektoriya xətlərini minimuma endirmək məqsədilə hər bir birləşmə üçün uyğun  $K_P$ ,  $K_I$  və  $K_D$  əmsallarını (22) tapmaqdır.

### 2.3. Faydalılıq funksiyası

Yüksək adaptivli optimallaşdırma prosesinə nail olmaqda ən vacib məsələ həllin uyğunluğunun qiymətləndirilməsində istifadə olunan faydalılıq funksiyasının seçilməsidir. Optimallaşdırma prosesi zamanı faydalılıq funksiyasının düzgün formalaşdırılması optimal həllərə gətirib çıxarır (cədvəl). Bu robot sisteminə idarəetmə parametrlərinin optimallaşdırılması prosesində (23)–(25) üç müxtəlif məqsəd funksiyası seçilir.

Kvadratik Xətanın Orta Kökü (KXOK):

$$KXOK = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \sqrt{e_{\theta_1}(i)^2 + e_{\theta_2}(i)^2} \quad (23)$$

Mütləq Orta Xəta (MOX):

$$MOX = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |e_{\theta_1}(i)| + |e_{\theta_2}(i)| \quad (24)$$

Faydalılıq funksiyası üçün parametrlər

İndeks	KXOK	MOX	ITIX
K <sub>F1</sub>	203.0000	200.0000	20.2456
K <sub>I1</sub>	20.3749	50.0078	2.9800
K <sub>D1</sub>	23.7962	6.9577	28.0853
K <sub>F2</sub>	184.0705	256.496	41.7381
K <sub>I2</sub>	50.0000	47.2071	4.9872
K <sub>D2</sub>	7.8562	9.5697	3.0969
K <sub>F3</sub>	6.4567	5.6784	3.5676
K <sub>I3</sub>	45.3876	67.345	87.3454
K <sub>D3</sub>	23.4567	87.3453	76.349
Faydalılıq funksiyası	0.3487656	0.56324	45.5643

İdarəetmə Təsirli İstinad Xətası (İTİX):

$$ITIX = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |e_{\theta_1}(i)| + |e_{\theta_2}(i)| + |u_{\theta_1}(i)| + |u_{\theta_2}(i)| \quad (25)$$

Bu məqsəd funksiyaları robot sisteminin dinamik reaksiyasına əsasən hesablanır [12].

### 3. Dinamik obyektlərin hərəkət trayektoriyasının kompüter modelləşdirilməsi

#### 3.1. Məsələnin həlli algoritmi

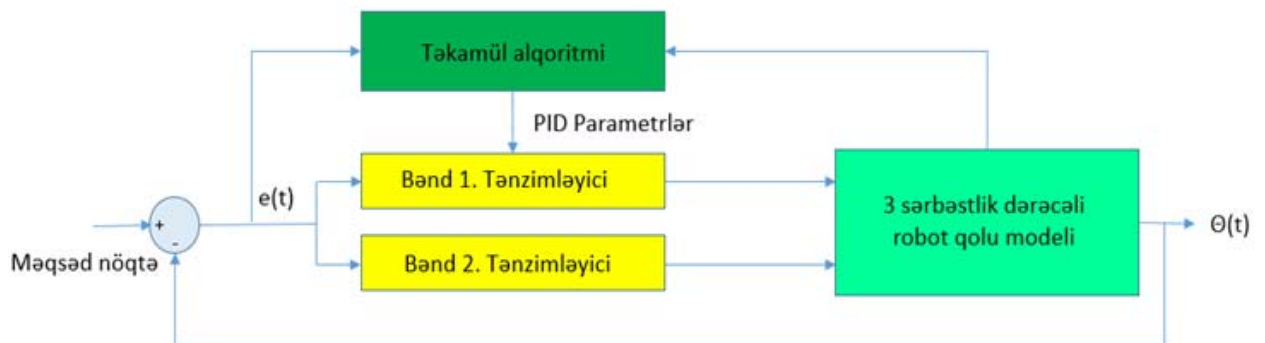
Təklif olunan tənzimləmə prosesini qiymətləndirmək üçün kompüter simulyasiyalarının ədədi nəticələri analiz edilmişdir (şəkil 2). Robot sistemi üçün hər iki oynaqın kütləsi  $M_1 = 1 \text{ kq}$  və  $M_2 = 1 \text{ kq}$ ; bəndlərin uzunluqları  $L_1 = 1 \text{ m}$  və  $L_2 = 1 \text{ m}$ -dir; qravitasiya sürəti  $g = 9,81 \text{ m/san}^2$ ; simulyasiya müddəti 20 saniyə götürülür.

Analiz edilən robot manipulyatorunun trayektoriyası sinusoidal siqnal kimi qəbul edilir:

$$\theta_{1f}(t) = 0.1524 + 0.24384 \cos\left(\frac{2\pi t}{5} - \frac{\pi}{2}\right); \quad (26)$$

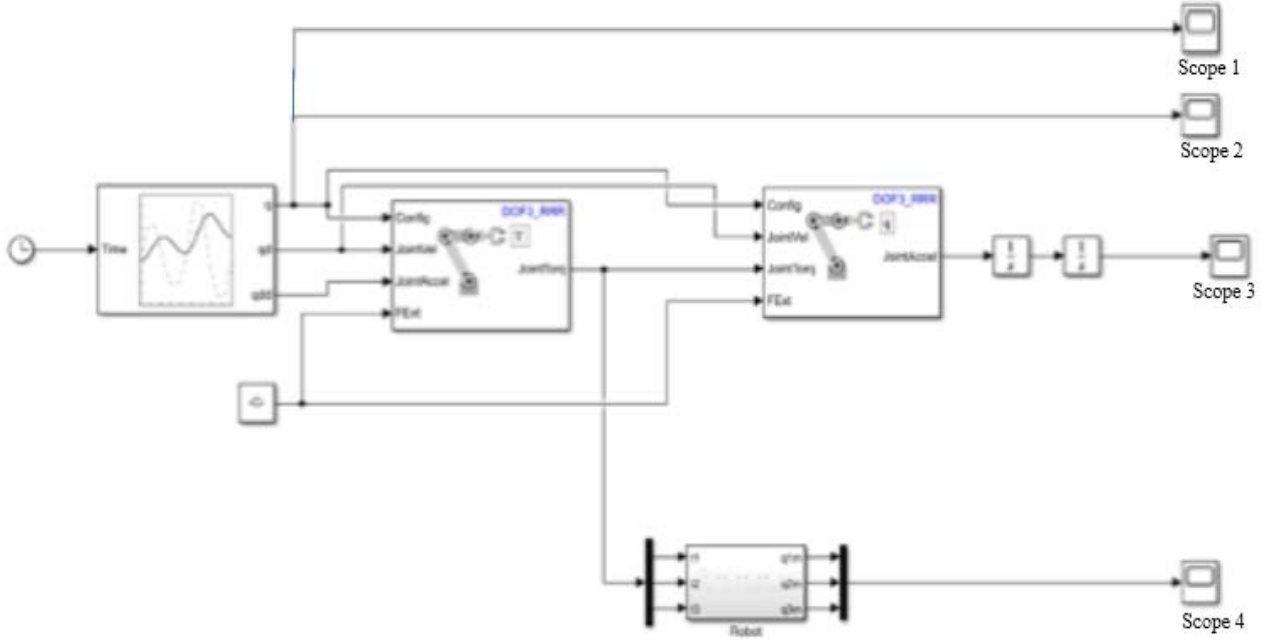
$$\theta_{2f}(t) = 0.39624 + 0.24384 \cos\left(\frac{2\pi t}{5} - \frac{\pi}{2}\right); \quad (27)$$

Təklif olunan 3DOF Robot manipulyatoru üçün optimal PİD tənzimləyicisinin layihəsi əsasında bir neçə simulyasiya təcrübələri aparılmışdır. Robot sisteminin daxili strukturu Simulink MATLAB Proqram Alətindən istifadə etməklə qurulur (şəkil 3).



Şəkil 2. Robot sisteminin PİD tənzimləməsinin sxematik diaqramı

Optimallaşdırma prosesi robot manipulyatorun son effektorunun trayektoriyasında xətni minimuma endirmək üçün həyata keçirilir.



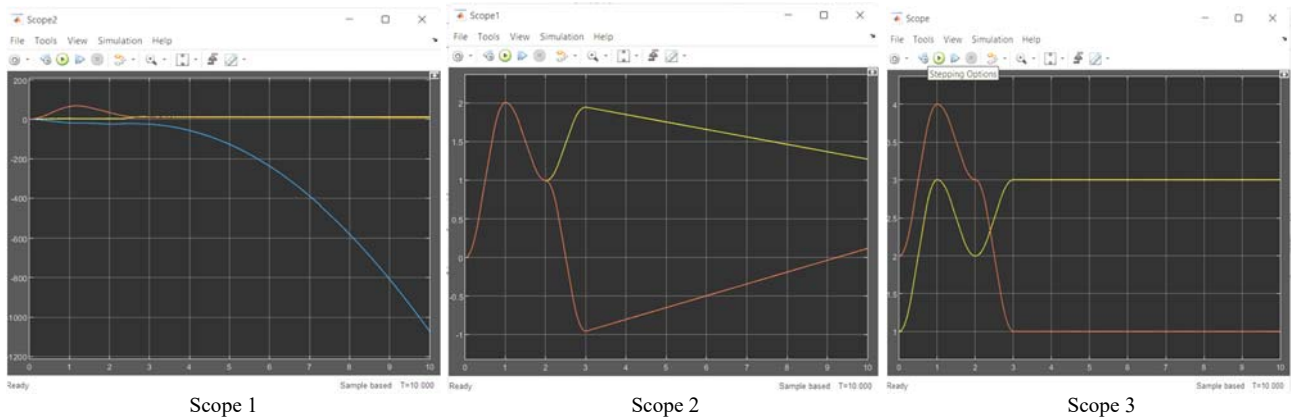
Şəkil 3. PİD kontroller qoşulmazdan əvvəl 3DOF robot manipulyatorun dinamik sistemi

### 3.2. Nəticələrin analizi

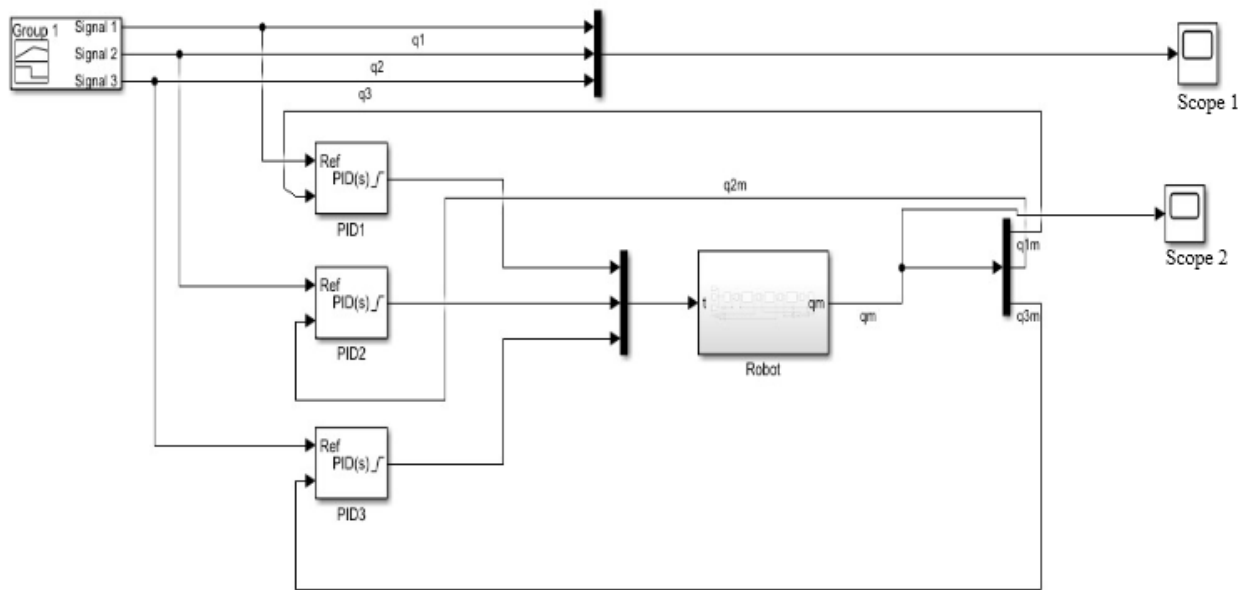
Şəkil 3-də verilmiş Simulink modelinə əsasən Scope 1-dən alınmış nəticə trayektoriyanın düz və tərs məsələsi həll olunmazdan qabaq robotun trayektoriyada olan hərəkətinin qrafikini əks etdirir. Scope 2-dən alınmış nəticə isə kinematikanın həm düz, həm də, tərs məsələsi həll olunduqdan sonrakı yekun qrafikdir. Scope 3-də kinematikanın yalnız tərs məsələsinin həlli nəticəsində alınan keçid prosesi ayrısi təsvir olunur (şəkil 4).

Şəkil 5-də verilmiş PİD kontrollerlərində PİD konfiqurasiya olunmadığı üçün Şəkil 7-dən alınmış nəticədə, robotun hərəkətinin qrafiki hər bir PİD kontrollerləri üçün fərqli şəkildə verilmişdir.

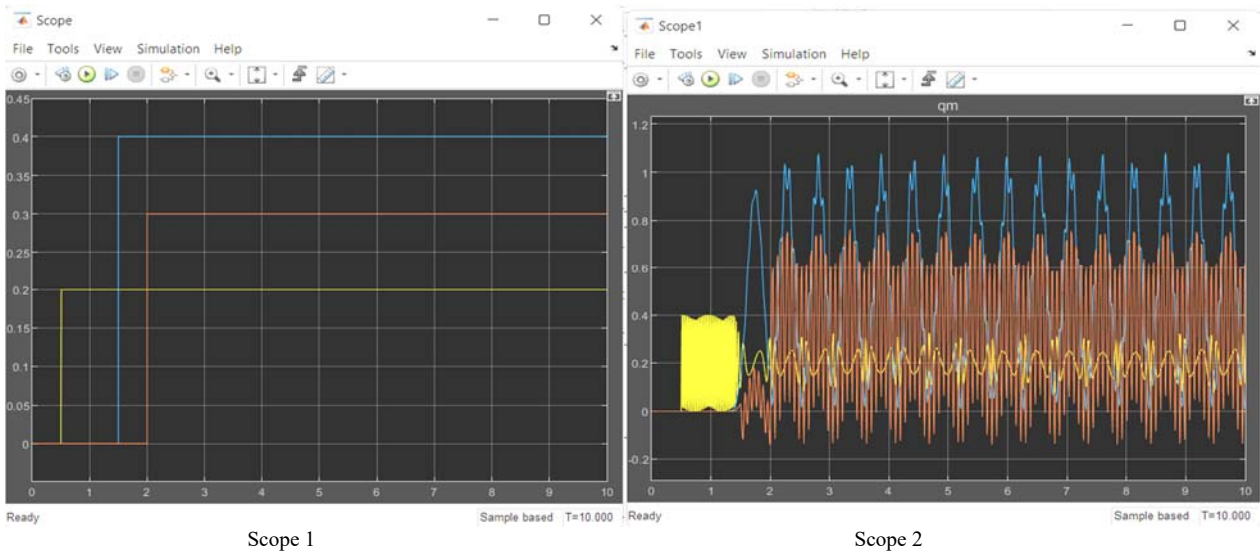
Şəkil 8-də alınmış nəticəyə əsasən deyə bilərik ki, PİD konfuqurasiya olunmazdan əvvəl Şəkil 6-da Scope 1-də alınmış qrafikin Scope 2-də alınmış qrafiklə heç bir əlaqəsi yoxdur. Yəni, konfuqurasiyadan əvvəl robotun PİD kontrollersiz alınmış nəticəsi (Şəkil 4) Şəkil 8-də alınmış nəticə ilə əlaqələlidir.



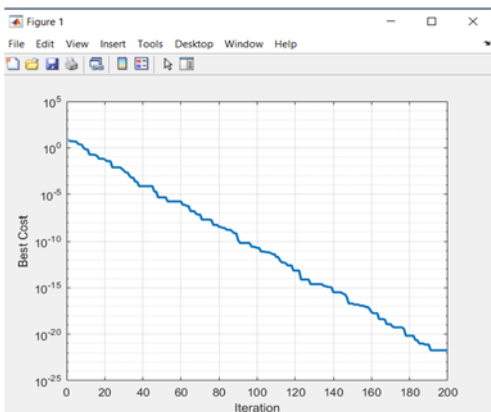
Şəkil 4. Scope 1, Scope 2 və Scope 3-dən alınmış nəticələr



Şəkil 5. PID kontroller qoşulmuş 3DOF robot manipulyatorunun simulink sxemi



Şəkil 6. Şəkil 5-dəki Scope 1 və Scope 2-dən alınmış nəticə



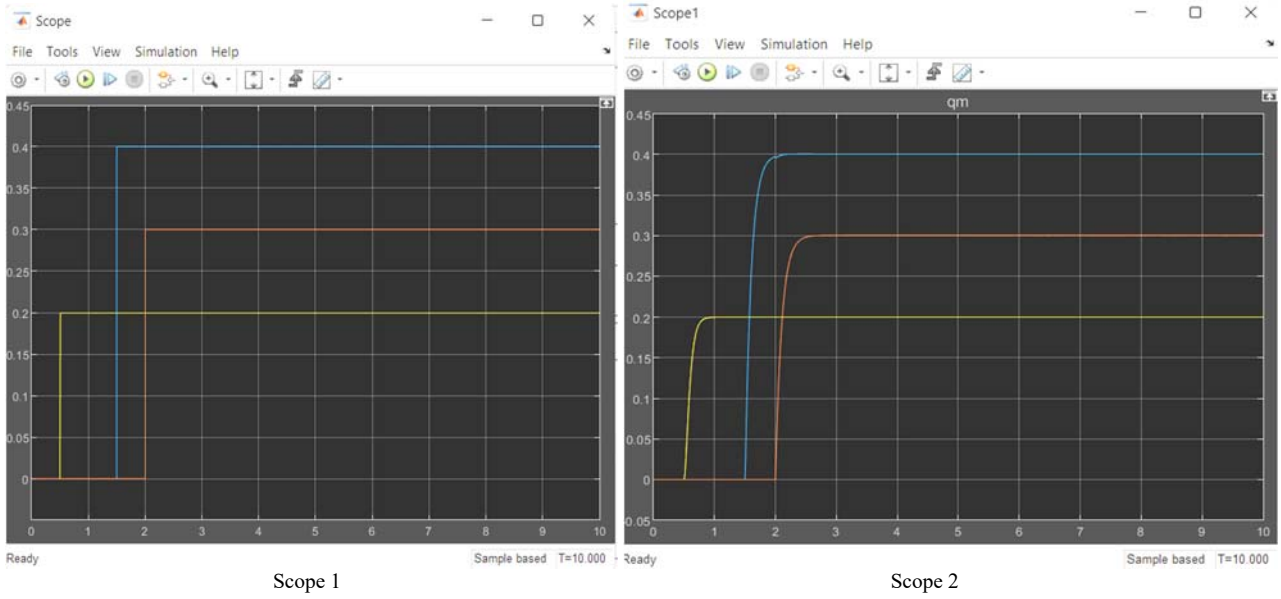
a)

```

1 TunedBlocks={'PD1','PD2','PD3'};
2 ST0=sITuner('DOF_RRR',TunedBlocks);
3 addPoint(ST0,TunedBlocks);
4 addPoint(ST0,'Robot/qm');
5 RefSignals={...
6     'DOF_RRR/Signal Builder/q1','DOF_RRR/Signal Builder/q2','DOF_RRR/Signal Builder/q3'};
7 addPoint(ST0,RefSignals);
8 Controls=TunedBlocks;
9 Measurements='DOF_RRR/Robot/qm';
10 options=looptuneOptions('RandomStart',80,'UseParallel',false);
11 TR=TuningGoal.StepTracking(RefSignals,Measurements,0.05,0);
12 ST1=looptune(ST0,Controls,Measurements,TR,options);
13 writeBlockValue(ST1)
14
15
16
    
```

b)

Şəkil 7. a) ABC(Artificial Bee Colony) alqoritmindən alınmış nəticə, b) PID kontrollerinin sazlanması alqoritmi



Şəkil 8. Sazlanmadan sonra şəkil 2-dəki 1-ci və 2-ci Scope-dan alınmış nəticə

#### 4. Nəticə

Bu məqalədə robot manipulyator sistemlərində trayektoriyanın izlənməsi üçün yeni sazlama metodologiyası təqdim edilmişdir. Təklif olunan PİD tənzimləmə qanunundan istifadə etməklə optimal fayda əldə edilir. Alınan nəticələr qənaətbəxşdir. Robot idarəetmə sisteminin yüksək qeyri-xətti olduğu yerlərdə səlis idarəetmə sisteminin çətinlikləri klassik üsullarla tənzimlənmişdir. KXOK, MOX və İTİX kimi üç məqsəd funksiyasına görə oynaqların faktiki mövqeləri və istənilən təyinat nöqtəsi, simulyasiya zamanı yaranan xətalər, faktiki fırlanma momentləri üzrə alınmış nəticələr müqayisə edilmişdir. Ən yaxşı məqsəd funksiyası olaraq İTİX müəyyən edilmişdir (cədvəl).

#### ƏDƏBİYYAT

1. Darajat, A. U., & Istiqphara, S. Control of two-link robot manipulator with uncertainty parameter using self-tuning sliding mode control // 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT), Medan, Indonesia, 2020. <https://doi.org/10.1109/mecnit48290.2020.9166643>
2. Kamal M., H. Raheem. Modeling 3-Degree of freedom robotics manipulator with PID and sliding mode controller // AIP Conference Proceedings. Volume 2931, Issue 1, 15 December 2023
3. Massaoudi, F., Elleuch, D. Robust control for a two DOF robot manipulator. // *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2019, pp.1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/3919864>
4. Anh, H. P. H., Kien, C. V., Son, N. N., & Nam, N. T. New approach of sliding mode control for nonlinear uncertain pneumatic artificial muscle manipulator enhanced with adaptive fuzzy estimator // *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2018, pp1–11. <https://doi.org/10.1177/1729881418773204>
5. Dhyani, A., Panda, M. K., & Jha, B. Design of an evolving fuzzy-PID controller for optimal trajectory control of a 7-DOF redundant manipulator with prioritized sub-tasks // *Expert Systems with Applications*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113021>
6. Fateh, M. M. On the voltage-based control of robot manipulators // *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 6(5), 2018, pp.702–712. <https://doi.org/10.1007/s12555-017-0035-0>
7. Chung, S. Y. et al. Task space trajectory planning for robot manipulators to follow 3-d curved contours // *Electronics*, 9(9), 2024, pp.14-24. <https://doi.org/10.3390/electronics9091424>
8. Ghaleb, N. M., & Aly, A. A. Modeling and control of 2-DOF robot arm // *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 6(11), 2018, 24–31. <https://www.ijeert.org/papers/v6-i11/3.pdf>
9. Gambhire, S. J., Kishore, D. R., Londhe, P. S., & Pawar, S. N. Review of sliding mode based control techniques for control system applications // *International Journal of Dynamics and Control*, 9(1), 2021, pp.363–378. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00638-7>

10. Huang, J. et al. Optimal time-jerk trajectory planning for industrial robots // *Mechanism and Machine Theory*, 121, 2018, pp.530–544. DOI: 10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2017.11.006  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X17302914>
11. Kapoor N., Ohri, J. Sliding Mode Control (SMC) of robot manipulator via intelligent controllers// *Journal of the Institution of Engineers (India): Series B*, 98(1), 2017, pp.83–98. <https://doi.org/10.1007/s40031-016-0216-x>
12. Karamali R. et al. Hybrid force/position control of robotic arms manipulating in uncertain environments based on adaptive fuzzy sliding mode control // *Applied Soft Computing*, 70, 2018, pp.864–874.  
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.05.048>

## ÜÇ SƏRBƏSTLİK DƏRƏCƏLİ ROBOT MANİPULYATOR SİSTEMİ ÜÇÜN OPTİMAL PİD TƏNZİMLƏYİCİSİNİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ

K.A.Məmmədova, Y.N.Əliyeva, A.Ə.Əliyeva, N.G.Bağirova

**Xülasə.** Bu tədqiqat işində optimal PİD tənzimləyicisi əsasında robot manipulyatorunu layihələndirmək üçün dinamik uçan obyektlər alqoritminə əsaslanan optimallaşdırma metodologiyasının tətbiqi və təhlili nəzərdə tutulmuşdur. Robot manipulyatorlarının dinamik təhlili əsasında aktuatorların yaratdığı fırlanma momentləri ilə manipulyatorun mövqeyi və sürəti arasında qarşılıqlı əlaqə araşdırılmışdır. Təklif olunan alqoritmədən alınan optimal PİD tənzimləmə qanunu robot sisteminə tətbiq edilir. Təklif olunan tənzimləyici dəyişən zaman ərzində giriş üçün robotun son effektorunun trayektoriyasını optimallaşdırır və robotu həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı möhkəmləndirir. Yüksək adaptivli optimallaşdırma prosesinə nail olmaq üçün faydalılıq funksiyasının düzgün formalaşdırılması optimal həllərə gətirib çıxarır. Robot sisteminə idarəetmə parametrlərinin optimallaşdırılması prosesində üç müxtəlif məqsəd funksiyasından istifadə edilmiş və onların nəticələri müqayisə edilmişdir.

Bu işdə, robot manipulyator sistemlərində trayektoriyanın izlənməsi üçün yeni sazlama metodologiyası təqdim edilmişdir. Təklif olunan PİD tənzimləmə qanunundan istifadə etməklə optimal fayda əldə edilmişdir. Alınan nəticələr qənaətbəxş və rəqabətliyədir. Müəyyən olunmuşdur ki, robot sisteminin yüksək qeyri-xətti olduğu yerlərdə yaranan səliss idarəetmə sistemi çətinlikləri klassik üsullarla tənzimlənir.

**Açar sözlər:** PİD tənzimləyici, idarəetmə sistemləri, robot manipulyatorlar, trayektoriyanın optimallaşdırılması.

*Accepted: 04.04.2024*

## İSTİSMARDAKI KABELLƏRDƏ ZƏDƏLƏRİN ARADAN QALDIRILMASININ MÜASİR ÜSULLARI

**Mehti Əvəz oğlu Camalov**

*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

### ADVANCED TECHNIQUES FOR DAMAGE REMOVAL OF CABLE IN USE

**Mehti Avaz Camalov**

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: mehticamal@aztu.edu.az*

*https://orcid.org/0000-0001-6393-4503*

**Abstract.** XLPE insulated power cables serve as essential components in medium and high voltage power transmission lines, yet maximizing their resource duration poses a significant challenge for consumers. Issues such as water treeing, electric treeing, and partial discharges within the insulation system accelerate cable aging over time. In response, a novel approach has been proposed in this study to mitigate these detrimental factors. The method involves injecting a specially formulated liquid into the cable insulation to address inhomogeneities, effectively rejuvenating the cable and extending its service life by 20-30 years, as indicated by the technology's name. Furthermore, to provide context on the practical implications, a succinct analysis of the Azerbaijani cable network is presented in this article. Also, in order to explain the real situation of power cables, a brief analysis of the Azerbaijani cable network was conducted in the article.

**Keywords:** XLPE, water treeing, partial discharges, rejuvenation.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### 1. Giriş

Şəhərlərin inkişafı ilə elektrik şəbəkələrinin elektrik ötürücü xətlərində artan tendensiya ilə yüksək gərginlikli kabellərdən istifadə olunur. Elektrik enerjisi ötürməsinə və paylanmasına ən vacib hissələrdən biri kimi yüksək gərginlikli kabellər mühüm rol oynayır. Orta və yüksək gərginlik sistemlərində kabellərin izolyasiyasında əsasən polimer izolyasiyadan istifadə olunur. Ənənəvi kağız-yağ izolyasiyalı kabellərlə müqayisədə, polimer izolyasiyalı elektrik kabellərinin əsas üstünlükləri daha yaxşı elektrik xassələri, yüksək istilik xüsusiyyətləri, yaxşı nəmliyə davamlılığı və kimyəvi maddələrə, həlledicilərə qarşı yüksək müqavimətə malik olmasıdır. İzolyasiya materialları arasında tikilmiş polietilen izolyasiya (TPE) əla elektrik və istilik xüsusiyyətlərinə görə yüksək gərginlikli kabellərdə geniş istifadə olunur [1].

Bu tip kabellər istismarda olduğu müddətdə, onlara qoyulan əsas tələblər izolyasiyanın aşağı səviyyəli imtina dərəcəsi və uzunömürlülüyüdür. Uzunmüddətli istismar dövründə izolyasiyanın dəşilməsi qaçılmaz olaraq baş verir və bu hadisə tədqiqatçıların böyük diqqətini cəlb etmişdir [2]. Müxtəlif şəraitlərdə deqradasiya və inkişaf mexanizmi daxil olmaqla, kabel izolyasiyasının köhnəlməsinin qiymətləndirilməsi üzrə tədqiqatlar 1960-cı illərdə başlamış və o vaxtdan bəri bir çox effektiv texnologiyalar hazırlanmışdır [3,4]. Belə tədqiqatların məqsədi kabel izolyasiyasının deqradasiya dərəcəsinə müəyyən etmək və köhnə kabellərin lazımı vaxtda dəyişdirilməsini təmin etməkdir [5].

Adətən, 110 kV dəyişən gərginlikli kabellər üçün nəzərdə tutulmuş istismar müddəti 30 ildir, lakin əksər kabellər nisbətən aşağı cərəyan və temperaturda işləyir. Nəticədə, bir çox kabel öz izolyasiya xüsusiyyətlərini saxlayır. Bu kabellərin bəziləri hətta nəzərdə tutulmuş xidmət müddətinə çatmasalar da, hələ də kabel istismar standartlarına cavab verir [6]. Bir çox tədqiqatlar bildirmişdir ki, köhnəlmiş kabellər yaxşı elektrik xassələrini saxlayır və onlardan bəziləri nəzərdə tutulmuş istismar müddətinə çatmasına və izolyasiyasının deqradasiyaya məruz qalmasına baxmayaraq, kabel istismarı standartlarına cavab verdiyi üçün istifadə olunmaqdadır [7].

TPE izolyasiyalı elektrik kabellərinin ümumi köhnəlmə mexanizmlərinə su və elektrik triinqləri eləcə də, qismən boşalma mexanizmləri daxildir [8] və başqa istinadlarda orta gərginlikli bərk dielektrik kabelin əksər nasazlıqlarının əsas səbəbi kimi su triinqləri və əlaqəli hadisələr göstərilmişdir. İstinad [8]-a görə, su triinqi “bant və yelpik formasında bərk dielektriklərdə yayılmış bir quruluş”



kimi təsvir edilir (Şəkil 1). Su triinq mexanizmləri 1970-ci illərdən 1990-cı illərə qədər PE (polietilen) izolyasiyalı kabellərinin bir çox erkən imtinalarının və deşilmələrinin səbəbidir. Həmçinin, su triinqləri nəmli mühitdə TPE kabellərinin izolyasiyasının deşilməsinin əsas səbəbi kimi qəbul edilir [9-11]. Su triinqlərinin yaranması və böyümə mexanizmi bir çox nəşr olunmuş məqalələrdə müzakirə edilmişdir [12-17].

Digər tərəfdən, qismi boşalmaların baş verməsi isə bərk dielektriklərin fiziki və kimyəvi proseslər nəticəsində sıradan çıxmasına səbəb olur [18].



Şəkil 1. İzolyasiya meydana gələn su triinqləri

Polimer izolyasiyalı kabellərin köhnəlməsinin və vaxtından əvvəl sıradan çıxmasının əsas səbəblərindən biri də izolyasiyadakı qeyri-bircins oblastlarda baş verən qismi boşalma hadisəsidir [19, s.140], [20], [21]. Bu qismi boşalmalar əsasən izolyasiyanın daxilindəki hava boşluqlarında baş verir. Hava boşluqlarında qismi boşalma baş verdikdə yaranan elektron və ionlar boşluğun divarını bombardman edir və polimer molekullarının parçalanmasına səbəb olur. Bu halda, eyni zamanda azot və ozon oksidləri yaranır, bunlarda öz növbəsində güclü oksidləşdiricilər hesab olunur. Bu oksidləşdiricilər, boşluğu əhatə edən izolyasiya hissəsinin eroziyasına səbəb olan turşular yaranır. Bu proseslərin nəticəsində yavaş-yavaş boşluğun divarları dağılır, boşluq genişlənir. Uyğun olaraq ionlaşma prosesi deşilmə kanalı inkişaf edənə qədər güclənir. Əksər hallarda qismi boşalmalar (QB) dendritlərin – yəni izolyasiyanın bütün qalınlığında yayılan şaxəli kanalların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Buna görə də ionlaşma prosesinin öyrənilməsi böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Qismi boşalma prosesi tətbiq olunmuş gərginliyin müəyyən səviyyəsində baş verir.

Elektrik triinqlərinin yaratdığı köhnəlmə isə daha da təhlükəlidir [22-25].

Bu köhnəlmə mexanizmlərini müəyyən etmək və kabel izolyasiyasının vəziyyətini aşkar etmək üçün ümumi istifadə edilən üsullara 50 Hz dielektrik itkisi, sızma cərəyanı, qismi boşalma və s. daxildir [26,27].

Lakin izolyasiyanın deqradasiyası şiddətləndikcə, izolyasiyanın nasazlığı ilə bağlı qəza ehtimalı artır. Bu halda, nəzərdə tutulmuş xidmət ilinə çatmış kabellər üçün bir problem ortaya çıxdı: istismara davam etmək və ya yeni kabellərlə əvəz etmək?

Biz burada bir çox ölkələrdə tətbiq olunsa da, Azərbaycanda hələ ki, tətbiqi olmayan bir sistem barədə danışacağıq. Lakin bundan əvvəl Azərbaycanda kabel sisteminin real vəziyyəti tanış olmağı məqsəduyğun hesab edirik.

## 2. Azərbaycan kabel şəbəkəsinin qısa təhlili

“Azərişiq” ASC şərti adı X olan rayonun RETSİ üzrə 6, 10, 35 kV gərginlikli, TPE izolyasiyalı kabel xətlərində BAUR avtolaboratoriyası ilə diaqnostika sınaqları aparılmış və dielektrik itki bucağı tangensini ( $\text{tg}\delta$ ) və qismi boşalmaların səviyyəsini təyin etmək üzrə həyata keçirilmişdir. Kabel xətlərinin vəziyyəti  $\text{tg}\delta$  və qismi boşalmada ölçülən elektrik yüklərinin qiymətlərinə görə qiymətləndirilmişdir. Qərb ölkələrinin təcrübəsini nəzərə alaraq, Cədvəl 1-də aşağıdakı kriteriyalar qəbul edilmişdir:



Dielektrik itki bucağının tangensi və qismi boşalmaların səviyyəsi üçün qəbul edilmiş kriteriyalar

$\operatorname{tg}\delta (2U_0)$	QB (2U <sub>0</sub> ) pKl	
$\operatorname{tg}\delta \leq 5 \cdot 10^{-3}$	QB <500 pKl	yararlı
$5 \cdot 10^{-3} < \operatorname{tg}\delta < 9 \cdot 10^{-3}$	500 < QB < 2000 pKl	qismən yararlı
$\operatorname{tg}\delta > 9 \cdot 10^{-3}$	QB > 2000 pKl	yararsız

Ölçmələrin nəticələrinin təhlili göstərdi ki, diaqnostika sınağı aparılmış 100 kabel xəttindən, qəbul olunmuş kriteriyalara görə 48-i yararlı, 14-ü qismən yararlı, 38-i yararsızdır.

Yararsız hesab olunan kabel xətləri illər üzrə aşağıdakı kimi bölüşür:

2001-2003 illərdə çəkilən 8 xətdən 8- i (100 %);

2004-2006- da çəkilən 9 xətdən heç biri (0 %);

2007-2009- 24- dən 8- i (33 %);

2010-2011- 50- dən 19- u (38 %);

2012-2013- 9- dan 3- ü (33 %).

Kabel xətlərində bir qismi  $\operatorname{tg}\delta$ -ın, bir qismi isə QB-ın göstəricilərinə əsaslanaraq, yararsız hesab edilmişdir. Diaqnostik sınağı aparılan və yararsız hesab edilən xətlərin iki və ya bir fazasında göstəricilər norma daxilindədir.

Yararsız hesab olunan kabellərin hamısı işlək vəziyyətdədir və imtinalar müşahidə olunmamışdır. Yararsız kimi qiymətləndirilən xətlərin əksəriyyətində muftaların sayı da çoxdur. Məsələn, elə xətlər vardır ki, hər 140-150 m-dən bir mufta quraşdırılmışdır.

Dielektrik itki bucağı tangensinin artımı ( $\operatorname{tg}\delta$ ) müxtəlif səbəblərdən ola bilər: temperaturdan, nəmlikdən, sınaq gərginliyinin qiymətindən, qismi boşalmaların səviyyəsindən. Sınaq aparılan müddətdə hər hansı səbəbdən xətlərdə lokal temperatur artımı baş verə bilər ki, bu da  $\operatorname{tg}\delta$ -nın artmasına səbəb olar və s.

Kabel xətləri çəkilən ilk anlarda onun parametrləri haqda məlumat olmadığından, istismar müddətində köhnəlmənin intensivliyi haqda da konkret fikir söyləmək çətindir.

Yararsız kabel xətləri haqda müəyyən bir nəticəyə gəlmək üçün, istismarda olan trassın vəziyyəti, ölçü aparılan zaman kabel xəttinin yüklənmə dərəcəsi, izolyasiyanın nəmlənib-nəmlənməsi, ölçünün xətası və s. Faktorlar nəzərə alınmalıdır.

Dünya təcrübəsi göstərir ki, kabel xətləri haqda tam və dolğun fikir söyləmək üçün bir neçə istiqamətdə diaqnostik sınaqlar aparmalı, alınmış nəticələrin kompleks təhlilinə görə qərar qəbul etmək daha düzgün olardı.

Lakin bütün bunlara baxmayaraq, diaqnostik sınağın nəticələri kabel xətlərinin istismarı ilə məşğul olan təşkilat və mütəxəssislər üçün çox faydalı informasiya mənbəyidir. Belə ki, sınağın nəticələrinə pis vəziyyətdə olan kabel xətlərilə daha ehtiyatla davranmalı, normalar çərçivəsində istismar etməli, yük cərəyanının qiymətini, sınağın nəticələrini nəzərə almaqla tənzimləmək lazımdır. Bununla yanaşı, həmin xətlərdə təkrar sınaqların aparılması və nəticələrin müqaisəsinə görə kabelin köhnəlmə intensivliyini təyin etməkdə əhəmiyyətli olardı.

### 3. Təklif olunan “cavanlaşdırma” texnologiyası

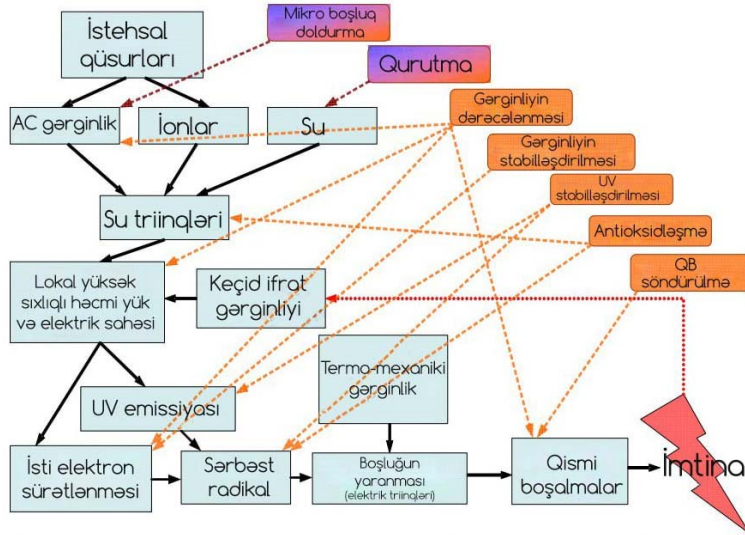
Azərbaycanın kabel sisteminin vəziyyəti ilə barəsində məlumatlandıqdan sonra təklif olunan texnologiya ilə tanış olaq. İstifadə olunduğu ölkələrdə kabelin “cavanlaşdırılması” adı ilə tanınan bu texnologiya izolyasiyaya silikon mayenin yeridilməsi yolu ilə onun yaşam müddətini azaldan hava boşlukları, su triinqləri və s kimi qeyri-bircinsliklərin qarşısını almaq və kabelin ömrünü daha 20-30 il uzatmağa xidmət edir [28]. Bu sistem alçaq və yüksək təzyiqli yağla doldurulmuş kağız izolyasiyalı kabellərdə, yağın izolyasiyadakı qeyri-bircinslikləri doldurulması prinsipinə əsaslanır. Biz bu məqalədə bu sistem haqqında ümumi məlumat verib, onun daha detallı izahını isə növbəti məqalələrdə bildirəcəyik.

Kabelin cavanlaşması güc kabelinə onun damarı vasitəsilə silikon maye yeridilir. Maye izolyasiyada su triinqləri ilə zədələnmiş nöqtələri bərpa edən materialların qarışığından ibarətdir və yeni su triinqlərinin böyüməsinin qarşısını alır, bəzi hallarda kabeli müasir kabellərdə olan maddələrlə təkmilləşdirir. Mayenin tərkibi bu məqalədə qeyd olunmur.

Diffuziya prosesində injeksiya edilmiş maye naqillərin arasından izolyasiyadakı su triinqləri olan hissələrə keçir. İnaksiya üçün istifadə olunan təzyiqin qiyməti cavanlaşdırma sürətinə böyük təsir göstərir. Bu baxımdan iki üsul tətbiq olunur. Birincisi alçaq təzyiq altında kabelə xüsusi mayenin injeksiyası, digəri isə yüksək təzyiqli kabel cavanlaşma prosesidir. Lakin biz burada ümumi cavanlaşma prosesi haqqında danışacağıq.

İnaksiya mayeləri daha sonra su triinqləri olan hissələri doldurmaqla, yeni su triinqlərinin əmələ gəlməsini gecikdirməklə və bəzi hallarda izolyasiya xüsusiyyətlərini təkmilləşdirməklə kabel sisteminin etibarlı ömrünü uzatmaq üçün izolyasiyanın kimyasını və kabelin fizikasını dəyişdirir.

Şəkil 2-də kabelin köhnəlməsi və imtina mexanizmləri (düzbucaqlılar) və kabel cavanlaşmasının (dairəvi düzbucaqlılar) köhnəlməyə və qəzalara müdaxilə etdiyi mexanizmlərə dair ümumi məlumat verilir. Su triinqlərinin inkişaf mexanizmlərini və bu su triinqlərinin nəticədə necə imtinalara səbəb olduğunu izah etmək məqalənin məqsədi xaricindədir. Bunun əvəzinə Şəkil 2-də təsvir olunan prosesi qısaca nəzərdən keçiririk.



Şəkil 2. Kabelin köhnəlmə, imtina və cavanlaşma mexanizmləri

**İstehsal qüsurları** – su triinqlərinin böyüməsi üçün mütləq tələb olunmasa da, su triinqlərinin böyüməsini və yayılmasını sürətləndirir və buna görə də kabelin hər hansı bir hissəsindəki ən uzun su triinqlərin yaranma səbəbləri bu qüsurlar ola bilər [29].

**Dəyişən cərəyan gərginliyi, ionlar və su** – Bunlar su triinqlərinin böyüməsi üçün üç vacib parametrdir (Şəkil 2). Ümumiyyətlə, bu üç elementdən hər hansı birinin azalması su triinqlərinin inkişafını ləngidir.

**Lokal yüksək sıxlıqlı həcmi yük və elektrik sahələri** – böyük su triinqlərinin qaçılmaz nəticəsidir və kommutasiya, qəza, ildırım vurmaları və mənbədən açılmış kabel sınağı kimi keçid ifrat gərginlik hadisələri ilə kəskinləşir.

**UV emissiyası** – həcmi yüklərin əsas vəziyyətinə qayıtmasının nəticəsidir. Polietilen rabitələrini qırmaq və zədəli sərbəst radikalları artırmaq üçün kifayət qədər enerjili malik ultrabənövşəyi fotonlar yayılır.

**İsti elektron sürətlənməsi** – həcmi yüklər də daxil olmaqla bəzi dielektrik defektləri ətrafında yaranan çox yüksək lokal sahələrin nəticəsidir. İsti elektronlar polietilen rabitələrini qıra və sərbəst radikallar yarada bilər.

**Termo-mexaniki gərginlik** – nəmliyin təsirinə və 24 saatlıq temperatur perioduna məruz qalan əksər köhnə kabellərdə görünən parlaq halqanın yaranmasına səbəb olur və [30]-də təsvir edilmişdir. Kabel qızdıqca, suyun polietiləndə həllolma qabiliyyəti əhəmiyyətli dərəcədə artır və ətrafdakı torpaqdan daha sürətlə kabelə su yayılır. Kabelin temperaturu aşağı düşdükcə suyun həllolma qabiliyyəti azalır və su həddindən artıq doymadan qaçmaq üçün kabeldən kifayət qədər sürətlə kənara çıxma bilmir. Termodinamik qüvvələr tərəfindən idarə olunan həddindən artıq doymuş su maye vəziyyətini keçmək yolunu axtarır və nəticədə mikro boşluqlarda kondensasiya olunur.

**Boşluğun əmələ gəlməsi** – əsasən su triinqi prosesi və termo-mexaniki gərginlik nəticəsində yaranan UV fotonları və isti elektronlar tərəfindən yaranır.

**QB (qismi boşalmalar)** – qazın elektrik sahəsi ilə ionlaşması üçün kifayət qədər böyük olan boşluqlarda özünü göstərir. Qismi boşalmaların başlanğıc gərginliyi sönmə gərginliyindən böyükdür, çünki boşluqdakı qaz bir dəfə ionlaşır.

**İmtina (qəza)** – qismi boşalmaların meydana gəldiyi boşluğun divarınının aşındırması ilə nəticələnir. PE izolyasiyadakı boşluqlarda hər bir boşalmadan sonra aşınma nəticəsində boşluğun ölçüsü artır və beləliklə, bu boşluq üçün qismi boşalmanın başlanğıc və sönmə gərginliyi azalır. Bu öz-özünə sürətlənmə o deməkdir ki, polietiləndə istismar gərginliklərində baş verən hər hansı bir QB-nin kabelin sürətli imtinalarına səbəb ola biləcəyi ehtimalı var.

Şəkil 2-də qarşısını aldığı köhnəlmə və imtina prosesinin mərhələlərini göstərən oxlarla birlikdə yeddi cavanlaşma mexanizmi (dairəvi düzbucaqlılar kimi) göstərilmişdir. Yeddi cavanlaşma mexanizmi aşağıda təsvir edilmişdir.

**MİKRO-BOŞLUQ DOLDURMA** – Optik mikroskopla çəkilə bilən boşluqlara nəzərən mikro boşluqlar daha kiçik miqyasdadır. Bu mikro-boşluqlar adətən polietiləndə kimyəvi qüsurlardır və triinq olmayan PE ilə müqayisədə suya yaxınlığı olan oksigenin, çox vaxt karboksil qruplarının olması ilə xarakterizə olunur. Silanlar su triinqlərinin içərisində oksidləşmiş PE hissələrində su ilə reaksiya verir və onları əvəzləyir (QURUTMA-ya baxın). Keçirici ionlu suyun silikon dielektriklə əvəz edilməsi izolyasiyanın elektrik möhkəmliyini artırır.

**QURUTMA** – İki qurutma effekti mövcuddur. Birincisi, silanların su ilə kimyəvi reaksiyası, lakin iki qurutma təsirindən daha az əhəmiyyətli olanıdır. Kimyəvi qurutmadan daha vacib olanı suyun yenidən daxil olmasını azaltmaq qabiliyyətidir. Bu məqsədlə, polietilen üçün təkmilləşdirilmiş materiallar istifadə olunur ki, bu yaxşı suyu itələmə qabiliyyətini təmin edir.

**GƏRGİNLİYİN DƏRƏCƏLƏNMƏSİ** – Kabellər və kabel komponentləri daxilində elektrik sahəsini qiymətləndirmək üçün yüksək dielektrik sabiti olan təbəqələrin daxil edilməsi geniş şəkildə tətbiq edilir. Kabelin cavanlaşması boşluqların içərisində mikro miqyasda gərginlik dərəcələnməsini təmin edir.

**GƏRİLMƏNİN STABİLİZASİYASI** – Ketonların gərginlik stabilləşdirici təsirləri keto-enol-tautomerizmlə bağlıdır və [31]-də izah olunmuşdur. Tautomerlər isti elektronlar üçün sabit reseptor təmin edir. Tautomerin enol forması isti elektronların enerjisinin çox hissəsini udur və keçid formalarına və sərbəst protona çevrilir. Bu rezonans keçid formaları artıq mənfi yükü delokalizasiya edir. Nəzəriyyə ondan ibarətdir ki, isti elektron əvvəlcə tutulur, sonra termikləşir və nəhayət sərbəst buraxılır.

**UV STABİLİZASİYASI** – Cavanlaşdırma texnologiyasına 275-400 nm diapazonunda fotonları udan komponentlər daxildir. Bunlara ultrabənövşəyi absorberlər və ya qısaca UVA deyilir. Xüsusilə Tinuvin 1130 və ferrosen müvafiq udma təmin edir. Tinuvin 1130 və ferrosen hər biri PE-də yaxşı həll olur, lakin yavaş-yavaş diffuziya olunur. Onların faydalı UVA effektləri əksərən 4 onillikdən çox davam edir. UVA komponentinə əlavə olaraq, maneəli amin işıq stabilizatoru və ya HALS komponenti daxildir. HALS, sonrakı reaksiya polimerin deqradasiyasına gətirib çıxarmazdan əvvəl radikalları tutan sərbəst radikal təmizləyiciləridir. [32]-də göstəriləndiyi kimi, HALS özünü bərpa edir. Sərbəst radikalı söndürdükdən sonra HALS bərpa olunur və sonra başqa bir sərbəst radikalı söndürə bilər. Birlikdə UVA və HALS tək başına olduğundan daha çox UV dayanıqlığını təmin edir.

**ANTIOKSIDLƏŞMƏ** – Antioksidantlar demək olar ki, bütün müasir kabel birləşmələrinin tərkibinə daxildir. Əvvəlcə ekstruziya prosesi zamanı oksidləşmənin qarşısını almaq üçün istifadə edilsə də, [33]-də antioksidantların su triinqlərinin böyüməsini də yavaşlatdığı göstərilmişdir. [34]-

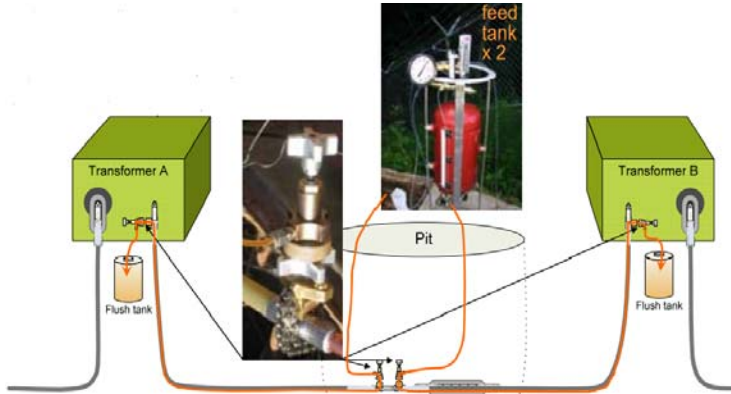
də antioksidantların mövcudluğu elektrik triinqlərinin başlanğıc gərginliyini artırır. Fenolik antioksidant olan kükürd tərkibli KV10 su triinqlərinin böyüməsini dörd dəfə ləngidir. Tərkibində fenolik antioksidant olan bu kükürd sinfinin elektrik triinqinin başlanğıc gərginliyini yalnız 0,2% konsentrasiya ilə 75%-ə qədər artırdığı göstərilmişdir. KV10 polietilendə çox yüksək həll qabiliyyətinə malikdir və yüksək molekulyar çəkisi 424,7 olduğuna görə çox aşağı diffuziya sürətinə malikdir.

**QB SÖNDÜRÜLMƏSİ** – Qismi boşalmaların qarşısının alınmasında bir neçə mexanizm var [35]. Əvvəlcə qeyd edildiyi kimi, gərginliyin dərəcələnməsi qismi boşalmanın başlanğıc və sönmə gərginliyini artırır. [36]-də təsvir olunduğu kimi, bəzən kosmik şüalardan çıxan sərbəst elektron QB-nin başlaması üçün zəruri olur. Buna görə də, ikinci mexanizm [30] və [31]-də qeyd olunmuş gərginlik stabilizatorunu (geranilaseton) və [37]-də göstəriləndiyi kimi ferroseni qəbul edən elektron tərəfindən təmin edilir.

Üçüncü və dördüncü mexanizmlər də ferrosen tərəfindən təmin edilir. Ferrosenin olması qismi boşalmaların başlanmasının qarşısını almaq üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu təsirlər başlanğıcda olan qismi boşalmaları tez bir zamanda söndürür və boşalma baş verdikdə normal olaraq dəymiş zərəri azaldır.

**İnjesiya prosesinin ümumi strukturu aşağıda göstərilmişdir.**

- Xətti şəbəkədən ayırmaq, sınaq etmək və torpaqlamaq (A-B)
- Bütün birləşmələri aşkar etmək, qazmaq
- Bütün sonluq və birləşdirici muftaları ləğv etmək
- Yeni birləşdiriciləri, inyeksiya adapterini və yeni muftaları yerləşdirmək
- İnjesiya adapter və birləşdiriciləri bərkitmək
- Orta təzyiqdə inyeksiya etmək



Şəkil 3. İnjesiya prosesinin ümumi strukturu

İnjesiya prosesində istifadə olunan adapter və birləşdiricilərin görünüşü şəkil 4-də göstərilmişdir. Bildirmək istərdik ki, Azərbaycanda yerləşən kabel şəbəkəsində istifadə olunacaq adapterin və birləşdiricilərin konstruktiv quruluşu növbəti məqaləmizdə əks olunacaqdır.



Şəkil 4. İnjesiya prosesində istifadə olunan adapter və birləşdirici

### Cavanlaşmanın Faydaları

• **Xərclərə qənaət.** Orta hesabla, cavanlaşma proqramı kabelin dəyişdirilməsinə nəzərən xərclərə 40% qənaət edir. Bununla yanaşı, eyni büdcə ilə daha çox kilometr uzunluqlu kabeli bərpa etməyə kömək edir.

• **Ekoloji Təsir.** Kabelin cavanlaşması proqramı ilə ətraf mühit çirkənlənməsi azaldılır. Yeni kabel istehsalı üçün heç bir resurs sərf olunmur. Quraşdırmaya heç bir yanacaq sərf edilmir.

• **Daha az fasilələr.** Cavanlaşma sürətli şəkildə həyata keçirə bildiyindən, işlədiciyə enerji qalacağı hallar daha az olur.

• **Aşağı imtina dərəcəsi.** Son 30 ildə 50 min kilometrədən çox kabel cavanlaşdırılıb və dünyanın beş qitəsində 300-dən çox kommunal xidmət kabel cavanlaşdırılmasından istifadə edib. Bu müddət ərzində inyeksiyadan sonrakı ümumi imtina dərəcəsi 3,5 faizdən azdır.

### 4. Nəticə

TPE izolyasiyalı kabellərin köhnəlməsinin və qısa zamanda sıradan çıxmasının başlıca səbəbləri olan su triinqlərin aradan qaldırılması və inkişafının ləngidilməsi məsələsi ədəbiyyatlarda müxtəlif metodlar tətbiq olunmaqla həll edilə biləcəyi vurğulanmışdır. Başqa ölkələrin praktikasındakı mövcud olsa da, ölkəmizdə istifadə olunmayan cavanlaşma texnologiyasının analizi bu məqalənin əsas mövzusu olmuşdur. Məqalədə bu texnologiyanın köhnəlməsinin qarşısı alma mexanizmləri qısa şəkildə qeyd olunmuşdur. Xüsusilə də, izolyasiyanın su triinqləri olan hissəsinə kabelin damarı vasitəsilə injeksiya olunan xüsusi tərkibli silikon mayenin bu qeyri-bircinliyin inkişafını ləngitdiyi qeyd olunmuşdur. İnjeksiya prosesinin mərhələləri və bu prosesdə istifadə olunan bəzi birləşdirici elementlər, onların təsviri prosesi daha aydın izah etmişdir. Son olaraq, cavanlaşma texnologiyasının kapital qoyuluşunun artan xeyir tendensiyası bu sistemin ölkəmizdə də inşa edilə biləcəyini istisna etmir. İnjeksiya prosesinin icra məsələləri, mövcud sistemə adaptasiya olunması və injeksiyanın həyata keçirilməsi ilə bağlı işlərin davam etdiyini qeyd etmək lazımdır və gələcək məqalələrdə aparılmış sahə sınaqlarının nəticələri barədə daha ətraflı məlumat veriləcəkdir.

### ƏDƏBİYYAT

1. Su C.Q. "Failure analysis of three 230kV XLPE cables," 2010 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), Sao Paulo, Brazil, 2010, pp. 22-25, doi: 10.1109/TDC-LA.2010.5762855.
2. Fothergill J.C., Montanari G.C., Stevens G.C., Laurent C., Teyssedre G., Dissado L.A., Nilsson U.H., and Platbrood G. "Electrical, microstructural, physical and chemical characterization of HV XLPE cable peelings for an electrical aging diagnostic data base," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 10, no. 3, pp. 514-527, Jun. 2003.
3. Green C.D., Vaughan A.S., Stevens G.C., Sutton S.J., Geussens T., and Fairhurst M.J. "On the temperature dependence of electrical and mechanical properties of recyclable cable insulation materials based upon polyethylene blends," presented at the Elect. Insul. Dielectric Phenomena, Oct. 19, 2011. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6232590>
4. Aras F., Alekperov V., Can N., and Kirkici H. "Aging of 154 kV underground power cable insulation under combined thermal and electrical stresses," IEEE Elect. Insul. Mag., vol. 23, no. 5, pp. 25-33, Sep. 2007.
5. Durman V., Váry M., Pačka J., Lelák J., Šály V. "Assessment of dielectric properties of cable insulation," presented at the Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng., May 19, 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7967226>
6. Gao W. and Tang Z. "Characteristic analysis of the insulation state of single-core XLPE Cables," Adv. Mater. Res., vols. 805-806, pp. 902-905, Sep. 2013. [6] C. Katz and W. Zenger, "Service aged 69 and 115 kV XLPE cables," IEEE Trans. Power Del., vol. 14, no. 3, pp. 685-689, Jul. 1999.
7. Li W., Li J., Wang X., Li S., Chen G., Zhao J., and Ouyang B. "Physicochemical origin of space charge dynamics for aged XLPE cable insulation," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Apr. 2014, vol. 21, no. 2, pp. 809-820
8. Steennis F., Boone W., and Monfoort A. "Water Treeing in Service Aged Cables, Experience and Evaluation Procedure," IEEE Trans. Power Del., vol. 5, no. 1, Jan 1990.
9. Chmura L., Cichecki P., Gulski E., Smit J. J., and De Vries F. "Life time estimation of serviced aged oil-paper insulated HV power cables based on the dielectric loss measurements (tan  $\delta$ )," in Proc. Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul., Jun. 2010, pp. 1-4.
10. Ghorbani H., Saltzer M., and Olsson C.O. "Observation of nonmonotonic dependence of leakage current with temperature during thermal cycling," in Proc. 34th Electr. Insul. Conf. (EIC), Jun. 2016, pp. 488-491.

11. Fynes-Clinton D. and Nyamupangedengu C. "Partial discharge characterization of cross-linked polyethylene medium voltage power cable termination defects at very low frequency (0.1 Hz) and power frequency test voltages," IEEE Elect. Insul. Mag., vol. 32, no. 4, pp. 15-23, Jul. 2016.
12. Boggs S. and Xu J. "Water Treeing-Filled versus Unfilled Cable Insulation", IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 17, No. 1, pp. 23-29, 2001.
13. Hampton N., Hartlei R., Lennartsson H., Harry O. and Ram R. "Long-life XLPE Insulated Power Cable", Proc. Jicable07 Conf., pp. 350-356, 2007.
14. Ross R. "Inception and Propagation Mechanisms of Water Treeing", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 12, pp. 660- 680, 1998.
15. Zhou K., Zhao W. and Tao X. "Toward understanding the relationship between insulation recovery and micro structure in water tree degraded XLPE cables," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20, no. 6, pp. 2135-2142, December 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6678862.
16. Zhou K., Huang M., Tao W., He M. and Yang M. "A possible water tree initiation mechanism for service-aged XLPE cables: Conversion of electrical tree to water tree," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 23, no. 3, pp. 1854-1861, June 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.005405.
17. Li J., Zhao X., Yin G., Li S., Zhao J., & Ouyang B. The effect of accelerated water tree ageing on the properties of XLPE cable insulation. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2011,18(5), 1562-1569. doi:10.1109/tdei.2011.603282
18. Morshuis P.H.F. "Degradation of Solid Dielectrics due to Internal Partial Discharges: Some thoughts on progress made and where to go now," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 12, No. 5, pp. 905- 914, 2005.
19. Orucov A.O., Rzayev R.H., Niftiyev S.N. Yüksək istismar xarakteristikalarına malik tikilmiş polietilen izolyasiyalı güc kabelləri. Bakı , ELM, 2013, 341 s.
20. Rosle N., Muhamad N.A., Rohani M.N. K.H. and Jamil M.K.M. "Partial Discharges Classification Methods in XLPE Cable: A Review," in IEEE Access, vol. 9, pp. 133258-133273, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3115519.
21. Gouda O.E., ElFarskoury A.A., Elsinnary A.R. and Farag A.A. Investigating the effect of cavity size within medium-voltage power cable on partial discharge behaviour. IET Gener. Transm. Distrib., 12: 1190-1197. 2018. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.1012>
22. Dissado L.A., "Understanding Electrical Trees in Solids: From Experiment to Theory," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 9, No. 4, pp. 483-497, 2002.
23. Shimizu N., Laurent C. "Electrical Tree Initiation," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 5, No. 5, pp. 651-659, 1998.
24. Minghui Bao et al. "The initiation phenomena of electrical treeing in XLPE cable insulation," 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application, Shanghai, 2012, pp. 431-434, doi: 10.1109/ICHVE.2012.6357142.
25. Liu M., Liu Y., Li Y., Zheng P. and Rui H. "Growth and partial discharge characteristics of electrical tree in XLPE under AC-DC composite voltage," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 24, no. 4, pp. 2282-2290, 2017, doi: 10.1109/TDEI.2017.006537.
26. Elayyan H.S.B. and Abderrazzaq M.H. "Electric Field Computation in Wet Cable Insulation Using Finite Element Approach" IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 12, pp. 1125- 1133, 2005.
27. Hvidsten S., Ildstad E., Sletbak J. and Faremo H. "Understanding Water Treeing Mechanisms in the Development of Diagnostic Test Methods", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 15, pp. 754- 759, 1998.
28. Bertini G.J. "New developments in solid dielectric life extension technology," Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis, IN, USA, 2004, pp. 527-531, doi: 10.1109/ELINSL.2004.1380678.
29. Həşimov A.M., Orucov A.O., Camalov M.Ə. "İstehsal prosesində kabellərin polimer izolyasiyasında yaranan defektlər" "Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: təhsil, elm, texnologiya" I Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans Azərbaycan Texniki Universiteti 18-20 dekabr 2019. s. 329-332
30. Bertini G.J. "Molecular thermodynamics of water in direct-buried power cables," in IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 22, no. 6, pp. 17-23, Nov. -Dec. 2006, doi: 10.1109/MEI.2006.253417.
31. Wartusch. "Increased voltage endurance of polyolefin insulating materials by means of voltage stabilizers," IEEE 1980.
32. Step et al. "Mechanism of Polymer Stabilization by Hindered-Amine Light Stabilizers (HALS). Model Investigations of the Interaction of Peroxy Radicals with HALS, Amines, and Amino Ethers", Macromolecules 1994, v. 27, pp. 2529-2539.
33. Matey & Labbe. "Exploring the Water Treeing Inhibition Effect of Antioxidants for XLPE Insulation", Jicable '07, 7th International Conf. on Insulated Power Cables, pp. 754-757.
34. Sekii et al. "Effects of Antioxidants on Electrical Tree Generation in XLPE", 2001 IEEE 7th Int'l Conf. on Solid Dielectrics, June 25-29, pp 460-464.
35. Bertini G.J. and Chy H. "Rejuvenation Addresses Partial Discharge in Power Cables," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 28, no. 2, pp. 688-696, April 2021, doi: 10.1109/TDEI.2020.009286.
36. Boggs. "Diagnostic Techniques for Medium and High Voltage Cable", 2003 Spring ICC, Subcommittee A.

37. Gubin et al. "Redox Properties of Cyclopentadienylmetal Compounds Ferrocene, Ruthenocene, Osmocene", J. Organometallic Chem., v. 30 (1971), pp 243-255.

## İSTİSMARDAKI KABELLƏRDƏ ZƏDƏLƏRİN ARADAN QALDIRILMASININ MÜASİR ÜSULLARI

M.Ə.Camalov

**Xülasə.** TPE izolyasiyalı güc kabelləri orta və yüksək gərginlik elektrik veriliş xətlərində əvəzəlməz rol oynayır. Bununla yanaşı həmin kabellərin resurs müddətlərindən maksimum istifadə olunması istehlakçılar qarşısında duran ən böyük məsələlərdəndir. Lakin izolyasiya sistemində yaranan su və elektrik triinqləri, qismi boşalmalar kabellərin tez zamanda köhnəlməsinə gətirib çıxarır. Məqalədə izolyasiya sisteminə təsir göstərən bu faktorların aradan qaldırılması üçün yeni bir üsul təklif olunmuşdur. Bu üsulun mahiyyəti kabel izolyasiyasında yaranmış qeyri-bircinsliklərin onun daxilinə injeksiya edilmiş xüsusi tərkibli maye ilə bərpa olunmasıdır. Bu işə texnologiyanın adına uyğun olaraq kabelin cavanlaşmasına və istismar müddətinin 20-30 il artmasına səbəb olur. Həmçinin, məqalədə güc kabellərin real vəziyyətini izah etmək üçün Azərbaycan kabel şəbəkəsinin qısa təhlili də aparılmışdır.

**Açar sözlər:** TPE, su triinqləri, qismi boşalmalar, cavanlaşdırma.

*Accepted: 12.03.2024*

## ENERJİ SİSTEMİNİN PAYLAYICI ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ AVTOMATİK NƏZARƏTİN VƏ İDARƏETMƏ ÇEVİKLİYİNİN ARTIRILMASI

Bəhrüz Məmməd oğlu Sadiqlı<sup>1</sup>, İlahə Mirzəağa qızı Abdullazadə<sup>1</sup>,  
Günəl Qəşəm qızı İbrahimli<sup>1</sup>, Araz Bəxtiyar oğlu Məmmədzadə<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

<sup>2</sup>“Azərişiq” ASC, Tədris Mərkəzi, Bakı, Azərbaycan

### ENHANCEMENT OF AUTOMATIC CONTROL AND MANAGEMENT FLEXIBILITY IN DISTRIBUTION POWER NETWORKS OF THE ENERGY SYSTEM

Bahruz Mammad Sadiqli<sup>1</sup>, İlahə Mirzeagha Abdullazadeh<sup>1</sup>,  
Gunel Gasham Ibrahimli<sup>1</sup>, Araz Bakhtiyar Mammadzadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: behruz.sadiqli@student.aztu.edu.az,

ilahe.vahabzade@mail.ru, g.huseynli@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-5217-6700>, <https://orcid.org/0009-0009-8779-7940>,

<https://orcid.org/0009-0004-5451-2383>

<sup>2</sup>“Azerishiq” LTD, Education Centre, Baku, Azerbaijan: araz.memmedzade@azerishiq.az

<https://orcid.org/0009-0003-1969-5770>

**Abstract.** The accurate report of electricity losses in power systems is important and of great importance to increase the automatic control and management flexibility of power systems in distribution power grids. This issue is relevant in our country, as well as in the recent years the electricity losses reduction is in the wide spotlight. The reactive powers and their compensation which are the reasons of electric power losses with the construction of an innovative consumption system in the power distribution networks of the energy system have been shown in the article. By advancement of the power factor and its improvement, the specified reports on the reduction of electricity losses have been conducted. These researches lead to increasing the efficiency of the accounting system of "Azerishiq" OJSC, automatic control of its distribution networks, intellectual networks and management flexibility. In recent years, such measures implemented in the system of "Azerishiq" OJSC have resulted in energy saving by reducing the losses of electricity in overhead power transmission lines.

**Keywords:** distribution power network, reactive power compensation, automatic control, power factor, management flexibility.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Azərbaycan Respublikası ərazisində paylayıcı sistem operatoru kimi idarəedicə fəaliyyət göstərən “Azərişiq” ASC-nin paylayıcı elektrik şəbəkələrində son illərdə həyata keçirilən yenidənqurma işlərinə, rekonstruksiyalara və avadanlıqların modernləşdirilmələrinə, yatırılan investisiyalara baxmayaraq, tərtib olunmuş dəqiq güclər balansı göstərir ki, yenə də, əhəmiyyət kəsb edən enerji itkiləri mövcuddur. Bu səbəbdən də, “Azərişiq” ASC-nin paylayıcı elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisinin uçot sisteminin innovativ həllərlə qurulmasında itkilərin lazımi miqdarda azalması və elektrik enerjisinin qənaət olunması problemlərinin həlli zəruriləşir və, öz növbəsində, paylayıcı elektrik şəbəkələrinin ahəngdar fəaliyyətində istehlak uçotunun avtomatlaşdırılmış nəzarəti və idarəetmə çevikliyinin artırılması aktuallaşır. Elektrik enerjisi itkilərinin dəqiqləşdirilmiş hesabatlar nəticəsində məhz zəruri miqdarda azalması isə, kompensasiya qurğularının da dəqiq güclərinin və saylarının hesablanması ilə, qənaətinə imkan verir.

**Tədqiqat hissəsi.** Məlumdur ki, əhali və sənaye müəssisələrinin elektrik təchizatı sistemlərini əsasən aktiv güc  $P$  və reaktiv güc  $Q$  xarakterizə edir və təchizat sistemlərinə digər ölçü cihazları ilə yanaşı, elektrik sayğaclarının göstəricilərinə görə də, nəzarət edilir. Belə bir funksiyanın icrasında mühüm və vacib fəaliyyət göstərən sayğaclar, elektrik enerjisinin ölçmələrindən başqa, eləcə də, balans nəzarətini həyata keçirir. Təbiətdə enerjinin itməməsi qanununa əsasən, güclər balansı bütün Azərbaycan elektroenergetika sistemindən başlayaraq hər birimizin mənzilinə qədər qüvvədədir. İstismar şəraitində yükün aktiv və ya reaktiv gücə əsasən vaxtdan asılılığı yük qrafiklərində təsvir olunur [1, s. 9 - 12].

Elektrik şəbəkəsində istehlakın idarəetmə çevikliyinin artırılması və avtomatik nəzarət üsulları hal - hazırda, ölkəmizdə “SMS”, “SmartKart”, “Landis E350”, “Landis E470”, “MP106”, “MP106E”,



“MP306” tipli və NFS funksiyalı sayğacların istifadəsilə həyata keçirilir [2, s. 5]. Belə sayğacların nəzarəti ilə Q reaktiv gücün kompensasiyasından elektrik enerjisinin itkilərinin azalması yerinə yetirilir [3, s. 19 - 23]. Reaktiv gücün kompensasiya edilməsinin təbii və süni üsulları var. Təbii üsul müəssisələrdə keçirilən xüsusi tədbirləri, elektrik enerjisinə qənaəti və s. nəzərdə tutur. Əsasən isə, süni kompensasiyadan və bu məqsədlə, sinxron kompensator və ya tənzimlənən kondensator batareyalarından (Şəkil 1) istifadə edilir [4, slayd 5 - 12].



Şəkil 1.



Şəkil 2.



Şəkil 3.

Kondensator batareyaları əsas etibarını ilə 1 kV gərginliyə qədər şəbəkələrdə tətbiq edilir. Yüksək gərginlikdə isə çox hallarda sinxron kompensatorlardan istifadə edilir. Müasir kompensasiya modullarında belə tənzimlənmə avtomatik də yerinə yetirilə bilər. Belə ki, sistemdən tələb olunan induktiv xarakterli reaktiv gücün miqdarı artdıqda avtomatik tənzimləyici (Şəkil 2) bunu hiss edir və  $\cos\varphi$  güc əmsalının lazımı tələbini ödəmək üçün kondensatorları paralel dövrəyə qoşur. Əgər induktiv xarakterli reaktiv gücə olan tələbat azalır, bu halda avtomatik olaraq kondensatorlar dövrədən açılır. Ən geniş yayılan reaktiv gücün kompensasiya qurğuları (Şəkil 3) son vaxtlar elektrik təchizatı müəssisələrində avtomatik nəzarət rejimində istismar edilirlər [4, slayd 9-12].

Elektrik təchizatı sistemində transformator, xətt və s. kimi, elektrik yükləri qəbuledicilərinin istismarında ən ağır istilik təsirinə, keçiricinin qızmasının maksimal temperaturasına görə dəyişən yükə ekvivalent olan uzunmüddətli hesabi yüklər təyin edilməlidir [1, s. 15-16]. Keçiricinin qızma effektinə uyğun olaraq, hesabi yüklər iki yerə bölünürlər:

1. Maksimal qızma temperaturasına görə hesabi yüklər.
2. İzolyasiyanın istilik yeyilməsinə görə hesabi yüklər.

Aktiv gücə görə hesabi yük aşağıda göstərilən tənlik ilə hesablanır:

$$P_h = \sqrt{3} \cdot U_{nom} \cdot I_{hes} \cdot \cos\varphi_h, \quad (1)$$

burada  $U_{nom}$  – şəbəkənin nominal gərginliyidir;

$I_{hes}$  – hesabi cərəyandır;

$\cos\varphi_h$  – hesabi güc əmsalındır.

Hesabi yük elektrik enerjisi qəbuledicilərinin yüksək yüklü işinə müvafiq olan yüküdür. Dəyişən yük qrafiki üçün hesabi yük müxtəlif müddətli (0,5; 0,75; 1; 1,5; 2 və 2,5 saat) maksimal yükə bərabər olan yüküdür. Az dəyişən (təxminən sabit olan) yük qrafiki üçün hesabi yük isə, orta yükə bərabər olan yüküdür. Qızmaya görə buraxıla bilən hesabi yük qısa olaraq hesabi yük adlanır.

Hesabi yüklərin hesablanması üçün aşağıda göstərilən metodlar istifadə edilir [5, s. 30-39]:

1. Sorğu əmsalı və qoyuluş gücünə görə.
2. Forma əmsalına və orta gücə görə.
3. Statistik hesablama metodu.
4. Nizamlanmış diaqramlar metodu.
5. Köməkçi metodlar.

Ən çox istifadə olunan sorğu əmsalı və qoyuluş gücünə görə hesabi yükləri təyin etmək üçün işlədicilər qrupunun qoyuluş gücünü  $P_{qoy}$  və tələblərə əsasən qrupun güc və sorğu əmsallarını ( $\cos\varphi, K_s$ ) bilmək lazımdır. Bu metodla eyni iş rejimli işlədicilər qrupunun hesabi yükləri aşağıda göstərilən kimi təyin edilir:

$$P_{hes} = K_s \cdot P_{qoy} ; \quad (2)$$

$$Q_{hes} = P_{hes} \cdot tg\varphi ; \quad (3)$$

$$S_{hes} = \sqrt{P_{hes}^2 + Q_{hes}^2} , \quad (4)$$

burada  $tg\varphi$  – reaktiv güc əmsalıdır, qiyməti  $\cos\varphi$  güc əmsalına əsasən təyin edilir;

$P_{qoy}$  – işlədicilər qrupunun cəmi aktiv qoyuluş gücüdür [1].

Enerji sisteminin paylayıcı elektrik şəbəkəsində istehlak uçotunun avtomatlaşdırılmış nəzarətinin və idarəetmə çevikliyinin artırılması üçün elektrik enerjisi itkilərinin azalması və öz növbəsində, elektrik enerjisinin qənaət olunması məqsədi ilə  $Q$  reaktiv induktiv gücünün kompensasiyasının həllini nəzərdən keçirək [6, s. 92-95, 118-121]. Aşağıda göstərilən 3 müxtəlif müəssisələrin verilənlərinə əsasən:

$$\begin{aligned} P_{qoy.1} = 1500 \text{ kVt}; \quad K_{s.1} = 0,6; \quad \cos\varphi_1 = 0,83; \quad \varphi_1 = 33,9^\circ; \quad tg\varphi_1 = 0,672; \\ P_{qoy.2} = 1900 \text{ kVt}; \quad K_{s.2} = 0,7; \quad \cos\varphi_2 = 0,84; \quad \varphi_2 = 32,87^\circ; \quad tg\varphi_2 = 0,646; \\ P_{qoy.3} = 2300 \text{ kVt}; \quad K_{s.3} = 0,8; \quad \cos\varphi_3 = 0,91; \quad \varphi_3 = 24,5^\circ; \quad tg\varphi_3 = 0,456; \end{aligned}$$

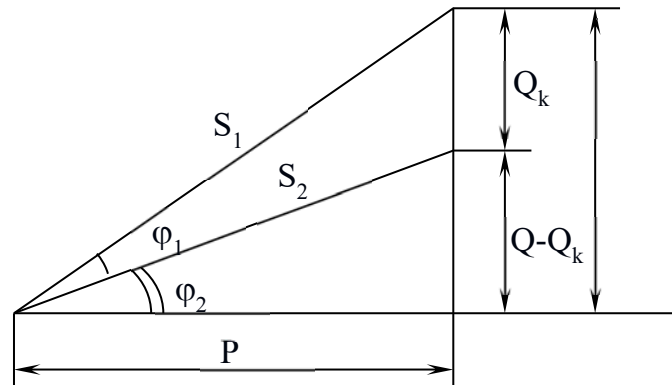
Müəssisələrə tələb olunan aktiv  $P_h$ , reaktiv  $Q_h$  və tam  $S_h$  güclərini (2 ÷ 4) düsturlarından istifadə etməklə hesablayıb, nəticələrini Cədvəl 1-də qeyd edirik:

Cədvəl 1

Müəssisələrə tələb olunan güclərin hesablanması

Müəssisə №-si	$P_{qoy}$	$K_s$	$tg\varphi$	$P_h$	$Q_h$	$S_h$
Vahidlər	kVt	-	-	kVt	kVAr	kVA
1	1500	0,6	0,672	900	604,8	1084,34
2	1900	0,7	0,646	1330	859,18	1583,38
3	2300	0,8	0,456	1840	839,04	2022,27
<b>Cəmi hesabi yüklər</b>	5700	-	-	4070	2303,02	4689,99

Kompensasiya üsullarından istifadə edərək hər üç müəssisədə  $Q$  reaktiv induktiv gücün ilkin qiymətini  $Q_k$  qədər azaldanda şəkil 4-dən görüldüyü kimi  $\varphi$  bucağı da ( $\varphi_1 + \varphi_2$ ) ilkin qiymətindən  $\varphi_2$  qiymətinə düşür, güc əmsalı  $\cos\varphi$  isə əksinə artır [7].



Şəkil 4.

Hər üç müəssisədə güc əmsalı  $\cos\varphi$  qiymətini 0,05 artırmaq üçün aşağıda göstərilən müəssisələrin yeni verilənlərinə əsasən:

$$\begin{aligned}
 P_{qoy.1} &= 1500 \text{ kVt}; & K_{s.1} &= 0,6; & \cos\varphi_1 &= 0,88; & \varphi_1 &= 28,36^\circ; & tg\varphi_1 &= 0,54; \\
 P_{qoy.2} &= 1900 \text{ kVt}; & K_{s.2} &= 0,7; & \cos\varphi_2 &= 0,89; & \varphi_2 &= 27,13^\circ; & tg\varphi_2 &= 0,512; \\
 P_{qoy.3} &= 2300 \text{ kVt}; & K_{s.3} &= 0,8; & \cos\varphi_3 &= 0,96; & \varphi_3 &= 16,26^\circ; & tg\varphi_3 &= 0,292;
 \end{aligned}$$

(2 ÷ 4) düsturlarından istifadə etməklə sorğu əmsalı və qoyuluş gücünə görə metodla müəssisələrə tələb olunan aktiv  $P_h$ , reaktiv  $Q_h$  və tam  $S_h$  gücləri, eləcə də, kompensasiya olunan  $Q_k$  reaktiv və  $S_k$  tam gücləri hesablayıb, nəticələrini Cədvəl 2-də qeyd edək:

Cədvəl 2

Müəssisələrin güclərinin kompensasiyadan sonra hesablanması

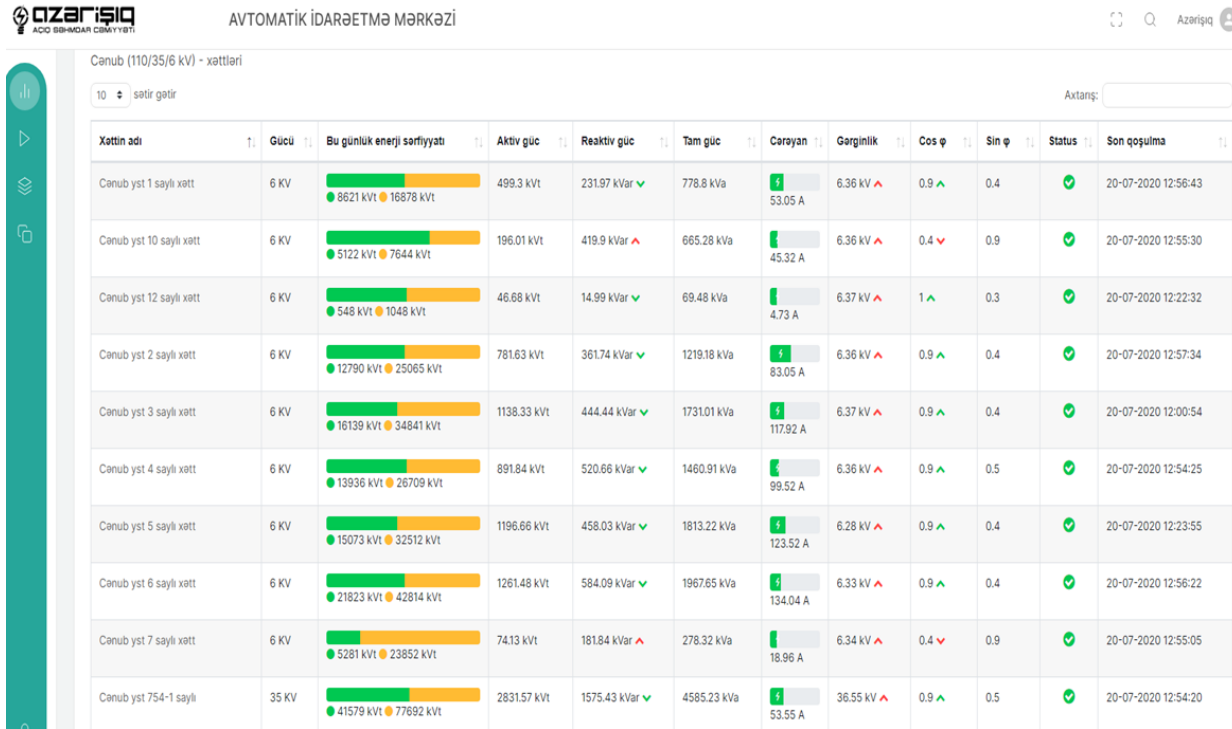
Müəssisə №-si	$P_{qoy}$	$K_s$	$tg\varphi$	$P_h$	$Q_h$	$Q_k$	$S_h$	$S_k$
Vahidlər	kVt	-	-	kVt	kVAr	kVAr	kVA	kVA
1	1500	0,6	0,54	900	486	118,8	1022,84	61,5
2	1900	0,7	0,512	1330	680,96	178,22	1494,19	89,19
3	2300	0,8	0,292	1840	537,28	301,76	1916,84	105,43
<b>Cəmi hesabi yüklər</b>	5700	-	-	4070	1704,24	598,78	4433,87	256,12

Hesabatlardan göründüyü kimi, nəzərdən keçirilən müəssisələrin  $\cos\varphi$  güc əmsalını 0,05 qədər artırmaq üçün  $Q_h$  hesabi reaktiv induktiv güclərinin azaldılmasının dəqiqləşdirilməsi aparılmışdır, müəssisələrdə müvafiq olaraq 118,8 kVAr, 178,22 kVAr və 301,76 kVAr hesabi reaktiv tutum güclərinin istifadəsi kifayət etmişdir və təchizat sisteminin elektrik sxeminə tələb olunan gücdə kondensator batareyaları və ya sinxron kompensatorlar daxil edilməklə, onların da artıq sərfinə imkan verilməmişdir.

Belə dəqiqləşdirilmiş metodikadan istifadə etməklə reaktiv induktiv güclərin zəruri kompensasiyanın həyata keçirmək və elektrik dövrəsinə lazımi sayda tələb olunan kondensator batareyalarının və ya sinxron kompensatorların qoşulması ilə onların da qənaəti mümkündür.

Reaktiv gücün kompensasiyası enerji sisteminin paylayıcı elektrik şəbəkəsində bir sıra məsələləri həll edir. Belə ki, texniki itkiləri azaldır, elektrik enerjisinin keyfiyyətini yüksəldir, düyün nöqtələrində gərginliyin səviyyəsini bərpa edir, elektrik enerjisini qənaət edir, şəbəkənin güc ötürmə qabiliyyətini yüksəldir və öz növbəsində, dayanıqlığını artırır [3, s. 60-66]. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, müasir paylayıcı elektrik şəbəkələrində reaktiv induktiv gücün tənzimlənən kompensasiyası avtomatlaşdırılmış nəzarət ilə yerinə yetirilir və bu da, elektrik enerjisinin idarəetmə çevikliyinin artırılmasına səbəb olur.

Son illərdə “Azərişiq” ASC sistemində Avtomatik idarəetmə mərkəzi tərəfindən istehlakın nəzarətinin avtomatlaşdırılmasının həyata keçirilməsindən elektrik təchizatı sistemində itkilərin azaldılması və bununla da, alınan qənaət müşahidə olunmaqdadır. Misal üçün Şirvan rayonundan çıxan “Cənub” hava elektrik verilişi xətlərinin göstəricilərinə və onları ölçən “Smart” tipli sayğacların parametrlərinə istinad etmək olar (Şəkil 5).



Xəttin adı	Gücü	Bu günlük enerji sərfliyyəti	Aktiv güc	Reaktiv güc	Tam güc	Carayan	Gərginlik	Cos φ	Sin φ	Status	Son qoşulma
Cənub yst 1 sayılı xətt	6 kV	8621 kVt ● 16878 kVt	499.3 kVt	231.97 kVAr ▼	778.8 kVa	53.05 A	6.36 kV ▲	0.9 ▲	0.4	✓	20-07-2020 12:56:43
Cənub yst 10 sayılı xətt	6 kV	5122 kVt ● 7644 kVt	196.01 kVt	419.9 kVAr ▲	665.28 kVa	45.32 A	6.36 kV ▲	0.4 ▼	0.9	✓	20-07-2020 12:55:30
Cənub yst 12 sayılı xətt	6 kV	548 kVt ● 1048 kVt	46.68 kVt	14.99 kVAr ▼	69.48 kVa	4.73 A	6.37 kV ▲	1 ▲	0.3	✓	20-07-2020 12:22:32
Cənub yst 2 sayılı xətt	6 kV	12790 kVt ● 25065 kVt	781.63 kVt	361.74 kVAr ▼	1219.18 kVa	83.05 A	6.36 kV ▲	0.9 ▲	0.4	✓	20-07-2020 12:57:34
Cənub yst 3 sayılı xətt	6 kV	16139 kVt ● 34841 kVt	1138.33 kVt	444.44 kVAr ▼	1731.01 kVa	117.92 A	6.37 kV ▲	0.9 ▲	0.4	✓	20-07-2020 12:00:54
Cənub yst 4 sayılı xətt	6 kV	13936 kVt ● 26709 kVt	891.84 kVt	520.66 kVAr ▼	1460.91 kVa	99.52 A	6.36 kV ▲	0.9 ▲	0.5	✓	20-07-2020 12:54:25
Cənub yst 5 sayılı xətt	6 kV	15073 kVt ● 32512 kVt	1196.66 kVt	458.03 kVAr ▼	1813.22 kVa	123.52 A	6.28 kV ▲	0.9 ▲	0.4	✓	20-07-2020 12:23:55
Cənub yst 6 sayılı xətt	6 kV	21823 kVt ● 42814 kVt	1261.48 kVt	584.09 kVAr ▼	1967.65 kVa	134.04 A	6.33 kV ▲	0.9 ▲	0.4	✓	20-07-2020 12:56:22
Cənub yst 7 sayılı xətt	6 kV	5281 kVt ● 23852 kVt	74.13 kVt	181.84 kVAr ▲	278.32 kVa	18.96 A	6.34 kV ▲	0.4 ▼	0.9	✓	20-07-2020 12:55:05
Cənub yst 754-1 sayılı	35 kV	41579 kVt ● 77692 kVt	2831.57 kVt	1575.43 kVAr ▼	4585.23 kVa	53.55 A	36.55 kV ▲	0.9 ▲	0.5	✓	20-07-2020 12:54:20

Şəkil 5.

**Nəticə.** Elektroenergetika sisteminin paylayıcı elektrik şəbəkəsində reaktiv gücün lokal kompensasiyasının hesabı verilmişdir. Güc əmsali  $\cos\phi$  qiymətinin artırılması üçün reaktiv gücün zəruri miqdarda kompensasiya olunması hesablanmışdır. Bu metodikadan istifadə etməklə reaktiv induktiv güclərin tələb olunan kompensasiyasının yerinə yetirilməsi və kondensator batareyalarının və ya sinxron kompensatorların kifayət edən sayda qoşulması dəqiqləşdirilərək, onlara da qənaət edilmişdir. Paylayıcı elektrik şəbəkəsində mövcud olan enerji itkilərinin azalması üçün elektrik enerjisinə avtomatlaşdırılmış nəzarət və idarəetmə çevikliyinə artırılmasının davam edilməsi təklif olunmuşdur.

## ƏDƏBİYYAT

- Məmmədov E. M. Sənaye elektrik təchizatı. Bakı, dərs vəsaiti, “AzTU”, 2015, 72 s.
- Məmmədov A. B. Elektron - rəqəmsal elektrik enerji sayğacları. Bakı, Metodiki vəsait, “Bakı Elektrikşəbəkə” ASC”, 2010, 68 s.
- Paşayev Ə. M., Hüseynov M. Ə., Atalıyev N. Ə. Elektrik enerjisinin uçotunun qurulması və istehlakına nəzarət. Bakı, Dərs vəsaiti, “Bakı Elektrikşəbəkə” ASC”, 2014, 130 s.
- Calallı Ə. X. Texniki itkilər və reaktiv gücün kompensasiyası. Bakı, Metodiki vəsait, “Azərişiq” ASC”, 2016, 23 slayd.
- Тимофеев Д. В. Электроснабжение. Расчет нагрузок. Москва, учебное пособие, “Энергия”, 2020, 358 с.
- Seyidov F. İ. Elektrik dövrələri nəzəriyyəsinin əsasları. Bakı, dərs vəsaiti, “Çaşıoğlu”, 2003, 388 s.
- Sadiqli B.M., Əliyev Ş.R., Hüseynova G.O., Rəsulzadə A.İ. İnnovativ istehlak sistemində avtomatik nəzarət və idarəetmə çevikliyinə artırılması üsulları. Bakı, AzTU-nun tələbə və gənc mütəxəssislərinin konfransı, “AzTU-nun nəşriyyatı”, 2023, may, s.125-132.

## ENERJİ SİSTEMİNİN PAYLAYICI ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ AVTOMATİK NƏZARƏTİN VƏ İDARƏETMƏ ÇEVİKLİYİNİN ARTIRILMASI

B.M.Sadiqli, İ.M.Abdullazadə, G.Q.İbrahimli, A.B.Məmmədzadə

**Xülasə.** Enerji sistemlərinin paylayıcı elektrik şəbəkələrində avtomatik nəzarətinin və idarəetmə çevikliyinin artırılması üçün elektrik enerjisi itkilərinin dəqiqləşdirilmiş hesabı vacibdir və böyük əhəmiyyət kəsb edir. Ölkəmizdə də, bu məsələ aktualdır və son illər elektrik enerjisi itkilərinin azaldılmasına geniş diqqət yetirilir. Məqalədə enerji sisteminin paylayıcı elektrik şəbəkələrində innovativ istehlak sisteminin qurulması ilə elektrik enerjisi itkilərinin səbəblərindən olan reaktiv güclər və onların zəruri miqdarda kompensasiyasının hesabı göstərilmişdir. Güc əmsalının yüksəldilməsilə onun yaxşılaşdırılmasının və bununla da, elektrik enerjisi itkilərinin azalmasının dəqiqləşdirilmiş hesabatları keçirilmişdir. Bu tədqiqatlar “Azərişiq” ASC-nin uçot sisteminin səmərəliliyinin, onun paylayıcı şəbəkələrində intellektual şəbəkələrinin avtomatik nəzarətinin və idarəetmə çevikliyinin artırılmasına gətirib çıxarır. Son illər “Azərişiq” ASC sistemində həyata keçirilən belə tədbirlər nəticəsində hava elektrik verilişi xətlərində elektrik enerjisinin itkilərinin azaldılması ilə enerji qənaəti müşahidə olunmaqdadır.

**Açar sözlər:** paylayıcı elektrik şəbəkəsi, reaktiv gücün kompensasiyası, güc əmsalı, idarəetmə çevikliyi.

Accepted: 16.05.2024

## TURİZM LOGİSTİKASI VƏ ONUN MƏHSULU OLAN NƏQLİYYAT TƏŞKİLEDİCİSİNİN ARAŞDIRILMASI

Heybətulla Mabud oğlu Əhmədov, Qəzənfər Nəsrulla oğlu Axundov  
Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

### TOURISM LOGISTICS AND TRANSPORTATION OF ITS PRODUCTS INVESTIGATION OF THE ORGANIZER

Heybatulla Mabud Ahmedov, Gazanfar Nesrulla Akhundov

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: heybetahmed@aztu.edu.az, qezenfer.axundov@aztu.edu.az  
<https://orcid.org/0009-0001-2798-6477>

**Abstract.** In the article, taking into account that the provision of transport is one of the main elements of the tourism potential and also creates an opportunity for the economic development of the regions, it is possible to determine the demand for transport in tourism and also to increase the competitiveness of tourism by deeply investigating this activity of the tourism product as a transport organizer in the mentioned directions. The article also deeply examines the possibilities of magnetoplanes as a productive and efficient means of passenger transport, taking into account that they are considered as fast as airplanes, as reliable as railway transport, as convenient as cars, and that they have already won the favor of passengers and tourists in a number of developed countries. the plan and prospects of its application as a tourist vehicle are mentioned.

**Keywords:** *tourism potential, tourism transport provision, tourism logistics, tourist trips, competitiveness of tourism.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Giriş.** Turizm logistikasının nəqliyyat təşkiledicisi turizm sənayesi barədə ümumi təəssürat yaratmaqda mühüm rol oynayır, turizmin yeni görüntülərinin yaradılmasına kömək edir, turist səyahətləri üzrə yeni istiqamətlər və marşrutlar müəyyən etməyə imkanlar açır və ümumiyyətlə turizmin inkişafına təkan verir. Nəqliyyat təminatı turist-səyahət potensialının əsas elementlərindən biri olduğunu, regionların iqtisadi inkişafına da imkan yaratdığını nəzərə alaraq, nəqliyyat təminatının tədqiqatı üsullarından istifadə etməklə, turizmdə nəqliyyat daşınmalarına olan tələbatı müəyyən etmək və beləliklə də turizmin rəqabətə davamlılığını artırmaq mümkündür.

Turizm logistikasının müasir nəqliyyat təminatının inkişafı turistlərin rahat səyahətlərə cəlb edilməsinin, əhalinin nəqliyyat xidmətlərinə olan ehtiyaclarının ödənilməsinin, turistlərə və təbiətə aid resursların qorunmasının və ümumilikdə ərazinin davamlı inkişaf etdirməsinin başlıca tələblərindən biridir.

**Məsələnin qoyuluşu.** Qeyd edilən məsələnin müsbət həllinə nail olmaq üçün nəzəri təhlil əsasında turizmin nəqliyyat təminatının xüsusiyyətlərini ictimai-iqtisadi cəhətdən qiymətləndirməklə, bu sahədəki çatışmazlıqları araşdıraraq beynəlxalq aləmdə mövcud olan müasir müsbət ənənələri ölkəmizin sosial-iqtisadi imkanları çərçivəsində tətbiq edilməsi başlıca vasitələrdən biridir [1].

Müasir *turist səyahətlərini* genişləndirməyə və turizm məkanları üzrə nəqliyyat kommunikasiyalarını təşkil etməyə imkan verən təkmilləşdirilmiş logistik nəqliyyat təminatı olmadan, turizm logistikasının inkişafı barədə hər-hansı bir fikir söyləmək çətindir.

*Turizm və səyahətlər* – insanın həyat fəaliyyətini onun başqa yerə, regiona və ya ölkəyə müvəqqəti səyahət etməklə adi yaşayış sferalarından fərqləndirərək təsvir edən, iki bağlı bölünməz anlayışlardır.

*Turist* - səyahət və ya yürüşdə qrup və ya fərdi şəkildə iştirak edən şəxs adlanır. BMT təyinatına görə, turist – bir gecədən çox və bir ildən az müddətə müəyyən yerə səyahət edən şəxsə deyilir.

*Səyahət* – hər hansı bir ərazidə və müəyyən zaman fasiləsində insanın yerdəyişməsidir, səyahəti həyata keçirən insan isə istifadə etdiyi hərəkət vasitəsindən, istiqamətindən və məqsədindən asılı olmayaraq səyahətçi adlanır.

Beləliklə də, *turizm* – turistlərlə yerinə yetirilən səyahətlərin xüsusi kütləvi bir növü olmaqla, turizmin aydın müəyyən edilmiş hədəflərinə malik olan, həmçinin belə səyahətləri təşkil və müşayiət edən bir fəaliyyət sahəsidir [2, s. 821-825].

*Turizm fəaliyyəti*, turizmin və ona yanaşı olan bir sıra sahələrin, o cümlədən nəqliyyat sahəsinin müxtəlif müəssisələri tərəfindən həyata keçirilir. Turizm, səyahətlərdən fərqli olaraq iqtisadiyyatın və siyasətin təsir gücünü sınamaq, həmçinin hadisələrin daxili təbiətinin dualizmini hiss etmək imkanına malikdir.

*Milli turizm məhsulu* səyahətlər zamanı turistlərin ehtiyaclarının təmin olunması üçün uyğun gələn hər bir şeydən formalaşa bilər. Başqa sözlə desək, bu, səyahət planlaşdırılan ərazinin mədəni-tarixi mirasını və təbii-iqlim şəraitini, həmçinin turizm xidmətləri, məhsulları və təminatı üzrə sahə müəssisələrini (məsələn, nəqliyyat kompaniyalarını) təklif edən ümumi turizm resursları kompleksinin imkanları sayəsində yarana bilər [3, s. 421-428].

**Məsələnin həlli.** Məlumdur ki, *turizm məhsulunu* istifadə edən turist, başqa yerdən, regiondan və ya dövlətdən gətirilmiş vasitələrlə hesablaşmalar aparır və bununla da maliyyə axınları formalaşdırılaraq yeni müəssisələr, iş yerləri, həmçinin vergi ödəmə bazasının yaranması təmin olunur. Ona görə də, turizm, nəqliyyat və başqa bunlarla yanaşı sahələrin gəlirliliyi, turizm resurslarının idarə edilməsinin nə qədər keyfiyyətlə aparılmasından asılı olur [4].

*Turist xidmətləri* – səyahətin gedişində turistin ehtiyaclarını təmin edən müxtəlif nəqliyyat növləri ilə daşınmaların, yerləşdirilmələrin, qidalanmanın və ekskursiya xidmətləri ilə bağlı vasitələrin elementləri, həmçinin ümumilikdə turizm logistikasının elementlər kompleksidir. Qeyd edilən xidmətlərlə mallar arasındakı fərq onunla əlaqədardır ki, bu xidmətlər yalnız istehlak yerində yaranır. Maddi mallar isə qabaqcadan yaradılır və sonra istehlakçıya çatdırıldığı yerdə istifadə olunur. Ancaq xidmət, onun özünün yaradılması üçün lazım gələn personala təlim keçmə və avadanlığın hazırlığı kimi xidmətlərin əvvəlcədən yaradılmasını da tələb edir. Turist xidmətini vizual görünməyən mal da saymaq olar, amma belə xidmətin gözlənilməsi prosesini malın istehlakçıya çatdırılma zamanı ilə müqayisə etmək daha doğru olar. Həmçinin, bu xidmətlərin əksər hissəsi maddi predmetlərdən istifadə edilmə tələbini də irəli sürür. Məsələn, hər hansı bir nəqliyyat daşıma xidmətinin təmin edilməsi üçün lazım olacaq nəqliyyat vasitəsinin və onun idarə edilməsi üçün tələb olunan yüksək hazırlığa malik olan mütəxəssisin seçilməsi, həmçinin bu daşımaları yerinə yetirmək məqsədi ilə geniş infrastruktur təminatının vacibliyi əsas amillərdən sayılır. Onu da nəzərə almaq lazımdır ki, səyahətin gedişində turistin hərəkəti aktiv (yəni, insanın özü gücü sayəsində həyata keçirilən – piyada turizm, velosiped səyahəti, avar çəkmə, üzgüçülük, qayalara dırmaşma və s.) və müxtəlif nəqliyyat növlərinin köməyi ilə passiv formada mümkün ola bilər [5, s. 110-115].

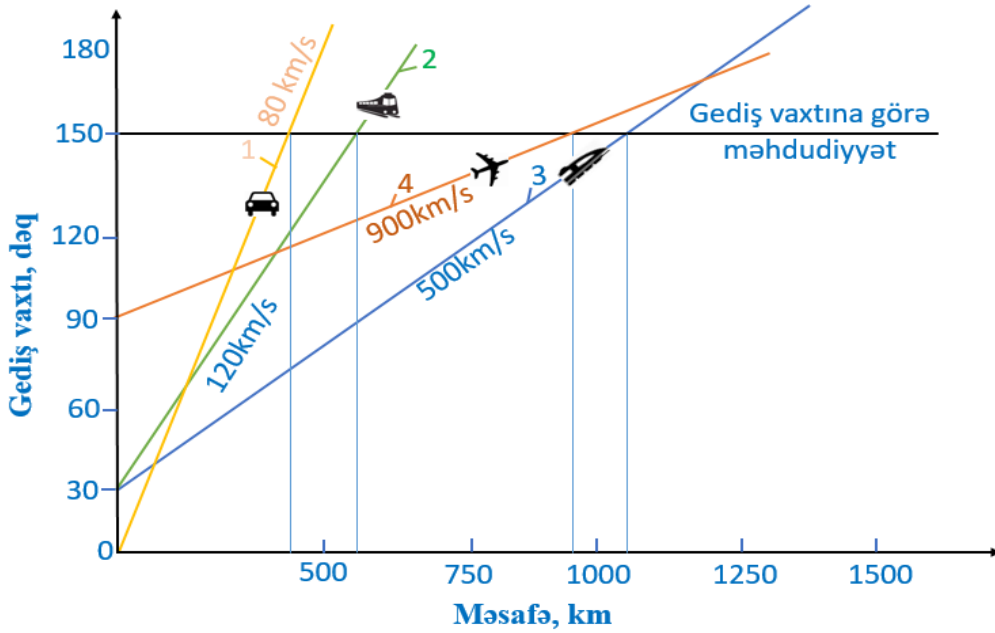
Hazırda turizm logistikasında istifadə olunan nəqliyyat vasitələrinin təkmilləşdirilməsi və bu sahədə daha müasir yeni daşınma üsullarının yaradılması istiqamətində ciddi elmi-tədqiqat işləri yerinə yetirilir [6, s.178-216, 7, s.4]. Bu elmi-tədqiqat işlərinin əsasını gələcəkdə turist-sərnişin daşımalarında rahat, sürətli və və iqtisadi cəhətdən əlverişli sayılan *maqnit yastıqlı qatarların (maqnitoplanların)* respublikamızın ərazisində istifadəsinin əsaslandırılması təşkil edir. Məlumdur ki, sərnişin nəqliyyat növlərində kütləvi daşımalar zamanı təhlükəsiz hərəkət sürətinin artırılması, cəmiyyətin sosial və iqtisadi tələblərinə cavab verir. Mütəxəssislər qeyd edirlər ki, uzaq məsafələrə hərəkət zamanı sərnişinin yolda olma vaxtı (“qapıdan-qapıya” hərəkətdə) 3-4 saatdan artıq olmamalıdır. Sərnişinlərin hərəkətdə olma vaxtı 2,5 saat (150 dəq.) olmaq şərti ilə müxtəlif nəqliyyat növlərinin səmərəli istifadə dairəsi mütəxəssislər tərəfindən müəyyən edilmiş və şəkildə göstərilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, qeyd edilən müddət ərzində sərnişin avtomobillə 150 km, qatarla 250 km, təyyarə ilə 900 km, maqnitoplanla isə təqribən 1000 km məsafəni rahat qət edə bilər. ABŞ, yapon, çin və alman mütəxəssisləri təcrübələrlə müəyyən etmişlər ki, müasir nəqliyyat növlərilə müqayisədə maqnitoplanlar 50-1100 km məsafələrdə vaxta qənaət etməyə imkan yarada bilər.

“Maqnitli” yolların inşası ilə insanlar bir iş günü ərzində 1000 - 2000 km məsafə qət etməklə, 3-4 saat ərzində istənilən məsələni həll edib öz evinə qayıtmaq imkanını əldə edirlər.



Bu zaman sənişin hətta hava nəqliyyatı ilə müqyisədə belə vaxta qənaət edir. Çünki, aeroportlar şəhərdən xeyli kənarında yerləşdiyindən, səssiz və ekoloji təmiz maqnitoplan isə şəhərin mərkəzindən keçərək hərəkətini davam etdirə bilər. Həm də enerji və ya yanacaq sərfi maqnitoplanlarda hava nəqliyyatına nisbətən 2 dəfədən də azdır. Bunlardan başqa pis hava şəraitində təyyarələrin uça bilməməsi hallarında sənişinlərin ləngimələrini və öz planlarını dəyişərək həyəcanlanmalarını da xüsusi qeyd etmək lazımdır. Yaddan çıxarmaq olmaz ki, hava nəqliyyatı ilə ətraf mühitə səs və zərərli qazlarla göstərilən mənfi təsirlər sənişinlərə və ətraf qəsəbələrdə yaşayan əhaliyə ziyan yetirir və kənd təsərrüfatına yararlı xeyli torpaq sahəsi aeroport ərazisi üçün istifadə edilir.



Müxtəlif nəqliyyat növlərinin sənişin daşımalarında səmərəli istifadə edilmə dairəsi:  
1- şəxsi avtomobillər; 2 - dəmiryol nəqliyyatı; 3 - maqnitoplanlar; 4 – hava nəqliyyatı

Qeyd etmək lazımdır ki, 400-500 km/s maqnitoplanlar üçün son sürət həddi sayılmır. Nisbətən böyük hərəkət sürətlərində aerodinamik müqaviməti dəf etmək üçün çox yüksək enerji sərf etmək lazım gəlir. Yəqin ki, belə yüksək sürətlərdə maqnitoplanın atmosfer təzyiqi azaldılmış və ya havasız boru içərisində hərəkəti daha məqsədəuyğundur. Belə layihələr artıq işlənib hazırlanmışdır. Məsələn, ABŞ-da “Mel” və “Planetran” layihələrində maqnitoplanların sürəti uyğun olaraq 900 və 960 km/s, AFR-in “Lende” layihəsində isə sürət 1000 km/s nəzərdə tutulur. Ancaq, bu layihələrin həyata keçirilməsi, gələcəkdə “adi” maqnitoplanların geniş istismarından sonra mümkün olacaqdır.

Hazırda böyük şəhərlərdə ənənəvi sənişin nəqliyyat növləri daima artmaqda olan sənişin daşımalarının yerinə yetirilməsini təmin edə bilmir. Şəhərdaxili və şəhəratrafi daşımalar hazırda aşağıdakı şəraitlərdə yerinə yetirilir [6, s. 178-216]:

- daşıma keyfiyyəti və müntəzəmliyi yarıtmaz səviyyədə olur, xüsusən “pik” saatlarında hərəkət vasitələrinin dolma əmsalı normadan 2 - 3 dəfədən çox olduğu hallara daha çox təsadüf edilir;
- yerüstü şəhər nəqliyyat növlərində hərəkət sürəti azalmış (16-20 km/s) və bu da sənişinlərin iş yerinə çatma vaxtını (həftə ərzində 8 - 10 saata qədər) artırmışdır. İş yerinə çatma vaxtı əksər hallarda gündəlik olaraq 1 saata qədər yüksəlir. Mütəxəssislər müəyyən etmişlər ki, sənişinlərin, iş yerlərinə çatana qədər hər 10 dəqiqə ərzində komfortsuz vəziyyətdə olmaları, onların iş qabiliyyətini və məhsuldarlığını 3 - 4 % azaldır;
- havanın çirklənmə dərəcəsi son illər 3-4 dəfə artmış və səsin səviyyəsi isə xeyli yüksəlmişdir;
- avtomobil sənişin daşımalarında maye yanacaq sərfi bir neçə dəfə artmışdır;



– avtomobillərin sayının artması ilə yanaşı baş verən yol-nəqliyyat hadisələrinin sayı da artmışdır.

Hər il dünyada baş verən yol-nəqliyyat hadisələrində ölənlərin sayı hazırda 10 mln. nəfərdən çoxdur.

Yerüstü ənənəvi sərnişin nəqliyyat növlərində yəqin ki, müəyyən gizli imkanlar mövcuddur. Ancaq, buna nail olmaq üçün onların təkmilləşdirilməsi və aparılan yenidənqurma işləri, gələcək üçün nəqliyyat problemlərini heç də həll etmir. Artıq bu sahədə yeni, keyfiyyətli texniki tədbirlər həyata keçirilməlidir. Sərnişinlərə, xüsusən də turistlərə yüksək keyfiyyətli və mədəni nəqliyyat xidməti göstərmək imkanı olan nəqliyyat sistemi, yüksək və təhlükəsiz hərəkət sürətinə malik maqnitoplanlardır.

Maqnitoplanların xeyrinə ən güclü faktor sürətli dəmiryol nəqliyyatına nisbətən onların 2 - 3 dəfə daha çox hərəkət sürətinə malik olmalarıdır. Məlumdur ki, hərəkət sürətinin artması ilə hərəkətə sərf olunan vaxt azalır, gedişlərin tezliyi və uzaqlığı isə artır. Gediş müddətinin azalması, sərnişinin işgüzar məqsədlərə və ya sərbəst vaxta sərf olunan vaxtının artmasına səbəb ola bilər. Gediş tezliyinin yüksəlməsi, sərnişin axınına yüksəldir ki, bu da bu yeni layihələndiriləcək nəqliyyat növünün səmərəliliyinin artırılması üçün əsas şərtidir. Bundan başqa gedişlərin sayının artması iqtisadi və sosial aktivliyin yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Və, nəhayət, sərnişinlərin gediş uzaqlığının artması əhalinin fəaliyyət dairəsinin yüksəlməsinə və əlavə əmək ehtiyatlarının cəlb olunma imkanlarının genişlənməsinə səbəb olur. Həm də zəhmətkeşlərin sürətlə və yüksək komfortla daşınması (bu isə maqnitoplanlarla tam həyata keçirilə bilər), iş növbəsinin əvvəlində məhsuldarlığın azalmamasına gətirib çıxarır. Ancaq, bütün bu qeyd edilən müsbət cəhətləri iqtisadi səmərəlilik hesablarında tam nəzərə almaq mümkün olmur. Məsələn, bu yeni nəqliyyat sisteminin estakadalar üzərində qurulması səbəbindən yerin səthində səsin və titrəmələrin olmamasından ekoloji üstünlüyünü və kənd təsərrüfatına yararlı torpaqların zəbt olunmamasını aid etmək olar [7, s. 4].

Jurnalistlərin, internetin və reklamların məlumatlarına görə hazırda Yaponiyada gümüşü rəngdə maqnitoplanlar estakadalarda düyü zəmilərinin üzərində saatda 400 km sürətlə şütüürlər. AFR - də "Transrapid - 04" tipli maqnitoplanların hərəkət etdikləri estakadaların yaxınlığında ev heyvanları sakitcə otlayırlar. Sərnişinlər maqnitoplarda nə səsi, nə də silkələnmələri hiss etmirlər. Ancaq, məlumatlara görə Yaponiyada sürətli dəmiryol qatarlarının estakadalar üzərində hərəkəti zamanı yaranan səs-küydən və titrəmələrdən yaxınlıqda yerləşən binaların əhalisi narahatçılığa məruz qalırlar.

Estakadalı yollar ideyası (əvvəllər bunu "sütunlar üzərində yollar" adlandırırdılar) hələ XIX əsrdə irəli sürülmüş və ilk belə yollardan biri 1820 - ci ildə Moskva ətrafında estakada üzərində vaqonları atlar vasitəsilə hərəkət etdirmək üçün tikilmişdi.

Məlumdur ki, maqnitoplanların kütləsindən estakadalara düşən təsir qüvvəsi bərabər paylandıqından, ənənəvi təkərli dəmiryol nəqliyyatı üçün inşa edilmiş estakadalara nisbətən maqnitoplanlar üçün inşa edilmiş estakadalar yüngül və ucuz materialdan hazırlanır. İnşaatçılar estakadaları şəbəkəli və incə inşa etməklə, şəhərlərin qədim arxitektura görünüşünə xələl gətirməməlidirlər.

Estakadalı yollarda ənənəvi yerüstü nəqliyyatın və piyadaların yol kəşimlərinin olmamasından (onların hərəkəti estakadaların altı ilə təşkil edildiyindən), sürət göstəricisi məhdudlaşmır və qeyd edilən maneələrin olmamasından toqquşmalara təsadüf olunmur. Belə estakada üzərində hərəkət küçələrdə, yollarda və avtomagistrallarda gərginliyi azaldır.

Hazırda estakadalı yollar elmi-texniki tərəqqinin nailiyyətlərinə əsaslanaraq yeni texnologiyalarla layihələndirilir və inşa edilir. Müasir dəmir - beton estakadaların tikintisinin orta dəyəri metro xəttinin dəyəridən 3-8 dəfə az, inşa tempi isə 5 - 10 dəfə yüksəkdir. Ancaq, estakadalar yerüstü avtomobil və dəmir yollarının inşasından baha başa gəlir. Qeyd edilənlərdən başqa estakadalar öz üstünlükləri ilə diqqəti daha çox cəlb edir: az torpaq işləri görülür, dayaqların sahəsinə uyğun az torpaq sahəsi zəbt edir; bütün elementlərinin zavodlarda hazırlanması mümkün olur; kontakt xətlərinin və kabellərin estakadaya bərkidilməsi nisbətən asan olur; istismarı və texniki xidmətləri rahat yerinə yetirilir. Estakadaları mövcud avtomobil və dəmir yollarının üzərində, hətta 2 mərtəbəli, müxtəlif istiqamətli hərəkət üçün də inşa etmək olar. Yüksək sürəti təmin edəcək estakadalı qısa

yollar şəhərdən kənarda yerləşən yaşayış massivlərini əhalinin iş yerlərilə, istirahət zonaları ilə və şəhərin ətraf qəsəbələr ilə əlaqələndirmək üçün əsas vasitələrdən biridir. Maneçilikləri aradan qaldırmaq üçün estakadaları evlərin, çayların, yolların və meşə massivlərinin üzərindən və düzxətli inşa etməyə çalışırlar. Bəzi qədim şəhərlərdə binaların arxitektura mənzərəsini pozmamaları üçün maqnitoplanlar estakadalarla “yerin altına” (tunellərə) daxil olurlar. Ekoloji cəhətdən təmiz nəqliyyat növü kimi maqnitoplanlar estakadalı yollarla kurort zonalarında da geniş istifadə oluna bilər. Yəni, turizm logistikasında bu nəqliyyat vasitəsi bütün üstünlükləri ilə əvəzolunmaz rahat və təhlükəsiz hərəkət vasitəsi sayıla bilər [8].

Respublikamızın böyük şəhərlərində, xüsusən paytaxt şəhəri Bakıda avtomobil nəqliyyatının hərəkətində yaranan ciddi problemlər, gələcəkdə estakadalar üzərində qurulması mümkün olan “maqnitli” yolların köməyi ilə aradan qaldırıla bilər. Bakı şəhərinin coğrafi şəraitini və relyefini nəzərə alaraq, respublikanın cənub zonasında yerləşən Lənkəran Beynəlxalq aeroportunu, Lənkəran və Bakı şəhərlərinin dəmiryol və avtomobil vağzallarına yaxın və Heydər Əliyev Beynəlxalq hava limanından keçməklə Şimal zonası ilə, həmçinin Heydər Əliyev Beynəlxalq hava limanını bir sıra rayon mərkəzlərindən, Gəncə şəhərindən və Gəncə Beynəlxalq aeroportundan keçməklə Respublikanın qərb zonasında inşa edilmiş beynəlxalq aeroportlarla, Şərqi Zəngəzur və Qarabağ iqtisadi zonaları ilə, həmçinin Naxçıvan və Türkiyə ilə “maqnitli” yollar vasitəsilə əlaqələndirmək olar. Respublikanın Beynəlxalq aeroportlarının, vağzalların və bir sıra şəhərlərin yüksək sürətli, rahat nəqliyyat vasitəsi sayılan maqnitoplanlarla təmin edilməsi, əhalinin və turistlərin şəhərlərarası və şəhərdaxili sənişin daşımalarına olan tələbatının vaxtında və yüksək keyfiyyətlə yerinə yetirilməsinə imkan yaradardı. Həmçinin bu yeni nəqliyyat sistemi Respublika ərazisində və qeyd edilən şəhərlərin daxili rayonlarında yerüstü nəqliyyat vasitələrindəki gərginliyi də xeyli azaltmış olardı. Maqnitoplanların hərəkəti üçün hətta 2 mərtəbəli estakadalar da nəzərdə tutula bilər. 1 - ci mərtəbədə kiçik sürətli (80 - 90 km/s) və nisbətən yaxın dayanacaqları olan, ikinci mərtəbədə isə yüksək sürətli maqnitoplanların hərəkətinə imkan yaratmaq olar. Qeyd etmək lazımdır ki, maqnit asqılı bu yeni nəqliyyat növü ilə Respublikamızın Beynəlxalq hava limanlarını əlaqələndirməklə Heydər Əliyev Beynəlxalq aeroportunun “düyün” hava limanına (beynəlxalq termin kimi buna XABA da deyilir və onlar uzaq məsafələrə sənişin daşımalarının müntəzəmliyini təmin etmək məqsədilə sənişinləri bir yerə yığmaq və oradan onları istədikləri istiqamətlərə yola salmaq üçün nəzərdə tutulan bölüşdürmə mərkəzi sayılır) çevrilməsinə və sənişinlərin çox uzaq (qitələrarası) uçuşlarının təşkil edilməsi üçün onları “nasos” kimi özünə cəlb etməsinə şərait yaranardır. Əgər bir qədər xəyala qapılısaq, XXI əsrin ortalarından sonra respublikamızın bu yeni nəqliyyat sistemini Rusiya Federasiyasının Şimali Qafqaz və Krım “maqnitli” yolları ilə birləşdirməklə, bu yüksək sürətli nəqliyyat növü ilə bütün Avropa məkanına çıxış əldə etmək mümkündür. Bu zaman sənişinlərin, o cümlədən turistlərin “qapıdan-qapıya” hərəkətinə sərf edəcəyi vaxt, praktiki olaraq onların hava nəqliyyatından istifadə etdikləri vaxta bərabər olacaqdır. Ancaq, hava nəqliyyatına nisbətən bu nəqliyyat növünün havanın şıltaqlığından, pis görünüş məsafəsindən və ildırımından ləngimələri olmayacaq, gediş haqqı ucuz, hərəkət təhlükəsizliyi və rahatlığı isə yüksək olacaqdır. Daha uzaq gələcəkdə maqnitoplanların borunun içərisində vakuumlu şəraitdə sürərək 1000 km/s və bundan da yüksək sürətlə hərəkət edəcəyini (uçacağını) təsəvvür etmək çətin deyil. Hətta gələcəkdə metro tikintisində maqnitoplanlar ideyasının tətbiqi də mümkündür. Bunun üçün mövcud metro vaqonlarının alt hissəsində yerləşən təkərlər quraşdırılmış arabacıqların maqnit asqısı ilə əvəz olunması nəticəsində vaqonların hündürlük ölçüləri, o cümlədən də tunelin ölçüləri təqribən 2 dəfəyə qədər azalar və onun inşasına sərf olunan xərclər (həmçinin inşa edilmə müddəti) də xeyli azalmış olar. Yeni metro tikintisi nəzərdə tutulan böyük şəhərlərdə, gələcəkdə bu cür “kiçik diametrlili” tuneli olan metronun inşası daha əlverişli sayıla bilər.

**Nəticə.** Beləliklə də nəqliyyat təminatının turizm potensialının əsas elementlərindən biri olduğunu və regionların iqtisadi inkişafına da imkan yaratdığını nəzərə alaraq, turizm məhsulunun nəqliyyat təşkilatçısı kimi onun bu fəaliyyətini qeyd edilən istiqamətlərdə dərindən araşdırmaqla, turizmdə nəqliyyat daşımalarına olan tələbatı müəyyən etmək və həmçinin turizmin rəqabətə davamlılığını artırmaq mümkündür. Aparılan çoxsaylı araşdırmalarla bir məhsuldar və səmərəli

sərnişin nəqliyyat vasitəsi olaraq *maqnit yastıqlı qatarların (maqnitoplanların)* digər imkanları da dərindən öyrənilmiş, onların təyyarə kimi sürətli, dəmiryol nəqliyyatı kimi etibarlı, avtomobil nəqliyyatı kimi münasib sayıldığını və artıq bir sıra inkişaf etmiş ölkələrdə sərnişinlərin, həmçinin turistlərin rəğbətini qazanmasını nəzərə alaraq, Azərbaycan Respublikasında da gələcəyin əsas turist nəqliyyat vasitəsi qismində tətbiq edilmə planı və perspektivləri qeyd edilmişdir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Əhmədov H.M., Axundov Q.N. Turizmdə nəqliyyat təminatının təkmilləşdirilməsi və bu sahədə yeni daşıma vasitələrinin istifadə edilmə məqsədəuyğunluğu. Türkiyə, “Qalib xalqın müzəffər lideri – İlham Əliyev” adlı multidisiplinar beynəlxalq elmi konfransın materialları, 25 noyabr 2023-cü il, s. 479, 484.
2. Большой глоссарий терминов международного туризма. Под ред. М.Б. Биржакова. СПб., 2005, 996 с.
3. Биржаков М.Б., Никифоров В.И. Индустрия туризма: перевозки. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: Герда, 2007, 528 с.
4. Əhmədov H.M., Axundov Q.N. Turizmin nəqliyyat təminatı kompleksı ilə əlaqədar müəssisələrin idarə edilmə metodlarının və xüsusiyyətlərinin araşdırılması. Bakı ş., MAA, Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı” mövzusunda IX beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, 6-8 fevral 2024-cü il, s. 241-248.
5. Кусков А.С., Транспортное обеспечение в туризме: учебник / А.С.Кусков, Ю.А.Джаладян. -М.: КНОРУС, 2016, 368 с.
6. Əhmədov H.M. Yeni və perspektiv nəqliyyat növləri. Bakı, AZTU, 2014, 491 s. (magistr hazırlığı üçün dərslük).
7. Əhmədov H.M. Mütəxəssis təklif edir. Maqnitli, yoxsa dəmir yol. Maqnitoplan Azərbaycan üçün də səmərəli nəqliyyat vasitəsi ola bilər. Bakı, “Azərbaycan” qəzeti, 09.12.2014, № 269(6835).
8. Əhmədov H.M., Manafov E.K., Nəsirova M.M., Hüseynov F.H. Azərbaycanda Maqlev tipli qatarların tətbiqi perspektivləri. Bakı, Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2022-ci il, cild 14, № 3, s. 41-53.

## TURİZM LOGİSTİKASI VƏ ONUN MƏHSULU OLAN NƏQLİYYAT TƏŞKİLEDİCİSİNİN ARAŞDIRILMASI

H.M.Əhmədov, Q.N.Axundov

**Xülasə.** Məqalədə nəqliyyat təminatının turizm potensialının əsas elementlərindən biri olduğunu və həmçinin regionların iqtisadi inkişafına da imkan yaratdığını nəzərə alaraq, turizm məhsulunun nəqliyyat təşkiledicisi kimi onun bu fəaliyyətini qeyd edilən istiqamətlərdə dərindən araşdırmaqla, turizmdə nəqliyyat daşımalarına olan tələbatı müəyyən etmək və həmçinin turizmin rəqabətə davamlılığını artırmaq mümkündür. Məqalədə həmçinin bir məhsuldar və səmərəli sərnişin nəqliyyat vasitəsi olaraq maqnit yastıqlı qatarların (maqnitoplanların) imkanları dərindən araşdırılmış, onların təyyarə kimi sürətli, dəmiryol nəqliyyatı kimi etibarlı, avtomobil kimi münasib sayıldığını və artıq bir sıra inkişaf etmiş ölkələrdə sərnişinlərin, həmçinin turistlərin rəğbətini qazandığını nəzərə alaraq, Azərbaycan Respublikasında da gələcəyin əsas turist nəqliyyat vasitəsi qismində tətbiq edilmə planı və perspektivləri qeyd edilmişdir.

**Açar sözlər:** turizm potensialı, turizmin nəqliyyat təminatı, turizm logistikası, turist səyahətləri, turizmin rəqabətə davamlılığı.

Accepted: 28.03.2024

## QÖVS İFRAT GƏRGİNLİYİN YERLƏ QAPANMA MÜQAVİMƏTİ VƏ YERLƏ QAPANMA BUCAĞINDAN ASILILIĞININ REQRESSİYA MODELİ

Nəcəf İsmayıl oğlu Orucov<sup>1</sup>, Hüseynqulu Bayram oğlu Quliyev<sup>2</sup>,  
Sara Cavanşir qızı Əliməmmədova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bakı Mühəndislik Universiteti, Xırdalan, Azərbaycan

<sup>2</sup>Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

<sup>3</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

### REGRESSION MODEL OF THE DEPENDENCE OF ARC OVERVOLTAGE ON GROUND-FAULT RESISTANCE AND GROUND-FAULT ANGLE

Nejef Ismail Orujov<sup>1</sup>, Huseyngulu Bayram Guliyev<sup>2</sup>, Sara Javanshir Alimammadova<sup>3</sup>

Azerbaijan State Oil and Industry University

<sup>1</sup>Baku Engineering University, Khyrdalan, Azerbaijan: norucov@beu.edu.az

<sup>2</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: huseyngulu@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0005-7362-0619>

<sup>3</sup>Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan: sara\_elimmedova@mail.ru

**Abstract.** Carrying out tests of electrical equipment under load in networks with an isolated neutral requires determining the dependencies of the parameters of single-phase faults. The change in this type of parameters during a single-phase fault is subject to complex laws. Therefore, for practical conditions, simple mathematical models should be developed that make it possible to find out the relationship between damage parameters. The article is devoted to determining the relationship between the overvoltage generated in the neutral isolated network as a result of non-stationary ground faults, the ground fault resistance, and the ground fault angle. For this purpose, the regression equation for the dependence of arc overvoltages' ratios on resistance of ground fault and the ground fault angle was obtained and a corresponding 3D image was constructed.

**Keywords:** networks with isolated neutral, non-stationary earth faults, arc overvoltages ratios, regression equation, 3D modelling.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### 1. Giriş

Məlumdur ki, elektrik avadanlıqlarının işdən çıxması işçi heyətin müxtəlif travmalarına, texnoloji prosesin pozulmasına və ciddi qəzalara səbəb ola bildiyindən belə problemlərin əvvəlcədən qarşısının alınması üçün xüsusi sınaqlar həyata keçirilir. Ümumi halda belə sınaqlar aşağıdakı hallardan biri baş verdikdə aparılır: avadanlığın və ya qurğunun istismara daxil edilməsi, qəza, planlı və plandan kənar təmirlərdən sonra, əvvəlki yoxlamalardan sonra müəyyən müddətin keçməsi və s. Eyni zamanda elektrik avadanlıqlarının izolyasiyasının yüksək gərginliklə sınağı 35 kV-a qədər gərginlikli neytralı izolə edilmiş elektrik şəbəkələr üçün məcburidir [1, 2].

Neytralı izolə edilmiş şəbəkələrdə elektrik avadanlıqlarının potensial zədələnmələrinə dair əvvəlcədən məlumatların əldə edilməsi və elektrik tələbatçılarının fasiləsiz elektrik enerji təchizatının təmin edilməsi məqsədilə yük altında izolyasiyanın yüksək gərginliklə sınaqlarının yerinə yetirilməsi olduqca aktual məsələdir [3, 4]. Bu istiqamətdə yerinə yetirilmiş tədqiqat işlərindən aydın olur ki, müxtəlif üsul və vasitələr təklif edilir [5-8].

[9]-da neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə izolyasiyanın yük altında sınaq üsulu təklif olunmuşdur. Bu üsula əsasən izolyasiyanı yük altında sınaqdan keçirmək üçün şəbəkədə Petersen nəzəriyyəsi əsasında süni qeyri-stasionar yerlə qapanmalar yaradılır. Qeyd etmək lazımdır ki, belə yerlə qapanmalar zamanı şəbəkələrdə yaranan qövs ifrat gərginliyinin qiyməti yerlə qapanma müqaviməti, yerlə qapanma bucağı və şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumundan asılı olur. Ona görə sınaq gərginliyinin qiymətinin təyin edilməsi üçün yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağının əvvəlcədən müəyyənləşdirilməsi vacibdir. Bu məqsədlə qeyri-stasionar yerlə qapanmalar nəticəsində neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə yaranan qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqaviməti, yerlə qapanma bucağı və şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumundan asılılıqları müəyyən edilir.

## 2. Zədələnmə parametrlərinin reqressiya modeli üçün məsələnin qoyuluşu

Ümumi halda qeyd olunan birfazlı zədələnmə parametrlərinin asılılıqlarını müəyyənəlmək üçün neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə yaradılan qeyri-stasionar yerlə qapanma keçid prosesini xarakterizə edən diferensial tənliklər sisteminin müasir hesablama texnologiyalarının tətbiqi ilə ədədi həlli yerinə yetirilməlidir. Lakin məsələnin ədədi həlli adı çəkilən diferensial tənliklərin “sərtliyi” səbəbindən xeyli çətinləşir. Başqa sözlə, tənliklər qeyri-xətti və yüksək tərtibli olmaqla dəqiq analitik həllə malik olmur. Bu səbəbdən bəzi hallarda diferensial tənliklər sisteminin həllinin dayanıqlığı pozulur və nəticələr təhrif olunur. Ona görə belə çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ( $k$ ) ilə yerlə qapanma müqaviməti ( $R_0$ ), yerlə qapanma bucağı ( $\varphi$ ) və şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumu ( $C_f$ ) arasındakı asılılıqları təyin edən analitik ifadələrin alınması vacibdir. Qeyd edək ki, bu məqsədlə [10,11]-də qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqavimətindən, [12,13]-də qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma bucağından, [14]-də isə qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumundan asılılıqları üçün analitik ifadələrin alınmasına artıq baxılmışdır. Aparılmış tədqiqatların davamı olaraq, neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə birfazlı qövs ifrat gərginliyinin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığının reqressiya modelinin alınmasına baxılır.

## 3. Məsələnin həll üsulu, alqoritmi və modelləşdirmə nəticələri

Neytralı izolə edilmiş elektrik şəbəkəsində ( $C_f = const$ ) birfazlı zədələnmələr zamanı yaranan qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığı üçün analitik ifadənin alınması nəzərdən keçirilir. Bu məqsədlə neytralı izolə olunmuş şəbəkənin alçaq gərginlikli modelində aparılmış eksperimental tədqiqatların cədvəl 1-də verilən nəticələrindən istifadə edilir ( $C_f = 1mkF$ ) [9].

Cədvəl 1

$$k = f(R_0, \varphi) \text{ asılılığı}$$

$R_0, Om$	$\varphi$				
	30°	60°	90°	120°	150°
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
5	2,45	3,16	3,30	3,10	2,16
10	2,29	2,91	2,96	2,86	2,03
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
15	2,16	2,69	2,77	2,66	1,93
20	2,05	2,51	2,62	2,49	1,84
25	1,96	2,35	2,49	2,35	1,76
30	1,88	2,22	2,38	2,24	1,69

Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ilə yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağı arasındakı asılılıq aşağıdakı reqressiya tənliyi ilə approksimasiya oluna bilər [15, s.133-135]:

$$k = \frac{a}{R_0} + b \sin \varphi + c, \quad (1)$$

Burada  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – reqressiya əmsalları adlanır.

(1) tənliyində  $\frac{1}{R_0} = x$  və  $\sin \varphi = y$  əvəzləmələrini qəbul etsək

$$k = ax + by + c, \quad (2)$$

olar, yəni qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ( $k$ ) ilə yerlə qapanma dövrəsinin keçiriciliyi ( $x$ ) və yerlə qapanma bucağının sinusu ( $y$ ) arasındakı asılılıq xətti reqressiya tənliyi ilə approksimasiya oluna bilər (Cədvəl 2).

Cədvəl 2

$k = f(x, y)$  asılılığı

$x, Sm$	$y$				
	0,500	0,866	1,000	0,866	0,500
0,200	2,45	3,16	3,30	3,10	2,16
0,100	2,29	2,91	2,96	2,86	2,03
0,067	2,16	2,69	2,77	2,66	1,93
0,050	2,05	2,51	2,62	2,49	1,84
0,040	1,96	2,35	2,49	2,35	1,76
0,033	1,88	2,22	2,38	2,24	1,69

Reqressiya əmsalları aşağıdakı ifadələrlə təyin edilir [16, s.370]:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\sigma_k}{\sigma_x} \cdot \frac{r_{kx} - r_{ky}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}; \\ b &= \frac{\sigma_k}{\sigma_y} \cdot \frac{r_{ky} - r_{kx}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}; \\ c &= \bar{k} - a\bar{x} - b\bar{y} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Burada  $\bar{x}$  –  $x$  kəmiyyətinin orta qiyməti,  $\bar{y}$  –  $y$  kəmiyyətinin orta qiyməti,  $\bar{k}$  –  $k$  kəmiyyətinin orta qiyməti,  $\sigma_x$  –  $x$  kəmiyyətinin onun orta qiymətindən ( $\bar{x}$ ) orta kvadratik meyletməsi,  $\sigma_y$  –  $y$  kəmiyyətinin onun orta qiymətindən ( $\bar{y}$ ) orta kvadratik meyletməsi,  $\sigma_k$  –  $k$  kəmiyyətinin onun orta qiymətindən ( $\bar{k}$ ) orta kvadratik meyletməsi,  $r_{xy}$  –  $x$  və  $y$  kəmiyyətləri arasındakı xətti korrelyasiya əmsalı,  $r_{kx}$  –  $k$  və  $x$  kəmiyyətləri arasındakı xətti korrelyasiya əmsalı,  $r_{ky}$  –  $k$  və  $y$  kəmiyyətləri arasındakı xətti korrelyasiya əmsalı, olub, korrelyasiya cədvəlinə əsasən təyin olunurlar (Cədvəl 3).

$$n = 30;$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 2,45; \quad \sum_{i=1}^n y_i = 22,392; \quad \sum_{i=1}^n k_i = 72,26;$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,09830667; \quad \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 1,2860832; \quad \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2 = 5,390747;$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 0; \quad \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})(x_i - \bar{x}) = 0,4112667; \quad \sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})(y_i - \bar{y}) = 1,998776;$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0,082; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = 0,746; \quad \bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n} = 2,409;$$

## Korrelyasiya cədvəli

$i$	$x_i$	$y_i$	$k_i$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(k_i - \bar{k})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(k_i - \bar{k})(x_i - \bar{x})$	$(k_i - \bar{k})(y_i - \bar{y})$
1	0,200	0,500	2,45	0,01400278	0,06071296	0,001708	-0,02915733	0,0048911	-0,0101845
2	0,200	0,866	3,16	0,01400278	0,01430416	0,564502	0,01415267	0,0889078	0,0898595
3	0,200	1,000	3,30	0,01400278	0,06431296	0,794475	0,03000933	0,1054744	0,2260421
4	0,200	0,866	3,10	0,01400278	0,01430416	0,477942	0,01415267	0,0818078	0,0826835
5	0,200	0,500	2,16	0,01400278	0,06071296	0,061835	-0,02915733	-0,0294256	0,0612715
6	0,100	0,500	2,29	0,00033611	0,06071296	0,014082	-0,00451733	-0,0021756	0,0292395
7	0,100	0,866	2,91	0,00033611	0,01430416	0,251335	0,00219267	0,0091911	0,0599595
8	0,100	1,000	2,96	0,00033611	0,06431296	0,303968	0,00464933	0,0101078	0,1398181
9	0,100	0,866	2,86	0,00033611	0,01430416	0,203702	0,00219267	0,0082744	0,0539795
10	0,100	0,500	2,03	0,00033611	0,06071296	0,143388	-0,00451733	-0,0069422	0,0933035
11	0,067	0,500	2,16	0,00021511	0,06071296	0,061835	0,00361387	0,0036471	0,0612715
12	0,067	0,866	2,69	0,00021511	0,01430416	0,079148	-0,00175413	-0,0041262	0,0336475
13	0,067	1,000	2,77	0,00021511	0,06431296	0,130562	-0,00371947	-0,0052996	0,0916341
14	0,067	0,866	2,66	0,00021511	0,01430416	0,063168	-0,00175413	-0,0036862	0,0300595
15	0,067	0,500	1,93	0,00021511	0,06071296	0,229122	0,00361387	0,0070204	0,1179435
16	0,050	0,500	2,05	0,00100278	0,06071296	0,128642	0,00780267	0,0113578	0,0883755
17	0,050	0,866	2,51	0,00100278	0,01430416	0,010268	-0,00378733	-0,0032089	0,0121195
18	0,050	1,000	2,62	0,00100278	0,06431296	0,044662	-0,00803067	-0,0066922	0,0535941
19	0,050	0,866	2,49	0,00100278	0,01430416	0,006615	-0,00378733	-0,0025756	0,0097275
20	0,050	0,500	1,84	0,00100278	0,06071296	0,323382	0,00780267	0,0180078	0,1401195
21	0,040	0,500	1,96	0,00173611	0,06071296	0,201302	0,01026667	0,0186944	0,1105515
22	0,040	0,866	2,35	0,00173611	0,01430416	0,003442	-0,00498333	0,0024444	-0,0070165
23	0,040	1,000	2,49	0,00173611	0,06431296	0,006615	-0,01056667	-0,0033889	0,0206261
24	0,040	0,866	2,35	0,00173611	0,01430416	0,003442	-0,00498333	0,0024444	-0,0070165
25	0,040	0,500	1,76	0,00173611	0,06071296	0,420768	0,01026667	0,0270278	0,1598315
26	0,033	0,500	1,88	0,00236844	0,06071296	0,279488	0,01199147	0,0257284	0,1302635
27	0,033	0,866	2,22	0,00236844	0,01430416	0,035595	-0,00582053	0,0091818	-0,0225645
28	0,033	1,000	2,38	0,00236844	0,06431296	0,000822	-0,01234187	0,0013951	-0,0072699
29	0,033	0,866	2,24	0,00236844	0,01430416	0,028448	-0,00582053	0,0082084	-0,0201725
30	0,033	0,500	1,69	0,00236844	0,06071296	0,516482	0,01199147	0,0349751	0,1770795
$\Sigma$	<b>2,450</b>	<b>22,392</b>	<b>72,26</b>	<b>0,09830667</b>	<b>1,28608320</b>	<b>5,390747</b>	<b>0,00000000</b>	<b>0,4112667</b>	<b>1,9987760</b>

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 0,0572; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} = 0,207; \quad \sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})^2}{n}} = 0,4239;$$

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y} = 0; \quad r_{kx} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})(x_i - \bar{x})}{n\sigma_k\sigma_x} = 0,5649; \quad r_{ky} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \bar{k})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_k\sigma_y} = 0,7591.$$

Onda, (3) ifadələrinə əsasən regressiya əmsalları:

$$a = 4,18; \quad b = 1,55; \quad c = 0,91.$$

Çoxölçülü korrelyasiya əmsalı:

$$R = \sqrt{\frac{r_{kx}^2 + r_{ky}^2 - 2r_{kx}r_{ky}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}} = 0,95.$$

Çoxölçülü korrelyasiya əmsalının əhəmiyyətliyi  $F$  – Fişer kriteriyası ilə yoxlanılır.  
 $F$  – Fişer kriteriyasının hesabat qiyməti təyin edilir:

$$F = \frac{\frac{1}{2}R}{\frac{1}{n-3}(1-R^2)} \approx 132.$$

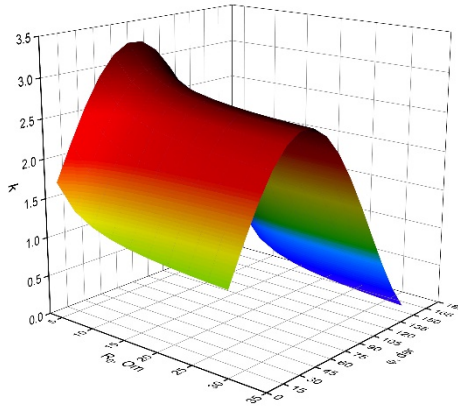
$F$  – Fişer kriteriyasının cədvəl qiyməti əhəmiyyətlik səviyyəsi ( $\alpha$ ) və sərbəstlik hədlərindən ( $k_1, k_2$ ) asılı olaraq cədvəldən götürülür [16, s.370]:

$$\alpha = 0,05; k_1 = 2; k_2 = n - 3 = 30 - 3 = 27; F(\alpha, k_1, k_2) = 3,35.$$

$F = 132 > F(\alpha, k_1, k_2) = 3,35$  olduğundan çoxölçülü korrelyasiya əmsalı ( $R = 0,95$ ) əhəmiyyətli hesab edilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, çoxölçülü korrelyasiya əmsalının vahidə yaxın ( $R = 0,95 \rightarrow 1$ ) olması onu göstərir ki, qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ilə yerlə qapanma dövrəsinin keçiriciliyi və yerlə qapanma bucağının sinusu arasındakı asılılıq güclü xətti korrelyasiya əlaqəsi hesab edilə bilər.

Kompüter modelləşdirməsindən istifadə etməklə alınmış reqressiya tənliyinə əsasən qövs ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığının fəza 3D görüntüsü qurulmuşdur (Şəkil). Şəkildən zədələnmə parametrləri arasında alınmış reqressiya modelinin ədədi nəticələri, başqa sözlə, kəmiyyətlər arasındakı güclü korrelyasiya əlaqəsinin olması əyani olaraq təsdiqini tapır.



*İfrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığının 3D görüntüsü*

#### 4. Nəticə

1. Petersen nəzəriyyəsinə tabe olan qeyri-stasionar yerlə qapanmalar nəticəsində neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə yaranan qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ilə yerlə qapanma dövrəsinin keçiriciliyi və yerlə qapanma bucağının sinusu arasındakı asılılıq praktik olaraq asan realizə edilə bilən reqressiya modeli alınmışdır. Qeyd olunan zədələnmə parametrləri arasındakı təklif edilən analitik asılılıq güclü xətti korrelyasiya əlaqəsi hesab edilə bilər.

2. Alınmış nəticələr Azərenerji sisteminin neytralı izolə olunmuş şəbəkələrində baş vermiş qeyri-stasionar yerlə qapanmaların araşdırılması və nəticələrinin təhlili zamanı asanlıqla istifadə oluna bilər.



## ƏDƏBİYYAT

1. Хазиева Р.Т., Васильев П.И., Афлятунов Р.Р. Исследование установки для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением, Москва: Электротехнологии в промышленности, 2022, №3(56), с. 65-69.
2. Patsch R. Dielectric Diagnostics of Power Transformers and Cables - Return Voltage Measurements, Theory and Practical Results. VDE High Voltage Technology, 2018, ETGSymposium. <https://www.vde-verlag.de/proceedings-en/454807130.html> (дата обращения 21.07.2023).
3. Shahmaev I.Z., Gaisin B.M., Shiryayev O.V. A new method of taking management decisions at designing and developing electric power systems // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), IEEE, 2016. doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911000.
4. Mudiraj A.N. Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution. International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), - IEEE, 2016, pp. 83-88.
5. Антонов А.И. Исследование уровня электромагнитных помех в сети 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами различной мощности при несимметричном характере нагрузки. Казан: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2017, № 9-10, с. 65-76.
6. Rajasekhar N.V., Babu M.N. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). IEEE, 2016, pp. 1754-1758.
7. Akdeniz E., Bagriyanik M. A knowledge-based decision support algorithm to reduce the impact of transmission system vulnerabilities. International Journal of Electric Power and Energy Systems. 2016, No. 78. pp. 436-444.
8. Orucov N.İ. Süni qeyri-stasionar yerlə qapanmalar əsasında neytralı izolə olunmuş şəbəkələrdə izolyasiyanın sınaq üsullarının işlənməsi və tədqiqi. Texnika elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilən dissertasiya, Bakı, 1998, 139 s.
9. Orucov N.İ., Orucov A.O. Qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ilə yerlə qapanma müqaviməti arasındakı asılılığın təyini. Bakı: Elmi əsərlər. AzTU, 2013. №3, s.83-86.
10. Orucov N.İ. Qövs ifrat gərginliyin yerlə qapanma müqavimətindən asılılığının reqressiya modeli. "Azərbaycanın innovativ inkişafında mühəndisliyin rolu: hədəflər və perspektivlər" beynəlxalq elmi-praktiki konfransı, Bakı: BMU, 29-30 noyabr, 2019, s.285-287.
11. Orucov N.İ., Orucov A.O. Qövs ifrat gərginliyi ilə yerlə qapanma bucağı arasındakı asılılığın təyini. Bakı: Energetikanın problemləri, Elm, 2014, №2, s.36-39.
12. Orucov N.İ., Mirili T. Qövs ifrat gərginliyin yerlə qapanma bucağından asılılığının reqressiya modeli. Gənc tədqiqatçıların V beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, Kitab 1. BMU, 29-30 aprel 2021, s.113-116.
13. Orucov N.İ. Qövs ifrat gərginliyin dəfəliyi ilə şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumu arasındakı asılılığın təyini. Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş "Təhsil-tədqiqat-istehsalat mexanizminin qurulması" mövzusunda Respublika Elmi-texniki konfransının materialları, Bakı: AzTU, 4-5 aprel, 2018, s.254-257
14. Orucov N.İ.. Qövs ifrat gərginliyin şəbəkənin yerə nəzərən faza tutumundan asılılığının reqressiya modeli. II beynəlxalq elm və texnologiya konfransı, Bakı: BMU, 26-27 noyabr, 2021, s.333-335.
15. Məmmədov N.R., Məmmədov, B.M. Eksperimentin nəticələrinin riyazi işlənməsi. Bakı: Elm, 2005, 160 s.
16. Orucov E. Ekonometrika. Bakı: Elm, 2018, 384 s.

## QÖVS İFRAT GƏRGİNLİYİN YERLƏ QAPANMA MÜQAVİMƏTİ VƏ YERLƏ QAPANMA BUCAĞINDAN ASILILIĞININ REQRESSİYA MODELİ

N.İ.Orucov, H.B.Quliyev, S.C.Əliməmmədova

**Xülasə.** Neytralı izolə edilmiş şəbəkələrdə elektrik avadanlıqlarının yük altında sınaqlarının aparılması birfazlı zədələnmə parametrlərinin asılılıqlarının müəyyən edilməsini tələb edir. Bu tip parametrlərin birfazlı zədələnmələr zamanı dəyişmələri mürəkkəb qanunuyğunluqlara tabe olur. Odur ki, praktik şəraitlər üçün zədələnmə parametrlərinin öz aralarında asılılıqlarını bilməyə imkan verən sadə riyazi modellər işlənməlidir. İşdə qeyri-stasionar yerlə qapanmalar nəticəsində neytralı izolə olunmuş şəbəkədə yaranan ifrat gərginliklə yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağı arasındakı əlaqənin təyin edilməsi məsələsinə baxılmışdır. Bu məqsədlə ifrat gərginliyin dəfəliyinin yerlə qapanma müqaviməti və yerlə qapanma bucağından asılılığı üçün reqressiya tənliyi alınmış və ona uyğun 3D görüntüsü qurulmuşdur.

**Açar sözlər:** neytralı izolə olunmuş şəbəkə, qeyri-stasionar yerlə qapanma, ifrat gərginliyin dəfəliyi, reqressiya tənliyi, 3D modelləşdirmə.

Accepted: 12.03.2024

## NEFT SƏNAYESİNDƏ TEXNOLOJİ İNKİŞAF

Rəna Qasım qızı Əliyeva

ARDNŞ “Neftqazəlmətdəqiqatlayihə” İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

### TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT IN THE OIL INDUSTRY

Rana Gasim Aliyeva

“OilGasScientificResearchProject” Institute of SOCAR, Baku, Azerbaijan: rana\_zulfuqarova@yahoo.com

<https://orcid.org/0009-0002-0613-6374>

**Abstract.** The role of oil in the world economy is known to everyone. For this reason, the application of more advanced technologies in the production of black gold can be considered a forced measure. Improvement of existing production methods is a great driving force for the development of scientific and research works in this field.

It can be said that the most important trend in the development of scientific achievements in all fields is the creation of new environmental technologies. Of course, this trend has not bypassed the oil industry.

To this end, in 2020, most countries began to allocate additional funding for research projects in the field of low-carbon energy. Thus, due to the crisis of the time, there was clearly a decline in R&D spending by private organizations.

The International Energy Agency estimates that by 2030, the amount of funding allocated to research on large-scale low-carbon energy technologies by various countries will be \$50 billion. Of particular note is Japan's planned investment of about 20 billion dollars.

The article will discuss the main directions of the mentioned research and development activities and new technologies.

**Keywords:** digitalization, modeling, automation, nanotechnology, patent.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Giriş

Resursların və hasilatın maksimal həcmdə istifadə edilməsi sahəsinə aid texnologiyanın inkişaf etdirilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Neft və neft məhsullarına olan sabit tələbat şəraiti bu inkişaf istiqamətini labüd edir.

Rəqəmsallaşdırma üzrə tendensiyanı xüsusi vurğulamaq istərdim. Bu gün Rusiyanın üç nəhəng şirkəti verilmiş sahə üzrə həyata keçirdiyi genişmiqyaslı layihələr üzrə artıq yüksək nəticələr əldə etmişlər. Qazprom rəqəmsallaşdırma sisteminin tətbiqi sayəsində 7,2 mlrd rubldan çox vəsait qənaət etmişdir [1].

Müasir qazma üsullarının əsas məqsədi quyunun bilavasitə qazılma prosesində süxurların avtomatik tədqiq edilməsindən ibarətdir. Süxurların detallı tədqiqi texnologiyası əslində yenilik deyil, lakin müasir texnologiyalar keçən əsrin əvvəllərindən fərqli olaraq, məlumatların tamamilə yeni səviyyədə işlənməsinə imkan verir. Əldə edilmiş məlumatlar bazası gələcək kəşfiyyat və hasilat prosesinin planlaması üçün zəruri xarakter daşıyır.

Ənənəvi üsulların tətbiqi sahəsində də yeni ideya və fikirlər mövcuddur. Hələ 1860-cı illərdən tətbiq edilən (quyularda neft veriminin artırılması üçün su, qaz və ya digər elementlərin doldurulması məqsədilə) süxurların hidravlik qırılma texnologiyası fəal surətdə təkmilləşdirilməkdədir. Belə texnologiyaların inkişafı gələcəkdə ən çətin qazılan quyularda belə neft hasilatına təkan verəcək [2].

Süxurlara doldurulan qarışıqların tərkibi də müvafiq olaraq, əhəmiyyətli dərəcədə təkmilləşdirilir. Belə ki, son zamanlarda nanotexnologiyaların tətbiqinə başlanmışdır, hissəciklər suya qarışaraq onun tərkibini və yaxud süxurun xüsusiyyətlərini dəyişir. Bəzi hallarda prosesin gedişatına kimyəvi maddələrin əlavə edilməsi təsir göstərir. Bu üsul nefti səthlərdən daha effektiv şəkildə yumağa imkan verir.

Qazma zamanı əldə edilən məlumatlar iri həcmli modellərin layihələndirilməsi zamanı seysmik modelləşdirmə üçün istifadə olunur. Bu ideya ilkin olaraq, 1980-ci illərdən tətbiq edilməyə başlanmışdır. Bu üsul sınaqdan keçirilmiş quyular arasında nə baş verdiyini aydın şəkildə başa düşməyə imkan verir. Ən son yenilik texnologiyası isə 4D modelləşdirmə hesab olunur. Bu texnologiya relyef və süxurlarda zamana görə dəyişiklikləri izləmək, süxurların necə formalaşdığını öyrənməkdə kömək

olur. Əldə edilmiş məlumatların sistemləşdirilməsi, yaradılması və emalı zamanı ağıllı texnologiyalar və avtomatlaşdırılmış təlim tətbiqi olunur [3].

Bununla yanaşı geoloji məkanın 3D və yaxud 4D kopyası gələcək işlərin planlaması üçün istifadə olunur – model üzərində baş verən bütün dəyişikliklər (su və ya qazın doldurulması, yeni, o cümlədən horizontal quyuların qazılması, süxurların hidravlik qırılması və s.) real nəticələrə gətirib çıxarır. Ancaq bu zaman vəsait və zaman sərfiyyatı əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

Geofiziki tədqiqatlar ümumilikdə informasiya texnologiyaları sayəsində hər gün daha çox imkanlar əldə edir, bu sahədə çox sayda patent və müraciətlər mövcuddur. Ən yeni patentlərdən biri olaraq, OOO “Qazpromneft NTC”-nin 2019-cu ilə aid RU2700836 göstərmək olar. Patent mövcud məlumatlar əsasında kollektorların doyma proqnozunu müəyyən etmək üsulunu təsvir edir. Nefti və qazı özündə və yaxud məsaməli mühitində saxlaya və emal zamanı geri verə bilən süxurlar kütləsinə kollektorlar deyilir [4].

Tədrisən neftin permafrost dağılmış süxurların yeraltı rezervuarlarında saxlanması kimi yeni yeraltı neft anbarları ideyası geniş yayılmaqdadır. Süxurdakı boşluqlar əvvəlcə çökür, sonra təmizlənir, daha sonra isə neft ilə doldurulduqda avtomatik olaraq hermetikləşir.

Bu saxlanma növü hava şəraiti və digər amilləri daim diqqətdə saxlamaq tələb edir, lakin buna baxmayaraq, uzunmüddətli saxlanma şəraiti olaraq, ən optimal variant hesab olunur. Qeyd edilən texnologiya demək olar ki, tamamilə təhlükəsiz və ekolojidir.

Neft sənayesində mövcud olan texnologiyaların hamısını sadalamaq mümkün deyil. İnnovativ tədqiqat nəticələrini, onların rəqabət üstünlüklərini, patentlərini və tətbiq təcrübələrini təsvir edən geniş kataloqlar mövcuddur. Nəzərə almaq lazımdır ki, bütün tədqiqatlar patentləşdirilməmişdir. Bir çox yeni texnologiyalar nou-xau olaraq, qalmaqda davam edir.

### **Neft-qaz sənayesində innovasiya həlləri**

Yaşıllaşdırma gündəmi zəbt etsə də neft erası öz aktuallığını itirmir. Həm yerli, həm də xarici şirkətlər qara qızılın daha effektiv və ekoloji hasilat üsulları axtarışındadır. Cari yüzillikdə texnologiya geniş addımlarla irəliləməkdədir.

Neftçixarma sənayesinə malik olan dövlətlərdə süxurların neft verimlik göstəricisi 25 faizdən 40 faiz arasında dəyişir. Azərbaycanda bu göstərici yüksək diapazon səviyyəsinə yaxındır. Hazırda dövlət neft şirkəti yeni, o cümlədən rəqəmsal texnologiyalara keçid etməklə göstəriciləri yüksəltməkdə davam edir [5].

Neft hasilatının artırılması və çətin əldə edilən yerlərdə quyuların qazılması sahəsində yeni texnologiyaların tətbiqi Azərbaycana həm dünya bazarında mövqeyini möhkəmlətmək, həm də gələcək üçün inkişaf üçün zəmin yaradır. Belə ki, quyuların qazılması, yataqların işlənməsi sahəsində tətbiq olunan texnologiyanın radikal dəyişimi olmadan, neft hasilatının artırılması sadəcə olaraq, qazma avadanlıqlarının sayının artırılması ilə mümkün ola bilər. Müasir dövrdə bu üsul həm səmərəsiz, həm də kifayət qədər mürəkkəb hesab olunur.

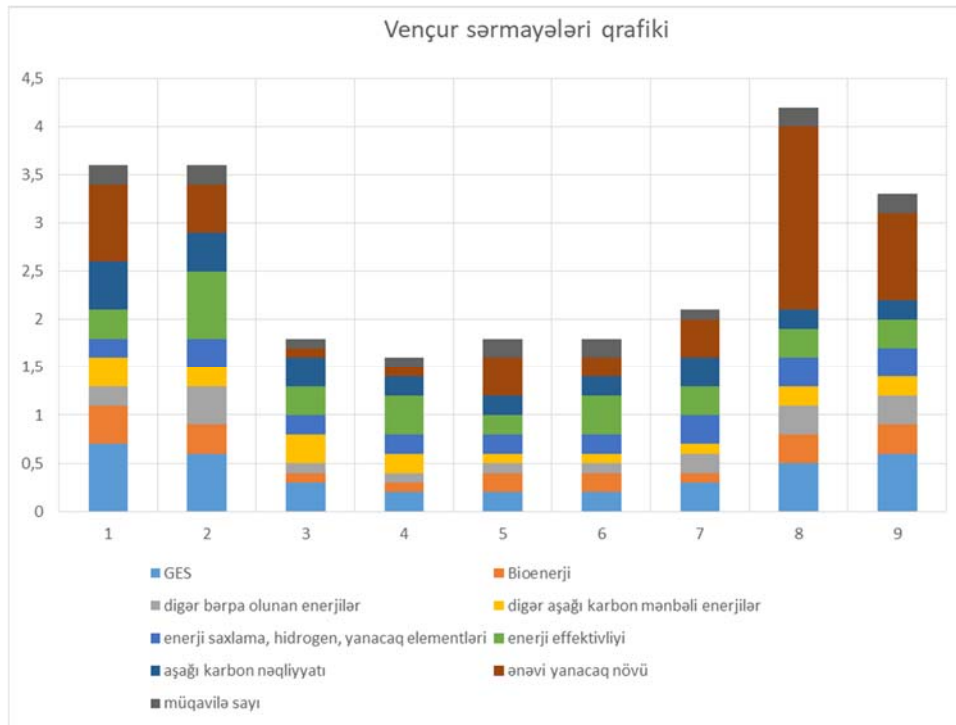
Bu gün neft hasilatının intesivləşdirilməsi və neftverimi əmsalının yüksəldilməsi istiqamətində 400-dən çox yeni texnologiya, metod və üsullar mövcuddur. Onlardan 200 metod hələ Sovet dövründə işlənib hazırlanmışdır.

Yaponiya Yaşıl İnnovasiyalar Fondu 2021-2031-ci illər arasında aşağı karbonlu enerji texnologiyaları sərəhsinin təşkili məqsədilə təxminən 19 milyard dollar vəsait ayırmaq niyyətindədir, bu növ layihələrdə iştirak etmək istəyən özəl sektorlara isə 15 milyard dollar vergi güzəştləri əlavə ediləcək. ABŞ-da iş yerlərinin yaradılması üzrə plan səkkiz il ərzində enerji texnologiyasının inkişafı üçün 35 milyard dollar, o cümlədən atmosfərə atılan istixana qazı emissiyalarını azaldılması üzrə innovativ həllərin inkişafı üçün yeni ideya (ARPA-C) və prioritet iqlim tədqiqatları üçün nümayiş layihələri məqsədilə 15 milyard dollar təklif edir. Böyük layihələr üçün müraciətlərin artıq elan olunduğu AB-nin 10 milyard dollarlıq innovasiya fondu, həmçinin Norveç və Böyük Britaniyada CCUS layihələri üçün müraciətlərin maliyyələşdirilməsi məqsədilə vəsait ayırmışdır [7].



Şəkil 1. Rəqəmsal texnologiyalar neft hasilatının effektivliyini artırır / PHOTOPRESS [6]

Sərmayəçilər yenilikçi enerji texnologiyalarının gələcək onillik ərzində enerji sektorunda “dağıdıcı” və gəlirli rol oynamaqda davam edəcəyindən əminirlər. Vençur sərmayələri 2019-cu il rəzində energetik texnologiyaların tətbiq edilməsi sahəsində bir sıra ölkələrdə sabit olaraq qalmışdır. Bu istiqamətdə əsas yüksəliş enerjinin saxlanması və hidrogen emalı sahəsində müşahidə olunmuşdur. 2010-2019-cu illər üzrə qlobal vençur sərmayələri şirkətlərin enerji texnologiyalarının ilkin mərhələdə tətbiqi şəkil 2-də göstərilmişdir [8].



Şəkil 2. Vençur sərmayələri qrafiki

### **Neft-qaz sektorunda innovasiya həllərinin növləri və onların tətbiqi**

Neft-qaz sektoru illərlə hesablama baxımından əhəmiyyətli dərəcədə sürətlənmişdir. Dünya elektrik enerjisinin verilənlər infrastrukturunu və server fermalarında tətbiq payı proqnozlara əsasən 2030-cu ilədək 20%-dək yüksələcək [9]. Rəqəmsal texnologiyalardan asılılıq səviyyəsinin artım tempinə uyğun olaraq, neft-qaz sahəsi bu tendensiyanın bir hissəsinə çevrilməkdədir. Sözü gedən sektorun rəqəmsal resursların və hesablama xidmətlərinin effektivliyi sənaye ehtiyatlarını tam qarşılayaraq, ümumi ekoloji izinin silinməsi üçün çalışır. Neft-qaz sektoru effektiv hesablama texnologiyaları və öz karbon fəsadlarını azaltmaqda qərarlı olan tədarükçüləri seçməklə ümumi ekoloji göstəriciləri yüksəldə bilər.

Innovasiyalar adətən öz mövqelərini texnologiyalar vasitəsilə möhkəmləndirir və bu heç hər zaman yeni texnologiyanın tətbiq edilməsi demək deyildir. Oksford lüğəti innovasiyanı “mövcud olana yeni metod, ideya və yaxud məhsul tətbiqi yolu ilə dəyişiklik etmək” bacarığı kimi şərh edir. Faktiki olaraq, innovasiyalar – yeni məhsulların yaradılması layihələrinin təhlili üzərinə qurulmuş, dəyər artıran zəncirlər prosesidir (ideya – dəyərin yaradılması – dəyərin satışı) [10].

Sadə məhsulların yaradılması yerində xidmət və təmir işlərinin həcmi kifayət qədər genişləndirmək imkanı verir. Yerində xidmət və təmir təcrübəsi ilə konstruksiyanın sadə olması yerli istehsalat üçün geniş imkanlar yaradır, məşğulluq səviyyəsinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bu isə öz növbəsində yerli operatorlar və onların təchizat zəncirlərinə ölkə daxilində istehsalçılar və ya proqram təminatı tədarükçüləri (İCV – Integrative Genomics Viewer) tərəfindən dəyər üçün qoyulmuş məqsədlərə çatmaq imkanı verir, məsələn İCV sertifikatlaşdırma prosesində Birləşmiş Ərəb Əmirliklərində bu hər kəs üçün böyük mənfəətlə nəticələnmişdir [11]. Yerində xidmət və təmir eyni zamanda avadanlığın daşınması zamanı tullantı sayını azaldır. Nəticədə, eyni vaxtda bir neçə ESG (Environmental, social, and governance) məqsədinə nail olmaq olar. Bundan əlavə, avadanlıqları saytda ucuz, minimal alətlərlə və maksimum istifadə ilə necə saxlamağı öyrənmək rəqəbatli qiymətlərlə nəticələnəcək.

Mütləq əqli mülkiyyətə sahiblik deyil, innovasiyalara təkan verə bilən texnologiyaya çıxış olduğunu başa düşmək texnologiyanın əldə edilməsinə daha birgə yanaşmaya yol açır.

Mövcud neft-mədən xidmətləri şirkətlərinin bir çoxu geniş miqyasda texnologiya şirkətləri ilə əməkdaşlıq edir, məsələn, məlumatların saxlanması və paylaşılması üçün bulud əsaslı məsləhət xidmətlərini göstərmək olar. Məsələn, ən böyük kəşfiyyat və hasilat xidmətləri şirkətlərindən biri başlanğıc şirkətlər üçün öz sürətləndiricisini işə salmaqla Samsung-un davranışını təqlid edir [12].

Həqiqətən də, kapital məhdudiyyətləri daha da sərtləşdi, tədarük zəncirində qənaət ehtiyatları və müvafiq pul vəsaitlərinin hərəkəti azaldıldı; yeni əməliyyat və fiskal məhdudiyyətlər meydana çıxdı; Neft və qaz hasilatı əməliyyatlarından yaranan istixana qazları (İQ) emissiyalarına diqqət artırılmışdır. Bu çoxsaylı məhdudiyyətlərin effektiv şəkildə idarə olunması neft və qaz aktivlərinin inkişafı və istismarına əsaslı şəkildə yeni yanaşmalar tələb edir. Və bu səylərin əsasında ekspertlər yeni texnologiyalar və innovasiyanın daha geniş formalarını görürlər.

### **Yataqların kəşfiyyatı və hasilatda innovasiya**

Gələcək xərclərin və səmərəliliyin artırılması üçün ən böyük vəd karbohidrogen aktivlərinin işlənməsi və istismarına yeni yanaşmalardan gəlir. Bunlardan hansını prioritet hesab etmək olar və şirkətlər ilk növbədə nəyə diqqət etməlidirlər? Qrafikdən geri qalan layihələrin sayının artması və qazma fəaliyyətinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması əməliyyat xərclərinin (OPEX) azalması ilə nəticələnir ki, bu da biznesin maliyyələşdirilməsi üçün lazım olan pul vəsaitlərinin hərəkətinə birbaşa və əhəmiyyətli təsir göstərə bilər.

Qısamüddətli nəticələrə ehtiyac, həllərin sürət miqyası və əlavə kapital qoyuluşlarına məhdudiyyətlər rəqəmsallaşdırma və avtomatlaşdırma texnologiyalarının təklif edilməsi üçün əlverişli şərait yaradır. Bu texnologiyalar ilkin yerləşdirmə üçün yaxşı namizədlərdir. Bu rəhbər prinsiplərə əsaslanaraq, şirkətlərin istədikləri nəticələrə nail olmaq üçün edə biləcəyi bir sıra təşəbbüslər bunlardır:

- Uzaqdan Əməliyyatların İdarə Olunması: Sensor texnologiyası, kommunikasiya və idarəetmə şəbəkələri və İT infrastrukturunda irəliləyişlərdən istifadə edərək, neft şirkətləri ənənəvi yerli əməliyyatlardan uzaqdan dəstəyə keçə bilərlər. Bu keçid uzun illər ərzində həyata keçirilən əsas nəzarət tapşırıqlarından kənara, aktivlərin tam monitorinqi, əməliyyatlar üzrə işçi qüvvəsinin nümunələrinin təhlili, obyektlərin yoxlanılması və uzaqdan texniki dəstək kimi daha mürəkkəb fəaliyyətlərə keçir.
- Təkmilləşdirilmiş avadanlığın məhsuldarlığı və etibarlılığı: Aktivlərin real vaxt rejimində performans məlumatlarına daha çox çıxış əldə etmək və qabaqcıl analitik vasitələrin işlənilməsindən istifadə etməklə, texniklər optimal olmayan performans göstərən avadanlıqları və ya gözlənilən nasazlıqları daha yaxşı müəyyən edə və müvafiq olaraq erkən düzəldici tədbirlər görə bilərlər. Bu cür fəaliyyətlər nəinki aktivin məhsuldarlığını və iş vaxtını yaxşılaşdırır, həm də texniki xidmət xərclərini və istehlak materiallarından istifadəni azaldır.
- Təchizat zənciri və logistikanın optimallaşdırılması: Əmtəə qiymətlərinin aşağı olduğu dövrlər çox vaxt şirkətlərin öz logistika və nəqliyyat şəbəkələrini necə səmərəsiz idarə etdiyini vurğulayır. İntegrasiya edilmiş planlaşdırma, təkmilləşdirilmiş avtomobil istifadəsi və optimallaşdırılmış marşrutlar və sürətlər sayəsində neft şirkətləri ümumi daşıma xərclərini 10%-dən 30%-ə qədər azaltmağa nail olurlar [13].
- Artan enerji səmərəliliyi: Enerji və yanacaq istehlakı bir çox resurs sinifləri, xüsusilə yetkin aktivlər və dəniz neft və qazı üçün mühüm xərc komponentidir. Optimal enerji istifadəsini təmin etmək üçün kritik avadanlıqları və ümumi istehsal sistemlərini fəal şəkildə izləməklə və onlar dözümlülükdən kənara çıxdıqda (istehsalata mənfi təsir göstərmədən) tədbirlər görərək, aparıcı sənaye şirkətləri istehlakı 5-15 faiz azalda bilərlər [14].

İHS Markit bu cür texnoloji təşəbbüsləri həyata keçirən aparıcı şirkətləri müəyyən etmək üçün tədqiqat aparıb ki, onların uğuruna və təkmilləşdirilmiş performansına kömək edən texniki və təşkilati amilləri müəyyən etsin. Orta məhsuldarlıq artımı nəticələrini götürmək və sonra onları əsas aktiv siniflərinin əsas əməliyyat xərcləri komponentləri ilə müqayisə etmək yaxın və orta müddətli dövrdə vahid xərclərin azaldılması potensialının real mənzərəsini təmin edə bilər. Hesab olunur ki, neft şirkətləri yüngül sıx neft yataqlarında ("şistlər") və dərin su neftlərində müvafiq olaraq 20 və 18% azalma həyata keçirə bilər [15].

### Nəticə

Mövcud müasir neft emalı texnologiyaları demək olar ki, istənilən keyfiyyətli xammaldan neft məhsulları əldə etməyə imkan verir, lakin neftin keyfiyyət xüsusiyyətlərinin azalması ilə yanaşı, neft emalının mükəmməlliyi də itir. Məhz buna görə də mövcud yataqlarda çətin əldə olunan ehtiyatlara çıxış imkanı verən və əldə edilən karbohidrogen xammalının keyfiyyətini yaxşılaşdıran müasir neft hasilatı texnologiyalarından daha fəal istifadə edilməlidir.

Neft-qaz sənayesində İT infrastrukturunun inkişaf perspektivləri ilk növbədə neft və təbii qazın işlənməsi, hasilatı, nəqli və emalı ilə bağlı bütün işlərin tam spektrinin avtomatlaşdırılmasını əhatə edir. Axı neft və qazın hasilatının, emalının və nəqlinin maya dəyərini aşağı salınması getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Bu tapşırıq yenidən kəşfiyyat qazma işlərinin layihələndirilməsi və texnoloji nəzarəti, qazma parametrlərinin hesablanması, geoloji və geofiziki məlumatların idarə edilməsi və s. kimi sahələrdə əsas proseslərin avtomatlaşdırılmasının həllinə kömək edir.

Neft-qaz sənayesində avadanlıqların təmirinin planlaşdırılması, təmin edilməsi və həyata keçirilməsi proseslərinin avtomatlaşdırılması avadanlıqların qəzalı və planlı dayanma vaxtı ilə bağlı müəssisə itkilərini azaltmağa imkan verir.

Son zamanlar geoloji, texnoloji və istehsalat idarələrində istifadə üçün ixtisaslaşmış məlumat bazalarının və proqram təminatının hazırlanmasına xüsusi diqqət ayrılır. Verilmiş məlumatlar bazası yeni versiyalar ilə mövcud olan texnologiya arasına uyğunluğa əsaslanır. Hazırda neft-kimya və neft emalı müəssisələrinin 3D layihələndirilmə işləri və avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemlərinin yaradılması və tətbiqi geniş inkişaf etmişdir.

Neft və qaz sənayesindəki bütün IT texnologiyaları avadanlıqların etibarlılığına, neft və qaz hasilatı, neft və qazın nəqli, eləcə də neft və qaz emalı kimi sistemlər üçün artan tələblərə tabedir. Bütün texniki tələblər tənzimləyici, məlumat bazası, habelə neft-qaz sənayesində cihazların yaradılması zamanı texniki şərtlərin işlənilib hazırlanması üçün əsas hesab oluna bilər.

### ƏDƏBİYYAT

1. finam.ru. 05.08.2020. Новости компаний. Благодаря цифровой трансформации "Газпром нефть" получила 7,2 млрд рублей экономического эффекта. <https://www.finam.ru/publications/item/blagodarya-cifrovoiy-transformacii-gazprom-neft-poluchila-7-2-mlrd-rubleiy-ekonomicheskogo-effekta-20200805-114517/>
2. habr.com. 18.01.2023. Л.Кудрявцева. Совершенствование гидроразрыва пласта. <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/711430/>
3. habr.com. 18.01.2023. Л.Кудрявцева. Сейсмо-моделирование. <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/711430/>
4. habr.com. 18.01.2023. Л.Кудрявцева. Сейсмо-моделирование. <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/711430/>
5. Vikipediya. Neft və qaz üçün kollektor olan süxurlar. [https://az.wikipedia.org/wiki/Neft\\_v%C9%99\\_qaz\\_%C3%BC%A7%C3%BCn\\_kollektor\\_olan\\_s%C3%BCxurlar](https://az.wikipedia.org/wiki/Neft_v%C9%99_qaz_%C3%BC%A7%C3%BCn_kollektor_olan_s%C3%BCxurlar)
6. Фомченков Т. Новые технологии добычи нефти позволят создать запас прочности на будущее. Российская газета. Спецвыпуск: ТЭК №88, с А3. (24 апреля 2023 г. №9033)
7. Костюкова К.С. «Зеленая» трансформация Японии и некоторые контуры новой энергетической политики страны. //π-Economy. 2022. Т. 15, №6. С. 54 – 70. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15604>
8. World Energy Investment 2020 – Analysis – IEA mai 2020. Page 188.
9. Александрович С.М. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Интернет-журнал «Науковедение» №4 2012. С. 1-15.
10. Pisano G., 2015. You Need An Innovation Strategy. Harvard Business Review 93, no. 6 (June 2015): 44-54.
11. gov.ae, n.d. In-Country Value (ICV), <https://idb.added.gov.ae/en/icv> (accessed 2 August 2020). Halliburton Labs, 2020. [www.halliburtonlabs.com](http://www.halliburtonlabs.com) (accessed 31 July 2020). Press release. Investors Page 1.
12. Halliburton Labs, 2020. [www.halliburtonlabs.com](http://www.halliburtonlabs.com) (accessed 31 July 2020). Press release. Investors Page 1-2.
13. Демьяненко И.В. Анализ возможностей снижения себестоимости добычи нефти. Журнал «Вестник экономики и менеджмента». №2. 2020 г. С. 12-17.
14. Федорова Г.О., Васильевич.П.И. Энергосбережение – приоритетная задача современной нефтегазопереработки. Журнал «Neftegaz.RU». №1, Январь 2021. С. 32 -35.
15. IHS Markit by Carolyn Seto and Judson Jacobs, Posted 23 February 2021.

### NEFT SƏNAYESİNDƏ TEXNOLOJİ İNKİŞAF

R.Q.Əliyeva

**Xülasə.** Neftin dünya iqtisadiyyatında tutduğu mövqə hər kəsə məlumdur. Bu səbəbdən qara qızılın hasilatında daha mükəmməl texnologiyaların tətbiq edilməsi zəruri tədbir hesab oluna bilər. Mövcud hasilat üsullarının təkmilləşdirilməsi bilavasitə bu sahədə elmi-tədqiqat işlərinin inkişaf etdirilməsi üçün böyük təkanverici qüvvədir.

Demək olar ki, bütün sahələrdə elmi nailiyyətlərin ən başlıca inkişaf istiqamətini yeni ekoloji texnologiyaların yaradılması tutur. Təbii ki, bu tendensiya neft sənayesi üçün də keçərlidir.

Bu məqsədlə 2020-ci ildə əksər dövlətlər aşağı karbonlu enerji sahəsində Elmi tədqiqat layihə işlərinə əlavə maliyyə ayırmağa başlamışdır. Belə ki, həmin dövrdə böhran ilə əlaqədar olaraq, özəl təşkilatların ETLİ sahəsinə ayrılan xərclərinin azaldığı aydın şəkildə müşahidə olunurdu.

Beynəlxalq Enerji Agentliyinin hesablamalarına əsasən 2030-cu ilədək müxtəlif dövlətlər tərəfindən irimiqyaslı aşağı karbonlu enerji texnologiyalarının tədqiqatına ayrılacaq maliyyələşmə məbləğinin həcmi 50 mlrd dollar təşkil edəcək. Yaponiya tərəfindən 20 mlrd dollar civarında ayrılması nəzərdə tutulan sərmayəni xüsusilə qeyd etmək lazımdır.

Məqalədə məhz adı çəkilən elmi-tədqiqat işlərinin, yeni texnologiyaların əsas istiqamətləri nəzərdən keçirilir.

**Açar sözlər:** rəqəmsallaşma, modelləşmə, avtomatlaşdırma, nanotexnologiya, patent.

Accepted: 14.03.2024

## AZƏRBAYCANDA AQRAR KLASTERLƏRİN FORMALAŞDIRILMASI ÜÇÜN AVROPA TƏCRÜBƏSİ

Sübhan Nadir oğlu Namazov, Orxan Mirzəağa oğlu Vətənxah,  
Mətanət Həsən qızı Paşayeva, Anar Babaqədir oğlu Hacıyev  
*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

### EUROPEAN EXPERIENCE FOR THE FORMATION OF AGRICULTURAL CLUSTERS IN AZERBAIJAN

Subhan Nadir Namazov, Orkhan Mirzaaga Vatankhah,  
Matanat Hasan Pashayeva, Anar Babagedir Hajiyev

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: subhan.namazov@aztu.edu.az, orxan.vatan@aztu.edu.az,  
matanat.pashayeva@aztu.edu.az, anar.hajiyev@aztu.edu.az*

*https://orcid.org/0009-0002-6884-0842, https://orcid.org/0000-0002-0465-7494, https://orcid.org/0009-0002-5125-6674,  
https://orcid.org/0000-0003-0636-9397*

**Abstract.** The article is devoted to agricultural clusters - one of the modern models of industrial organization. As an introduction to the topic, the factors necessary for the formation of clusters, the benefits received by enterprises and organizations that are part of the cluster are briefly explained, and a classification of clusters is also given. The experience of agricultural clusters in Italy and Lithuania is considered, as well as the influence of clusters on the socio-economic life of these countries. The article also analyzes the work carried out towards the formation of agricultural clusters in Azerbaijan, the adopted legislation and existing difficulties in this area.

**Keywords:** cluster, agriculture, European Union, Italy, Lithuania, Azerbaijan.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Giriş

Son dövrlərdə aqrar sektorun inkişafının təmin edilməsi məqsədilə innovasiyaların tətbiqi və klasterləşmə siyasətinin həyata keçirilməsi müxtəlif inkişaf etmiş ölkələr tərəfindən uğurla tətbiq olunmaqdadır. İnkişaf etmiş Avropa ölkələrində geniş tətbiq olunan klaster birgə fəaliyyət modellərində yeni innovativ həllərlə effektiv idarəetmə, IT texnologiyalarının aqrar sektorda uğurlu tətbiqi ilə yüksək səmərəliliyə və məhsuldarlığa nail olunması, uğurlu logistikanın təşkili bir vəhdətdə qoyulmaqdadır.

Hər hansı ərazi vahidi çərçivəsində oxşar sahədə, yaxud da bir-biri ilə qarşılıqlı şəkildə əlaqəli sahələrdə müəssisələrin birgə fəaliyyətinə tez-tez rast gəlinir. Müasir sənayedə bu kimi birgə fəaliyyət “klaster” olaraq adlandırılır. Tarixə nəzər salsaq klasterə bənzər birlikdə fəaliyyət göstərən təşkilatlar hələ ötən əsrin 70-ci illərindən mövcud olsa da “klaster” terminini ilk dəfə elmi ədəbiyyatda Maykl Porter “Xalqların rəqabət qabiliyyəti” əsərində işlətmişdir [1, s. 11].

Klasterlər müəyyən bir ərazidə bir-biri ilə əlaqəli şirkət və qurumların coğrafi konsentrasiyası olub rəqabət mühitinin yaradılması üçün vacib olan bir sıra əlaqəli təşkilat, qurum və müəssisələri bir çətir altında birləşdirir. Bu təşkilat və qurumlara müxtəlif növ avadanlıqlar, xidmətlər və istehsalat üçün tələb olunan digər vasitələri təchiz edən müxtəlif ixtisaslaşdırılmış təchizatçıları misal göstərmək olar.

Bir çox hallarda klasterlər hətta təchizat zəncirinin daha aşağısında yerləşən satış şəbəkələri və müştəriləri, eləcə də bilik, tədarük texnologiyaları və ya ümumi resurslarla əlaqəli sahələrdə bir-birini tamamlayan müəssisələri də əhatə edir. Bəzi hallarda, bir çox klasterlərə xüsusi təlim, təhsil, məlumat, tədqiqat və texniki dəstək verən universitetlər, standartlar təyin edən agentliklər, beyin mərkəzləri, peşə təhsili müəssisələri, ticarət assosiasiyaları kimi dövlət və özəl təşkilatlar da daxil olur. Başqa sözlə klaster – rəqibləri qarşısında regional və hətta qlobal miqyasda hər hansısa bir sənaye sahəsində açıq rəqabət üstünlüyü qazanmağa imkan verəcək qədər resurs və biliklərin cəmləşdiyi müəyyən coğrafi ərazidə yerləşən müxtəlif müəssisələrin birgə fəaliyyət asossiasiyasıdır.

Klasterlərdə birləşmiş oxşar sahələr üzrə fəaliyyət göstərən müəssisələrin rəqabətə davamlılığını təmin edən sənayenin müasir idarə edilməsi modelidir. Klasterə daxil olan müəssisə və təşkilatlar istehsal qabiliyyətinin yüksəldilməsi, əhatə etdikləri sahələr üzrə innovasiyaları və tədqiqatları



dəstəkləməsi, eləcə də yeni daha qeyri-standart baxış bucağına malik struktur və təşkilatların inkubasiyasını dəstəkləməsi ilə fərqlənir [2, s. 27].

Müasir qlobal iqtisadiyyatda xüsusi coğrafi mövqeyə (məsələn, dəniz limanı, hər hansı nəqliyyat haqlarına) və ucuz işçi potensialına malik olan bölgələr getdikcə daha az cəlbedici rol oynayır. İndi artıq hər hansısa bir bölgədə sənayenin mərkəzləşməsi və klasterlərin formalaşması üçün əsas hərəkətverici amil yeni innovasiyaların yaradılması və icrası üçün potensial imkanların yaradıldığı yerlərdir – beyin mərkəzlərinin, kifayət qədər resursların və texniki imkanların daha əlçatan olduğu, hər hansı bir istehsal sahəsi üzrə tarixi ənənələrə, yaxud da irəli sürülən ideyaların icrasına sosial icmaları daha loyallaşdıraraq ərazilər mühüm rol oynayır. Bütün bunlar klasterlərin formalaşmasında beyin mərkəzləri qismində universitetlər, institutlar, elmi və təcrübəli tədqiqat mərkəzlərinin xüsusi rola malik olduğunu açıq şəkildə göstərir.

Qlobal miqyasda hər hansısa sahə üzrə rəqabət üstünlüyü qazanmış belə ərazilərə Silikon vadisi, yaxud da Hollivudu misal göstərmək mümkündür. Hal-hazırda klasterlər bir çox fəaliyyət sahələri üzrə formalaşmış, onlara misal olaraq biznes-klasterlərini, sənaye klasterlərini, texnologiya klasterlərini, eləcə də aqrar klasterləri fərqləndirmək olar.

Təqdim olunan məqalədə Avropa ölkələrində aqrar sahədə klasterlərin təcrübəsinin araşdırılması və Azərbaycanda müvafiq sahədə klasterlərin yaradılması imkanlarına nəzərə yetirilmişdir.

### ***Aqrar klasterlərin nəzəri əsasları***

Dünya əhalisinin sayının artdığı, insanların sağlam və kifayət qədər qidaya ehtiyac duyduğu vaxtda aqrar klasterlərin əhəmiyyəti xüsusi olaraq artır. Aqrar klasterlər bir qayda olaraq təkcə kənd təsərrüfatı sektorunun deyil, həm də əhatə etdiyi ərazilərdə kənd icmalarının da inkişafına təkan verən mühüm amil hesab olunur. Bu hal ölkələrin ərzaq təhlükəsizliyinin təmin edilməsi ilə yanaşı həm də aqrar klasterin cəmiyyətin sosial rifahının yaxşılaşdırılması, insanların şəhərlərə axınının qarşısının alınması, bölgələrdə məşğulluğun artırılması kimi müasir trendlərə də cavab verir.

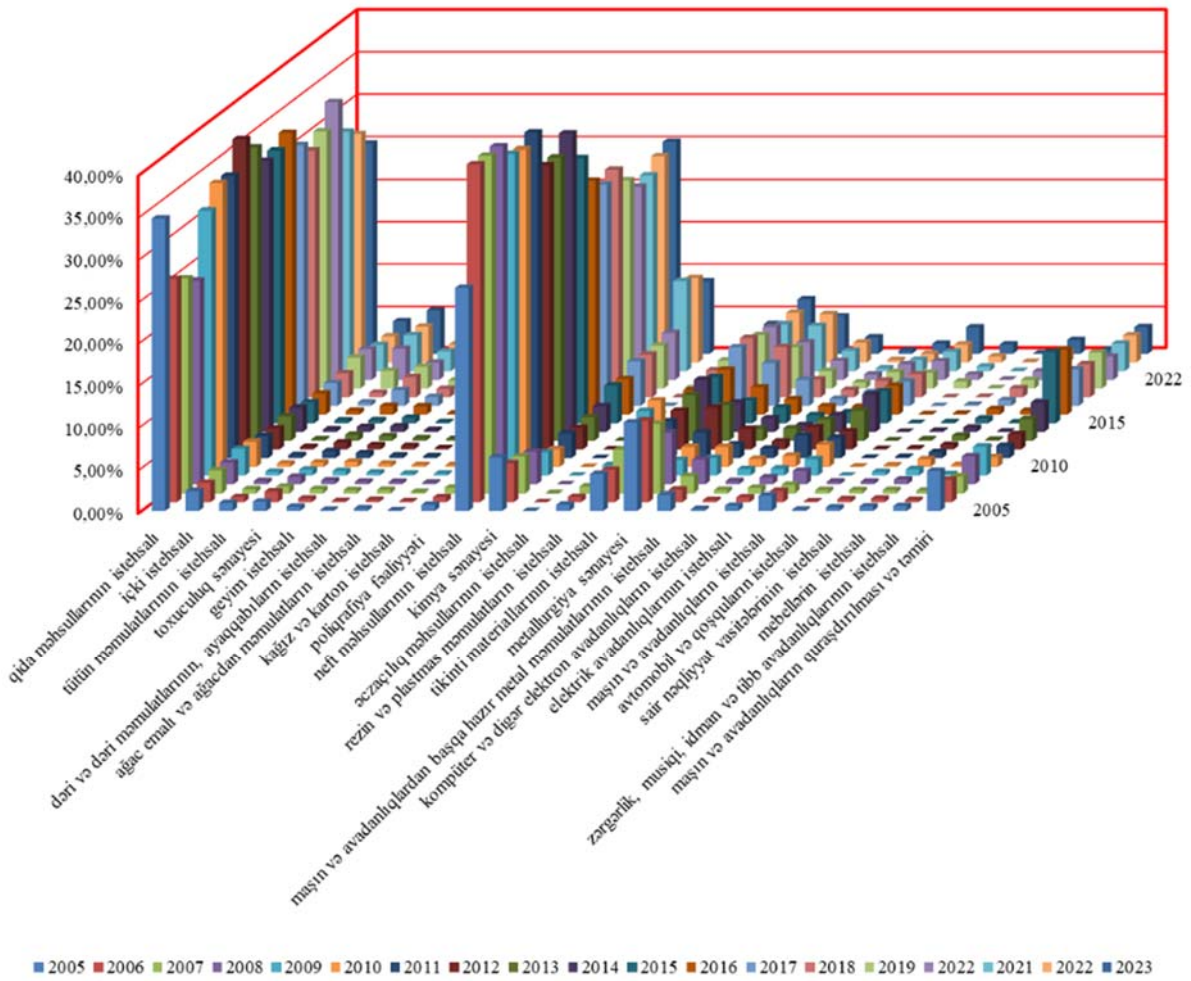
Sənayenin inkişaf etdirilməsi Azərbaycanda dövlətin son 20 ildə yürütdüyü siyasətin əsasını təşkil etdiyi halda, kənd yerlərində əhalinin kəskin azalması və iqtisadi artım və inkişafın əsaslarının itirilməsi müşahidə olunmuşdur. Bu tendensiya kəndlərin deqradasiyası ilə nəticələnmiş və sonrakı illərdə onların təkrar dirçəldilməsi üçün böyük həcmli işlərin aparılmasını tələb etmişdir. Lakin kənd təsərrüfatı sahələrinin inkişaf etdirilməsi, rayon və kənd yerlərində iş yerlərinin artırılması son 15 ildə Azərbaycan Respublikasında prioritet sahələrdən birinə çevrilmiş, bu sahənin dayanıqlı inkişafı üçün dövlət proqramları qəbul edilmişdir (şəkil 1).

Şəkildən də göründüyü kimi qida məhsullarının istehsalının ümumi buraxılışı 2005-2022-ci il aralığında neft məhsullarının buraxılışı qədər iqtisadiyyatda xüsusi çəkiyə malik olmuşdur.

Kənd yerlərinin iqtisadi, sosial və demoqrafik dirçəlişində kənd təsərrüfatı klasterlərinin yaradılması mühüm rol oynayır. Aqrar klasterlərin rolu aqrar sektorun ümumi iqtisadi inkişafına təsirinə görə əhəmiyyətlidir. Aqrar klasteri “kənd təsərrüfatı istehsalçılarının təchizatçıları, qida emalı sektoru və paylama sektoru ilə inteqrasiyası sistemi kimi müəyyən edilə bilər ki, bu da istehsalçıdan son istehlakçıya qədər bir-biri ilə əlaqəli bütün iştirakçılara effektiv nəzarəti təmin edir”. Aqrar klasterlər onun iştirakçıların iqtisadi dividəntlərini artıran və xərclərini isə rasionallaşdıran dəyər zənciri yaratmaqla, onlara qlobal bazarda rəqabət qabiliyyəti verir.

Klasterlərin regional iqtisadi inkişafa təsiri klasterin miqyasından və əhatə dairəsindən asılıdır. Klasterin miqyası ilk növbədə ayrı-ayrı iştirakçılar arasında əməkdaşlığın və iş koordinasiyasının dərəcəsindən, klasterə infrastruktur və marketinq dəstəyi göstərən ixtisaslaşmış qurumların xarici dəstəyindən asılıdır. Klaster iştirakçıların özələrinin ictimai və akademik sektorlarla əlaqələri əsasında klasterin innovativ fəaliyyəti üçün də ilkin şərtlər yaradılır. Təbii ki, bunlarda universitetlərin, institutların və digər elmi-tədqiqat mərkəzlərinin inkişafına yol açır.

Bir çox digər sahələrdə olduğu kimi burada nəzarət, eləcə də stimullaşdırıcı tədbirlərin icrasında dövlət qurumları mühüm rol oynayır. Buna misal olaraq aqrar klasterə üzv olan müəssisələr arasında münasibətləri tənzimləyən hüquqi qanunvericiliyin formalaşdırılması və qəbulu, onların fəaliyyətini və innovasiyaların tətbiqinin stimullaşdırılmasını göstərmək olar.



Şəkil 1. Azərbaycanda sənaye sahələrinin ümumi buraxılışı, %, 2005-2022-cü illər

Bəs dövlətin aqrar klasterlərdəki stimullaşdırıcı fəaliyyəti özündə nəyi nəzərdə tutur? Buraya bir çox təsir mexanizmlərini aid etmək olar. Məsələn, aqrar klasterə üzv olan müəssisə və təşkilatlara vergi güzəştləri, daha yüksək subsidiyaların ayrılması, texnika və texnologiyaların alınması üçün daha aşağı faizlə lizinq və maliyyə kreditlərinin ayrılması və s. Bu zaman dövlət qurumları bir sıra şərtlər irəli sürməklə (məsələn, idxal olunan texnologiyaların mənimsənilməsi ilə müəyyən müddət sonra onun lokal istehsalının formalaşdırılması, istehsal həcmi və qiyməti ilə bağlı hədlərin tövsiyə olunması, konkret ixtisaslar üzrə universitetlərdə təhsil alan tələbələrin işlə təminatı, elmi innovasiyaların icrası və s.) klasterə üzv olan təşkilatların ümumi dəyər zəncirinin formalaşdırılmasına nəzarət etmiş olur.

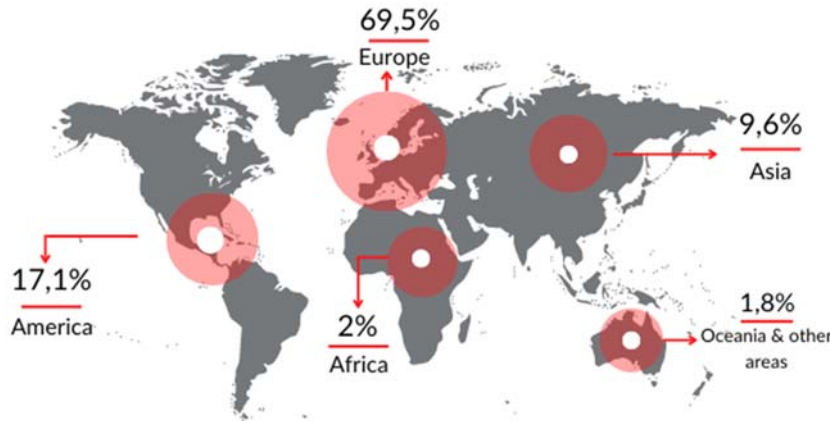
Yuxarıda qeyd olunan amillər inkişaf etmiş, xüsusilə də Avropa ittifaqına üzv olan ölkələrdə aqrar klasterlərin yaradılması və dəstəklənməsinin dövlət proqramları çərçivəsində icrasına və dəstəklənməsinə yol açır.

#### ***Avropa İttifaqına üzv olan ölkələrdə aqrar klasterlərin fəaliyyət təcrübəsi***

Müasir dövrümüzdə aqrar klasterlərin formalaşmasının və fəaliyyətinin regionların inkişafına göstərdiyi təkanı, ərzaq təhlükəsizliyinin, eləcə də elmi innovasiyaların yaradılmasına təsirini daha yaxşı başa düşmək üçün bu sahədə ciddi təcrübəyə malik olan bəzi Avropa İttifaqına üzv olan ölkələrin təcrübəsindən bəhrələnmək olar.

***İtaliyanın aqrar-qida klasteri modeli.*** İtaliyanın aqrar-qida klasteri məhsulun əkini və toplanması, emalı, paylaşması və pərakəndə satışı da daxil olmaqla kənd təsərrüfatı və qida sənayesinin bir

çox istiqamətlərini əhatə edən ölkənin ən önəmli iqtisadi sektorlarından biridir. Ümumiyyətlə İtaliyanın aqrar sənayesi özünün qida məhsullarına, qida məhsullarının keyfiyyəti və təhlükəsizliyi ilə bağlı ənənələrinə və beynəlxalq bazarda malik olduğu dayanıqlı mövqeyinə zəngin təcrübəyə malikdir. “Made in Italy” markası altında istehsal olunmuş qida məhsulları dünyada böyük prestijə malikdir. Təkcə onu qeyd etmək kifayətdir ki, 2022-ci ildə İtaliya ümumi dəyəri 42 milyard avrodan artıq olan kənd təsərrüfatı məhsullarını ixrac etmişdir [3, s. 14].



Şəkil 2. İtaliyanın kənd təsərrüfatı sektoru məhsullarının ixrac xəritəsi

İtaliya hökumətinin açıqladığı statistikaya nəzər yetirsək görərik ki, 2021-ci ildə onun kənd təsərrüfatı məhsullarının ixracının 17%-i Amerika, 9,6%-i Asiya, təxminən 3,8%-i Afrika və Avstraliya qitələrinin payına düşdüüyü halda, 69,5%-i bilavasitə Avropa qitəsinin bazarlarına ixrac edilmişdir. Bu isə onu göstərir ki, İtaliya Avropa qitəsinin böyük hissəsini əhatə edən Avropa İttifaqında ərzaq təhlükəsizliyinin təmin olunmasında əhəmiyyətli paya malikdir (Şəkil 2).

“Made in Italy” məhsulları yüksək keyfiyyət, təhlükəsizlik və prestij sinonimləri kimi xaricdə geniş şəkildə tanınır və bütün dünyada yüksək tələb olunur. Bu, 2022-ci ildə 42 milyard avro dəyərində ixracın və dünyanın hər yerindən İtaliyanın kənd təsərrüfatı məhsullarına tələbatın artması ilə nəticələnir.

*İtaliyanın Apuliya regionunda Aqrar-qida klasteri - GAL Sud Est Barese (GAL Seb).* GAL SUD EST BARESE aqrar-qida klasterinin əsas məqsədi aqrar sahədə elmi-texniki tərəqqini dəstəkləməklə yeni investisiya qoyuluşlarını cəlb etmək, bununla da Apuliya regionunda aqrar sahədə fəaliyyət göstərən müəssisələri, zavodları, fərdi təsərrüfatları, eləcə də təhsil mərkəzlərinin iqtisadi və sosial inkişafına köməklik göstərməklə yanaşı, regional, milli və Avropa səviyyəsində inkişaf proqramlarını əlaqələndirmək və idarə etmək rolunu da həyata keçirir. Bölgədə aqrar sahədə aparılan innovasiyalar təkcə İtaliya səviyyəsində deyil, hətta dünyada ən qabaqcıllardan sayılır. GAL Sud Est Barese-nin vasitəsilə istehsal sektorunun əsas tədarük zəncirlərini birləşdirən layihələr ətrafında biznes konsolidasiyasının təşviqi, habelə onların texnoloji tədqiqat məsələləri ilə əlaqələndirməklə ölkənin istehsal sisteminin inkişafına kömək edir.

GAL Sud Est Barese-nin bölgənin inkişafındakı əhəmiyyətini başa düşmək üçün təkcə onu qeyd etmək kifayətdir ki, 2007-2013-cü illərdə icra olunan Apuliya regionunun inkişafı proqramında adı çəkilən klasterin dəstəyi ilə bölgədə 8 aqrar turizm müəssisəsi, 2 tədqiqat ferması, 2 sosial ferma, 14 mehmanxana, 6 peşə və kiçik fərdi sahibkarlıq, 24 istirahət və kənd turizmi müəssisəsi, eləcə də turist informasiya mərkəzləri, velosiped yollarının çəkilməsi, tarixi abidələrin bərpa kimi bir çox sosial layihələrin maliyyələşdirilməsi aparılmışdır.

Hal-hazırda GAL Sud Est Barese aqrar klasterinə aqrar təsərrüfat və aqrar biznes sahəsi üzrə fəaliyyət göstərən 252 şirkət, regional əhəmiyyətli 7 ticarət ittifaqı və 5 təhsil müəssisəsi olmaqla 264 üzv daxildir.

**Litvanın aqrar klaster modeli.** Digər Avropa İttifaqı ölkələrindən fərqli olaraq Litvanın klaster təcrübəsi daha az olsa da, o, Azərbaycan üçün olduqca yaxşı nümunə sayıla bilər. Belə ki, keçmiş Sovetlər İttifaqının tərkibinə daxil olmuş və yalnız 2004-cü ildə Aİ-a tam hüquqlu üzv seçilmiş Litva klasterlərinin yaradılması və inkişafı istiqamətində son 20 ildə kifayət qədər ciddi nailiyyətlər əldə edə bilsə də bu, ona heç də asan başa gəlməyib. Belə ki, yenicə “kolxoz”, “sovxoz”, “kollektiv mülkiyyət” kimi anlayışlardan qurtulmuş bir ölkənin sahibkarlarını və təsərrüfat sahiblərini klasterlərə üzv olaraq qarşılıqlı əməkdaşlıqda birlikdə fəaliyyət göstərməyin faydalarına inandırmaq yalnız ciddi maarifləndirmə və təbliğat işlərinin aparılması nəticəsində mümkün olmuşdur [4, s. 95].

**Litvanın National Food klasteri.** Avropa İttifaqına üzv olduqdan sonra Litva ümumavropa dəyərlərini özünün sosial-iqtisadi həyatına inteqrasiya etmək üçün işlərə başlamışdır. Təbii ki, qarşıda duran əsas hədəflərdən biri də ölkənin qida təhlükəsizliyinin təmin edilməsi olmuşdur. Lakin bu zaman Litva özünün daxili bazarını Avropa İttifaqında istehsal olunmuş məhsullarla doldurulmasına deyil, əksinə, İttifaqa üzvlüyün üstünlüklərindən faydalanaraq yerli istehsalın artırılması, yerli qida brendlərinin formalaşdırılması və möhkəmləndirilməsi, eləcə də ixrac potensialının artırılmasına çalışmışdır. Bu baxımdan aqrar sektorda kifayət qədər zəngin tarixi ənənələrə malik olan Litva mümkün qədər sürətlə aqrar klasterin yaradılması istiqamətində qısa müddətdə kifayət qədər ciddi işlər görmüşdür.



Şəkil 3. National Food klasteri üzvlərinin yerləşmə xəritəsi

Aparılmış işlərin yekunu olaraq mərkəzi Kaunas şəhərində yerləşən və Litvanın Mərkəzi, Şimal və Şərq regionlarından müxtəlif üzvlərin daxil olduğu National Food klasteri yaradılmışdır. National Food klasterinə 1 tədqiqat və təhsil institutu, 1 assosiasiya, 17 orta və kiçik sahibkarlıq subyekti və 2 ferma təsərrüfatı olmaqla ümumilikdə 21 üzv daxildir. Hal-hazırda, National Food klasteri Litvanın klasterlər şəbəkəsinin ən fəal üzvlərindən biridir (Şəkil 3).

Əslində assosiasiya kimi qeydiyyatdan keçmiş National Food klasterinin idarə edilməsi nizamnamə ilə tənzimlənir. Təşkilati fəaliyyətin idarə edilməsinə klasterin direktoru, idarə heyəti və ümumi şura cavabdehdir. Baş Assambleya ali idarəetmə orqanıdır. Şuraya seçilmiş idarə heyətinin sədri rəhbərlik edir, şura direktor təyin edir. Klasterin hər bir üzvü ümumi büdcəni formalaşdırın illik üzvlük haqqı ödəyir. Büdcəyə həmçinin layihə fəaliyyətlərindən, qrantlardan, ianələrdən və sairədən gələn gəlirlər də daxil edilə bilər.

Qida sektoru müəssisələri və tədqiqat institutları arasında əməkdaşlıq şəbəkəsi rolunu oynayan National Food klasterinin əsas məqsədlərinə Litvanın qida sənayesinin dəyər zəncirini formalaşdırmaq, insan, maliyyə, təşkilati, infrastruktur və texnoloji resursları cəmləşdirməklə müəssisələrə bazarda özlərinə yer tutmaqlarına kömək etmək, şəbəkələşmə vasitəsilə biliklərin, bacarıqların və məlumatların əldə edilməsini təşkil etmək, eləcə də öz üzvlərinə aktiv və rəqabətqabiliyyətli bazar iştirakçılarına çevrilməsinə şərait yaratmaqdan ibarətdir. National Food klasteri ölkədə qida sektorunun inkişafını bilavasitə kifayət qədər praktiki biliklərə malik ixtisaslı kadrların yetişdirilməsində gördüyü üçün ali təhsil müəssisələri ilə əməkdaşlığa xüsusi önəm verir. National Food klasterinə daxil olan Litva Kənd və Meşə Təsərrüfatı Tədqiqat Mərkəzinin (The Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry) nəzdində fəaliyyət göstərən Bağçılıq və bostançılıq institutunun digər klaster üzvləri ilə kifayət qədər möhkəm iki tərəfli əlaqələrini xüsusi olaraq vurğulamaq lazımdır. Belə ki, bu təhsil-tədqiqat institutunda auditoriya və praktiki laboratoriyalar bilavasitə klasterin ayrı-ayrı üzvlərinin texniki və maliyyə dəstəyi ilə həyata keçirilir, eləcə də müvafiq ixtisaslı tələbələrin peşə vərdişlərinə yiyələnmələri üçün onların ödənişli təcrübə proqramlarına və istehsalata cəlb olunması ənənəvi hal daşıyır. Kaunas Tətbiqi Elmlər Universiteti (University of Applied Sciences), Vytautas Magnus Universitetinin Aqrar Təsərrüfat Akademiyası kimi təhsil mərkəzlərinin də klasterlə əməkdaşlıqlarını qeyd etmək lazımdır.

Beləliklə də, İtaliyada olduğu kimi Litvada da aqrar klasterlərin fəaliyyəti təkcə qida sektorunda dəyər zəncirinin formalaşdırılmasına deyil, həm də elmin və təhsil sektorlarında inkişafın dəstəklənməsinə yönəlir. İtaliyadan fərqli olaraq Litvada aqrar klasterlərin formalaşması təxminən son 20 ildən də az bir müddəti əhatə edir. Bu baxımdan Litvanın malik olduğu klaster təcrübəsi Avropa İttifaqına tərəfdaş olan, Azərbaycanda klasterlərin inkişaf etdirilməsinə yaxşı nümunə ola bilər.

### **Azərbaycanda klasterlərin yaradılmasının hüquqi bazası və perspektiv inkişafı**

Azərbaycanda klaster fəaliyyətinin dəstəklənməsi üçün müvafiq hüquqi və tənzimləyici çərçivə formalaşdırılmaqdadır. Bu məqsədlə mikro, kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərinin klasterləri haqqında nümunəvi əsasnamə təsdiq edilmişdir [5, 4.1-ci maddə]. Nümunəvi əsasnamə mikro, kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərinin klasterlərinin (bundan sonra – KOB klasteri) yaradılmasının və ləğvinin, habelə KOB klasterində sahibkarlıq fəaliyyətinin həyata keçirilməsinin təşkilati, hüquqi və iqtisadi əsaslarını tənzimləyir. Burada sahibkarlıq fəaliyyətinin həyata keçirilməsi üçün müvafiq normativ hüquqi aktların siyahısı ilə yanaşı fəaliyyətinin formalaşdırılması şərtləri və qaydaları, KOB klaster şirkətinin və onun iştirakçılarının funksionallığı, qarşılıqlı fəaliyyətləri və resursların əlaqələndirilməsinin çərçivəsi müəyyən edilmişdir. KOB klasteri və onun iştirakçıları arasında birgə fəaliyyətin təşkilati forması kimi kooperasiya sxemi və birgə layihə çərçivəsində fəaliyyətlərinin çərçivəsi müəyyən edilmişdir. Bundan əlavə, KOB klasterinin texnoloji zəncirinə daxil edilən müəssisələrin yarada biləcəyi əlavə dəyərin çərçivəsi formalaşdırılmış və KOB klaster və onun iştirakçılarının birgə fəaliyyətlərinin maliyyə-iqtisadi əsaslandırılmasına tələblər müəyyən edilmişdir.

Kiçik və orta sahibkarlıq bizneslərinin klasterləşməsi Azərbaycanda 2030-cü ilə kimi müəyyən olunan prioritetlərdən hesab olunur [6, 3.3-cü maddə]. Kiçik və orta sahibkarlıq bizneslərinin (KOB) klasterləşməsinin təşviqi, KOB subyektlərinin mövcud bizneslərinin genişləndirilməsi, onların yeni sahələr üzrə diversifikasiya təşəbbüslərinin həyata keçirilməsi istiqamətində daxili bazar araşdırmalarına dəstək mexanizminin artırılması, KOB subyektlərinin satış imkanlarının genişləndirilməsinə dəstəyin göstərilməsi Azərbaycan Respublikasının 2022-2026-cı illər üzrə Sosial İqtisadi İnkişaf Strategiyasının tədbirlər planına daxil edilmişdir [6, 7-ci maddə]. Bu məqsədlə, burada KOB klasterlərinin fəaliyyətə başlaması üçün tənzimləyici çərçivənin yaradılması və KOB klasterləşməsi şəbəkəsinin genişləndirilməsi, 14 daxili bazar araşdırmasının aparılmasına dəstəyin göstərilməsi, 30 KOB subyektinin sərəgilərdə iştirakının dəstəklənməsi tədbir olaraq müəyyən edilmişdir.

Bundan əlavə “KOB klaster” şirkətinin formalaşdırılması və fəaliyyəti ilə bağlı meyarlar Azərbaycan Respublikası Vergilər Nazirliyinin Kollegiyasının 8 may 2019-cu il tarixli 191705000007900 nömrəli Qərarı ilə təsdiq edilmişdir [7, 2-ci maddə]. Bu meyarlara “KOB Klaster” kimi fəaliyyət göstərəcək şirkətlərin kommersiya hüquqi təşkilat olmasını və nizamnaməsində əhəmiyyətli qərarların Azərbaycan Respublikasının Kiçik və Orta Biznesin İnkişafı Agentliyi (bundan sonra - Agentlik) ilə razılaşdırmaq tələbinin qoyulmasını, bir-birindən asılı olmayan ən azı 10 mikro, kiçik və orta sahibkarlıq subyektinin bir araya gələrək təsərrüfat əqdlərini bağlamasını şərtləndirir. Bu zaman klaster üzrə hazırlanan məhsulun xammal və materialının dəyərini 50 faizi klasterin iştirakçısı olan yerli istehsalçılar tərəfindən təchiz edilməsi şərti müəyyən edilmişdir. Fəaliyyət sahəsi kimi 3 istiqamət müəyyən edilmişdir ki, bunlardan biri yerli bazarda yeni rəqabətqabiliyyətli məhsulun yaradılmasını, ölkədə istehlak payının 50 faizdən artıq hissəsinin idxal hesabına ödənilən məhsulların yaradılmasını və qonaqlama və yerləşdirmə xidmətlərinin (mehmanxana, motel, kempinq və s.) göstərilməsini ehtiva edir. Bundan əlavə, “KOB klaster şirkəti”nin həyata keçirəcəyi layihə üzrə investisiyasının minimum həcmi Bakı, Bakıtrafi qəsəbələr və Abşeron və Sumqayıt və Gəncə şəhərləri üzrə uyğun olaraq, 5, 3 və 2.5 milyon manat müəyyən edilmişdir. Bu məbləğ digər rayonlar üçün 1.5 milyon manat, Naxçıvan Muxtar Respublikası, Füzuli, Xocavənd, Ağdam, Tərtər, Ağcabədi, Goranboy, Göygöl, Gədəbəy, Daşkəsən, Qazax, Tovuz, Ağstafa, Lerik, Yardımlı, Balakən və Qusar rayonları üçün isə 0.5 milyon manat müəyyən edilmişdir. Burada KOB Klasterin fəaliyyətinin illik dövrüyyəsi ilə bağlı illik tələblər də əksini tapır.

Bununla yanaşı KOB klasterlərinin formalaşdırılması üçün tələb olunan sənədlər və nümunəvi formalar da hazırlanılmış və təsdiq edilmişdir [8].

KOB klasterlərin formalaşdırılması, fəaliyyətə başlaması və fəaliyyətinin dəstəklənməsi üçün müvafiq hüquqi və texniki baza olduğu halda onların formalaşmasını gecikdirən səbəbləri aşağıdakı kimi izah etmək olar:

- Klasterlərin formalaşdırılması və fəaliyyəti üçün maliyyə təşviqlərinin olmaması,
- Müvafiq sahədə potensialın və təcrübənin olmaması,
- Uğurlu təcrübələrin olmaması
- Digər ölkələrin yaxşı təcrübələrinin və klaster fəaliyyət modellərinin Azərbaycanda potensial klasterlərə çevilə biləcək şirkətlər arasında təşviqatının aparılmamasıdır. Litva təcrübəsində olduğu kimi klasterlərin fəaliyyət modellərinin potensial olaraq klasterə keçirilə biləcək şirkətlər arasında təşviqi, formalaşdırılması prosesinə dövlətin texniki və maliyyə dəstəyinin göstərilməsi, Azərbaycanın yerli şəraitini nəzərə alaraq dövlətin dəstəyi ilə konkret modellər üzərindən klasterlərin formalaşdırılması bu sahəyə marağın artmasına gətirib çıxarda bilər.

### **Nəticə və təkliflər**

Klasterlərin Azərbaycanda inkişafı dövlət və özəl sektorlar arasındakı əməkdaşlığı dəstəkləməklə yanaşı, region üçün innovasiyalar ilə müşayiət olunacaq çox tərəfli bəhrələrin əldə olunması vədi verir. Burada yerli universitetlərin iştirakı klasterləri davamlı olaraq innovativ həllər ilə təmin etməkdə əhəmiyyətli rola malikdir. İtaliya və Litvanın klaster təcrübəsi klasterlərin inkişafında Azərbaycan üçün yaxşı nümunə hesab edilə bilər. Lakin klasterlərin formalaşdırılmasına və inkişafına təkan kimi dövlətin təşviqi və fəaliyyəti üçün vergi güzəştlərinin tətbiqi xüsusilə zəruridir. Bundan əlavə, Avropa ölkələrində geniş yayılmış klaster modelləri üzərində yaxşı təcrübənin yerli bazarda potensial klasterlərə göstərilməsi klasterləşməyə marağın artmasına və yeni klasterlərin formalaşmasına təkan verə bilər.



## ƏDƏBİYYAT

1. Porter, M.E. (1990). The Competitive Advantage of Nations. New York: The Free Press. 857 p.
2. Fischer, G., Van Velthuisen, H., Shah, M. & Nachtergaele F.O. (2002). Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and results. Research report RR-02-02. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
3. Toccaceli, D. Agricultural districts in the Italian regions: looking toward 2020. Agric Econ 3, 1 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40100-014-0019-9>.
4. Jarasiunas, G., Kinderiene, I. & Bašić, F. (2017). Delineation Lithuanian agricultural land for agro-ecological suitability for farming using soil and terrain criteria. Ekologija (Bratislava), 36(1) 88-100. <https://doi.org/10.1515/eko-2017-0008>.
5. “Mikro, kiçik və orta sahibkarlıq subyektlərinin klasterləri haqqında Nümunəvi Əsasnamə”nin təsdiq edilməsi barədə AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI PREZİDENTİNİN FƏRMANI, <https://e-qanun.az/framework/52952>
6. Azərbaycan Respublikasının 2022-2026-cı illər üzrə Sosial-iqtisadi İnkişaf Strategiyası <https://e-qanun.az/framework/50013>
7. Azərbaycan Respublikası Vergilər Nazirliyinin Kollegiyasının 8 may 2019-cu il tarixli 191705000007900 nömrəli Qərarı ilə təsdiq edilmiş “KOB klaster” şirkətinin meyarları <https://e-qanun.az/framework/42728>
8. “KOB Klaster şirkəti” nin meyarları haqqında qərar <https://www.smb.gov.az/az/nav/kob-klaster>

## AZƏRBAYCANDA AQRAR KLASTERLƏRİN FORMALAŞDIRILMASI ÜÇÜN AVROPA TƏCRÜBƏSİ

S.N.Namazov, O.M.Vətənxah, M.H.Paşayeva, A.B.Hacıyev

**Xülasə.** Məqalə sənayenin təşkilinin müasir modellərindən biri olan aqrar klasterlərə həsr olunmuşdur. Mövzuya giriş olaraq əvvəlcə klasterlərin formalaşması üçün tələb olunan amillər, klasterə üzv olan müəssisə və təşkilatların əldə etdiyi üstünlüklər qısa şəkildə izah olunaraq, klasterlərin təsnifatı verilmişdir. İtaliya və Litvanın malik olduğu aqrar klaster təcrübəsi nəzərdən keçirilərək klasterlərin adları çəkilən ölkələrin sosial-iqtisadi həyatına təsirlərinə baxılmışdır. Məqalədə həm də Azərbaycanda aqrar klasterlərin formalaşdırılması istiqamətində aparılan işlər, qəbul edilmiş qanunvericilik və mövcud çətinliklər təhlil edilmişdir.

**Açar sözlər:** klaster, aqrar təsərrüfat, Avropa İttifaqı, İtaliya, Litva, Azərbaycan.

*Accepted: 06.05.2024*

## THE ECONOMICS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: BALANCING GROWTH AND ENVIRONMENTAL CONSERVATION

Arzu Jamil Safarli

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [arzu.safarli@aztu.edu.az](mailto:arzu.safarli@aztu.edu.az)

<https://orcid.org/0000-0003-2670-0665>

**Abstract.** In this scientific exploration, the intricate interplay between economic development and environmental conservation takes center stage, shedding light on the pressing need to attain sustainable growth. As societies fervently pursue economic progress, the reverberations on the environment amplify, reaching a juncture where thoughtful and sustainable practices become imperative. The article underscores the dynamic relationship between these two facets of societal advancement, recognizing that economic prosperity is intricately linked with environmental well-being.

With each stride toward economic growth, the environmental footprint expands, prompting a critical examination of the repercussions on ecosystems and natural resources. This study seeks to unravel the complexity of this relationship, emphasizing the urgency of finding equilibrium between economic expansion and ecological preservation. The article underscores that as societies grapple with the challenges and opportunities of development, a strategic and holistic approach is paramount to ensure a harmonious coexistence of progress and environmental conservation. The forthcoming discourse navigates through the evolving landscape of sustainable development, contributing insights and perspectives crucial for informed decision-making and policy formulation in the pursuit of a balanced and resilient future.

**Keywords:** *Sustainable development, Economic growth, Environmental conservation, Green innovation, Policy implications*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Introduction.** The 21st century has marked a significant shift in global consciousness, as societies increasingly acknowledge the intricate interplay between economic development and environmental conservation. This recognition stems from the realization that the pursuit of sustained economic growth must be harmonized with proactive measures to mitigate adverse environmental impacts. Striking a delicate equilibrium between these seemingly divergent goals has become imperative for achieving genuine and lasting sustainable development.

The overarching challenge is navigating the intricate web of interactions between economic activities and environmental health. Historically, rapid industrialization and unchecked exploitation of natural resources have led to environmental degradation, jeopardizing the ecosystems sustaining life on Earth. Recent decades mark a paradigm shift in scholarly perspectives, recognizing the interconnectedness of economic and environmental systems. This evolving understanding underscores the need for a holistic approach to sustainable development that addresses the complex interdependencies between economic growth and environmental well-being.

Embarking on a comprehensive exploration, this article delves into the evolving understanding of the intricate relationship between economic development and environmental conservation. Through synthesizing and analyzing recent scholarly works, it aims to unravel the complexities and nuances inherent in this dynamic interdependence. The multifaceted nature of the subject necessitates an interdisciplinary approach, integrating insights from economics, ecology, environmental science, and policy studies. This interdisciplinary perspective aims to provide a holistic understanding, essential for addressing the intricate challenges and opportunities that arise at the intersection of economic growth and environmental sustainability.

Comprehending the evolving dynamics between economic growth and environmental sustainability is essential for formulating effective strategies and policies that encourage a resilient and balanced coexistence. This article critically examines contemporary literature, aiming to contribute to the ongoing discourse on sustainable development. By offering insights derived from this examination, the article seeks to inform decision-makers, researchers, and practitioners alike. Through these contributions, the goal is to foster a deeper understanding of the challenges and opportunities inherent in navigating the intricate landscape of economic development within the context of environmental



conservation. In bridging the gap between theory and practice, this endeavor aspires to guide informed decision-making and promote sustainable practices for a harmonious relationship between economic progress and ecological well-being.

**Research methodology.** This article was authored following a mixed-methods literature review aimed at examining the economics of sustainable development, with a particular focus on the intricate balance between economic growth and environmental protection. The comprehensive literature review undertaken serves to establish a theoretical framework, pinpointing essential concepts and identifying gaps within current research.

**Economic Growth and Environmental Degradation.** Early economic models often presumed an inverse correlation between economic growth and environmental quality, suggesting that as economies expanded, environmental degradation would inevitably ensue. However, contemporary research has started to challenge this conventional perspective, presenting a more nuanced outlook on the intricate relationship between economic prosperity and environmental sustainability. Current studies recognize the complexity of this interaction, suggesting that with strategic policies and technological advancements, economic growth can coexist harmoniously with efforts to preserve and enhance environmental well-being. This evolving understanding underscores the importance of informed decision-making and sustainable practices to navigate the delicate balance between economic development and environmental conservation [1].

Contrary to the previous paradigm, emerging evidence supports the concept of "green growth," where economic development coexists harmoniously with environmental preservation. This paradigm shift underscores the possibility of achieving both economic prosperity and environmental sustainability concurrently. The notion of green growth aligns with the recognition that investments in environmentally friendly technologies, renewable energy sources, and sustainable practices can foster economic development without compromising the planet's ecological integrity. This transformative perspective offers a path forward, challenging the traditional dichotomy between economic progress and environmental responsibility and emphasizing the potential for a more balanced and sustainable future.

Numerous studies highlight that policies advocating environmentally conscious practices not only promote ecological well-being but also stimulate innovation, generate new employment opportunities, and improve overall economic efficiency. This challenges the traditional dichotomy between economic growth and environmental preservation, paving the way for a more integrated and sustainable development approach. As societies navigate the challenges of a rapidly evolving world, the exploration of pathways that facilitate green growth becomes imperative. Embracing a holistic perspective that recognizes the interdependence of economic and environmental factors allows policymakers and stakeholders to collaboratively strive for a balanced and sustainable future. This shift in mindset encourages the pursuit of economic prosperity in tandem with ecological responsibility, fostering a resilient and harmonious coexistence.

**Externalities and Market Failures.** Sustainable development faces formidable challenges arising from externalities and market failures, where the genuine cost of environmental degradation is inadequately reflected in market prices. Stiglitz and Dasgupta's research underscores the imperative of implementing policies to rectify these market imperfections. The studies highlight that without addressing externalities and market failures, achieving a sustainable equilibrium between economic development and environmental preservation remains an elusive goal. Stiglitz and Dasgupta advocate for interventions that internalize environmental costs through regulatory mechanisms or economic incentives, emphasizing the necessity of aligning market incentives with broader social and ecological objectives [2], [3, p.473-490].

The acknowledgment and rectification of these market imperfections become pivotal for policymakers aiming to foster a more sustainable and harmonious relationship between economic progress and environmental well-being. By integrating environmental costs into market dynamics, policymakers can ensure a path that balances prosperity with long-term ecological resilience. This approach not only addresses the immediate challenges of environmental degradation but also contributes to the overarching goal of sustainable development by promoting responsible and inclusive economic practices. In navigating the complexities of a rapidly changing world, rectifying these market imperfections becomes a critical step toward building a resilient and sustainable future [2], [3, p.473-490].

**Natural Capital and Ecosystem Services.** The concept of natural capital, encapsulating ecosystems' contribution to economic prosperity, has gained prominence. This recognition underscores the pivotal role of ecosystems in sustaining economic well-being and highlights the need to integrate their values into broader economic considerations. As a vital component of environmental economics, the concept of natural capital serves as a foundational principle for understanding and managing the interdependence between ecological health and economic development. Valuing ecosystem services, such as clean water, air, and biodiversity, becomes essential for informed decision-making, as demonstrated in the works of Daily and Polasky [5, 6].

Costanza influential study lays the foundation for acknowledging natural capital as a critical component in economic systems. Their research underscores the need to incorporate the values of ecosystem services into broader economic frameworks, emphasizing the interdependence of environmental and economic well-being [4].

Daily and Polasky's contributions provide valuable insights into the practical implications of valuing ecosystem services. Their research illustrates how assigning economic value to natural resources empowers policymakers to make informed decisions, considering the long-term impacts on both economic and ecological systems. This approach aligns seamlessly with the broader paradigm of sustainable development, where the conservation of natural capital plays a crucial role in achieving a harmonious balance between economic growth and environmental well-being. By emphasizing the economic importance of ecosystem services, Daily and Polasky advocate for a holistic approach that recognizes the interdependence of ecological health and economic prosperity, paving the way for more sustainable and responsible decision-making in the realm of resource management and policy formulation [5, 6].

**Green Innovation and Technology.** In scholarly discourse, technological progress is unanimously recognized as an indispensable driver for realizing sustainable development goals. The literature underscores the crucial role of channeling efforts and resources into green innovation and the adoption of eco-friendly technologies. This strategic shift is foundational in breaking the historical link between economic growth and environmental degradation, paving the way for a more sustainable future. Research, particularly that of Barbier, accentuates the transformative potential inherent in technological advancements. These innovations play a pivotal role in fostering a harmonious coexistence between economic prosperity and ecological well-being, offering solutions that mitigate environmental impact and promote sustainable practices. As societies navigate the challenges of the modern era, the integration of eco-friendly technologies becomes instrumental in achieving a delicate balance between development and environmental preservation.

The investment and implementation of sustainable technologies emerge as crucial pathways for societies to propel themselves towards a future where development is not only economically robust but also environmentally responsible. This scholarly perspective accentuates the imperative for policymakers and stakeholders to prioritize and seamlessly integrate green technologies into the fabric of economic progress, ensuring a trajectory that is truly sustainable. As the world grapples with the challenges of the 21st century, the incorporation of sustainable technologies becomes not just a choice but a necessity for forging a path towards a balanced and resilient future [7, 8].

**Policy Implications.** The synthesis of recent literature underscores the imperative for the development of comprehensive policy frameworks that effectively integrate economic and environmental objectives. Scholars emphasize the necessity of implementing strategies like green taxation, which encourages environmentally responsible practices through financial incentives, subsidies for sustainable initiatives, and the enforcement of stringent environmental regulations [3, p.473-490], [8].

Green taxation stands as a potent tool to incentivize businesses toward eco-friendly practices, fostering a crucial balance between economic growth and ecological sustainability. Complementing this, subsidies for sustainable practices play a pivotal role in supporting industries transitioning towards environmentally friendly approaches. The implementation of stringent environmental regulations is integral for ensuring accountability and compliance, thereby creating a conducive environment for sustainable development. When combined, these policy measures form a comprehensive approach that contributes to the harmonization of economic and environmental goals. Such initiatives promote a more resilient and ecologically responsible socio-economic landscape, encouraging businesses to consider the environmental impact of their operations and fostering a sustainable trajectory for future economic activities.

**Case Studies and Best Practices.** Navigating the intricate relationship between economic growth and environmental sustainability is crucial for devising effective strategies promoting a resilient coexistence. This article critically assesses contemporary literature, making a significant contribution to the discourse on sustainable development. Through an exploration of diverse regional case studies, researchers spotlight successful sustainable development strategies. Valuable insights are gleaned from studies conducted by Cramer, shedding light on the effectiveness of policy implementation and community engagement in achieving sustainable outcomes. These studies serve as benchmarks, providing a deeper understanding of the challenges and opportunities inherent in navigating the complex terrain of economic development within the framework of environmental conservation. By synthesizing this knowledge, the article not only enriches academic discussions but also provides practical insights for policymakers, stakeholders, and practitioners seeking to forge a path towards a more sustainable and balanced future [9].

**Conclusion.** In conclusion, the comprehensive exploration of literature on the economics of sustainable development has illuminated the intricate dynamics between economic growth and environmental conservation. The findings underscore the imperative of adopting a nuanced and multifaceted perspective when navigating the complex intersection of economic, social, and environmental dimensions. The intricacies revealed in the literature review emphasize that sustainable development is not a unidimensional pursuit but a multifaceted challenge that necessitates a holistic approach.

The literature has consistently highlighted the interconnectedness of economic growth and environmental well-being, dispelling the notion that these two aspects exist in isolation. The realization that environmental degradation can undermine economic prosperity and social well-being has prompted a paradigm shift in understanding sustainability. The reviewed studies collectively stress the need for an integrated framework that considers the interplay of economic, social, and environmental factors. This holistic approach acknowledges the symbiotic relationship among these dimensions and underscores the importance of addressing them in tandem.

As we navigate the path toward a sustainable future, it is imperative to move beyond traditional economic models that prioritize growth at the expense of environmental health. The literature review has provided valuable insights into alternative approaches that emphasize the coexistence of economic development and environmental conservation. By embracing a more balanced and inclusive perspective, policymakers, businesses, and communities can work collaboratively to devise strategies that promote sustainable growth.

In essence, the literature review functions as a guiding compass for future research and policy initiatives. The intricate relationship between economic growth and environmental conservation, as revealed in the multidimensional analysis, calls for a comprehensive understanding that transcends disciplinary boundaries. The challenges of the 21st century necessitate recognizing that sustainability cannot be attained through isolated interventions. Instead, a holistic approach, integrating economic, social, and environmental factors, becomes paramount for fostering a resilient and sustainable future. The insights derived from the literature review establish a foundation for informed decision-making and collective efforts aimed at creating a more sustainable and equitable world. By considering the multifaceted dynamics explored in the literature, society can navigate towards a future that embraces the interconnection between economic prosperity and environmental well-being.

#### REFERENCES

1. Smith A. "Green growth: challenges and opportunities." *Environmental and Resource Economics*, 2012, vol.55(2), p.293-319.
2. Stiglitz J. "Mismeasuring our lives: Why GDP doesn't add up.", New Press, 2010, p.48-62.
3. Dasgupta P. "The economics of biodiversity: The Dasgupta Review." , HM Treasury, 2016, p.610
4. Costanza R. "Changes in the global value of ecosystem services." *Global Environmental Change*, 2014, vol.26, p.152-158.
5. Daily G.C. "The value of nature and the nature of value.", *Science*, 2011, vol.334(6059), p.1319- 1324.
6. Polasky S. "Where to put things? Spatial land management to sustain biodiversity and economic returns.", *Biological Conservation*, 2015, vol.186, p.164-172.
7. Acemoglu D. "The environment and directed technical change.", *American Economic Review*, 2012, vol.102(1), p.131-166.
8. Barbier E.B. "Global governance: The G20 and a move to sustainable development.", *Natural Resources Forum*, 2010, vol.34(3), p.253-261.
9. Cramer V. A. "Towards sustainable development: The implementation of environmental policies in a South African municipality.", *Sustainable Development*, 2018, vol.26(2), p.148-159.

*Accepted: 28.03.2024*

## THE IMPACT OF CRYPTOCURRENCY ADOPTION ON TRADITIONAL BANKING SYSTEMS: A THEORETICAL STUDY

Gulzar Jamil Safarli<sup>1</sup>, Arzu Jamil Safarli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*French-Azerbaijani University, Baku, Azerbaijan: [gulzar.safarli@ufaz.az](mailto:gulzar.safarli@ufaz.az)  
<https://orcid.org/0009-0009-9120-4570>*

<sup>2</sup>*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [arzu.safarli@aztu.edu.az](mailto:arzu.safarli@aztu.edu.az)  
<https://orcid.org/0000-0003-2670-0665>*

**Abstract.** This comprehensive analysis delves into the intricate impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems. As cryptocurrencies achieve widespread acceptance, they challenge established norms of centralized control in financial transactions, necessitating a reconsideration of the resilience and adaptability of traditional banking models. The disruptive potential, particularly embodied in blockchain technology, prompts a critical evaluation of the ongoing transformation.

The article scrutinizes the positive influence of cryptocurrencies on financial inclusion and accessibility, unlocking banking services for previously underserved populations. However, the decentralized and pseudonymous nature of cryptocurrencies introduces regulatory challenges, demanding a nuanced equilibrium between fostering innovation and ensuring compliance with anti-money laundering and know your customer regulations. Traditional banks respond by embracing blockchain technology, entering collaborative endeavors with cryptocurrency projects to augment operational efficiency and transparency.

Nevertheless, the inherent volatility of cryptocurrencies poses systemic risks, necessitating adept navigation by traditional banking systems. The imperative for a delicate equilibrium between innovation and regulation emerges as pivotal for the harmonious coexistence of traditional banking and the ever-evolving cryptocurrency ecosystem. As the financial landscape undergoes profound changes, this analysis underscores the necessity for adaptability and a strategic alignment between traditional and innovative financial paradigms.

**Keywords:** *Cryptocurrency Adoption, Traditional Banking Systems, Financial Inclusion, Regulatory Challenges, Blockchain Technology*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

**Introduction.** The meteoric rise of cryptocurrency has ushered in a transformative era in the financial landscape, challenging traditional banking systems on multiple fronts. This article embarks on a thorough exploration of the extensive implications arising from the widespread adoption of cryptocurrencies, shedding light on both positive and negative outcomes that resonate throughout conventional banking.

Cryptocurrencies, with their decentralized nature and foundation on blockchain technology, fundamentally question the established norms of centralized control. This prompts a critical reevaluation of traditional banking models, as the study endeavors to understand how these systems must adapt in the face of this innovative wave.

The analysis delves into the positive aspects, emphasizing the potential for enhanced financial inclusion and accessibility, especially for unbanked and underbanked populations globally. The decentralized nature of cryptocurrencies enables borderless and permissionless transactions, dismantling barriers that traditional banking systems often impose.

Simultaneously, the study scrutinizes the negative consequences, notably the regulatory challenges posed by the pseudonymous and decentralized features of cryptocurrencies. The inherent complexities in ensuring compliance with anti-money laundering and know your customer regulations necessitate a delicate balance between fostering innovation and upholding regulatory standards.

Striking this balance emerges as a critical theme in navigating the dynamic landscape shaped by the coexistence of traditional banking and the burgeoning world of cryptocurrencies. The financial sector faces the challenge of embracing innovation while ensuring regulatory adherence, highlighting the need for a nuanced approach to manage the symbiotic relationship between traditional banking systems and the evolving cryptocurrency ecosystem. As the industry grapples with these complexities, the future undoubtedly hinges on the sector's ability to strike this balance effectively, fostering a

harmonious coexistence between the old guard of traditional banking and the transformative wave of cryptocurrencies.

**Research methodology.** This theoretical study was conducted through an extensive literature review to explore the potential impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems. The research methodology involved the examination of academic journals, books, policy documents, and reports from reputable organizations to gather insights and theories related to the topic. The writing of this article is a culmination of the literature research, synthesizing existing knowledge and theories to offer insights into the potential implications of cryptocurrency adoption for traditional banking systems.

**Disruption of Traditional Banking Models.** The meteoric rise of cryptocurrency has initiated a profound transformation in the financial landscape, challenging the established norms of traditional banking systems. This paradigm shift is driven by the decentralized nature of cryptocurrencies, fundamentally altering the dynamics of financial transactions and prompting a critical examination of the adaptability and resilience of traditional banking systems [1].

Cryptocurrencies, rooted in blockchain technology, introduce a decentralized ledger system challenging the centralized authority long held by traditional banks. This departure prompts a crucial reassessment of centralized control's efficacy in an era witnessing the swift ascent of decentralized alternatives. The advent of a decentralized ledger not only scrutinizes established norms but compels a vital contemplation of the adaptability and sustainability of traditional banking systems amidst this transformative shift. The disruption caused by cryptocurrencies underscores the need for financial institutions to evolve and embrace innovations that redefine the landscape. As decentralized technologies continue to gain prominence, the question of how traditional banking can navigate this changing tide becomes increasingly pertinent, urging a proactive response from the financial sector to ensure its relevance and resilience in an evolving economic paradigm.

The analysis presented in this article aims to comprehensively explore the far-reaching consequences of cryptocurrency adoption, encompassing both positive and negative dimensions. It sheds light on the potential for enhanced financial inclusion and accessibility, especially for marginalized populations globally. Simultaneously, the study addresses the regulatory challenges arising from the decentralized and pseudonymous features of cryptocurrencies, emphasizing the need for a delicate balance between fostering innovation and ensuring compliance with established financial regulations. As the financial landscape evolves, understanding and navigating the impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems become imperative for stakeholders in both realms.

**Financial Inclusion and Accessibility.** The inclusive potential of cryptocurrencies serves as a powerful catalyst, extending banking services to unbanked and underbanked populations globally [5, p.60-82]. Cryptocurrencies, with their borderless and permissionless characteristics, play a pivotal role in dismantling longstanding barriers inherent in traditional banking systems. This transformative shift has the capacity to reshape the financial landscape and foster greater economic participation on a global scale.

The decentralized nature of cryptocurrencies, coupled with the removal of geographical and bureaucratic barriers, fosters a more inclusive and participatory financial ecosystem. This paradigm shift signifies a substantial leap towards global financial inclusivity by enabling individuals historically excluded from traditional banking to access financial services. The unbanked and underbanked, marginalized by conventional financial systems, now find avenues for economic empowerment through the accessible and decentralized infrastructure offered by cryptocurrencies. This transformation represents a pivotal step in dismantling traditional barriers, providing financial opportunities to populations that have been historically underserved by traditional banking systems.

In essence, this shift not only addresses existing financial disparities but also underscores the transformative potential of cryptocurrencies to redefine the dynamics of economic participation worldwide. As traditional barriers dissolve, individuals on the fringes of financial systems find newfound opportunities for inclusion and empowerment in a decentralized and accessible financial landscape. The global impact of this inclusive potential highlights the crucial role that cryptocurrencies can play in fostering economic equality and empowerment on an unprecedented scale.

**Regulatory Challenges.** Cryptocurrencies, distinguished by their decentralized and pseudonymous features, present a formidable regulatory challenge in the surveillance of financial transactions. The complexities of adhering to anti-money laundering and know your customer regulations become notably intricate within an environment where centralized oversight is not the predominant norm. This intricacy poses a multifaceted challenge for both regulatory authorities and traditional financial institutions, requiring adept navigation of the evolving landscape shaped by decentralized technologies.

Effectively navigating the intricate terrain of cryptocurrency adoption demands a delicate balance between fostering innovation and maintaining steadfast regulatory adherence. Striking this equilibrium becomes crucial as the financial sector grapples with the transformative potential of cryptocurrencies while safeguarding against illicit activities. The industry faces the nuanced task of finding harmony between innovation and regulatory control, emphasizing its pivotal role in shaping the coexistence of traditional banking and the disruptive force of cryptocurrencies. In this evolving landscape, the financial sector's ability to strike this delicate balance will ultimately determine its resilience and adaptability in the face of the ongoing paradigm shift.

The journey towards coexistence requires a dynamic and adaptable approach from traditional banks. Embracing innovation while upholding regulatory standards, as highlighted by Foley, is not merely a strategic choice but a necessary precondition for navigating the intricate landscape shaped by cryptocurrency adoption. This nuanced approach ensures that the transformative potential of cryptocurrencies is harnessed responsibly within the framework of regulatory compliance [2].

**Technological Advancements and Collaboration.** Traditional banks are strategically navigating the evolving financial landscape by embracing blockchain technology, showcasing their commitment to staying abreast of technological advancements. This deliberate integration of blockchain signifies an awareness of the transformative capabilities embedded in this decentralized technology, compelling conventional financial institutions to seek innovative approaches for optimizing their operational frameworks.

The emergence of collaborative initiatives between traditional banks and cryptocurrency projects underscores a potential symbiotic relationship geared towards reinforcing various facets of financial transactions. Through these partnerships, there is a collective effort to improve operational efficiency, fortify security measures, and enhance transparency within the financial ecosystem. The active participation of traditional financial entities in these collaborations marks a notable industry shift, underscoring their recognition of the advantages associated with integrating blockchain technology. This strategic move aims to streamline processes and ensure the integrity of financial transactions, reflecting a proactive stance in adapting to the evolving landscape of the financial industry [3, p.53-66].

In the dynamic realm of finance, the synergy between conventional banking systems and the burgeoning cryptocurrency landscape holds significant sway in facilitating a seamless coexistence. Traditional banks, recognizing the shifting tides, are actively engaging with and adopting blockchain technology as a strategic maneuver to adapt to the evolving industry dynamics. This proactive stance not only underscores their commitment to staying relevant but also positions them as trailblazers in technological innovation within the financial domain.

The integration of blockchain into traditional banking operations serves as a catalyst for heightened operational resilience. This collaborative approach not only fortifies the existing financial infrastructure but also propels traditional banks into the vanguard of technological progress. The resulting symbiosis reflects a forward-thinking mindset, an embrace of the transformative capabilities of blockchain, and a commitment to ushering in a sustainable and technologically advanced financial future. By forging these strategic alliances, traditional banks not only future-proof themselves but also contribute to the broader narrative of harmonizing traditional and emerging financial systems for the benefit of the global economy.

**Systemic Risks and Volatility.** The profound impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems is encapsulated in the formidable threat posed by the inherent volatility characterizing these digital assets [4]. This volatility introduces systemic risks that permeate the entirety of the financial infrastructure, creating a challenging environment for both individual investors and established financial institutions.

Navigating the volatile landscape of digital assets demands a strategic and adaptive approach, as their values exhibit unpredictable fluctuations. Conventional risk management mechanisms, traditionally effective for traditional financial instruments, may falter in the face of the rapid and drastic price movements characteristic of cryptocurrencies. Financial instability looms as a potential threat, necessitating a reevaluation of risk management frameworks by banks and other financial institutions.

Successfully addressing the challenges presented by cryptocurrency volatility requires the formulation of robust strategies that can navigate the ever-changing market dynamics. These strategies should be dynamic, capable of adjusting swiftly to sudden shifts in value. Institutions must reassess and enhance their risk management frameworks, incorporating tools and methodologies tailored to the unique nature of digital assets.

In this dynamic environment, resilience and agility become paramount. Institutions must develop a keen understanding of the inherent unpredictability in cryptocurrency valuations, proactively adapting to market conditions to safeguard financial stability. Only through a comprehensive and forward-thinking risk management approach can financial entities thrive amidst the uncertainty that defines the cryptocurrency landscape.

The imperative of managing the inherent volatility of cryptocurrencies to safeguard the stability of traditional banking systems cannot be overstated [4]. The call for adaptive risk management practices becomes paramount as financial stakeholders grapple with the complex interplay between the dynamic nature of digital assets and the established frameworks of traditional finance. Confronting these challenges directly is essential for fostering a resilient financial ecosystem capable of withstanding the storms induced by the inherent volatility of cryptocurrencies.

**Conclusion.** In conclusion, the analysis of the impact of cryptocurrency adoption on traditional banking systems underscores the dynamic and multifaceted nature of this transformative phenomenon. The increasing acceptance of digital currencies presents a paradigm shift that traditional banks cannot afford to ignore. As the financial landscape evolves, traditional banking institutions are faced with the imperative of navigating this complex terrain to ensure their continued relevance and sustainability.

In the evolution spurred by cryptocurrency adoption, a crucial factor is striking a delicate balance between fostering innovation and adhering to regulatory frameworks. The swift technological advancements propelled by cryptocurrencies necessitate that traditional banks embrace innovative solutions while concurrently navigating regulatory concerns. Achieving this equilibrium is indispensable for ensuring the harmonious coexistence of traditional banking and the burgeoning cryptocurrency ecosystem. The success of this balance will determine the adaptability of traditional banks to the evolving financial landscape, where innovation and compliance converge to shape the future of financial systems.



The challenges posed by decentralized technologies and the pseudonymous nature of cryptocurrencies necessitate a proactive approach from traditional banks. Adapting to new paradigms, exploring collaborative efforts with cryptocurrency projects, and leveraging blockchain technology for operational enhancements are integral components of this transformative journey. Moreover, traditional banks must remain agile in their response to the evolving regulatory landscape, ensuring compliance with anti-money laundering and know your customer regulations.

In summary, the future of traditional banking hinges on its ability to navigate the evolving landscape shaped by cryptocurrency adoption. Embracing innovation while upholding regulatory standards is not merely a choice but a prerequisite for the sustained coexistence and synergy between traditional banking and the dynamic cryptocurrency ecosystem.

#### REFERENCES

1. Antonopoulos A. M. "Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies.", O'Reilly Media, 2014, p.272-306.
2. Foley S., Karlsen J. R., Putniņš, T. J. "Sex, Drugs, and Bitcoin: How Much Illegal Activity Is Financed Through Cryptocurrencies?", *The Review of Financial Studies*, 2019, vol.32(5), p.1798–1853.
3. Swan, M. "Blockchain: Blueprint for a New Economy.", O'Reilly Media, 2015, p.152.
4. Bouoiyour, J., Selmi R. "Bitcoin Price: Is It Really about Block Reward Halving?", *Economic Modelling*, 2015, vol.50, p.273–280.
5. Narayanan A., Bonneau J., Felten E., Miller A., Goldfeder S. "Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction.", Princeton University Press, 2016, p.499.

*Accepted: 28.03.2024*

# ÜSTÜN MƏXFİLİYİN QORUNMASI TEXNİKALARI İLƏ AĞILLI MÜQAVİLƏLƏRDƏ MƏLUMAT MƏXFİLİYİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

**Abdülhüseyn Vəfadar oğlu Ağayev**  
*Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan*

## THE ENHANCING DATA CONFIDENTIALITY IN SMART CONTRACTS THROUGH THE ADVANCED PRIVACY-PRESERVING TECHNIQUES

**Abdülhüseyn Vəfadar Aghayev**

*Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [abdulhuseyn.aghayev.v@student.aztu.edu.az](mailto:abdulhuseyn.aghayev.v@student.aztu.edu.az)*

*<https://orcid.org/0000-0003-4930-0672>*

**Abstract.** This research paper delves into the imperative domain of bolstering data confidentiality within smart contracts through the integration of advanced privacy-preserving methodologies. Smart contracts, pivotal components of blockchain technology, execute self-executing contracts with predefined conditions and are increasingly utilized across various sectors, necessitating stringent data protection measures. The paper addresses the pressing need for fortified data privacy within smart contracts and investigates cutting-edge approaches to mitigate privacy challenges. Two focal techniques under scrutiny are zero-knowledge proofs (SBÇs) and homomorphic encryption. SBÇs facilitate the validation of computations without revealing sensitive data, enabling parties to verify transaction authenticity without disclosing the underlying information. Meanwhile, homomorphic encryption permits computations on encrypted data, preserving confidentiality by allowing operations on encrypted information without the need for decryption. By analyzing these advanced privacy-preserving techniques, this study aims to address the vulnerabilities in data confidentiality present in smart contracts. Its findings hold significant promise in fortifying the security and confidentiality of transactions, thus contributing substantially to the evolution of secure blockchain technology. This research underscores the pivotal role of innovative privacy-enhancing mechanisms in safeguarding sensitive data within smart contracts, ensuring the trust and integrity essential for their widespread adoption.

**Keywords:** *zero-knowledge proofs, confidentiality, homomorphic encryption, secure transactions.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

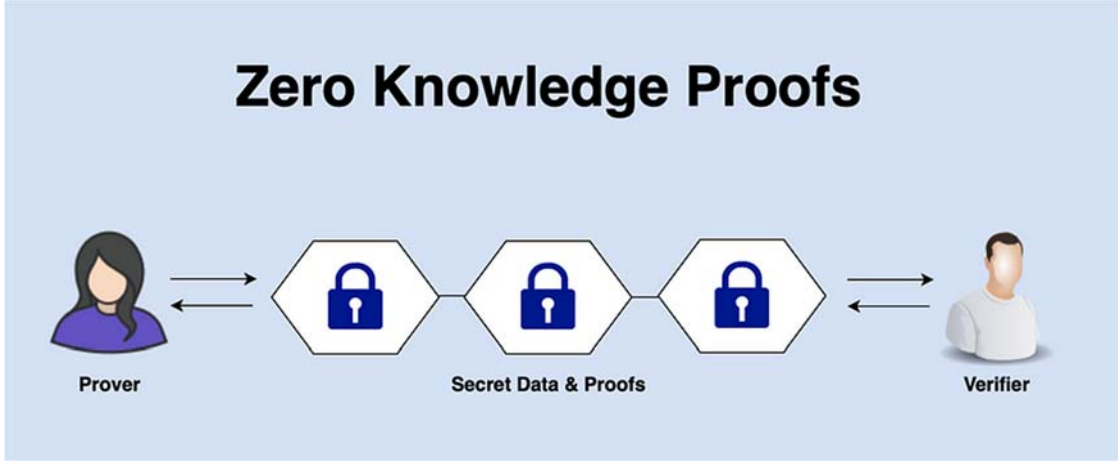
## Giriş

Blokçeyn texnologiyası sahəsində ağıllı müqavilələr əvvəlcədən müəyyən edilmiş şərtlərlə özünü icra edən müqavilələr kimi dayanır və sənayelərarası əməliyyatlarda inqilab edir. Lakin onların yeniliklərinə və səmərəliliyinə baxmayaraq, ağıllı müqavilələrin özünəxas şəffaflığı kritik bir narahatlıq doğurur: həssas məlumatların zəifliyi. Bu müqavilələr mərkəzləşdirilməmiş şəbəkələrdə işlədiyi üçün məlumatların məxfiliyi etibarlılığın, təhlükəsizliyin və uyğunluğun təmin edilməsində diqqət mərkəzinə çevrilir. Ağıllı müqavilələr çərçivəsində məlumat məxfiliyinin gücləndirilməsinin vacib vəzifəsinin müzakirə edilməsi və təkmilləşdirilmiş məxfilik tədbirlərinə təcili ehtiyacın həlli vacib məqamdır. Maliyyə əməliyyatlarından tutmuş şəxsi qeydlərə qədər həssas məlumatların aşkarlanması potensial pozuntulara və icazəsiz girişə qarşı ciddi qorunma tələb edir. Məlumatların məxfiliyinin təmin edilməsi təkcə texniki problem deyil, həm də müxtəlif sənaye sahələrində istifadəçi inamını və qanunlara uyğunluğu artırmaq üçün fundamental məsələdir.

Ağıllı müqavilələrdə təhlükəsizlik zəifliklərini azaltmağa yönəlmiş innovativ məxfiliyi qoruyan üsullar vasitəsilə irəliləməsi ən aktual məsələdir. Xüsusilə, məlumatların məxfiliyini artırmaq üçün üstün metodologiyalar kimi SBÇ-lər və homomorfik şifrələmənin tətbiqlərinin tədqiqatı çox önəmlidir. Tranzaksiyaları yoxlamaq və şifrələnmiş məlumatlar üzərində hesablamalar aparmaq üçün yeni üsullar təqdim edən bu imkanlar ağıllı müqavilələr çərçivəsində həssas məlumatların qorunmasında əhəmiyyətli irəliləyişi təmsil edir. Ağıllı müqavilələr müxtəlif sənaye sahələrinə nüfuz etməyə davam etdikcə, məxfiliyi qoruyan güclü texnikaların tətbiqi vacib olur. Bu araşdırma təkcə məlumatların məxfiliyini gücləndirmək üçün deyil, həm də blokçeyn əsaslı əməliyyatlarda etimad və bütövlüyü təşviq etmək üçün bu inkişafın əhəmiyyətini izah etmək məqsədi daşıyır.

### Ağıllı müqavilələrdə Sıfır-Bilik çıxarışları

Sıfır Bilik Sübutları (SBÇ) mürəkkəb şifrələmə texnikasını təmsil edir ki, bu da bir tərəfə çıxarışın həqiqətindən kənar heç bir məlumatı aşkar etmədən digər tərəfə çıxarışın doğruluğunu yoxlamağa imkan verir (Şəkil) [1]. Ağıllı müqavilələr kontekstində SBÇ-lər əməliyyatların bütövlüyünü və həqiqiliyini yoxlayarkən məlumatların məxfiliyinin təmin edilməsində əsas rol oynayır.



Sıfır-Bilik Çıxarış (SBÇ) [6]

1. **Təkmilləşdirilmiş məxfilik:** SBÇ-lər ağıllı müqavilələrdə güclü mexanizm təqdim edir ki, bu da əməliyyat iştirakçılarında həssas məlumatları aşkarlamadan, əməliyyatların doğruluğunu yoxlamağa imkan verir [2]. Bu imkan müvafiq məlumatların məxfiliyini qoruyarkən əməliyyatın düzgünlüyünün yoxlanılmasını təmin edir və mərkəzləşdirilməmiş sistemlərdə məlumatların konfidensiallığının pozulması ilə bağlı mühüm narahatlığı aradan qaldırır.
2. **Açıqlamadan əməliyyatların yoxlanılması:** SBÇ-lərin əsas üstünlüklərindən biri onların xüsusi əməliyyat təfərrüatlarını açıqlamadan hesablamaları və əməliyyatları yoxlamaq qabiliyyətindədir [3]. Bu funksionallıq məxfiliyə xələl gətirmədən məlumatların və ya əməliyyatların düzgünlüyünü və qanuniliyini təsdiq etməyin vacib olduğu hallarda həyati əhəmiyyət kəsb edir.
3. **Məxfiliyi qoruyan autentifikasiya:** SBÇ-lər müəyyən edilə bilən məlumatları aşkar etmədən ağıllı müqavilələrdə istifadəçilərin şəxsiyyətini yoxlamaq üçün bir üsul təqdim edir [4]. Bu xüsusiyyət, maraqlı tərəflərin legitimliyini yoxlamaqla yanaşı, istifadəçi autentifikasiya proseslərinin məxfiliyi qorumağa davam etməsini təmin edir. Bu, şəxsi məlumatların açıqlanmasına ehtiyac olmadan istifadəçinin şəxsiyyətini yoxlamağa imkan verir.

SBÇ-lərin ağıllı müqavilələrə inteqrasiyası məlumatların məxfiliyi problemlərini aradan qaldırmaq üçün güclü həll yoludur. Bu kriptografik protokollardan istifadə etməklə ağıllı müqavilələr etibarlı şəkildə işləyər və ciddi məxfilik standartlarını qoruyarkən iştirakçılar arasında etimadı artırır [5].

Bundan əlavə, SBÇ-lərin istifadəsi ağıllı müqavilə funksionallığı üçün vacib olan yoxlama və yoxlama aspektlərinə xələl gətirmədən istifadəçi məxfiliyinə üstünlük verən mərkəzləşdirilməmiş sistemlərin inkişafına əhəmiyyətli dərəcədə töhfə verir [6].

### Homomorfik Kriptografiya və ağıllı müqavilələrdə tətbiqi

Homomorfik şifrələmə şifrənin açılmasına ehtiyac olmadan məlumatların məxfiliyini qoruyaraq şifrələnmiş verilənlər üzərində hesablamalar aparmağa imkan verən kriptografik paradıqmadır [7]. Onun ağıllı müqavilələrə inteqrasiyası təhlükəsiz hesablamalara imkan verərkən məlumatların məxfiliyini təmin etmək üçün təməlqoyma həlli təklif edir:

• **Şifrələnmiş məlumatlar üzrə təhlükəsiz hesablamalar:** Homomorfik şifrələmə ağıllı müqavilələrə proses boyu həssas məlumatların məxfiliyini qoruyaraq birbaşa şifrələnmiş məlumatlar

üzərində hesablamalar aparmağa imkan verir [8]. Bu imkan, əsas məlumatları aşkar etmədən məxfiliyi qoruyarkən hesablamaların aparılmasını təmin edir.

• **Məxfiliyi qoruyan məlumat əməliyyatları:** Ağıllı müqavilələr çərçivəsində homomorfik şifrələmə şifrələnmiş məlumatlar üzərində müxtəlif əməliyyatların həyata keçirilməsinə icazə verməklə həssas məlumatların məxfi qalmasını təmin edir [9]. Bu funksionallıq məlumatların icazəsiz ələ keçməsinin qarşısını alaraq onların təhlükəsiz işlənməsini təmin edir.

• **Şifrələnmiş əməliyyatların yoxlanılması:** Homomorfik şifrələmə şifrəsi açılmış məlumatları aşkar etmədən hesablamaları və əməliyyatları yoxlamağa imkan verir [10]. Bu xüsusiyyət hesablamaların düzgünlüyünün və qanunauyğunluğunun yoxlanılmasını təmin edir, əsas həssas məlumat isə şifrələnmiş və təhlükəsiz olaraq qalır.

Ağıllı müqavilələrə Homomorfik Kriptoqrafiyanın tətbiq edilməsi məlumatların məxfiliyinin və konfidensiallığının təmin edilməsi istiqamətində mühüm addımdır. O, şifrələnmiş məlumatlarda hesablamalara icazə verərək və blokçeyn şəbəkəsinin bütövlüyünü qoruyaraq, təhlükəsiz və fərdi əməliyyatlar üçün yol açır. Homomorfik Kriptoqrafiyanın tətbiqi təhlükəsiz və məxfiliyi qoruyan ağıllı müqavilə ekosistemlərinin yaradılmasına əhəmiyyətli töhfə verir [11]. Onun tətbiqi hesablama prosesləri zamanı həssas məlumatların şifrələnmiş qalmasını təmin etməklə mərkəzləşdirilməmiş sistemlərdə məlumatların konfidensiallığının və məxfiliyin pozulması ilə bağlı narahatlıqları aradan qaldırır.

### Nəticə

SBC-lər və Homomorfik Kriptoqrafiyanın ağıllı müqavilələrə inteqrasiyası mərkəzləşdirilməmiş sistemlərdə məlumatların məxfiliyinin və əməliyyatların bütövlüyünün gücləndirilməsi istiqamətində transformativ addım kimi dayanır. Lakin bu innovativ üsullar təkmilləşdirilmiş məxfilik və təhlükəsizliyə yol açdıqca, gələcək tədqiqatlar və potensial problemlər üçün bir neçə yol yaranır. Bu sahədə gələcək tədqiqatlar ağıllı müqavilə mühitlərində SBC-lər və Homomorfik Kriptoqrafiyanın səmərəliliyinin və miqyasının artırılmasına yönəldilə bilər. Hesablama yükünü və emal vaxtlarını azaltmaq üçün bu üsulların sadələşdirilməsi onların geniş yayılmasına əhəmiyyətli dərəcədə kömək edəcəkdir.

Bundan əlavə, bu məxfiliyi qoruyan metodların potensial zəiflikləri və məhdudiyyətlərinin aradan qaldırılması tədqiqat üçün mühüm sahə olaraq qalır. SBC-lərin və Homomorfik Kriptoqrafiyanın tətbiqində zəifliklərin başa düşülməsi və yumşaldılması yaranan təhdidlərə və hücumlara qarşı möhkəm təhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün çox vacibdir. Habelə, blokçeyn platformaları və ağıllı müqavilə ekosistemləri arasında qarşılıqlı fəaliyyət və standartlaşdırma da problemlər yaradır. Gələcəkdə SBC-lərin və Homomorfik Kriptoqrafiyanın müxtəlif blokçeyn şəbəkələrində problemsiz inteqrasiyasını asanlaşdıran universal freymvörklərin inkişafına yönəldilə bilər. Proqramçılar, istifadəçilər və tənzimləyici qurumlar arasında bu üstün kriptoqrafik üsulların öyrədilməsi və mənimsənilməsi həyati əhəmiyyət kəsb edəcək. Bu üsullar inkişaf etdikcə, inkişaf edən məxfilik qaydalarına hərtərəfli başa düşülmə və uyğunluğun təmin edilməsi onların real dünya tətbiqlərinə uğurlu inteqrasiyası üçün vacib olacaqdır.

Yekun olaraq, SBC-lər və Homomorfik Kriptoqrafiya ağıllı müqavilələr çərçivəsində məlumatların məxfiliyi ilə bağlı problemlərə perspektivli həllər təklif etsə də, davam edən tədqiqat söyləri gizlilik, təhlükəsizlik və mərkəzləşdirilməmiş sistemlərə etibarın təmin edilməsində öz potensiallarını reallaşdırmaq üçün miqyaslılıq, təhlükəsizlik zəiflikləri, qarşılıqlı fəaliyyət və təlim təşəbbüslərini həll etməlidir.

### ƏDƏBİYYAT

1. Goldwasser, S., Micali, S., & Rackoff, C. The knowledge complexity of interactive proof systems. *SIAM Journal on Computing*, 18(1), 1989, p. 186-208.
2. Ben-Sasson E., Chiesa A., Tromer E. & Virza M. Succinct non-interactive zero knowledge for a von Neumann architecture. In *Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2014* Springer, p. 90-108. <https://eprint.iacr.org/2013/879.pdf>

3. Groth J. Short pairing-based non-interactive zero-knowledge arguments. In Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2010 Springer, p. 321-340. <https://www.iacr.org/archive/asiacrypt2010/6477323/6477323.pdf>
4. Micali S., Rabin M.O. & Kilian J. Zero-knowledge sets. In Proceedings of the 22nd Annual International Cryptology Conference on Advances in Cryptology, Springer, 2000, p. 185-196.
5. Camenisch J. & Stadler M. Efficient group signature schemes for large groups. In Advances in Cryptology – EUROCRYPT'97, Springer, 1997, p. 410-424. <https://link.springer.com/chapter/10.1007/BFb0052252>
6. [https://miro.medium.com/v2/resize:fit:828/format:webp/1\\*yxf5aQNPsfJFi2Zdc8z779A.png](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:828/format:webp/1*yxf5aQNPsfJFi2Zdc8z779A.png)
7. Gentry C. A fully homomorphic encryption scheme. Stanford University, Tech. Rep, 2009(2), p. 1-36. <https://crypto.stanford.edu/craig/craig-thesis.pdf>
8. Brakerski Z. & Vaikuntanathan V. Fully homomorphic encryption from ring-LWE and security for key dependent messages. In Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques, Springer, 2011, p. 505-524.
9. van Dijk M., Gentry C., Halevi S. & Vaikuntanathan V. Fully homomorphic encryption over the integers. In Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques, Springer, 2010, s. 24-43.
10. Smart N.P. Fully homomorphic encryption primitives. Cryptology ePrint Archive, Report 2010, 169 p.
11. Gentry C. & Halevi S. Implementing Gentry's fully-homomorphic encryption scheme. Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2011, Springer, p. 129-148. <https://eprint.iacr.org/2010/520.pdf>

## ÜSTÜN MƏXFİLİYİN QORUNMASI TEXNİKALARI İLƏ AĞILLI MÜQAVİLƏLƏRDƏ MƏLUMAT MƏXFİLİYİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

A.V.Ağayev

**Xülasə.** Bu tədqiqat işində üstün məxfiliyi qoruyan metodologiyaların inteqrasiyası vasitəsilə ağıllı müqavilələr daxilində məlumat məxfiliyinin artırılması araşdırılmışdır. Blokçeyn texnologiyasının əsas komponentlərindən biri olan ağıllı müqavilələr əvvəlcədən müəyyən edilmiş şərtlərlə özünü icra edən müqavilələrin işləməsini təmin edir və ciddi məlumatların qorunması tədbirləri tələb edən müxtəlif sənaye sahələrində getdikcə daha çox istifadə olunur. Məqalədə ağıllı müqavilələr daxilində məlumatların məxfiliyinin gücləndirilməsinin əhəmiyyətindən bəhs edilir və məxfilik problemlərini azaltmaq üçün üstün yanaşmalar araşdırılır. Baxılan iki əsas üsul sıfır-bilik çıxarışları (SBC) və homomorfik şifrələmədir. SBC-lər həssas məlumatları aşkar etmədən hesablamaların yoxlanılmasını asanlaşdırır, tərəflərə həssas məlumatları aşkar etmədən əməliyyatın həqiqiliyini yoxlamağa imkan verir. Eyni zamanda, homomorfik şifrələmə şifrənin açılmasına ehtiyac olmadan şifrələnmiş məlumatlar üzərində hesablamaların aparılmasına imkan verməklə məxfiliyi qoruyur. Tədqiqatda əsas məqsəd qabaqcıl məxfiliyi qoruyan bu texnikaları təhlil edərək, ağıllı müqavilələrdə mövcud olan məlumatların məxfiliyinə dair zəifliklərin həllini araşdırmaqdır. Onların tapıntıları əməliyyatların təhlükəsizliyinin və məxfiliyinin yaxşılaşdırılmasında əhəmiyyətli vədlər verir və bununla da təhlükəsiz blokçeyn texnologiyasının inkişafına önəmli töhfə verir. Bu araşdırma ağıllı müqavilələrdə məxfi məlumatların qorunmasında, onların geniş şəkildə mənimsənilməsi üçün tələb olunan etimadın və dürüslüyün təmin edilməsində innovativ məxfiliyi artıran mexanizmlərin əsas rolunu vurğulayır.

**Açar sözlər:** *sıfır-bilik çıxarışları, məxfilik, homomorfik şifrələmə, təhlükəsiz tranzaksiyalar.*

*Accepted: 11.03.2024*

## ANALYSIS OF THE PROBLEM OF PROTECTION OF INFORMATION IN THE CORPORATE INFORMATION SYSTEMS SEGMENT

**Yegana Novruz Aliyeva, Laman Qadir Ibrahimova**

*Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan:*

*yegane.aliyeva.1969@mail.ru, l.ibrva88@gmail.com*

*<https://orcid.org/0000-0002-4211-9806>*

**Abstract.** Successful use of modern information technologies is impossible without effective management of not only the computer network, but also the IT process. Improvement of information security management is possible both by using new methods for solving the management problem and by increasing the quality of the management effect by reducing the duration of these control periods. Therefore, a reasonable approach to increasing the effectiveness of information security measures can be the development of intelligent decision-making tools related to information management issues. Although active research is currently being conducted on the development of IT methods and systems, there are still many unanswered questions about the creation of methods for creating intelligent PPR tools related to IT management, which indicates a need. Complex solutions to scientific problems aimed at developing not only scientifically based, but also practically applicable models and methods for intellectual support of IT process management.

**Keywords:** *data, standard, information technology, operation, Fast Ethernet.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Introduction

Modern corporations have a complex distributed structure, predetermined by multifaceted activities, territorial location of divisions, and numerous corporate relationships with partners. Corporate management systems are usually called enterprise management systems that have a developed structure and separate management bodies. Corporate systems include organizational, information, etc. Most business functions and management processes of enterprises and organizations involve corporate information systems (CIS), which are essential tools for conducting business. The introduction of new information technologies for enterprises is always associated with the emergence of new risks. The more complex the structure of the corporate information system, the higher the risk of threats to it: penetration from the outside or unauthorized access from within the enterprise, especially for the purpose of financial fraud or disclosure of commercial secrets, changing or destroying information. and so on. [1, p. 147-153] Such risks can seriously damage the enterprise. The creation of a developed and secure information environment is an indispensable condition for the development of both individual corporations and the economy, society and the state as a whole. Therefore, the issues of ensuring information security in the CIS segment have become very urgent now.

CIS is a complex human-machine or socio-technical system that integrates the enterprise's information system. Different types of models are used to study such systems. The operation process of the CIS enterprise is carried out in the conditions of conflict between the enterprise as a socio-technical system on the one hand and competitors, aggressors, negative natural phenomena and other objects and events on the other. The complexity and expansion of modern corporate information systems leads to an increase in the number of network devices and various information security tools (ISI), and a large number of security incidents. It should be noted that modern technological processes in the field of information technologies, as well as in the field of new communication opportunities, are far ahead of the theoretical understanding of practical developments and applications. Therefore, there are reasons to assume that the current theoretical achievements are not fully adequate to the challenges of information security, both from a practical and a theoretical point of view [2, p. 225-230].

The main drawbacks of widely used information security systems are their strict architectural principles [3] and the use of mainly defensive or offensive strategies to protect against the most known and dangerous threats. Solving the identified problems and effectively using the modern CIS requires equal and reliable management tools and methods of not only networks, but also the security system and all measures that ensure network security. By managing both network and security equipment, we need methods that allow us to quickly monitor changes in the system's operating environment and

prevent information security breaches in a timely manner. A modern approach to ensuring effective information security in a corporate information system is the use of intelligent decision support tools (DSS) for information security management.

### Experimental part

Currently, an integrated information management system is being developed, which will cover the entire infrastructure of the organization and will allow managing the information infrastructure regardless of the scale of the corporate information system.

A structured description of all aspects of information security management is clearly shown in Fig. 1.

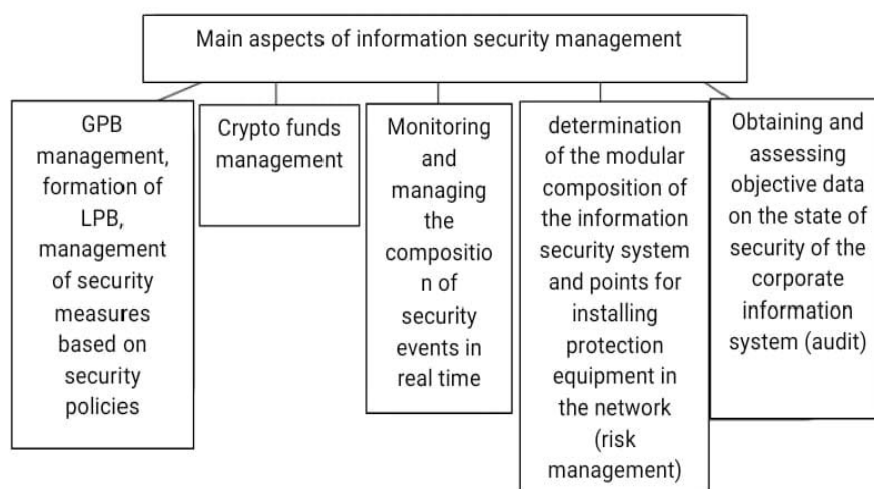


Fig. 1. Structuring the property management problem

Currently, it is practically impossible to find manufacturers that will provide the consumer with the full range of both hardware and software necessary to build information security systems that meet modern requirements. Most IT systems are based on software and hardware produced by different manufacturers. To ensure the reliability of the heterogeneous CIS of information security, an Information Security Management System (IMS) is required, which can ensure the correct configuration of each of its components and automatically support decision-making related to information, which can constantly monitor changes and monitoring the work of network users.

Such an integrated approach to solving the problem allows creating a truly safe environment for the operation of the CIS enterprise. Our analysis allows us to confirm that the management system, which performs a number of management functions at the CIS segment level, should work autonomously:

- Obtain and evaluate objective information about the current state of CIS security (audit);
- manage said events;
- determines the modular composition of the information security system and the points of creation of information security tools in the computer network of the enterprise.

The international standard ISO/IEC 27001 describes the models used for the creation, implementation, operation, continuous monitoring and analysis, maintenance and improvement of information security management systems (IMS) [4]. The design and implementation features of the company's information security system are determined by its needs and goals, security requirements, and the size and structure of the organization. Different activities need to be defined and managed in order to function effectively. The process approach to property management in this standard helps to emphasize the following points:

- Establishing appropriate principles, objectives, processes and procedures improving risk management and business intelligence to drive results, is consistent with the company's goals;
- Implementation and operation of IBS rules, controls, processes and procedures;
- assessment and measurement of process indicators related to information security management policy, goals and practices and their analysis;
- implementation of corrective and preventive procedures based on the results of internal audit and analysis in order to continuously improve the management of proprietary information.

The composition of SMZ includes:

- organizational structure;
- policy, planning activity;
- a set of procedures, processes, resources.

The purpose of the information protection system is the design of information protection systems, implementation, operation, continuous monitoring, analysis and improvement of information protection systems.

To create an IBS, an enterprise must:

- determination of system boundaries;
- develop the principle of action related to information protection, taking into account the legislative norms and the established protection goals;
- develop criteria for assessing the importance of risks;
- choose a risk assessment methodology that is compatible with the proprietary information management system and meets regulatory requirements; and able to ensure that risk assessments produce concrete results;
- determine the acceptable level of risk;
- identify risks (assets, threats and adverse effects leading to loss of confidentiality, integrity and availability of assets and critical vulnerabilities of the deployment system);
- assess the importance of risks (assess the possibility of information security violations, taking into account existing threats and vulnerabilities, assess risk levels, determine whether risks are acceptable or whether countermeasures should be taken);
- finding opportunities for risk management (using acceptable means to reduce or accept risk);
- choose risk management and treatment methods that take into account risk acceptance criteria;
- Agree with the management on the implementation of the IT system and prepare a statement on the degree of applicability (including the purpose of control, control tool, justification of choice).

The stage of implementation and operation of the SMPS of the enterprise includes the following actions:

- formulation of a risk management plan that defines the appropriate management measures, required resources, and responsibilities;
- implementation of this plan, including financing;
- implementation of control aimed at achieving the purpose of control;
- implementation of procedures and other management tools capable of quickly detecting events occurring in the information security system and reacting to an incident occurring in the information security system;
- rapid identification of ongoing and completed IT violations and incidents;
- detection of incidents in the information security system and prevention of incidents using indicators;
- measuring the effectiveness of control measures to verify that requirements are met;
- updating information security plans to take into account information obtained during both ongoing monitoring and analysis activities.

IBS documentation should be prepared in such a way that it includes descriptions of risk assessment methods, risk treatment plans and procedures necessary for the enterprise to ensure effective planning. The ISO/IEC 17799 standard provides recommended guidelines to be used when designing



a security system. The standard provides a management objective and a list of management tools. The purpose of the security policy is to guide and support the management of the IT in accordance with business requirements and legal regulations. IT policy should be reviewed at scheduled intervals to ensure adequate compliance and adequacy.

When it comes to asset management, the goal is to provide and maintain the necessary means to protect an organization's assets in a business environment that requires clear definition. It is necessary to create and maintain registers of important assets, as well as assets that are in any way related to information processing tools. Information should be classified according to its importance and criticality to the company.

The roles and responsibilities of employees and users regarding information and its protection should be documented in accordance with the company's information policy.

The goal of network security management is to protect security information on networks and protect the network infrastructure. Adequate network management is required to protect against risks. The purpose of continuous monitoring is to determine the information processing activity. A procedure should be established to continuously monitor the use of the tools used to process data and the results should be regularly reviewed.

The purpose of user access control is to guarantee access to registered users and to prevent unauthorized access to CIS. The assignment and use of permissions should be controlled and restricted, and the assignment of passwords should be governed by a formal administrative process. A formal user registration process should be established.

The purpose of information security incident management is to ensure that events in the information security system and vulnerabilities in the information security system are reported in a way that allows for timely correction processes. It is necessary to define management tasks and procedures for prompt, effective and organized response to all incidents that occur in the information security system. In the information security system, it is necessary to provide a mechanism that allows to determine the number and volume of incidents and constantly monitor them.

In [5, p. 120-121], a model of management process maturity is presented information security, in which the highest levels are “managed” and “optimized”. The controlled level is characterized by the evaluation of the monitoring and control process in the protection facility, their optimization is carried out, automation tools are partially used. The level of optimization characterizes the complexity of the information security management process, the ability to quickly adapt during changes in the business process, and the comprehensive use of protection measures that provide a basis for improving management processes.

The main steps to be followed include the information security management process [1, p. 220-227]:

- planning - analysis and assessment of information security risk, determination of policies on information security management systems, selection of protection measures and their updating to minimize risks, making decisions regarding the application of the information security management system;
- implementation and operation of the information security management system, including the development of plans for the processing of information security risks, the implementation of measures for its protection, work management, the detection and response of emerging security incidents;
- verification (monitoring and analysis), including analysis of activity, including analysis of residual information security risk levels, analysis of internal audits of the information security management system;
- improvement of the IS management system, including implementation of tactical and strategic improvements in the system, assessment of goal achievement, requiring decision-making at the planning level.

The ISO/IEC 15408-2002 standard includes security management steps; is a guide for security management in the information and communication system.

The standard covers general management issues important to the effective planning, implementation, and maintenance of system security.

Analysis of existing security management standards concluded that they try to create common concepts and common models for security management; however, these standards do not include specific approaches to information security management in SG CIS.

CIS of modern companies is an important tool for business management and an important means of production. The structure of the CIS consists of two large blocks:

- information infrastructure;
- information services.

The information infrastructure block represents the material base and environment for information service activity. The infrastructure of a modern company and modern society can be represented as consisting of spatially distributed units of this society and its partners, customers and suppliers. The main interactions between the company's facilities are carried out within the framework of the distributed CIS using communication devices and communication channels assigned by the telecommunications operator using various network programs and services.

The main principle of the structure of the distributed CIS is the segmentation of the network according to the territorial production affiliation. CIS structural units are a distributed segment of CIS. The CIS segment, in turn, can be a complex information system distributed at the regional level.

A CIS segment is a network consisting of network segments of the second level of the hierarchy. Each segment has a network built on workstations, servers, routers, a set of switches, digital modems, telephone lines, Fast Ethernet, E1 fiber optic channels and wireless communication channels.

The problem of ensuring information security in the corporate information system can be solved by establishing an effective information security system.

On the fig. 2 SG CIS clearly demonstrates the model of the composition of the information protection system.

The IT system is subject to the requirement of absolute transparency for programs already existing within the CIS and, in addition, to the requirement of compatibility with the network technologies used by the corporation. Therefore, in order to ensure reliable protection of CIS resources, information security systems should be implemented based on the most advanced and promising technologies in the field of information security.

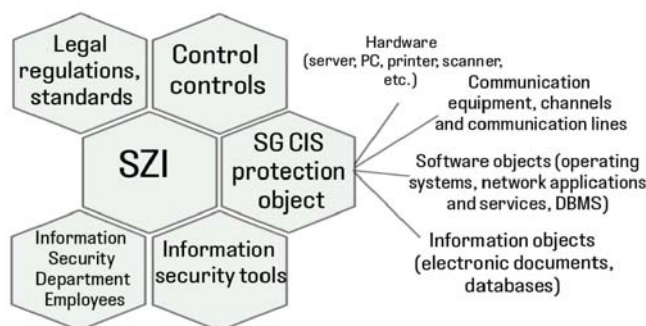


Fig. 2. SG CIS information security system composition model

Therefore, in order to ensure the effectiveness of computerization in the corporation, it is necessary to ensure the security parameters of information resources such as the integrity, confidentiality and authenticity of relevant business information circulating in local and global information networks.

## Conclusion

1. Implementing proactive information security strategies requires complex decisions that include developing a method to assess suspicious activity and various network events, preparing information to make decisions about managing security services and network devices, and responding in real time to changes in operating environment conditions.

2. One of the main problems in creating property management systems is the problem of providing automated decision support regarding property management throughout the entire period of CIS operation and in the changing conditions of the information environment. For this requires infrastructure software that supports mathematical models and scientific decision-making methods. The creation of instrumental software systems that use all the capabilities of a computer will make it possible to make scientifically based decisions, since the decision-making process will be based on analysis and forecast made using mathematical methods.

## REFERENCES

1. Застрожных И.И., Рогозин Е.А., Багаев М.А. Методологические основы безопасности использования информационных технологий в системах электронного документооборота: монография. – Воронеж: Научная книга, 2011, 252 с.
2. Стенг Д.И. Секреты безопасности сетей. – К.: Диалектика, 1996. 544 с.
3. Бородакий Ю. В. Интеллектуальные системы обеспечения информационной безопасности: материалы конф. // Известия ТРТУ. Тематический выпуск. – Таганрог: ТРТУ, 2005. № 4. с. 65- 69.
- 4 ISO/IEC 27001 – «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Системы управления информационной безопасностью». М.: ФГБУ "РСТ", 2022.
5. Соколов А.В., Шаньгин В.Ф. Защита информации в распределенных корпоративных сетях и системах. – М.: ДМК Пресс, 2002, 656 с.

*Accepted: 06.03.2024*

## PUA-LARIN KİBERTƏHLÜKƏSİZLİYİ HAQQINDA

İlahə Həsən qızı Qəhrəmanova

Azərbaycan Texniki Universiteti, Bakı, Azərbaycan

### ABOUT UAV CYBER SECURITY

Ilaha Hasan Gahramanova

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: [ilaha.qahramanova@aztu.edu.az](mailto:ilaha.qahramanova@aztu.edu.az)

<https://orcid.org/0009-0007-9761-1922>

**Abstract.** Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) are widely used in civil and military fields. Due to this development, their security also becomes an important aspect. Problems related to the safety of UAVs also arise. Here, not only hacking, but also protection against radio-electronic interference devices are very serious problems. Based on a number of real security incidents, it can be argued that cyber security for UAVs and other unmanned vehicles is of exceptional importance. Various methods and main components neutralization are presented. Examples of real-life security incidents involving UAVs are presented in different years and in several sample countries. UAV system discusses certain methods for preventing and detecting cyber-attacks, anomalous behavior, identifying intrusion attempts and responding in real-time. Cryptography is invaluable in preventing some cyber attacks. Data encryption protects its privacy and prevents interception. This article examines the cybersecurity challenges of UAVs. The integration of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) into wireless network technologies can enable solutions to various security challenges. AI is being researched in a wide range of applications in automated systems and aviation.

**Keywords:** *drones, UAV, GPS, cyber attack, incident, Artificial Intelligence, Machine Learning.*

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Giriş

Nikola Tesla 1898-ci ildə ilk pilotsuz, uzaqdan idarə olunan "tele-avtomobil"i nümayiş etdirmişdi. Bu sıçrayışdan sonra bir əsr ərzində pilotsuz sistemlər ilk növbədə ordu tərəfindən kəşfiyyat missiyaları üçün istifadə edildi. Texnologiyada irəliləyişlər daha sərfəli olduqca, pilotsuz uçuş aparatları (PUA) hərbi sahədən kənara çıxdı, mülki istifadələri genişləndi. Hazırda PUA-lar hərbi sahədən başqa, getdikcə daha çox müşahidə, tədqiqat və xəritəçəkmə, məkan məlumatlarının əldə edilməsi, geofiziki kəşfiyyat da daxil olmaqla geniş spektrli tətbiqlərdə istifadə olunur.

Lakin bir çox halda PUA-ların təhlükəsizliyi ilə əlaqəli problemlər də meydana çıxır. Burada təkcə hakinq (hekləmələr) deyil, radioelektron maneə qurğularından müdafiə də çox ciddi problemlərdir. Bir sıra real təhlükəsizlik insidentlərindən çıxış edərək iddia etmək olar ki, PUA-lar və digər pilotsuz nəqliyyat vasitələri üçün kibertəhlükəsizlik müstəsna əhəmiyyətə malikdir [1].

### PUA-nın əsas komponentləri

PUA-nın əsas komponentlərinə propellerlər, mühərriklər, çərçivə, sensorlar, sürət tənzimləyiciləri, uçuş kontrolleri, qəbuledici və batareya paketi daxildir. PUA ilə yanaşı, yerüstü stansiya və rabitə üçün lazım olan vasitəçilər də mühüm rol oynayır.

PUA operatorundan əmrləri radio, Wi-Fi və Zigbee kimi müxtəlif texnologiyalar üzərində işləyən ötürücü və qəbuledici vasitəsilə qəbul edir. Radioötürücüdən siqnal qəbul etdikdən sonra radioqəbuledici onları PWM (Pulse Width Modulation) və ya PPM (Pulse Position Modulation) formatında elektrik siqnallarına çevirir. Bu siqnallar uçuş kontrolleri tərəfindən interpretasiya olunur, əmrlər PUA-nın idarə edilməsi üçün xüsusi hərəkətlərə çevrilir. Rotor əsaslı PUA-larda ESC (Electronic Speed Controller, elektron sürət nəzarətçisi) uçuş kontrollerindən siqnal və batareyadan enerji alır, uçuşa nəzarət etmək üçün mühərriklərin sürətini tənzimləyir. Sabit qanadlı PUA-larda qanadların bucağını dəqiq idarə etmək üçün servomühərriklərdən istifadə olunur, bu da öz növbəsində uçuşa nəzarət edir. Əmrlərdən başqa, telemetriya adlanan yerüstü stansiyasına batareya gərginliyinin oxunması və radio siqnalının gücü kimi mühüm məlumatları ötürən əlavə ötürücü-qəbuledici cütü də mövcuddur. Yerüstü stansiya PUA-ların insan idarəsini asanlaşdıran idarəetmə mərkəzidir [1].

Müxtəlif rejimlərdə işləyən PUA-lar naviqasiya üçün müxtəlif prinsiplərdən istifadə edirlər. Əllə idarə olunan PUA-lar, adətən, operatorndan, qismən avtonom olan operatorndan, GNSS (Global Navigation Satellite System) sistemindən və sensorlardan siqnal alır, tam avtonom olanlar isə operatorun müdaxiləsi olmadan uçuş qabiliyyətinə malikdirlər.

Uzaqdan idarəetmə üçün radio rabitə metodunda PUA-nın uçuş yolunu idarə etmək üçün radio ötürücü/qəbuledici, smartfon, planşet və ya kompüter istifadə edilir. Bu tip rabitədən istifadə edən PUA-lar yalnız operatorun baxış xəttində uça bilər və qısa məsafələr üçün nəzərdə tutulur

Peyk naviqasiyası PUA-ların GNSS sistemi ilə əlaqə saxlamasını əhatə edir. Ən çox yayılmış GNSS sistemi GPS-dir. GPS (Global Positioning System) naviqasiyası yer ətrafında sabit orbitlərdə fırlanan 30-dan çox peykdən istifadə etməklə təmin edilir. Hər bir peyk digərləri ilə sinxronlaşdırılan sabit atom saatına və yerə nisbətən vaxtı yeniləyən baza stansiyasına malikdir. Mövqeyi dəqiq bilmək üçün ən azı 4 peykdən siqnal qəbul etmək lazımdır [4].

Ultrasəs, LIDAR və kameralar kimi müxtəlif sensorlar ətrafdakı obyektlərdən məsafəni təyin etmək üçün istifadə olunur. PUA-nın uçuş hündürlüyünü izləmək üçün barometrlər də istifadə olunur. Bu sensorlar sabit uçuş təminatında uçuş kontrollerinə məlumat vermək üçün birlikdə istifadə olunurlar. Əsasən bu tip sensorlar SLAM (Simultaneous Localization and Mapping – sinxron lokallaşdırma və xəritəçəkmə) alqoritmləri və ya dərin öyrənmə yanaşmaları vasitəsilə lokalizasiyanı həyata keçirmək məqsədi daşıyırlar [2].

### **PUA-lara hücumların növləri**

PUA-ların iş rejimlərindən (tam və qismən avtonom) asılı olaraq, müxtəlif zərərsizləşdirmə yanaşmaları tətbiq edilə bilər. Tam və ya qismən avtonom PUA üçün yer stansiyası ilə radio rabitəsi (RF) sabit paket strukturu ilə müxtəlif protokollar üzərindən baş verir. Paket arxitekturası ələ keçirilə, deşifrələ bilər. Radio dalğa tıxacları, PUA-ya yönələn enerji miqdarı da rabitəni pozmaq üçün istifadə edilə və müxtəlif növ təhlükələr yarada bilər ki, bu da təhlükəsiz eniş etmək, əvvəlcədən təyin edilmiş baza yerinə qayıtmaq və ya təsadüfən uçmaq, qəza etmək kimi problemlərə səbəb olur [5]. Avtonom PUA-larda sensor qiymətləri saxtalaşdırıla, pozula, GNSS siqnalları saxtalaşdırıla bilər. Proqram təminatı da saxtalaşdırıla və ya troyanlarla müdaxilə edilir. Əlavə olaraq, bəzi digər hücum növləri də mövcuddur (yüksək güclü mikrodalğalar, yüksək enerjili lazerlər, raketlər və s).

PUA-ların neytrallaşdırılmasının müxtəlif üsulları məlumdur:

**Küy müdaxiləsi:** PUA yerüstü idarəetməsində radio rabitəsindən istifadə edilir. Küy müdaxiləsi genişzolaqlı modullaşdırılmış siqnalın kiçik bir hissəsinə və ya bütün spektrinə tətbiq olunduğu ən sadə müdaxilədir. Müdaxilənin bu forması sistemin kanal tutumuna birbaşa təsir edir və onu azaldır. Pilot və ya peyk sistemlərindən gələn siqnallar onlardan asılı olan mexaniki və avtonom PUA-ların işini pozmaq üçün küy müdaxiləsinə məruz qala bilərlər. Bununla belə, sensorlarla işləyən bəzi PUA-lar küy müdaxiləsinə qarşı qorunma vasitələri ilə təchiz edilmişdir.

**GNSS müdaxilə:** Demək olar ki, bütün PUA proqramlarında avtopilot funksiyası var, yəni, onlar öz iş rejimində qismən, ya da tam avtonomdurlar. Avtopilot funksiyaları PUA-nın oriyentasiya, yer və sürətlənmə kimi cari xassələrini qiymətləndirmək üçün çoxsaylı sensorlar və bort aparatları ilə təchiz edilmişdir. Bunlardan biri lokalizasiya üçün siqnalları təmin edən GPS kimi GNSS moduludur. GPS zəif siqnal gücünə görə ümumiyyətlə küy və kənar müdaxilələrə çox həssasdırlar.

**Sensor saxtalaşdırılması:** PUA avto-pilot tətbiqi lokalizasiya və naviqasiya üçün LIDAR, SONAR və optik axın sensorları kimi bordda olan sensorlardan çox istifadə edilir. Bu sensorlar ətraf mühitlə qarşılıqlı əlaqədə olur və avtonom pilotsuz uçan aparat sistemini optimal şəkildə idarə etmək üçün avtomatik pilot kompüter üçün dəyərli məlumatlar təqdim edir. Sensor saxtakarlığı hücumunda təcavüzkar uçuş nəzarətçisinə faktiki dəyərlərdən fərqli olaraq saxta sensor ölçülər ötürür. Saxta ölçüləri düzəltmək üçün PUA sabitləşməyə yönəldiyindən və çox sensorları işə salmaq üçün məlumatlar paylaşdığından, bu, hətta sistem üzərində nəzarətin tamamilə itirilməsinə səbəb ola bilər.

Bu cür hücumların sayını azaltmaq üçün sistemə qəbul edilən vəziyyətlə faktiki vəziyyət arasındakı fərqləri aşkarlaya bilən nəzarət vasitələri tətbiq edilir. Məsələn, GPS və optik axın

sensorlarının məlumatları bu cür hücumları aşkar etmək və uyğunsuzluqları təyin etmək üçün digər sensor məlumatları ilə müqayisə üçün istifadə edilə bilər.

**Signal saxtalaşdırılması:** Qəbuledicini küy saxtalaşdırılmasından fərqli olaraq, orijinal qanuni signal olduğuna inandırmaq üçün kifayət qədər gücə malik ağlabatan saxta giriş siqnallarının yaradılmasını nəzərdə tutur. Saxta GNSS siqnalı həmin ərazidə PUA-nın başqa bir mövqedə yerləşdiyi kimi qəbul edilməsinə səbəb ola və PUA-nın virtual idarəsini saxtakara ötürə bilər.

**Proqram təminatının saxtalaşdırılması:** Məsələn, qlobal şəbəkədə yerləşdirilmiş kitabxanalarda, yaxud PUA kamerası üçün nəzərdə tutulan obyekt müəyyənləşdirmə proqramında zərərli kod yerləşdirilə bilər.

**GPS saxtakarlığı hücumu.** Son zamanlar daha çox GPS saxtakarlığı hücumuna məruz qalması hallarına rast gəlinir. GPS saxtakarlığı hücumu zamanı hücumçu saxta siqnallar ötürərək qəbuledicini yanıltmağa çalışır. Bu isə öz növbəsində PUA-ların qaçırılmasına və ya qəsdən qəzaya uğradılmasına səbəb ola bilər. Bu növ hücum yalnız PUA-lara qarşı deyil, həm də GPS qəbuledicisindən istifadə edən digər vasitələrə də tətbiq edilə bilər.

GPS saxtakarlığı zamanı zərərli GPS siqnalları qanuni GPS siqnallarından bir qədər yüksək güclə göndərilir ki, qəbuledici əsas siqnalları deyil, saxta siqnalları emal etsin. Zərərli signal kodları kompüterlərdə yaradıla, qlobal şəbəkələrdə yerləşdirilə və ya qanuni GPS siqnallarının sonradan yenilənən proqram təminatlarında qeydə alınə bilər. GPS saxtakarlığı hücumları GPS üçün əsas təhdidlərdən biridir və daha çox zərərli təsirlərə malikdir, çünki qəbul edən PUA tutula, yanlış istiqamətə yönəldilə və yaxud digər hədəflər, obyektlərlə toqquşmağa yönəldilə bilər [3].

### **PUA-larla əlaqəli real təhlükəsizlik insidentləri**

2009-cu ildə İran dəstəkli qruplar SkuGrabber adlı onlayn proqram təminatından istifadə edərək Predator pilotsuz təyyarəsinin canlı yayımını sındırmışdılar. Bu, onlara şifrələnmiş məlumatlara çıxış əldə etməyə imkan vermişdi.

2014-cü ildə Texas Universiteti (Ostin) radionaviqasiya laboratoriyasında PUA-nın uğurlu spüfinqi həyata keçirilmişdi. Hazırda PUA-lar üçün spüfinq texnologiyaları kifayət qədər inkişaf etmişdir. Anti-spüfinqin yayılmış metodları heç də həmişə dayanıqlı və etibarlı deyil. Təkcə GPS-vericilər deyil, görmə sensorları və infraqırmızı şüalanma sensorları da spüfinqə qalırlar. Nəticədə PUA-nın lazımı uçuş trayektoriyası dəyişdirilir.

2016-cı ildə Rusiyada keçirilən Praktiki Təhlükəsizlik üzrə Beynəlxalq Forumda PUA-ların qaçırılmasının mümkünlüyü nümayiş etdirilmişdi. Ələkeçirmə üçün Arduino Nano, PUA idarəetmə modulu BK2423, həmçinin HackRF və BladeRF kimi proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş radio (SDR) cihazları istifadə edilib [6].

İcazəsiz girişin qarşısını almaq üçün yalnız hərbi GPS siqnalları şifrələnir, mülki GPS siqnalları isə açıq siqnallar kimi yayımlanır. Mülki GPS siqnallarının bu xüsusiyyəti hər kəsə GPS siqnallarına giriş imkanı verir ki, bu da olduqca populyar mülki GPS hücumlarına səbəb olur.

Snoopy bədnıyyətli proqram təminatını [5] dronlarda quraşdırmaqla şəxsləri Wi-Fi olan smartfonlarını izləmək və onların fərdi məlumatlarını toplamaq olar. Snoopy vasitəsi ilə RFID (Radio Frequency Identification), Bluetooth və 802.15 standartlı şəbəkələrini də izləmək olar.

Snoopy əvvəlcə qurbanın telefonu tərəfindən yayılan siqnalı seçir və bu cihaza artıq məlum olan və etibar edilən şəbəkəni müəyyən edir. Sonra Snoopy müəyyən edilmiş şəbəkəni təqlid edərək smartfonu ona qoşulmaq üçün aldadır. Bundan sonra Snoopy bu maskalanmış şəbəkədən bütün məlumatları, o cümlədən telefonu real vaxt rejimində izləmək üçün istifadə edilən smartfonun MAC ünvanını da toplaya bilər.

DJI Phantom 4 Pro və Parrot Bebop 2 dronlarının bir sıra hücumlara həssas olmaları [6]-da analiz edilmişdir. GPS-spüfinq hücumu LabSat3 GPS simulyatoru vasitəsilə saxtakarlığın aşkarlanması üçün qurğu olmadan PUA-da həyata keçirilə bilər [6]. Açıq WiFi və de-avtorizasiya daxil olmaqla üç xüsusi Bebop 2 hücumu da var.

**PUA sistemində kiberhücumların qarşısının alınması və aşkarlanması**

Ümumilikdə PUA sistemində hücumların qarşısının alınması əks tədbirləri aşağıdakı üç üsulla işləyir:

- Sistemə ciddi giriş nəzarəti tətbiq edilməlidir ki, yalnız səlahiyyətli şəxslər və proqram agenti PUA ilə əlaqə yarada bilsin.
- Məlumatın məxfiliyi, bütövlüyü və həqiqiliyi elə qorunmalıdır ki, heç bir saxta və ya səhv məlumat, əmr qəbul edilməsin.
- Yalnız etibarlı mənbələrdən əldə edilmiş sistem proqram təminatı və proqram komponentlərindən istifadə olunsun.

Sensor hücumuna qarşı əks tədbir olaraq, müəyyən əməliyyat diapazonunda yalnız məqbul xarakteristikaya malik sensorlar PUA-da istifadə edilməlidir. Xüsusilə, tipik iş diapazonunda ətrafdakı akustik küydən təsirlənməyən uyğun bir girooskop seçilməlidir. Nəzərə almaq lazımdır ki, belə bir əks tədbir digər hücumlar üçün faydalı deyil.

Eyni sinif daxilində qruplaşdırılmış olmasına baxmayaraq, müxtəlif qarşısının alınması əks tədbirləri əhəmiyyətli dərəcədə fərqli həyata keçirir. Məlumatın silinməsinin və virus hücumlarının qarşısını almaq üçün giriş nəzarəti ümumi simsiz bağlantılar üzərindən bəzi şifrə əsaslı node identifikasiyası sxemləri vardır.

De-autentifikasiya hücumunda olduğu kimi simsiz əlaqə Wi-Fi olduqda, girişə nəzarət yalnız əvvəlcədən qeydiyyatdan keçmiş MAC ünvanları olan cihazların PUA ilə əlaqə yaratmasına icazə vermək şəklində həyata keçirilir və Wi-Fi giriş nöqtəsidir. Bu, etibarlı əks tədbirdir, çünki MAC ünvanı hər bir Wi-Fi interfeys kartına təyin edilmiş unikal aparat identifikatorudur. MAC ünvanını yoxlayaraq, PUA düşməni dəqiq şəkildə süzgecdən keçirir və saxta de-autentifikasiya signalı təqdim etmək cəhdini rədd edir. MAC ünvan filtri ilə giriş nəzarətinə əlavə olaraq, PUA-nın giriş nöqtəsi identifikatorunu yayımlamaqla deyil, gizlətməklə de-autentifikasiya hücumlarının qarşısını almaq mümkündür. Həmçinin, defolt olaraq açıq mətnlə ötürülən autentifikasiya mesajları hücumdan əvvəl olan simsiz sniffing – in qarşısını almaq üçün şifrələnməlidir.

Kriptoqrafiya bəzi kiberhücumların qarşısının alınmasında əvəzsizdir. Məlumatın şifrələnməsi onun məxfiliyini qoruyur və ələ keçirilməsinin qarşısı alır. Asimmetrik kriptoqrafiya ilə müqayisədə simmetrik kriptoqrafiya daha az hesablama tələb edir və buna görə də bort resursları məhdud olan aşağı qiymətli PUA-lar üçün daha uyğundur. Simmetrik şifrələmənin həyata keçirilməsində problem gizli açar paylanmasıdır. Adətən radio idarəetmə kanalında mübadilənin həyata keçirilməsi üçün simmetrik açar paylaşma sxemi təklif edilir. Sxem o mənada unikalıdır ki, ümumi mövcud radio modullarında həyata keçirilir və hər hansı hardware modifikasiyası tələb etmir [7].

PUA-nın hərəkətiliyindən istifadə etməklə onun trayektoriyasını optimallaşdırmaq və ötürməklə, yerdəki dinləyiciyə məxfilik dərəcəsini maksimuma çatdırmaqla məlumatı ötürmək mümkündür. Fiziki səviyyənin təhlükəsizlik texnikaları perspektivli olsa da, dinləyici yerüstü idarəetmə stansiyası və ya PUA ötürücüyə yaxın olduqda, rabitə üçün kifayət qədər yüksək məlumat məxfilik dərəcəsinə nail olmaqla bağlı problemlər hələ də aktualdır .

Man-in-the-middle hücumu şəklində görünən nəzarət signalının saxtalaşdırılmasının qarşısını almaq üçün şifrələmə mütləqdir. Başqa bir misal, naviqasiya signalının saxtalaşdırılmasında bütün yayım məlumatlarını şifrələməklə hücumun qarşısının alınması mümkündür. Şifrələmə üsulları adətən baha başa gəldiyindən yalnız nəzərdə tutulan qəbuledicilərin vacib bildiyi hərbi əməliyyatlar üçün edilir.

Signalın məxfiliyi pozulduqda, şifrələmə məlumatın bütövlüyünü yoxlamaq imkanı ilə məlumatın saxtalaşdırılmasının qarşısını almaq üçün ikinci müdafiə xətti təklif edə bilər. Kriptoqrafik şifrələmə məlumatın həqiqətən də qanuni göndəricidən ötürüldüyünü yoxlaya bilən mesajın autentifikasiyası vasitəsilə mesaj inyeksiya hücumunun qarşısını almaqda faydalıdır. Mesajların şifrələnməsi ilə yanaşı, kriptoqrafiya həm də Blockchain texnologiyasının əsasını təşkil edir. Birtərəfli hash funksiyasından çox asılı olan Blockchain, PUA-ların təhlükəsiz rabitə ilə təmin edilməsi üçündür. Göndərən PUA əvvəlcə birdəfəlik simmetrik şifrələmə açarından istifadə edərək məlumatını



şifrələməli, şifrələnmiş paketi Blockchain qrupundakı bütün PUA-lara ötürməli və mesajın bütövlüyünü təsdiqləmək üçün qrupdan konsensus əldə etməlidir. Təsdiq konsensusa əsaslanır və sadə səs çoxluğu ilə həyata keçirilir. Yalnız belə bir təsdiqdən sonra göndərən PUA məlumatı başqa PUA və ya yerüstü idarəetmə stansiyası ola biləcək nəzərdə tutulan qəbul ediciyə çatdıracaq. Məlumatın məxfiliyi simmetrik şifrələmə vasitəsilə əldə edilir [7].

Kor inyeksiya nəticəsində daxil olan məlumatların və ya xidmət sorğularının sayı birdən-birə yüksələ bilər. Kor inyeksiya paketlərin sayının statistik xarakteristikalarının və paket gecikməsinin yoxlanılması ilə aşkar edilir. Xüsusi hücum tipini hədəf almadan, müxtəlif maşın öyrətmə alqoritmlərindən istifadə edərək şəbəkə trafikində anomaliyaların aşkar edilməsi mümkündür. Alqoritm girişləri müxtəlif şəbəkə trafiki xüsusiyyətləridir, bunlara axın müddəti, paketlərin sayı, maksimum və minimum paket ölçüləri, orta və ümumi paket ölçüləri, paket ölçülərinin standart kənarlaşması və s. daxildir [7].

Nəzarət signalının saxtalaşdırılması PUA-nın qaçırıcının diktə etdiyi kimi gözlənilmədən hərəkət etməsinə səbəb ola bilər. Digər tərəfdən, naviqasiya signalının saxtalaşdırılması PUA-nın istiqamətini itirməsinə səbəb olur. Beləliklə, PUA-nın uçuş davranışları və statistikasında anomaliyaları tapmaqla həm nəzarət, həm də naviqasiya mesajı saxtakarlığını aşkar etmə mümkündür.

Məlumat yeridilməsi forması olaraq, video axınında ətraf mühitə uyğunsuzluq tapmaqla aşkar edilə bilər. Məsələn, PUA-nın günəş kölgəsi PUA-nın yerindən, günəşin mövqeyindən və cari vaxtdan asılıdır. Müəyyən bir vaxtda gözlənilən günəş kölgəsi və PUA-nın yeri müəyyən edilə bilər (analemmatik günəş saati modeli vasitəsi ilə). Video görüntüdə kölgələr varsa, video təkrar hücumu təsbit edilir və videoda gözlənilən kölgəyə uyğun gəlmir. Bu tip video analitik yanaşma GPS naviqasiya signalının saxtalaşdırılmasını aşkar etmək üçün istifadə edilə bilər. Çünki, günəş kölgəsindəki uyğunsuzluq, eyni zamanda yerləşmənin uyğunsuzluğunu da bildirir. Xüsusilə, qəbul edilmiş videodakı günəş kölgəsi naviqasiya signallarından hesablanan PUA məkanında gözlənilən kölgəyə uyğun gəlmirsə, GPS saxtakarlığı aşkar edilir.

Günəş kölgəsindən başqa, GPS saxtakarlığının aşkarlanması üçün yer ardıcılığı digər ətraf mühit xüsusiyyətlərindən istifadə etməklə də yoxlanılır. Daha dəqiq desək, PUA-nın ətraf mühiti, alınan naviqasiya mesajlarından istifadə etməklə əldə edilən yerə uyğun olmalıdır. Məsələn, GPS signalı PUA-nın dəniz üzərində uçduğunu müəyyən edərsə, PUA-dan çəkilmiş bir şəkil onun meşənin üstündə uçduğunu göstərməməlidir.

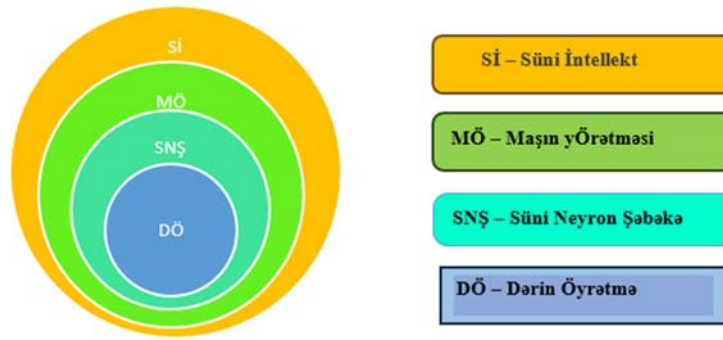
Kamera və ərazi hündürlük xəritəsindən istifadə etməklə GPS saxtakarlığını aşkar etmək üçün bir üsul da vardır. GPS signallarından əldə edilən PUA-nın mövqeyinə əsaslanaraq gözlənilən video görüntüsünü müəyyən edir və həmin görüntünü kamera tərəfindən çəkilmiş faktiki görüntü ilə müqayisə edir.

Yuxarıda təsvir edilən vizual əsaslı məkan ardıcılığı metoduna əlavə olaraq, GPS-in radio signal xüsusiyyətlərindəki anomaliyaları yoxlamaq mümkündür. GPS saxtakarlığının aşkarlanmasına dair digər məlumat, anomaliyalar qeyri-adi güclü qəbul edilmiş signal gücü və həddindən artıq aşağı küy səviyyələri şəklində olur. Qeyri-normal dəyərlər GPS qəbul edicilərinin signalının gəliş bucağında, signal fazasının gecikməsində və s. müşahidə olunur.

### **PUA təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün Maşın Öyrətməsi**

Simsiz şəbəkə texnologiyalarına süni intellekt (SI) və maşın öyrətməsi (ML)-nin inteqrasiyası müxtəlif təhlükəsizlik problemlərinin həlli şərait yarada bilər. SI adətən avtomatlaşdırılmış sistemlərdə istifadə olunur və aviasiyadan tutmuş səhiyyəyə qədər geniş tətbiq sahəsinə malikdir (şəkil). Konvolyusiya neyron şəbəkələri (CNN) təsnifata əsaslanan tapşırıqları yerinə yetirmək üçün birbaşa mətnlərdən, şəkillərdən, səslərdən və ya videolardan öyrəndiyi dərin öyrənmə (DL) üsullarından biridir. CNN üz tanıma və özü idarə olunan aparatlara tətbiq edilir. Nəticədə, müxtəlif sahələrdə, tətbiqlərdə və şəbəkə səviyyələrində SI/ML və PUA-nın birləşməsi səmərəli olur.





Süni intellekt və alt sahələri

PUA-ların avtonom işləməsi üçün MÖ getdikcə daha vacib olan SI yanaşmasına çevrilir. Qabaqcıl MÖ alqoritmlərinin istifadəsi (məsələn, dərin öyrətmə (DL) alqoritmləri) PUA sistemində daha düzgün qərarlar qəbul etməyə yardımçı olur [8].

SI/MÖ texnologiyalarında son inkişaf, mürəkkəb və dinamik sistemlərdə təhlükəsizliyi qorumaq və insan xətalərini azaltmaqla yanaşı, tam avtonom PUA əməliyyatlarının inkişafı sayəsində PUA əsaslı tətbiqlər üçün yeni imkanlar yaradıb. PUA-lara əsaslanan multimedia sistemləri üçün şəxsiyyətlərini dəyişdirərək PUA-ların ötürülməsini pozmaq, xüsusən də çoxlu sayda PUA olan şəbəkələrdə ciddi təsir göstərə bilər.

Tək PUA-larla müqayisədə koordinasiya edilmiş PUA-lar dəstəsi vacib missiyaları yerinə yetirir. Uçuş zamanı bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan PUA-lar xüsusi tapşırıqları üzrə razılığa gəlir və buna görə də dəyişən şəraitə avtonom reaksiya verə bilirlər. PUA-lar qrupu arasında məlumat mübadiləsinin bu sxemi, adətən, təcavüzkarın dəstəyə daxil ola biləcəyi və onların paylaşılan məlumatlarını dəyişdirə biləcəyi, qeyri-ahəng hərəkətlər və toqquşmalarla nəticələnən rəqib hücumlarına qarşı həssasdır.

MÖ zənciri idarə etmək üçün blockchain daxilində real vaxtda qərar vermək üçün böyük məlumatlarla (BD) çalışmaq qabiliyyətinə malikdir. Bu səbəbdən, paylaşılan məlumatları təşviq edən blokçeynin qeyri-mərkəzləşdirilmiş təbiəti vasitəsilə təhlükəsizlik gücləndirilə və daha yaxşı modellər yarada bilər. PUA-ları avtonom şəkildə idarə etmək üçün MÖ daha düzgün qərarlar qəbul etməkdə əsas rol oynayır. Sürətli dronlarla əməkdaşlıq üçün, missiya zamanı toqquşmaya səbəb ola biləcək şəbəkə qırılmalarının qarşısını almaq üçün mərkəzsizləşdirmə tələb olunur. Şəbəkədə dəyişikliklərin proqnozlaşdırılması, daha təhlükəsiz əməliyyatları təmin etmək üçün optimallaşdırmadan istifadə olunur. İstənilən real dünya tətbiqində və naməlum mühitdə dronlarla əməkdaşlıq üçün tələb olunan tapşırıqları yerinə yetirmək çətin məsələdir.

Məsələn, bir PUA qrupdan hər hansı məqsəd üçün ayrılıqda və ya nasaz vəziyyətə gəldikdə Blokçeyn bu dronu müəyyən etmək və digərləri arasında əlaqəni yüksək autentifikasiyada və təhlükəsiz saxlamaq üçün əsas texnologiyadır. Toplanmış məlumatlardakı küy böyük bir problemdir və qrup dronları ilə əlaqədə səhv qərarların qəbul edilməsinə səbəb ola bilər. Blockchain texnologiya şəbəkəsində qonşu dronların paylaşılan məlumatlarına əsaslanan dəqiq məlumatlarla küy arasındakı fərqi müəyyən etmək üçün təsnifat üsulları kimi MÖ texnikaları tələb olunur [8].

### Nəticə

PUA-lar tezliklə gündəlik həyatımızda geniş istifadə ediləcək və bu prosesi sürətləndirmək üçün onlarla əlaqəli təhlükəsizlik problemlərinin həllinə yönəlmiş tədqiqatlara ehtiyac var. Bu məqalədə PUA-lara yönəlmiş hücumların müxtəlif növləri analiz edilir. PUA-larda real təhlükəsizlik insidentləri təqdim edilir. Simsiz şəbəkə texnologiyalarına süni intellekt (SI) və maşın öyrətməsi (MÖ)-nin inteqrasiyası müxtəlif təhlükəsizlik problemlərinin həlli şərait yarada bilər. PUA-ları avtonom şəkildə idarə etmək üçün MÖ daha düzgün qərarlar qəbul etməkdə əsas rolunun tədqiqatı aparılır. Sistemə ciddi giriş nəzarəti tətbiq edilməsinin vacibliyi, yalnız səlahiyyətli şəxslərin PUA ilə

əlaqə yarada bilməsinin təminatı yolları üzə çıxarılır. Məlumatın məxfiliyi, bütövlüyü və həqiqiliyinin qorunması, saxta və ya səhv məlumat, əmr qəbul edilmə faktının aradan qaldırılması müzakirə edilir. Yalnız etibarlı mənbələrdən əldə edilmiş sistem proqram təminatı və proqram komponentlərindən istifadə olunmasının vacibliyi vurğulanır.

### ƏDƏBİYYAT

1. Liu Y., Dai H.N., Wang Q., Shukla M.K., Imran M. Unmanned aerial vehicle for internet of everything: Opportunities and challenges. *Computer Communications*, 2020, vol. 155, pp. 66-83.
2. Ly B., Ly R. Cybersecurity in unmanned aerial vehicles (UAVs). *Journal of Cyber Security Technology*, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 120-137.
3. Chamola V., Kotesch P., Agarwal A., Gupta N., Guizani M. A comprehensive review of unmanned aerial vehicle attacks and neutralization techniques. *Ad hoc networks*, 2021, vol. 111, Article 102324.
4. Kerns A.J., Shepard D.P., Bhatti J.A., Humphreys T.E. Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing. *Journal of field robotics*, 2014, vol. 31(4), pp. 617-636.
5. <https://github.com/sensepost/Snoopy>.
6. Shafiqe A., Mehmood A., Elhadeif M. Survey of security protocols and vulnerabilities in unmanned aerial vehicles. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 46927-46948.
7. Kong, Peng-Yong. "A survey of cyberattack countermeasures for unmanned aerial vehicles." *IEEE Access* 9 (2021): 148244-148263.
8. Kurunathan H., Huang H., Li K., Ni W. and Hossain E. 2023. Machine learning-aided operations and communications of unmanned aerial vehicles: A contemporary survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.

### PUA-LARIN KİBERTƏHLÜKƏSİZLİYİ HAQQINDA

I.H.Qəhrəmanova

**Xülasə.** Hazırda pilotsuz uçuş aparatları (PUA-lar) mülki və hərbi sahələrdə geniş tətbiq edilməyə başlayır. Bu inkişaf əlaqədar olaraq, onların təhlükəsizliyi də mühüm aspektə çevrilir. PUA-ların təhlükəsizliyi ilə əlaqəli problemlər də meydana çıxır. Burada təkcə hakinq deyil, radioelektron maneə qurğularından müdafiə də çox ciddi problemlərdir. Bir sıra real təhlükəsizlik insidentlərindən çıxış edərək iddia etmək olar ki, PUA-lar və digər pilotsuz nəqliyyat vasitələri üçün kibertəhlükəsizlik müstəsna əhəmiyyətə malikdir. PUA-ların neytrallaşdırılmasının müxtəlif üsulları, əsas komponentləri təqdim edilir. PUA-larla əlaqəli real təhlükəsizlik insidentləri nümunələri müxtəlif illərdə və bir neçə ölkə nümunəsində əks olunur. PUA sistemində kiberhücumların qarşısının alınması və aşkarlanması, anomal davranış, icazəsiz giriş cəhdlərini müəyyən etmək və real vaxt rejimində cavab vermək üçün müəyyən metodlar müzakirə edilir. Kriptografiya bəzi kiberhücumların qarşısının alınmasında əvəzsizdir. Məlumatın şifrələnməsi onun məxfiliyini qoruyur və ələ keçirilməsinin qarşısı alınır. Bu məqalədə PUA-ların kibertəhlükəsizliyi ilə bağlı problemlər araşdırılır. Simsiz şəbəkə texnologiyalarına süni intellekt (SI) və maşın öyrətməsi (MÖ)-nin inteqrasiyası müxtəlif təhlükəsizlik problemlərinin həlli şərait yarada bilər. SI-in avtomatlaşdırılmış sistemlərdə və aviasiyada geniş tətbiq sahələrinin tədqiqatı aparılır.

**Açar sözlər:** pilotsuz uçuş aparatları, PUA, GPS, kiberhücum, insident, Süni intellekt, Maşın Öyrətməsi.

Accepted: 05.04.2024

## ПОЛУЧЕНИЕ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРИЗОТИЛА – ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Сергей Евгеньевич Пуненков

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия;

ПАО «Ураласбест», Асбест, Россия

### PRODUCTION OF FIBRE CEMENT PRODUCTS USING CHRYSOTILE - CHRYSOTILE CEMENT INDUSTRY

Sergey Evgenievich Punenkov

Urals State Mining University, Yekaterinburg, Russia;

PJSC "Uralasbest," Asbest, Russia: ore-dressing@control.uralasbest.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

**Abstract.** The article discusses the technology of production, the problems of the development of chrysotile and chrysotile cement industries in the countries of independent states. The article provides information on the composition and properties of natural chrysotile fibers, data on the quality of raw materials of cement and chrysotile fibers supplied to chrysotile cement enterprises, characteristics of suspension with them, semi-finished product and properties of solidified chrysotile cement products. The emerging requests of the manufacturers of chrysotile cement products (slate, chrysotile cement pipes) to the mining and processing enterprises of the countries of independent states on the quality of the supplied chrysotile fibers in connection with the apparent violations of the physical and mechanical properties of the slate products are considered.

**Keywords:** chrysotile fibers, fluff, portland cement, reinforcement, pigments, hydrophobizator, chrysotile cement products, main cracks, seedlings, risks, market.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Введение

Создание шиферных – хризотилцементных изделий в конце 19-го – в начале 20-го столетий можно назвать важным событием в мировой инженерной практике в связи тем, что этот простой двухкомпонентный материал имеет длительное время эксплуатации. Образцы первого шифера стоят в костеле австрийского г. Феклабрук с 1901 года до сих пор без повреждения. Большим достоинством шиферных изделий, прежде всего – листов и труб, являются их биостойкость, безопасность и долговечность. В XXI веке хризотилцементные изделия, в том числе шифер, сайдинг и другие асбоцементные изделия являются важными и незаменимыми с точки зрения экономичности, термостойкости, пожаробезопасности материалом для строительной индустрии. Срок службы хризотилцементных листов как кровельного материала в зависимости от условия эксплуатации – более 50 лет. В России первые шиферные изделия были изготовлены в виде лёгкой асбестоцементной кровельной черепицы на заводе «Террофазерит» в 1908 году в г. Брянске [1].

### Материалы и методы

**Хризотил** относится к одному из весьма широко распространённых в природе видов асбеста, к группе серпентинитов. Содержание воды в асбесте группы серпентина - хризотила составляет 13-14,5%. Именно хризотил-асбест наиболее широко применяется для изготовления различных материалов. В связи с этим его добыча в мире составляет более 98% от общемирового производства асбестов [2].

В целом для производителей хризотиловых волокон и хризотилцементных изделий общие стоят задачи. Это снижения себестоимости и улучшения качества выпуска готовой продукции, расширения его ассортимента и рынков сбыта.

Твердость сырьевого минерала хризотил-асбеста по шкале Мооса равна 2,5-3,5, его плотность 2,4–2,6 г/см<sup>3</sup>. Молекулярная масса хризотила: 277,11 г/моль. Прочность хризотиловых

волокон на разрыв равна 1700–3600 МПа. Средние значения модуля упругости хризотил-асбеста колеблются от 1664 до 2184 МПа. Температура плавления волокон достигает 1450–1550°C, а их эластичность и прочность сохраняются до температуры 700°C.

Хризотиловый асбест по химическому составу это водный силикат магния (гидросиликат магния) -  $3\text{MgO} - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$ . Он может содержать примеси  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , и  $\text{K}_2\text{O}$ . В зависимости от количества в хризотиле железа, волокна подразделяются на маложелезистые (суммарное содержание  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  обычно не превышает 0,5 %) и железистые (суммарное содержание  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  более 0,5%). Часть  $\text{FeO}$  в хризотиловом волокне изоморфно замещает  $\text{MgO}$ . Другая количественная часть железа связано с механической примесью магнетита, реже хромита. Свойства физико-механические хризотилового волокна зависят от наличия вредных примесей и количества в хризотиле  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержание конституционной воды и т.д. Известны три вида хризотила: клинохризотил (clinochrysotile), ортохризотил (orthochrysotile) и парахризотил (parachrysotile). На рис. 1 дана химической структуры хризотил-асбеста.

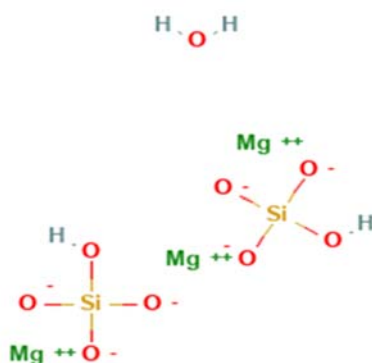


Рис. 1. Химическая (молекулярная) структура хризотил-асбеста

Наиболее важные химические элементы хризотил-асбеста, обеспечивающие ему лучшие текстурные, армирующие и прочностные характеристики в твердеющем портландцементе: оксид железа, оксид магния, кристаллизационная вода и адсорбированная вода, удерживаемая в технологических процессах.

Химический состав Баженовского, Киёмбаевского и Джетыгаринского хризотил-асбеста по данным 2023 г. представлен в таблице.

Химический состав хризотилых волокон из разрабатываемых в России и Казахстане месторождений, %

	Окислы	Месторождения Россия и Казахстана		
		Баженовское	Джетыгаринское	Киёмбаевское
1	$\text{SiO}_2$	42,1	44,4	44,69
2	$\text{MgO}$	41,99	39,33	39,86
3	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,53	0,84	0,3
4	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,3	1,88	1,54
5	$\text{FeO}$	0,24	0,49	0,42
6	$\text{CaO}$	0,03	Следы	следы
7	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	Следы	Следы	следы
8	$\text{H}_2\text{O} + 105^\circ$ (хим. связ).	12,99	12,03	12,02
9	$\text{H}_2\text{O} - 105^\circ$ (адсорбционная)	1,42	0,8	0,7

На территориях бывшего СССР и СНГ находятся три месторождения хризотилового асбеста: в России, на Урале, самое большое в мире - Баженовское (ПАО "Ураласбест"), в Оренбургской области – Кiemбаевское (ОАО "Оренбургские Минералы"), а в Казахстане – Джетыгаринское (АО «Костанайские Минералы»). Они производят 79,0% всего хризотил-асбеста в мире, представлено на рис. 2.



Рис. 2. Динамика мирового производства хризотил-асбеста в 2021г.

Годовой объем производства хризотил-асбеста в России в 2023 г. составил 598 тыс. тонн, потребление его в России от этого объема менее 30% и более 70% произведенного хризотилового волокна поставляется в страны СНГ и в дальнее зарубежье. В основном поставка российского хризотил-асбеста идет Азиатско-Тихоокеанский регион (Юго-Восточную Азию) – Индия, Китай, Индонезия, Вьетнам, Шри-Ланка, Филиппины, Бангладеш, Таиланд, Пакистан, Лаос и т. д. На внутреннем рынке России и Казахстана хризотил-асбест применяется для производства асбестоцементных изделий до 90%. При этом около 7 % хризотил-асбестовых волокон применяется для получения фрикционных изделий - тормозных колодок и накладок для механизмов сцепления и около 3% для производства мастик, герметиков, декинга, напольных покрытий и т.д. Ежегодно в России товарной продукции из хризотила производится на сумму более 150 млн. долларов США, в Казахстане на сумму более 43 млн. долларов США и в США на сумму более 4 млн. долларов США [3, 4].

В Баженовском хризотил-асбесте присутствует самое большое количество оксида магния, самое низкое в волокнах Джетыгаринского хризотила. И, наоборот, в волокнах Баженовского хризотил-асбеста самое низкое количество оксида железа, и больше всего его в волокнах Джетыгаринского хризотила. Содержание природной и технологической воды самое высокое у хризотил-асбестовых волокон Баженовского месторождения. Все это и определяет более мягкую текстуру волокон Баженовского хризотил-асбеста. Они имеют после добычи большую длину, более распушены, имеют большую удельную поверхность. И все это при меньших затратах энергии на их подготовку. Наиболее жесткая структура у Джетыгаринских волокон, но они менее насыщены мелкодисперсной пылью, требуют больше энергии, времени для распушки.

В связи с различием свойств хризотил-асбеста вышеперечисленных трех месторождений несколько отличаются показатели прочности волокон. Где, прочность хризотил-асбестового волокна характеризуется модулем упругости и механической прочностью на разрыв. В связи с этим хризотил-асбестовые волокна делятся на три разновидности: нормальный – с хорошей прочностью (механическая прочность на разрыв 2800–3600 МПа), ломкий - с пониженной прочностью (механическая прочность на разрыв 1700–2200 МПа), полумомкий и продольный средней прочности (механическая прочность на разрыв 2200–2800 МПа). Это определяет области их применения и дозировки в производстве хризотилцемента. Тем не менее, при всех различиях данных видов добываемого асбеста, все они и именно только волокна хризотилового асбеста обеспечивают шиферу самые большие преимущества по свойствам [5, 6].

**Хризотилцемент.** Присутствие в цементной матрице армирующих хризотилловых волокон делает хризотилцемент композиционным материалом. Адгезионные и прочностные характеристики волокон из любого указанного хризотил-асбеста трех месторождений в смесях с тонкомолотым цементом дают готовым хризотилцементным изделиям многочисленные и высокие эксплуатационные свойства. Это показатели: статическая и динамическая прочность, трещиностойкость, пожаробезопасность и долговечность, морозостойкость, тепло- и звукозащитность, кислото – и щелочестойкость, электроизоляционные и диэлектрические свойства. Изделия с хризотилловыми волокнами также имеют и ряд других полезных свойств: бактерицидность, нетоксичность, защиту от радиации. Все это подтверждено мировой практикой.

При производстве хризотилцементных изделий используются два основных сырьевых компонента: хризотил-асбест и портландцемент. Основная продукция отрасли - плоские и волнистые, непрессованные и прессованные листы, а также - хризотилцементные трубы. При изготовлении листов в сырьевые смеси вводится 13- 15% хризотил-асбеста, при производстве труб — 17-18%. Для всей этой продукции применяют в основном хризотил-асбест 3 – 6 групп: для листов в основном применяют хризотил-асбеста 5-6 групп, для производства труб - преимущественно хризотил-асбест 3-4 групп.

### Результаты и их обсуждение

Производство хризотилцементных изделий, показано на и состоит из основных этапов: приготовления шихты из хризотила определенных групп и марок для требуемой смеси; производства определенного хризотилцементного изделия, гидрораспушки хризотилового волокна (осуществляемого в два этапа: обминание (раздавливание) хризотилловых волокон в бегунах и расщепление волокна на в голлендерах или гидрораспушителях. Смешивание волокон хризотила с цементом и водой, формование изделий на листоформовочной или трубоформовочной машинах, волнировка шифера на механическом или вакуумном волнировщике и их твердение, механическая обработка.

Кроме этих трех компонентов, применяются на хризотилцементных предприятиях в мире ещё добавочные материалы: пластификаторы, модификаторы, полимеры, уплотняющие добавки, гидрофобизаторы, пигменты (для придания изделию определенной окраски), целлюлоза, зола и др. Правильно подобранные добавки к цементу не только экономят портландцемент при производстве хризотилцементных изделий, где доля его в смеси значительная, но и позволяют не уменьшать прочность хризотилцементных изделий, а где-то их увеличивать.

Для придания эластичности хризотилловым волокнам и снижения их хрупкости, повреждения (укорачивания) волокна увлажняются осветленной рекуперационной водой до 30-50%. Соотношения твердого к жидкому  $Ж/Т=1/5$ . Хризотилловые волокна насыщаются в течении 3-5 дней водой и увеличиваются в объёме в смесителях, затем подаются в бегуны, где хорошо увлажненные пучки хризотилловых волокон обминаются вращающимися тяжелыми катками (валами).

Этот способ используется на хризотилцементных заводах в Бразилии и способствует увеличению сопротивления излому хризотилового волокна при обработке на бегунах. Вследствие чего волокна хризотила хорошо и легче распушиваются в бегунах. Распушка хризотила в бегунах повышает сорбционную способность волокон. Надо отметить, что вместо бегунов для обминания хризотила все больше распространение имеют в хризотилцементной промышленности валковые машины.

После распушки хризотилцементная масса сравнительно быстро, за 8-10 минут приобретает достаточную однородность, так как мельчайшие зерна цемента, несущие на поверхности высокий отрицательный заряд, быстро контактируют с развитой поверхностью тонковолокнистого хризотил-асбеста и прочно удерживаются на ней. Имеющий также высокий, но положительный заряд в водной и щелочной среде. Именно в этих операциях происходит процесс адгезии цемента с хризотилловым волокном.

Практически все современные хризотилцементные заводы в мире имеют безотходное производство и систему оборотного водоснабжения (рекуперацию воды). На хризотилцементных заводах в Бразилии, России и Казахстане обрезки и брак перерабатываются и направляются снова в процесс производства [7].

Важным для долгого применения хризотилцементных материалов является сохранение эксплуатационных их характеристик, в т.ч. устойчивость при короблении, при ультрафиолетовом излучении, исключение склонности к образованию высолов и долговечность окрашенной поверхности.

Из перечисленных факторов самыми важными, позволяющими существенно увеличить объемы применения хризотилцементных изделий-шифера в строительстве, являются долгое сохранение их декоративных покрытий и исключение образования на них высолов, налета белого налёта. Это является наиболее острым требованием и к серой продукции, и особенно к цветной (окрашенной). Именно снижение и исключение высолообразования. Сохранность начального состояния поверхности шиферного листа зависит от степени гидрофобизации поверхности хризотилцементного листа [8].

Из проведенных исследований научными институтами и промышленными экспериментами на хризотилцементных заводах России, Казахстана, Белоруссии и Украины с 2006 по 2022 г. по вопросам образования на поверхности хризотилцементных листов высолов сделаны выводы, что высолы - результат образования гидроксида кальция на наружных слоях хризотилцементных листов. Причина видится как следствие разности скорости гидратации свободного оксида кальция на внутренних и наружных слоях хризотилцементного листа. Экспериментами установлено, что для снижения возможности образования высолов на шифере необходимо использовать в производстве продукции портландцемент с минимальным до 1% содержанием  $\text{CaO}_{\text{св}}$  и обрабатывать сформованные хризотилцементные листы кремнийорганическими гидрофобизаторами на основе водной эмульсии силана и силоксанов.

Из проведенных исследований (рис. 3) по водопоглощению поверхности хризотилцементных плиток размером 200x150 мм обрабатывались гидрофобизатором и помещались с погружением в воду на определенный период времени (24 часа).

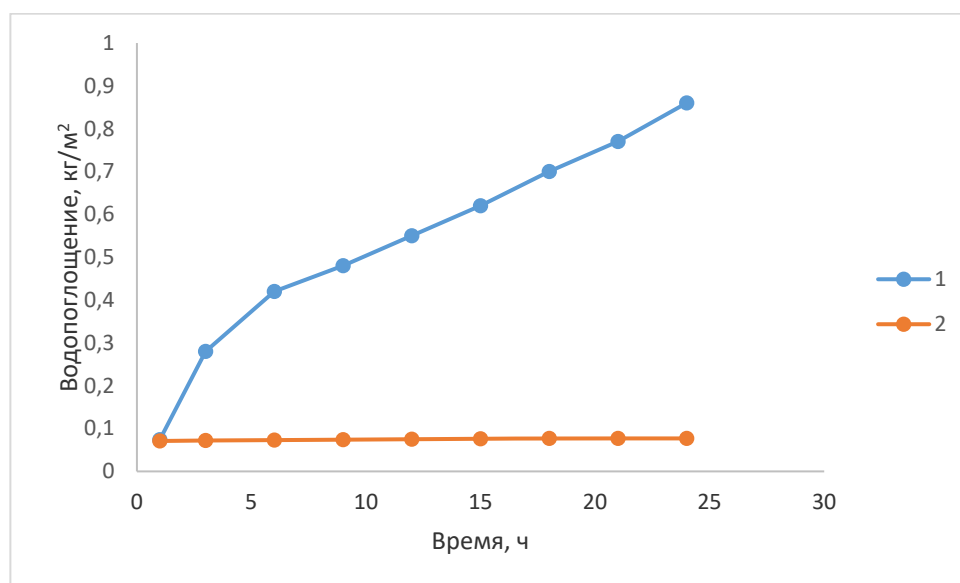


Рис. 3. График зависимости капиллярного водопоглощения усреднённых образцов хризотилцементных плиток от времени: 1 - не обработанные образцы гидрофобизатором; 2 – обработанные образцы гидрофобизатором

В результате проведенных испытаний показатель капиллярного водопоглощения обработанных гидрофобизатором хризотилцементных плиток был более в 8 раз ниже – от 0,85 до



0,074 кг/м<sup>2</sup>, чем у образцов не обработанных гидрофобизатором. Это обусловлено, что гидрофобизирующие эмульсии (эмульгатор и силикон) с концентрацией 50–60 % производят эффект водоотталкивания и снижения впитывания капиллярного водопоглощения в хризотилцементных плитках. Что препятствует, переносу растворимых солей на наружную поверхность плиток, снижая тем самым образования на них высолообразования.

Установлено также, что хризотилцементные материалы пронизаны большим количеством пор и капилляров. И это может обеспечивать им нежелательное избыточное водопоглощение. Для уменьшения воздействия этого фактора хризотилцементные листы обрабатывают гидрофобизаторами и полимерными красками.

При окрашивании хризотилцементных плоских и волнистых листов важно использовать краски с высокими адгезионными характеристиками, содержащие светостойкие пигменты, устойчивые к ультрафиолету, обеспечивающие хризотилцементным листам защиту от окружающей среды, повышенную водостойкость и морозостойкость. Наиболее широкое применение на хризотилцементных шиферных заводах России и СНГ с 2000-ых годов нашли краски с полимерным порошковым составом [10-12].

### **Качество волокна и риски**

Хризотилцементные предприятия в последние годы направляют на хризотилловые горнообогатительные предприятия стран СНГ запросы по качеству поставляемого хризотилового волокна. Хризотилцементные листы часто имеют повышенную трещиноватость сырого полуфабриката и образование в нем магистральных трещин вдоль волны, а также и в затвердевшей (готовой) продукции. Магистральные трещины и дальше появляются в листах вдоль волны, также поперек волны, что не характерно для хризотилцементных листовых изделий, т.е. в так называемом «сильном» направлении. Возникают они при хранении листов под нагрузкой в стопах на территории предприятия, при их транспортировке к потребителю и при монтаже на объекте.

Массовое возникновение трещин обусловлено отсутствием связи между хризотил-асбестовым волокном и портландцементом и может зависеть от многих причин. Это может возникать: при неожиданно резком изменении свойств цемента в хризотилцементной матрице, при экономии цемента, замене привычной смеси хризотила на другую, прежде всего обеднённую фракциями с длинными волокнами, при нарушении режимов распушки хризотила и пропорции добавок при производстве хризотилцементных изделий. Также при неравномерном увлажнении, замораживании и оттаивании листов, особенно в стопах, при хранении стоп на сквознях, под осадками, при резких перепадах температур и при резких возникновениях больших нагрузок на листы, на их стопы, при хранении, транспортировке, эксплуатации. Но из практики хризотилцементных предприятий известно, что почти все эти факторы имели место в той или иной степени ранее. И в то же время такое массовое появление трещин в листах, причем, практически на многих предприятиях, раньше не отмечалось. Технологи по производству хризотилцемента вынуждены рассматривать это, как возможное следствие изменения главного фактора, определяющего условия взаимодействия хризотила и цемента при создании и изменении хризотилцементной матрицы фракционного состава поставляемого хризотила.

Многие современные хризотилцементные заводы в мире применяют в качестве добавок к основным компонентам, образующих фиброцементные изделия, таких как хризотил и портландцемент, еще и золу, целлюлозу, полипропилен. При производстве фиброцементных изделий заводы используют золу от 15 до 30 %, переработанные отходы своего производства от 2 до 3 % и переработанную целлюлозу от 3 до 4 %. Согласно выше изложенному материалу, проблемы и задачи, стоящие перед хризотилцементной отраслью, в частности, для производства фиброцементных, волнистых и не волнистых кровельных листов (хризотилцементных из-



делий) и фасадных панелей: однородность и требуемый состав фракции хризотилых волокон, степень их распушки, стойкость и равномерность цвета, образование высолов, трещин на листах и панелях.

### Выводы

Хризотил-асбестовая отрасль в мире развивается, выдерживает кризисы и рыночную конкуренцию. Производители горного льна, как и производители хризотилцементной продукции, в последние годы оптимизируют свои затраты и расходы на производство, логистику, снижают свои потери, модернизируют и расширяют свой ассортимент, обновляют новым и современным, улучшенным оборудованием. Заводы и фабрики совершенствуют свою технологию, постоянно расширяют ассортимент продукции, улучшают ее качество.

Увеличения удельной поверхности хризотил-асбеста перед формованием хризотилцементного полуфабриката улучшается его армирующую способность и сцепление волокон с цементным камнем, что является результатом сложных физико-химических процессов адсорбции зерен цемента с волокнами хризотила. Немаловажную роль играет для получения хорошего качества хризотилцементных изделий и оптимальной себестоимости производства на хризотилцементных предприятиях является фракционный состав хризотил-асбеста (волокна класса: +1, 18 и -0,075 мм), поставляемый горно-обогачительными предприятиями.

Производство плоских хризотилцементных листов (шифера), напорных хризотилцементных труб требует обязательного расчета смесок хризотилцемента по содержанию фракционного состава хризотилового волокна на лабораторном пневмокласификаторе (ПК-2А) или гидрокласификаторе «Бауэр-Мак-Нетт» (БМН).

В отрасли последние десять лет хорошо отработаны технологии окраски шиферных изделий. Окрашенные хризотилцементные изделия, плоские и волнистые листы (шифер) имеют большую популярность в строительной отрасли стран СНГ, Средней и Юго-Восточной Азии, Южной Америки, Африки. Применение полимерного покрытия для хризотилцементных листов при использовании гидрофобизаторов повысило качество и долговечность хризотилцементной продукции, делает ее конкурентной на международном рынке.

Рынок потребления в мире и странах СНГ хризотил-асбеста и хризотилцементной продукции за последние 50 лет сильно изменился. В основном рынок сбыта сосредоточен в Азиатско-Тихоокеанском регионе и странах СНГ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров Ю.Т. 100-летний юбилей Брянского асбестоцементного завода. // Строительные материалы. 2008. №9. с. 34-35 (на русском языке).
2. Уиттакер Э.Д.В. Структура и свойства асбеста // Справочник по структуре текстильных волокон: натуральные, регенерированные, неорганические и специальные волокна. 2009. С. 425-449. (на английском языке).
3. Шкаредная С.А. Асбестосодержащие изделия и строительные материалы. / С.А. Шкаредная, Т.М. Каскевич. // Горно-геологический журнал. 2005. №2. С. 37-39 (на русском языке).
4. Robert L. Virta. Асбест: геология, минералогия, горное дело и использование. // Геологическая служба. 2022. С. 28 (на английском языке).
5. Пуненков С.Е. Хризотил-асбест и ресурсосбережение в хризотил-асбестовой отрасли. / С.Е. Пуненков, Ю.С. Козлов. // Горный журнал Казахстана. 2022. №1. С.5-10 (на русском языке).
6. Сводные данные о минеральных товарах за 2022 год. USGS. Геологическая служба. 2022. С. 204 (на английском языке).
7. Кагановский О.С., Градобоев О.В., Плагин А.А. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: проблемы производства хризотил-цемента. // Сб. науч. тр. Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Харьков: УкрДУЗТ. 2013. Вып. 138. С. 50-47 (на украинском языке).
8. Пуненков С.Е. Современное состояние и перспектива развития хризотил-асбестовой отрасли в Бразилии. // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 20-21 (на русском языке).
9. Чесноков В.С. Хризотилцементные напорные трубы: практика применения в теплотрассах. / В.С. Чесноков, В.А. Бабич. // Строительные материалы. 2008. №9. С. 13-15 (на русском языке).

10. Ободович О.М. Увеличения степени распушки асбестовых волокон с помощью гидромеханической обработки. / О.М. Ободович, О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин, А.Е. Недбайло. // *Керамика: наука и жизнь*. 2021. №1 (50). С. 26-29 (на украинском языке).
11. Кухта Т.Н. Повышение долговечности полимерного покрытия асбестоцементных листов при использовании гидрофобизатора. // *Строительные материалы*. 2010. №1. С.58-60 (на русском языке).
12. Урецкая Е.А. Технологические особенности поверхностной гидрофобизации асбестоцементного шифера. / Е.А. Урецкая, Т.Н. Кухта. // *Строительная наука и техника*. 2008. №6 (21). С. 95-100 (на русском языке).

## **ПОЛУЧЕНИЕ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРИЗОТИЛА – ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

**С.Е. Пуненков**

**Резюме.** В статье рассматриваются технологии производства, проблемы развития хризотиловой и хризотилцементной отраслей в странах СНГ. В статье приводятся сведения о составе и свойствах природных хризотил-волокон, данные по качеству сырьевых материалов цемента и хризотил-волокон, поставляемых на хризотилцементные предприятия, характеристики суспензии, полуфабриката и свойства затвердевших хризотилцементных изделий. Так же в данном материале статьи сделана попытка обобщить совокупные знания двух отраслей о влиянии состава хризотил-смесок, цемента на свойства хризотилцемента и проанализировать, произошли ли какие-либо реальные перемены в качестве поставляемого хризотилового сырья в последние десятилетия. В материале отражена строительная отрасль. Массовая индустрия и в индивидуальное строительство, где все больше повышается спрос на окрашенные хризотилцементные изделия (хризотилцементные листы, сайдинг), террасную доску. Приведены рынки потребления и производства хризотилового волокна, динамика развития хризотилцементной промышленности. Описаны проблемы и риски отрасли.

**Ключевые слова:** хризотил-волокна, распушка, портландцемент, формование, армирование, пигменты, гидрофобизатор, хризотилцементные изделия, магистральные трещины, высолы, рынок сбыта.

*Accepted: 28.03.2023*

## ВЛИЯНИЕ МЕТИЛЬНОЙ ГРУППЫ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСАНОЛОВ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Агададаш Махмуд оглы Алиев, Гюльмира Ахмед кызы Али-заде,  
Махизар Гафар кызы Алиева, Агиль Рафик оглы Сафаров  
*Институт катализа и неорганической химии  
имени академика М.Нагиева, Баку, Азербайджан*

### STUDY OF THE INFLUENCE OF THE METHYL GROUP ON THE RATE OF THE REACTION OF OXIDATIVE DEHYDROGENATION OF METHYLCYCLOHEXANOLS OVER MODIFIED ZEOLITE CATALYSTS

Agadadash Mahmud Aliyev, Gulmira Akhmed Ali-zade,  
Makhizar Qafar Aliyeva, Agil Rafiq Safarov

*M.F.Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry, Baku, Azerbaijan: agadadashaliyev@gmail.com,  
aylinka25@mail.ru, alieva.makhizer@mail.ru, agil\_s@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-9331-3303>, <https://orcid.org/0009-0002-7870-0667>,  
<https://orcid.org/0000-0003-4630-861X>*

**Abstract.** In this article has been carried out the study and comparing the reactivity of cyclohexanol and methylcyclohexanol isomers in the oxidative dehydrogenation reaction over modified zeolite catalysts. For this purpose, have been investigated the kinetic laws for the two unstudied isomers of methylcyclohexanol (2- and 3-methylcyclohexanol), proposed the mechanisms, kinetic stage schemes for the formation of target products, and developed kinetic models of these processes. It has been found that the rates of oxidative dehydrogenation of all methylcyclohexanol isomers are practically the same and exceed the rate of oxidative dehydrogenation of cyclohexanol to cyclohexanone.

**Keywords:** cyclohexanol, methylcyclohexanol, zeolites, reaction mechanism, reactivity.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Введение

Метилциклогексанон является основным сырьем в асимметрическом синтезе оптически активных веществ, пластификаторов и энантовой кислоты. Как известно, в промышленности метилциклогексанон применяется в качестве растворителя нитратов и ацетатов целлюлозы, жиров, восков, природных смол, поливинилхлорида и др.

Впервые производство метилциклогексанона было реализовано алкилированием циклогексанона [1, с. 523-524]. При этом образующиеся диметилпроизводные снижают эффективность процесса. Обычно этот кетон получают окислением доступного 2-метилциклогексанола, который получают гидрированием о-крезола. Процесс осуществляется в жидкой фазе при относительно высоких давлениях в присутствии гомогенных катализаторов – растворимых солей кобальта, а в качестве окислителя применяется кислород воздуха [2].

В промышленности, в основном, применяются газофазные процессы окислительного дегидрирования метилциклогексанола в метилциклогексанон с использованием в качестве катализатора таких металлов, как никель, кобальт, железо, медь, цинк, хром, рутений, родий, палладий другие на разных носителях (силикаты, алюмосиликаты, оксиды алюминия, диоксиды циркония и титана или их смеси), так как основной недостаток жидкофазных процессов – трудность отделения катализатора от жидкого катализата. Процесс окислительного дегидрирования на этих катализаторах протекает в интервале температур 220-550<sup>0</sup>С [3]. Наиболее эффективным из предложенных катализаторов является активированный уголь, содержащий 1,0% масс. Pt или 2,0% масс. Pd [4]. Процесс протекает при температуре 200-230<sup>0</sup>С с участием водорода. При этом конверсия метилциклогексанола составляет 55,0%. Участие водорода снижает эффективность процесса.

Предыдущие нами работы [5-6] были посвящены подбору активных модифицированных ионным обменом цеолитных катализаторов для реакции окислительного дегидрирования циклогексанола и 4-метилциклогексанола. На этих ультрадисперсных катализаторах изучены кинетические закономерности окислительного дегидрирования циклогексанола в циклогексанон. Предложены механизмы и разработаны теоретически обоснованные кинетические модели процесса [7,8].

### Постановка задачи

В настоящей работе приведены результаты исследования реакции окислительного дегидрирования метилциклогексанола в метилциклогексанон на высокоэффективном металцеолитном катализаторе – природный клиноптилолит, содержащий 0,5% масс.  $\text{Cu}^{2+}$  и 0,15% масс.  $\text{Pd}^{2+}$ .

В работе был использован природный клиноптилолит с силикатным модулем,  $\lambda = 8,68$  Азербайджанского месторождения. Катализатор был синтезирован методом ионного обмена в водных растворах  $\text{CuCl}_2$  и  $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  с последующей сушкой (80-120 $^\circ\text{C}$ , 5 ч.) и прокаливанием в токе воздуха при температуре 300 $^\circ\text{C}$ , объемной скорости 2400 ч $^{-1}$  в течение 30 мин. Количество катионов металлов, введенных в состав цеолита, было определено масс-спектроскопическим методом анализа на приборе ISP-MS Agilent 7700.

С целью определения активного состава каталитической системы, природный клиноптилолит -  $\text{Cu}^{2+}\text{Pd}^{2+}$  и диапазона варьирования технологических параметров, была проведена серия опытов. Результаты опытов по определению активного состава каталитической системы  $\text{CuPd}$ -клиноптилолита показали, что все его составы проявляют активность и селективность в рассматриваемой реакции. Клиноптилолит, содержащий 0,15% масс.  $\text{Pd}^{2+}$  и 0,5% масс.  $\text{Cu}^{2+}$ , является наиболее активным во всех изученных технологических режимах. При этом реакция протекает с селективностью, равной 100%.

Основной целью является сравнение скорости образования циклогексанона и метилциклогексанона, т.е. исследование влияния метильной группы на реакционную способность окислительного дегидрирования циклогексанола и метилциклогексанолов.

### Методы решения и апробация

Исследование кинетических закономерностей проводили в интервале температур 180-230 $^\circ\text{C}$ , объемных скоростях 1500-3000 ч $^{-1}$  и парциальных давлениях реагентов  $P_{\text{сн}}=0,05\div 0,25$  атм,  $P_{\text{O}_2}=0,05\div 0,25$  атм при условиях, обеспечивающих протекание реакции в кинетической области.

Для определения области протекания реакций была проведена серия опытов с различными размерами зерен катализатора (от 0,25 до 2,0 мм) и при различных линейных скоростях исходного сырья. Эксперименты показали, что изменение линейной скорости исходной реакционной смеси не оказывает существенного влияния на основные показатели процесса (выход) метилциклогексанона составляет 98,0 $\div$ 100%, селективность процесса по метилциклогексанону 100%. На основе проведенных исследований можно заключить: внешне- и внутренне- диффузионные факторы не влияют на скорость процесса, реакция окислительного дегидрирования циклогексанола и метилциклогексанола на исследуемом катализаторе протекает в кинетической области, при этом все диффузионные этапы совершаются значительно быстрее всех химических стадий.

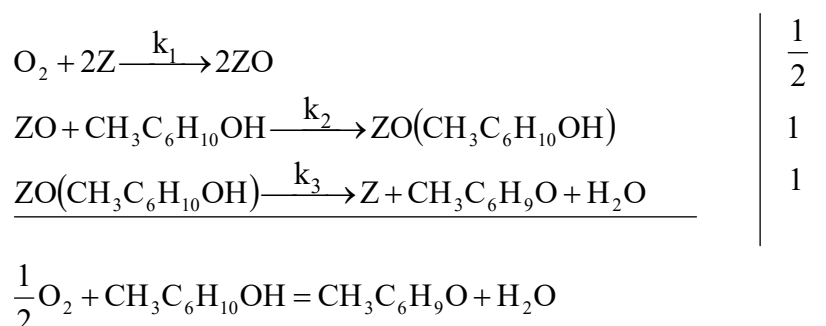
Проведенные исследования показали, что реакция окисления метилциклогексанола на исследованных катализаторах сопровождается образованием метилциклогексанона.

Для оптимального проектирования реакторов большой единичной мощности для вышеуказанных процессов возникает необходимость изучения и сравнения реакционной способности реагентов в реакции окислительного дегидрирования. Однако для полной картины сравнения, скорости образования циклогексанона и метилциклогексанона не изученными остаются кинетические закономерности процессов получения еще двух оставшихся изомеров метилциклогексанола это 2- и 3- метилциклогексанол.

### Разработка кинетической модели

Нами были проведены дополнительные эксперименты по изучению кинетических закономерностей реакции окислительного дегидрирования 2-метилциклогексанола и 3-метилциклогексанола на CuPd – клиноптилолите. Опыты проводили по методике, описанной в работе [8].

На основе анализа литературных материалов [4] и проведенных исследований можно предложить следующий механизм окислительного дегидрирования 2-, 3-метилциклогексанола и 4-метилциклогексанола: при адсорбции 2-, 3- и 4-метилциклогексанола происходит его протонизация с участием брэнстедовских кислотных центров катализатора с дальнейшим отщеплением и образованием поверхностного алкоголята. Превращение поверхностного алкоголята в 2-, 3- и 4-метилциклогексанон происходит при взаимодействии его с диссоциативно адсорбированными атомами кислорода через образование кетонподобного поверхностного соединения. Затем происходит распад кетонподобного поверхностного соединения на 2-, 3- и 4-метилциклогексанон и восстанавливается начальное состояние катализатора. Упрощенную стадийную схему механизма можно представить следующим образом:



Здесь  $k_1, k_2, k_3$  – константы скоростей реакций.

Следует отметить, что точно по такому механизму протекает процесс образования циклогексанона и 4-метилциклогексанона [7,8]. В целом, по вышеуказанному механизму на модифицированных цеолитных катализаторах протекают процессы окислительного дегидрирования для всех циклических спиртов [9].

Все эти стадии практически необратимы. Предполагая их элементарность, находим следующие выражения для скоростей стадий:

$$r_1 = k_1 P_1 \theta_1^2, \quad r_2 = k_2 P_2 \theta_2, \quad r_3 = k_3 \theta_3, \quad (1)$$

где  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  – доля свободных участков модифицированного цеолита, покрытых атомарным кислородом, молекулами 4-метилциклогексанола и кетонподобным поверхностным промежуточным соединением;  $k_1, k_2, k_3$  – константы скоростей, соответствующих индексу стадий. Для расчета констант скоростей применялись аррениусовские зависимости:

$$k_i = k_i^0 e^{-\frac{E_i}{RT}},$$

где  $k_i$  – константа скорости  $i$ -й стадии. В условиях стационарности

$$r_1 = r_2 = r_3 \quad (2)$$

Исходя из этих уравнений и постоянства общего числа поверхностных участков  $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 1$ , можно найти концентрации промежуточных образований  $\theta_i$  и скорость образования 4-метилциклогексанона, как функцию реактантов, т.е.:

$$\begin{array}{l}
 k_1 P_1 \theta_1^2 = k_2 P_2 \theta_2, \\
 k_1 P_1 \theta_1^2 = k_3 \theta_3, \\
 \theta_2 = [(k_1 P_1)/(k_2 P_2)] \cdot \theta_1^2 \\
 \theta_3 = [(k_1 P_1)/(k_3)] \cdot \theta_1^2
 \end{array}$$

Подставляя выражения  $\theta_2$  и  $\theta_3$  в выражение, учитывающее постоянство общего числа поверхностных участков, получим

$$\left(\frac{k_1 P_1}{k_2 P_2} + \frac{k_1 P_1}{k_3}\right) \times \theta_1^2 + \theta_1 = 0$$

$$\theta_1 = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\left(\frac{k_1 P_1}{k_2 P_2} + \frac{k_1 P_1}{k_3}\right)}}{2\left(\frac{k_1 P_1}{k_2 P_2} + \frac{k_1 P_1}{k_3}\right)} \quad (3)$$

С учетом выражения  $\theta_1$  получим следующее уравнение для скорости образования 4-метилциклогексанона.

$$r_{\text{МЦ}} = r_1 = k_1 P_1 \theta_1^2 = k_1 P_1 \left[ \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\left(\frac{k_1 P_1}{k_2 P_2} + \frac{k_1 P_1}{k_3}\right)}}{2\left(\frac{k_1 P_1}{k_2 P_2} + \frac{k_1 P_1}{k_3}\right)} \right]^2 \quad (4)$$

Реакция протекает на изученном катализаторе селективно, без образования побочных продуктов, стехиометрическое уравнение брутто-механизма образования 4-метилциклогексанона можно представить в следующем виде:



С использованием стехиометрического уравнения, выхода целевого продукта и исходных мольных количеств реагентов можно определить текущие мольные количества ингредиентов по следующим выражениям:

$$n_1 = n_1^0 - n_1^0 \cdot \frac{A}{100};$$

$$n_2 = n_1^0 \cdot \frac{A}{100};$$

$$n_3 = n_3^0 - \frac{1}{2} n_1^0 \cdot \frac{A}{100}; \quad (6)$$

$$n_3^0 = n_{\text{O}_2}^0 + 0,21 \cdot \frac{V_{\text{возд}}}{23,1};$$

$$n_4 = n_2;$$

$$n_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot \frac{V_{\text{возд}}}{23,1},$$

где  $A$  – выход метилциклогексанона, %;  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_{\text{N}_2}$  – текущие мольные количества метилциклогексананола, метилциклогексанона, кислорода, воды и азота, моль/час;  $V_{\text{возд}}$  – объемный расход воздуха, л/час.

Парциальные давления компонентов определяются следующим образом:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum n_i} P, \quad (7)$$

где  $P$  – общее давление, равное 1 атм;  $P_1, P_2, P_3, P_4$  и  $P_{N_2}$  – парциальные давления соответствующих индексу веществ.

Уравнение (4) и (6) составляют кинетическую модель данного процесса. Учитывая идентичность механизма протекания вышеприведенных процессов их теоретически обоснованные кинетические модели также одинаковы. Указанная кинетическая модель реакции подвергнута статистическому анализу на основе кинетических данных, с использованием программной системы «Поиск».

На основе проведенных кинетических исследований были определены константы кинетических моделей для процессов окислительного дегидрирования 2-, 3-метилциклогексанола в 2-, 3-метилциклогексаноны. Расчеты численных значений предэкспоненциальных множителей  $\ln k_i^0$  и энергий активации ( $E_i$ ) проведены методами «Скользющего допуска» и «Пауэрлла» с использованием программной системы «Поиск» [10, с. 93-96]. При найденных численных значениях кинетических параметров относительная погрешность экспериментальных и расчетных данных не превышает 3%. Это подтверждает правильность предложенной гипотезы протекания процессов.

Реакционную способность реагентов, в изученных нами реакциях окислительного дегидрирования на модифицированных цеолитных катализаторах, можно выявить на основе сравнительного анализа их кинетических моделей. Так как правые части их кинетических уравнений имеют одинаковый вид, для сравнения можно воспользоваться константами их скоростей:  $k_I, k_{II}, k_{III}, k_{IV}$  – константа скорости образования циклогексанона, 2-, 3- и 4-метилциклогексанонов, соответственно.

Они имеют следующие аррениусовские зависимости:

$$k_I = k_I^{0i} e^{-\frac{E_i^i}{RT}}, \quad k_{II} = k_{II}^{0i} e^{-\frac{E_{II}^i}{RT}}, \quad k_{III} = k_{III}^{0i} e^{-\frac{E_{III}^i}{RT}}, \quad k_{IV} = k_{IV}^{0i} e^{-\frac{E_{IV}^i}{RT}}$$

Здесь значение  $i$  меняется от одного до трех, согласно количеству элементарных стадий.

Поскольку рассматриваемые реакции протекают на модифицированных цеолитных катализаторах, которые имеют одинаковую природу, то для сравнения достаточно сопоставить значения  $k_I, k_{II}, k_{III}, k_{IV}$  для  $i=1$ , т.е. только для первых множителей их кинетических моделей. Ниже в таблице приведены их численные значения.

Численные значения констант кинетических моделей

Lnk <sub>0</sub>		E, ккал/моль	
Циклогексанон			
$\ln k_I^{01}$	7,49	$E_I^1$	8,56
2-метилциклогексанон			
$\ln k_{II}^{01}$	10,2	$E_{II}^1$	7,0
3-метилциклогексанон			
$\ln k_{III}^{01}$	10,4	$E_{III}^1$	7,1
4-метилциклогексанон			
$\ln k_{IV}^{01}$	10,5	$E_{IV}^1$	7,2

Как видно из таблицы численные значения энергии активаций отличаются незначительно. Так, например, для первой стадии процесса для всех рассматриваемых четырех процессов можно выписать:

$$E_I^1 = 8.56; \quad E_{II}^1 = 7.0; \quad E_{III}^1 = 7.1; \quad E_{IV}^1 = 7.2.$$

Отсюда следует, что для сравнения скорости образования целевых продуктов, достаточно сравнить предэкспоненциальные множители констант скоростей. Из данных, приведенных в таблице можно заключить, что для всех трех изомеров метилциклогексанола  $\ln k_{II-IV}^{01} \approx 10.5$ , а для циклогексанола  $\ln k_I^{01} = 7.49$ .

### Заключение

Таким образом, скорости реакций всех трех изомеров метилциклогексанола в реакции окислительного дегидрирования метилциклогексанола выше, чем в окислительном дегидрировании циклогексанола, что согласуется с литературными данными о том, что заместители в циклогексановом кольце увеличивают скорость дегидрирования.

В данном случае метильная группа ускоряет процесс окислительного дегидрирования, а скорости изомеров практически имеют одинаковые значения, т.е.

$$\Gamma_{2\text{-метил}} \approx \Gamma_{3\text{-метил}} \approx \Gamma_{4\text{-метил}} > \Gamma_{\text{цик}}$$

Здесь  $\Gamma_{\text{цик}}$ ,  $\Gamma_{2\text{-метил}}$ ,  $\Gamma_{3\text{-метил}}$ ,  $\Gamma_{4\text{-метил}}$  – скорости образования циклогексанола, 2-, 3-, 4-метилциклогексанонов соответственно. Следовательно, 2-, 3-, 4-метилциклогексанола являются более реакционноспособными в реакции окислительного дегидрирования, чем циклогексанол.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Физер Л., Физер М. Органическая химия. Углубленный курс. – М., Химия, 1996, Т.1, 682 с.
2. Chaudari S.M., Waghulde A.S., Samuel V., Bari M.L. and Chumbhale V.R. Characterization of ZnO and Modified ZnO Catalysts for Anaerobic Oxidation of Cyclohexanol //Research Journal of Chemical Science – 2013, Vol 3(7), pp.38-44.
3. Мехтиев С.Дж., Алиев А.Ф., Самедов З.Дж. Окисление метилциклогексана кислородом воздуха в жидкой фазе. //Изв. АН Азерб. ССР, Сер. Физ-техн. и хим. наук, 1958, №6, с.137-146.
4. Патент СССР № 539866, 28.01.77.
5. Əliyev A.M., Məcidov S.M., Əliyeva M.Q., Əli-zadə G.Ə. Tsikloheksanonun alınma üsulu, ixtira a2011 0183, 30.11.2011.
6. Əliyev A.M., Əliyeva M.Q., Nəcəf-Quliyev Ü.M., Əli-zadə G.Ə., Şabanova Z.A. Metilsikloheksanonun alınma üsulu, ixtira a2018 0108, 11.09.2019.
7. Алиев А.М., Шабанова З.А., Алиева М.К., Али-заде Г.А. Подбор активного модифицированного цеолитного катализатора и кинетика реакции окислительного дегидрирования циклогексанола в циклогексанон. Нефтепереработка и Нефтехимия. М. 2017, №2, с. 38-48.
8. Алиев А.М., Алиева М.К., Али-заде Г.А., Наджаф-Кулиев У.М., Алиев Ф.В., Ахмедов Р.А., Аббасов М.Я., Гусейнова Т.И., Агаева Р.Ю. Окислительное дегидрирование 4-метилциклогексанола в 4-метилциклогексанон на модифицированном катионами меди и палладия природном клиноптилолите. Нефтепереработка и Нефтехимия. М. 2021, №1, с. 29-31.
9. Алиев А.М., Сарыджанов А.А., Шабанов З.А., Алиева М.К., Али-заде Г.А., Окислительное дегидрирование алифатических и алициклических спиртов на модифицированных цеолитных катализаторах. Материалы Республиканской научной конференции, посвященной 80-летию юбилею Института Катализа и Химии им. М.Нагиева, 15-16 ноября, 2016, с. 231.
10. Шахтагтинский Т.Н., Бахманов М.Ф., Келбалиев Г.И. Методы оптимизации процессов химической технологии с программами для ЭВМ. Баку: ЭЛМ, 1985, 260 с.

### ВЛИЯНИЕ МЕТИЛЬНОЙ ГРУППЫ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСАНОЛОВ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

А.М.Алиев, Г.А.Али-заде, М.Г.Алиева, А.Р.Сафаров

**Резюме.** В работе проведено исследование по изучению и сравнению реакционной способности циклогексанола и изомеров метилциклогексанола в реакции окислительного дегидрирования на модифицированных цеолитных катализаторах. С этой целью были изучены кинетические закономерности данного процесса для двух



оставшихся изомеров метилциклогексанола (2- и 3-метилциклогексанол) на основании которых предложены механизмы, кинетические стадийные схемы образования целевых продуктов и разработаны кинетические модели данных процессов. Было выявлено, что скорости процессов окислительного дегидрирования всех изомеров метилциклогексанолов практически одинаковые и превышают скорость окислительного дегидрирования циклогексанола в циклогексанон.

**Ключевые слова:** *циклогексанол, метилциклогексанол, цеолиты, механизм химической реакции, реакционная способность.*

*Accepted: 13.03.2024*

## MÜƏLLİFLƏR ÜÇÜN TƏLİMAT

Məqalə hazırlanarkən aşağıdakı tələblər nəzərə alınmalıdır:

**1.** Məqalə Azərbaycan, rus və ingilis dillərindən birində, Microsoft Word mətn redaktorunda A4 formatında (soldan, yuxarıdan, aşağıdan və sağdan – 2 sm), Times New Roman şrifti ilə 12 ölçüdə, vahid sətirarası intervalla və mətn daxili yazıda 1 sm abzas buraxmaqla hazırlanmalı, səhifə sayı 5-8 arasında olmalıdır.

**2.** Məqalənin mətninin aşağıdakı bölmələrdən ibarət olması tövsiyə olunur:

- giriş (məsələnin aktuallığı, problemin hazırkı vəziyyəti);
- tədqiqatın məqsədi, məsələnin qoyuluşu;
- məsələnin həll üsulları və aprobeasiyası;
- alınan nəticələrin tətbiqi;
- nəticə.

**3.** Məqalə aşağıdakı ardıcılıqla hazırlanmalıdır: məqalənin adı – ortadan, böyük hərflərlə, qalın şriftlə, sonda bir boş sətir; müəlliflərin adı, soyadı və atasının adı açıq şəkildə yazılmalıdır – ortadan, qalın şriftlə; müəlliflərin iş yeri, şəhər, ölkə və e-poçt ünvanı – ortadan kursivlə; müəlliflərin ORCID nömrələri – ortadan kursivlə, sonda bir boş sətir; xülasə (min. 100 söz, maks. 200 söz); açar sözlər (3-5 söz) – kursivlə; giriş və digər alt başlıqlar – soldan, qalın şriftlə, əvvəlində bir boş sətir.

Məqalənin adı, müəlliflərin adı, soyadı və atasının adı, xülasə və açar sözlər məqalənin yazıldığı dildə və ingilis dilində təqdim olunmalıdır. Əgər məqalə ingilis dilində tərtib edilibsə, yuxarıda qeyd olunanlar yalnız ingilis dilində yazılmalıdır.

**4.** Ədəbiyyat siyahısı: hər bir istinad olunan mənbənin adı tərcümə olunmadan, məqalədə istifadə olunma ardıcılığına uyğun olaraq nömrələnir. Mətnə istinadlar aşağıdakı kimi verilir:

– əgər istinad edilən əsər jurnal materialıdırsa mətnin daxilində kvadrat mötərizədə göstərilir (məsələn, [3]). Ədəbiyyat siyahısında isə əsər müəlliflərinin soyadı, inisialı, əsərin adı, jurnalın adı, buraxıldığı il, seriya və ya nömrəsi, əsərin jurnaldakı səhifə aralığı göstərilir.

Məsələn, 3. Əmənöv Y.A. Abrazivin metalla toxunma zonasında yaranan gərginliklərin təyini metodikası haqqında. AZTU-nun elmi əsərləri, 2021, №1, s. 65-71.

– əgər istinad edilən əsər kitab materialıdırsa mətnin daxilində kvadrat mötərizədə istinadın nömrəsi və əsərin kitabdakı səhifə aralığı göstərilir (məsələn, [9, s. 120-122]). Ədəbiyyat siyahısında isə əsər müəlliflərinin soyadı, inisialı, əsərin adı, şəhər adı, nəşriyyat adı, buraxıldığı il, kitabın ümumi səhifə sayı göstərilir.

Məsələn, 9. Cümşüdoğ S.Q. İdarəetmə qərarlarının qəbulu. Bakı, “Təhsil NPM”, 2010, 160 s.

**5.** Məqalədə cədvəl və şəkillər nömrələnir: cədvəl – cədvəlin yuxarısında, kursivlə, sağdan (məs., *Cədvəl 1*), şəkil – şəklın altında, kursivlə, ortadan (məs., *Şəkil 1.*) və mətn hissədən (yuxarıdan və aşağıdan) bir boş sətir buraxmaqla göstərilməlidir. Cədvəllər bilavasitə məqalənin mətnində yerləşdirilməlidir. Hər cədvəlin öz başlığı olmalıdır. Cədvəllərdə mütləq ölçü vahidləri göstərilməlidir. Şəkillər aydın və vahid obyekt şəklində olmalıdır (ayrı-ayrı şəkillərin süni qruplaşdırılaraq yerləşdirilməsi yolverilməzdir).

**6.** Məqalədə istifadə olunan ölçü vahidləri beynəlxalq ölçü vahidləri sisteminə uyğun olmalıdır. Qəbul olunmuş sözlərdən başqa (və s., və i.a.), qısaldılmış sözlərdən istifadə etmək olmaz.

**7.** Düsturlar Microsoft Equation-də standart parametr ilə yığılır. Mətnə ancaq istifadə olunan düsturlar nömrələnir. Düsturun nömrəsi sağda mötərizədə yazılır.

**8.** Redaksiyaya məqalə göndərildikdə müəlliflər haqqında məlumat: soyadı, adı, atasının adı, elmi dərəcəsi, elmi rütbəsi, iş yeri, vəzifəsi, ORCID nömrəsi, məqalənin aid olduğu bölmə, telefon nömrəsi, e-poçt ünvanı da təqdim olunmalıdır.

**9.** Redaksiyaya daxil olan məqalələr rəyə təqdim olunur və müsbət rəy almış məqalələr çapa tövsiyə olunur.

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The following requirements should be considered for preparing the article:

**1.** The article should be prepared in Azerbaijani, Russian, or English, using the Microsoft Word text editor, in A4 format with margins of 2 cm on the left, top, bottom, and right. The font should be Times New Roman, size 12, with single line spacing, and a 1 cm paragraph indentation. The text should be between 5-8 pages.

**2.** It is recommended that the text of the article consist of the following sections:

- Introduction (relevance of the issue, current state of the problem);
- Research purpose, problem statement;
- Methods of problem resolution and validation;
- Application of obtained results;
- Conclusion.

**3.** The article should be prepared in the following sequence: the title of the article – centered, in uppercase, bold, with an extra line at the end; authors' names, surnames, and patronymics should be clearly written – centered, in bold; the authors' workplace, city, country, and email address – centered in italics; authors' ORCID numbers – centered in italics, with an extra line at the end; abstract (min. 100 words, max. 200 words); keywords (3-5 words) – in italics; introduction and other subheadings – left-aligned, in bold, with an extra line at the beginning.

The title of the article, authors' names, surnames, and patronymics, abstract, and keywords should be presented in the language in which the article is written and in English. If the article is written in English, the above-mentioned information should be in English only.

**4.** Bibliography: Each cited source in the article should be numbered according to the order of use in the text, without translation of the source's name. Citations in the text are given as follows:

– If the cited work is a journal article, it is indicated within square brackets in the text (e.g., [3]). In the bibliography, the authors' surname, initials, the title of the work, the name of the journal, the year of publication, series or number, and the page range in the journal are provided. Example: 3. Amanov Y.A. Methodology for determining stresses in the contact zone of abrasive with metal. Proceedings of AzTU, 2021, No.1, pp. 65-71.

– If the cited work is a book, the reference number and the page range of the work in the book are indicated within square brackets in the text (e.g., [9, p. 120-122]). In the bibliography, the authors' surname, initials, the title of the work, city name, publishing house name, year of publication, and the total number of pages in the book are provided. Example: 9. Jumshudov S.G. Adoption of managerial decisions. Baku, "Təhsil NPM", 2010, 160 p.

**5.** Tables and figures in the article are numbered: the table number is indicated above the table in italics, aligned to the right (e.g., *Table 1*), the figure is indicated below the figure in italics, centered (e.g., *Figure 1*), and should be separated from the text portion (top and bottom) by an empty line. Tables should be directly placed in the text of the article. Each table should have its own title. Measurement units must be specified in tables. Figures should be clear and presented as a single object (grouping individual figures separately is not allowed).

**6.** Measurement units used in the article should conform to the international system of measurement units. The use of accepted abbreviations (e.g., etc., et al.) and shortened words is not allowed.

**7.** Formulas are constructed using Microsoft Equation with standard parameters. Only the formulas used in the text are numbered, and the formula number is written to the right in parentheses.

**8.** When submitting an article to the editorial office, information about the authors should be provided: surname, name, patronymic, academic degree, academic title, workplace, position, ORCID number, section to which the article belongs, phone number, and email address.

**9.** Articles submitted to the editorial office are subjected to review, and positively reviewed articles are recommended for publication.

## УКАЗАНИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

При подготовке статьи необходимо учитывать следующие требования:

1. К публикации принимаются статьи на азербайджанском, русском и английском языках, в текстовом редакторе Microsoft Word формата А4 (слева, сверху, снизу и справа – 2 см), текст набирается шрифтом Times New Roman- размер кегля 12, межстрочный интервал одинарный. Абзацный отступ -0,5 см. Объем статьи не более 5-8 страниц.
2. Текст статьи должен состоять из следующих разделов:
  - введение (актуальность вопроса, современное состояние проблемы);
  - цель исследования, постановка проблемы;
  - методы решения и апробация проблемы;
  - применение полученных результатов;
  - выводы.
3. Статья должна быть оформлена в следующем порядке: название статьи – посередине, заглавными буквами, жирным шрифтом, в конце пустая строка; имя, фамилия и отчество авторов должны быть написаны четко – посередине, жирным шрифтом; место работы, город, страна и адрес электронной почты авторов – курсивом; номера ORCID авторов – посередине курсив, в конце пустая строка; резюме (мин. 100 слов, макс. 200 слов); ключевые слова (3-5 слов) – курсивом; введение и остальные подзаголовки – слева, жирным шрифтом, пустая строка в начале. Название статьи, имя, фамилия и отчество авторов, аннотация и ключевые слова должны быть представлены на языке статьи и на английском языке. Если статья написана на английском языке, вышеуказанное должно быть написано только на английском языке.
4. Библиография: название каждого цитируемого источника нумеруется в соответствии с порядком его использования в статье, без перевода. Ссылки в тексте даны следующим образом:
  - если цитируемая работа является журнальным материалом, она указывается в квадратных скобках внутри текста (например, [3]). В списке литературы указываются фамилия и инициалы авторов работы, название работы, название журнала, год издания, серия или номер, страницы. Например, 3. Аманов Ю.А. О методике определения напряжений, возникающих в зоне контакта металла с абразивом. Научные труды АзТУ, 2021, №1, с. 65-71.
  - если ссылочная работа является книжным материалом, номер ссылки и межстраничный интервал работы в книге указываются в квадратных скобках внутри текста (например, [9, с. 120-122]). В списке литературы указываются фамилия и инициалы авторов, название произведения, название города, наименование издательства, год издания, общее количество страниц книги. Например, 9. Джумшудов С.Г. Принятие управленческих решений. Баку, «НПМ Образование», 2010, 160 с.
5. Таблицы и рисунки в статье нумеруются: таблица — над таблицей, курсивом, справа (например, *Таблица 1*), рисунок — под рисунком, курсивом, посередине (например, *Рис. 1.*), таблицы должны быть отделены от текстовой части (сверху и снизу) пустыми строками. Таблицы следует размещать непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь свой заголовок. Единицы измерения должны быть указаны в таблицах. Изображения должны быть четкими и представлять собой единый объект (искусственная группировка отдельных изображений не допускается).
6. Единицы измерения, используемые в статье, должны соответствовать международной системе единиц измерения. Кроме принятых слов (и т.д. и т.п.), нельзя использовать сокращенные слова.
7. Формулы компилируются в Microsoft Equation по стандартным параметрам. Нумеруются только формулы, используемые в тексте. Номер формулы указывается в скобках справа.
8. При отправке статьи в редакцию указываются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, место работы, должность, номер ORCID, раздел, к которому относится статья, номер телефона и адрес электронной почты. Также необходимо указать адрес.
9. Статьи, поступившие в редколлегию, передаются на рецензирование, получившие положительные отзывы статьи, рекомендуются к публикации.

---

Formatı: 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>  
Həcmi: 13,5 ç.v.  
Tirajı: 500

*Jurnal AzTU Press Nəşriyyatında çap olunmuşdur.*

