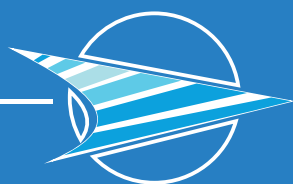


**Milli Aviasiya Akademiyası**

# ELMI MƏCMUƏ

Cild 25, № 3, 2023



ISSN 1811-7341

**National Aviation Academy**

# SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 25, No 3, 2023

### Redaksiya heyəti:

Baş redaktor - f.-r.e.d., akademik A.M. Paşayev  
Baş redaktorun müavini - AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d., prof. A.R. Həsənov  
Elmi redaktor - t.e.d., prof. R.N. Nəbiyev  
Məsul katib - t.e.d., prof. X.İ. Abdullayev

### Redaksiya heyətinin üzvləri:

f.-r.e.d., akademik R.Z. Saqdeyev (ABŞ); t.e.d., prof. Ə.S. Səmədov; f.-r.e.d., prof. A.T. İsmayılzadə (Fransa); AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d., prof. A.Z. Məlikov; f.-r.e.d., prof. M.A. Əfəndiyev (Almaniya); AMEA-nın müxbir üzvü, t.e.d., prof. İ.M. İsmayilov; f.-r.e.d., prof. A.C. Rüstəmov (Almaniya); t.e.d., prof. Ə.X. Cənəhmədov; f.-r.e.d., prof. K.R. Allahverdiyev; f.-r.e.d., prof. K.Ə. Əsgərov; f.-r.e.d., prof. O.İ. Davarəşvili (Gürcüstan); t.e.d., prof. N.Ş. Hüseynov; t.e.d., prof. A.A. İqolkin (Rusiya); t.e.d., prof. P.Ş.Abdullayev; t.e.d., prof. A.N. Bədəlova; t.e.n., dos. O.B. Spiridonov (Rusiya); h.e.d., dos. A.X. Rüstəmzadə; h.e.d., prof. N.H. Cəfərli; h.e.d., prof. S.F. Əliyev; akademik, i.e.d., prof. R.T. Yuldaşev (Rusiya); i.e.d., prof. S.Y. Müslümov, i.e.d., prof. E.M. Sadıqov, i.e.d., prof. S.A. Abbasov, i.e.n., dos. F.F. Ələkbərova; r.e.d., dos. M.Q. Hacıbəyov; t.e.d. F.K. Ələsgərov; k.e.n., dos. S.X. Məmmədova; t.e.n., dos. E.M. Nəcəfov; t.e.n., dos. İ.Ə. İsgəndərov; t.e.n., dos. F.H. Dadaşov

**Katib:** Q.C. Vəliyeva

**Korrektorlar:** Z.A. Məmmədova, L.N. Yüzbaşova, A.E. Zeynalova

### "Elmi Məcmuə"nin bölmələri:

1. Aviasiya və kosmik texnikası
2. Yeriüstü komplekslər, uçan aparatlar və onların sistemlərinin istismarı
3. Radioelektronika və telekommunikasiya
4. Aeronaviqasiya
5. Nəqliyyat logistikası
6. Aviasiya təhlükəsizliyi
7. Materialşünaslıq
8. İnformasiya texnologiyaları
9. Aviasiya meteorologiyası
10. Aerokosmik monitorinq və ətraf mühitin qorunması
11. Cihazqayırma
12. Hüquq
13. İqtisadiyyat və menecment
14. İctimai elmlər

Redaksiyanın ünvanı: AZ1045, Bakı şəh., Mərdəkan pr. 30, Milli Aviasiya Akademiyası  
Tel. (+994) 12 525 98 08 + 24 88. E-mail: em@naa.edu.az

"Elmi məcmuə" 1999-cu ildə Azərbaycan Respublikası Mətbuat və İnformasiya nazirliyində qeydiyyatdan keçmişdir (Qeyd. № 492).  
Jurnal Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının reyestrinə daxildir.

### Editorial board:

Editor-in-chief - D.Sc, academician, A.M. Pashayev  
Deputy Heads Editor - Member-Corr. of ANAS, D.Sc, Prof. A.R. Hasanov  
Scientific Editor - D.Sc, Prof. R.N. Nabiyeu  
Executive Secretary - D.Sc, Prof. Kh.I. Abdullayev

### Members of the editorial board:

D.Sc, academician R.Z. Sagdeev (USA); D.Sc, Prof. A.S. Samadov; D.Sc, Prof. A.T. Ismail-Zadeh (France); Member-Corr. of ANAS, D.Sc, Prof. A.Z. Melikov; D.Sc, Prof. M.A. Efendiev (Germany); Member-Corr. of ANAS, D.Sc, Prof. I.M. Ismailov; D.Sc, Prof. A.J. Rustamov (Germany); D.Sc, Prof. A.Kh. Dzhanakhmedov; D.Sc, Prof. K.R. Allahverdiyev; D.Sc, Prof. K.A. Askarov; D.Sc, Prof. O.I. Davarashvili (Georgia); D.Sc, Prof. N.S. Huseynov; D.Sc, Prof. A.A. Igolkin (Russia); D.Sc, Prof. P.Sh. Abdullayev; D.Sc, Prof. A.N. Badalova; Ph.D, Ass. Prof. O.B. Spiridonov (Russia); D.Sc, Ass. Prof. A.Kh. Rustamzadeh; D.Sc, Prof. N.H. Jafarli; D.Sc, Prof. S.F. Aliyev; D.Sc, academician R.T. Yuldashev (Russia); D.Sc, Prof. S.Y. Muslumov, D.Sc, Prof. E.M. Sadigov, D.Sc, Prof. S.A. Abasov, Ph.D, Ass. Prof. F.F. Alakbarova, D.Sc, Ass. Prof. M.G. Hajibayov; Ph.D, Ass. Prof. S.Kh. Mammadova; Ph.D, Ass. Prof. E.M. Najafov, Ph.D, Ass. Prof. I.A. Iskandarov; Ph.D, Ass. Prof. F.H. Dadashov

**Secretary:** G.J. Valiyeva

**Correctors:** Z.A. Mammadova, L.N. Yuzbashova, A.E. Zeynalova

### Categories of the "Scientific Journal":

1. Aviation and space technology
2. Ground complexes, start. equipment, operation of aircraft and their systems
3. Radioelectronics and Telecommunications
4. Air navigation
5. Transport logistics
6. Aviation security
7. Materials science
8. Information technology
9. Aviation meteorology
10. Aerospace monitoring and Environmental protection
11. Instrumentation
12. Law
13. Economics and management
14. Social sciences

Address: AZ1045, Baku, Mardakan Ave. 30, National Aviation Academy  
Tel. (+994) 12 525 98 08 + 24 88. E-mail: em@naa.edu.az

"Scientific Journal" is registered with the Ministry of Information and Printing Republic of Azerbaijan in 1999 (Reg. 492).  
The journal is included in the register of the Supreme Attestation Commission under the President of Azerbaijan Republic.

UDC 623.19

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.002

## TRAJECTORY MODELLING of SOUNDING ROCKET

*Taghiyev V.G.*  
*National Aviation Academy*

*This article conducts a comprehensive investigation into trajectory modelling of sounding rockets, focusing on flight mechanics, equations of motion, and the determination of aerodynamic forces. By examining fundamental principles such as Newton's laws of motion and momentum conservation, a set of governing equations is derived to describe the rocket's ascent and descent phases. Various approaches are employed to accurately assess aerodynamic forces under different flight conditions. The research culminates in the development of a versatile C++ code implementing the 4<sup>th</sup> order Runge-Kutta numerical integration method, allowing for efficient computation and analysis of rocket trajectories. The findings contribute to aerospace engineering advancements and lay a solid foundation for future research in sounding rocket trajectory modelling and optimization.*

**Keywords:** *rocket trajectory, numerical methods, equations of motion, flight path, Runge-Kutta method, aerodynamics, c++, drag coefficient.*

**Introduction:** Due to advancements in computer technology, most personal computers now have the ability to run engineering software. These improvements have also made knowledge more readily available to internet users. In the last decade, the rise of online social platforms, competitions, and papers has allowed model and high-power rocketry to spread globally. A flight simulator is necessary to perform flight analysis, and as a result, many open source and licensed simulators have been released.

The current study involves the development of a rocket trajectory simulation for atmospheric flight, written in C++. The simulator is initially designed for model or high-power rockets, but with adjustments to initial conditions and assumptions, it can be used to simulate ballistic or tactical rockets with passive control by giving trust vectoring information.

**Purpose:** The purpose of conducting research on trajectory modelling of sounding rockets is to gain a comprehensive understanding of the rocket's flight behavior and optimize its trajectory for scientific exploration and data collection purposes. By accurately predicting the rocket's trajectory, researchers can determine the optimal launch parameters, ascent profiles, and descent strategies to ensure that the rocket reaches the desired altitudes and locations for conducting scientific experiments or observations. Furthermore, studying the trajectory of a sounding rocket allows for the assessment and refinement of aerodynamic forces acting on the rocket, leading to improvements in design and performance. Ultimately, the research aims to enhance the overall effectiveness and efficiency of sounding rockets, enabling more precise scientific measurements and expanding our knowledge of near-space environments.

**Sounding Rockets:** The name "sounding rockets" originates from the nautical term "to sound", meaning to take measurements. These rockets carry scientific instruments into space, reaching altitudes between 200 and 300 kilometers, and in some cases, up to 1,000 kilometers. They provide researchers with a low-cost and efficient way of conducting experiments in areas

inaccessible to weather balloons or satellites, with common research applications including aeronomy, X-ray astronomy, and micro-gravity.

Sounding rockets are made up of a single-stage or multistage solid-fuel rocket motor. After consuming all of its fuel, the rocket separates from the payload and falls back to Earth, while the payload continues into space in a parabolic trajectory to begin conducting experiments. Data is sent back to Earth via telemetry links during this time, and the payload typically spends 5-20 minutes in space. To return to Earth, a parachute is deployed to gently bring the payload back to the ground as it re-enters the atmosphere [1].

**Equations of Motion:** In general, rocket powered ascent vehicle bridges the gap between flight in the atmosphere and the orbital flight. The equations of the motion during the flight in the atmosphere is governed by the aerodynamic and the gravitational forces. On the other hand, orbital flight is principally governed by the gravitational forces, punctuated by occasional correction impulses. Here, purely aerodynamic effects on the rocket body will be discussed.

To gain insight into trajectory problems, it is helpful to start by examining the equations of motion for a particle experiencing free fall. The simplest scenario assumes a flat Earth with constant gravity and no air resistance. By progressively adjusting these simplified assumptions, the equations of motion can be developed to account for factors such as an oblate, rotating Earth, air resistance, and varying gravity force. This gradual modification allows for the creation of a mathematical model that more closely approximates real-world conditions.

ORDP handbook on Ballistic missile trajectories [2] categorizes approaches to govern to equations of motions as below:

- i) Particle trajectory flat earth without air resistance
- ii) Particle trajectory flat earth with air resistance
- iii) Particle trajectory for spherical non-rotating earth without air resistance
- iv) Particle trajectory for a spherical rotating earth without air resistance
- v) Particle trajectories for an oblate rotating earth with air resistance

During the derivation of the equations of motion we should use planet fixed reference frame.

Figure 1 represents the frames of coordinate frames that are involved in the derivation. The inertial reference frame  $O_{XYZ}$  is taken such that the  $O$  is the center of the gravitational field of the earth. Frame  $O_{xyz}$  is fixed with the planet and is rotating with the angular velocity,  $\omega$  along z-axis and is assumed to be constant. By using the time derivative rule for the rotating reference frames [3], one can represent the absolute acceleration.

$$\frac{dr}{dt}_{O_{XYZ}} = \frac{dr}{dt}_{O_{xyz}} + \omega \times r \quad (1)$$

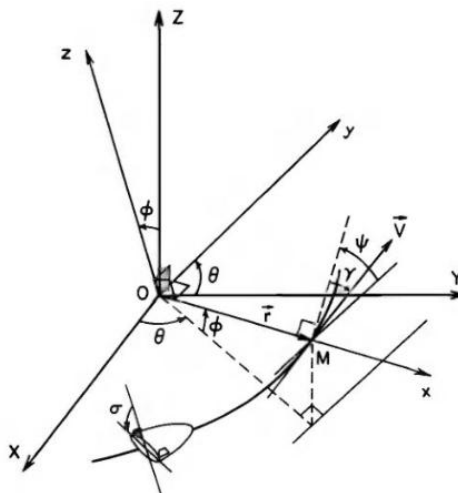


Figure 1. Coordinate system [8]

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{dr}{dt} + \omega \times r + \omega \times \frac{dr}{dt} + \omega \times r \quad (2)$$

Since  $\frac{d\omega}{dt} = 0$ , equation simplifies to

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} + 2\omega \frac{dr}{dt} + \omega \times (\omega \times r) \quad (3)$$

Because of coordinate conversion on earth fixed coordinate frame Newton's second law becomes

$$m \frac{dV}{dt} = F - 2m\omega \times V - m\omega \times (\omega \times r) \quad (4)$$

Nguyen et al. evaluates the vectors in Equation 4 by their component form [4].

$$r = r\iota \quad (5.a)$$

$$V = V \sin \gamma \iota + V \cos \gamma \cos \psi J + V \cos \gamma \sin \psi k \quad (5.b)$$

$$\omega = \omega \sin \phi \iota + \omega \cos \phi k \quad (5.c)$$

It is further discussed that the aerodynamic forces,  $A$ , is decomposed to lift,  $L$ , and drag  $D$ . If the angle between velocity vector and the thrust is denoted by  $\epsilon$ , then tangential and normal components of the aerodynamic and propulsive forces will be

$$F_T = T \cos \epsilon - D \quad (6.a)$$

$$F_N = T \sin \epsilon + L \quad (6.b)$$

If the components forms substituted in Equation 4, we will end up with the set of scalar equations [4].

$$\begin{aligned} \sin \gamma \frac{dV}{dt} + V \cos \gamma \frac{d\gamma}{dt} - \frac{V^2}{r} \cos^2 \gamma \\ = \frac{1}{m} F_T \sin \gamma + \frac{1}{m} F_N \cos \sigma \cos \gamma - g + 2\omega V \cos \gamma \cos \phi \cos \psi \\ + \omega^2 r \cos^2 \phi \end{aligned} \quad (7.a)$$

$$\begin{aligned} \cos \gamma \frac{dV}{dt} - V \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} - V \cos \gamma \tan \psi \frac{d\psi}{dt} + \frac{V^2}{r} \cos \gamma \sin \gamma - \cos \gamma \sin \psi \tan \phi \\ = \frac{1}{m} F_T \cos \gamma + \frac{1}{m} F_N \cos \sigma \sin \gamma + F_N \sin \sigma \tan \psi \\ - \frac{2\omega V}{\cos \psi} (\sin \gamma \cos \phi - \cos \gamma \sin \phi \sin \psi) \end{aligned} \quad (7.b)$$

$$\begin{aligned} \cos \gamma \frac{dV}{dt} - V \sin \gamma \frac{d\gamma}{dt} + \frac{V \cos \gamma}{\tan \psi} \frac{d\psi}{dt} + \frac{V^2}{r} \cos \gamma \sin \gamma - \frac{\cos \gamma \cos \psi \tan \phi}{\tan \psi} \\ = \frac{1}{m} F_T \cos \gamma + \frac{1}{m} F_N \cos \sigma \sin \gamma - \frac{F_N \sin \sigma}{\tan \psi} - \frac{2\omega V \cos \gamma \sin \phi}{\tan \psi} \\ - \omega^2 r \frac{\sin \phi \cos \phi}{\sin \psi} \end{aligned} \quad (7.c)$$

Equation 7 is solved for  $dy/dt$ ,  $d\psi/dt$ , and  $dV/dt$  to obtain

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} F_T - g \sin \gamma + \omega^2 r \cos \phi (\sin \gamma \cos \phi - \cos \gamma \sin \phi \sin \psi) \quad (8.a)$$

$$V \frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{m} F_N \cos \sigma - g \cos \gamma + \frac{V^2}{r} \cos \gamma + 2\omega V \cos \phi \cos \psi + \omega^2 r \cos \phi (\cos \gamma \cos \phi - \sin \gamma \sin \phi \sin \psi) \quad (8.b)$$

$$V \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{m} \frac{F_N \cos \sigma}{\cos \gamma} - \frac{V^2}{r} \cos \gamma \cos \psi \tan \phi + 2\omega V \tan \gamma \cos \phi \sin \psi - \sin \phi - \frac{\omega^2 r}{\cos \gamma} \sin \phi \cos \phi \cos \psi \quad (8.c)$$

The equations is further be simplified for planar path, non-rotating earth [5][6].

$$\frac{dV}{dt} = \frac{T \cos \epsilon - D}{m} - g \sin \gamma \quad (9.a)$$

$$V \frac{d\gamma}{dt} = \frac{T \sin \epsilon + L}{m} - g - \frac{V^2}{r} \cos \gamma \quad (9.b)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{R_e}{r} V \cos \gamma \quad (9.c)$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dh}{dt} = V \sin \gamma \quad (9.d)$$

$$\frac{dm}{dt} = -m t \quad (9.e)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_l \quad (9.f)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_d \quad (9.g)$$

$$g = g_0 \frac{R_e}{R_e + h}^2 \quad (9.h)$$

$$\epsilon = \epsilon(t) \quad (9.i)$$

**Drag coefficient:** Drag is a major parameter in satisfying the flight altitude requirement of sounding rocket. It is a function of drag coefficient, dynamic pressure, and reference area, given by Equation (9.g).

The drag coefficient ( $C_d$ ) is a comprehensive coefficient that encompasses all the factors contributing to drag. It takes into account various sources of drag, including friction drag ( $C_{d,f}$ ), base drag ( $C_{d,b}$ ), and wave drag ( $C_{d,w}$ ). Then, the total drag coefficient is the sum of these components [7].

**Friction drag:** Fleeman in his book on missile design ligatures the methods to estimate the friction drag provided by Hitchcock to estimate the total friction drag acting on the body [7] [8].

$$C_{d,f} = C_{d,f}^{body} + C_{d,f}^{wing} \quad (10)$$

Here, the equation for the body and the wings skin drag coefficient, based on Jerger [9], is

$$C_{d,f}^{body} = 0.553 \frac{l}{d} \frac{M}{ql}^{0.2} \quad (11)$$

$$C_{d,f}^{wing} = n_{wing} 0.0133 \frac{M}{qc_{mac}} \frac{2S_{wing}}{S_{ref}} \quad (12)$$

In above equations,  $q$  is dynamic pressure,  $l$  is rocket length,  $d$  is rocket diameter,  $c_{mac}$  is wing mean aerodynamic chord, and  $n_{wing}$  is the tail wing number

**Base drag:** The magnitude of base drag is significantly influenced by whether the rocket is in a powered or unpowered (coasting) flight phase. The coasting flight base drag is calculated using Eq. 13 [9].

$$C_{d,b}^{coast} = 0.12 + 0.13M^2 \quad \text{Subsonic} \quad (13.a)$$

$$C_{d,b}^{coast} = 0.25/M \quad \text{Supersonic} \quad (13.b)$$

For the powered flight Eq. 14 is used

$$C_{d,b}^{powered} = 0.12 + 0.13M^2 \left(1 - \frac{A_e}{S_{ref}}\right) \quad \text{Subsonic} \quad (14.a)$$

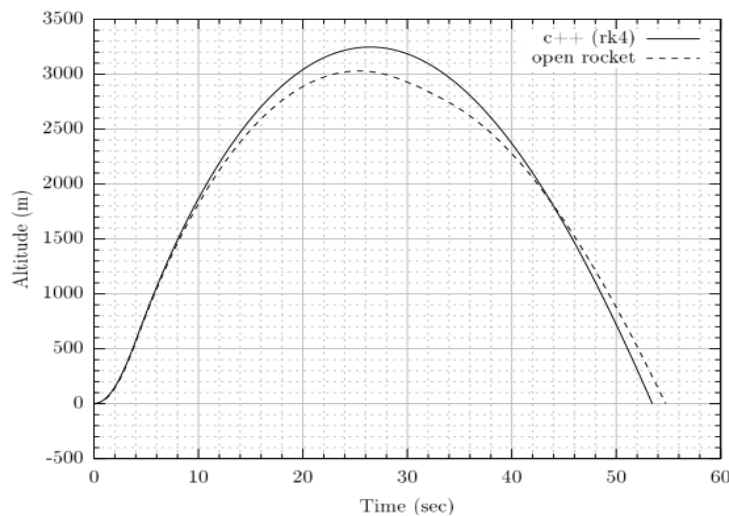
$$C_{d,b}^{powered} = 0.25/M \left(1 - \frac{A_e}{S_{ref}}\right) \quad \text{Supersonic} \quad (14.b)$$

Where,  $A_e$  is the nozzle exit area.

**Wave drag:** Wave drag is another component that contributes to the overall drag experienced by a rocket. It occurs due to the formation of shock waves in front of the rocket. Wave drag is primarily associated with supersonic flow, where the airflow speed exceeds the speed of sound. Fleeman's approach for the estimation of the wave drag is used in current study [7].

**Simulation:** For the numerical integration of the governing equations given in Equation 9, 4<sup>th</sup> order Runge-Kutta method is implemented.

**Results:** A low altitude test case developed to compare the results of the simulation code. Basis for the comparison is taken to be "OpenRocket" rocket trajectory simulation software. For the purpose of the case, "M1845", solid propellant motor is used. Motor thrust distribution with time data is collected in a "csv" file to feed into the simulation program. Comparison for the case results is given in Figure 2 Comparative results.



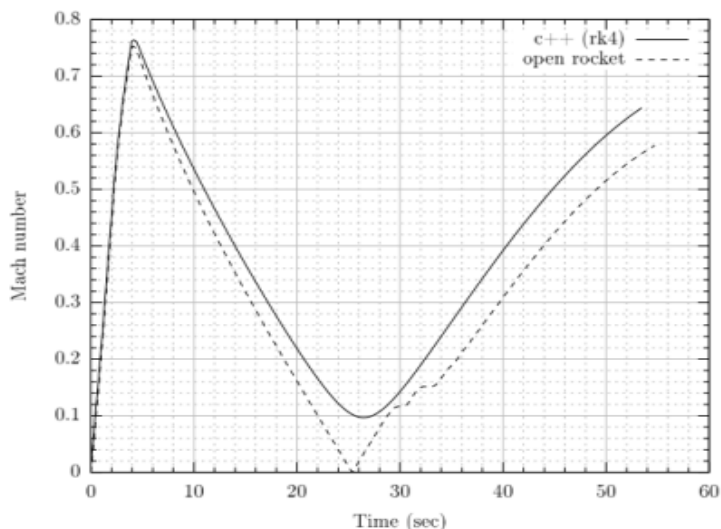


Figure 2. Considering the differences in the governing equations for the different software, it can be seen that the results are compatible enough

In order to see the performance of the software and high altitude model is also tested. Rocket model, is chosen to be JAXA S-310. Table 1 reflects the simulation results. The graphical representations of the results obtained from software are given in Figures 3, 4, 5 and 6.

Table 1. S-310 simulation results

Property	Value	Unit
Apogee altitude	164216.38	m
Range	64863.25	m
Time to apogee	200.63	sec
Max Mach number	5.6	
Burnout time	27	sec
Ground hit time	388.31	sec

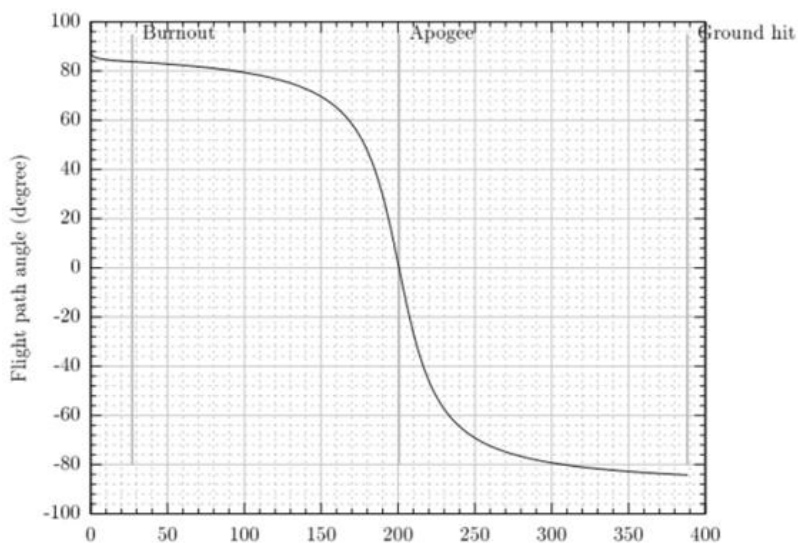


Figure 3. S-310 Flight path angle



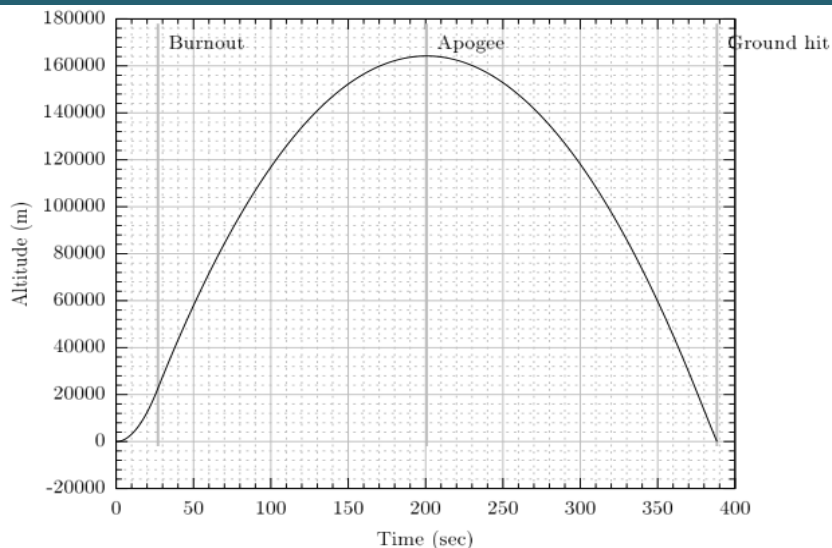


Figure 4. S-310 Altitude

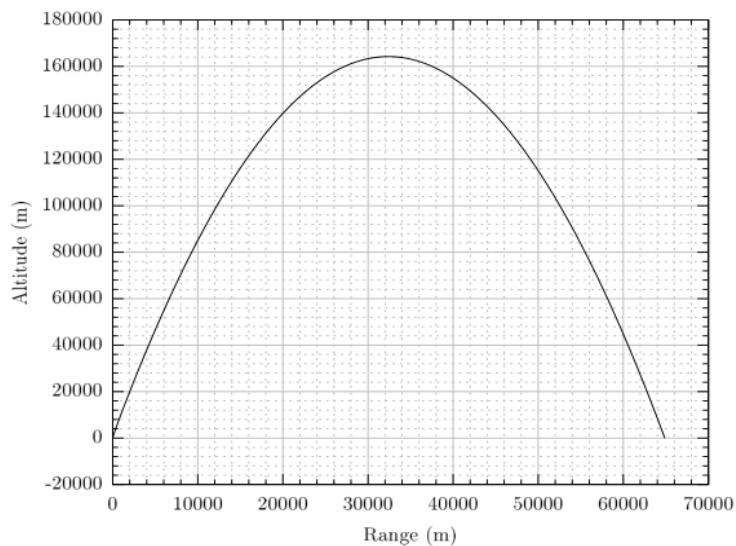


Figure 5. S-310 Trajectory

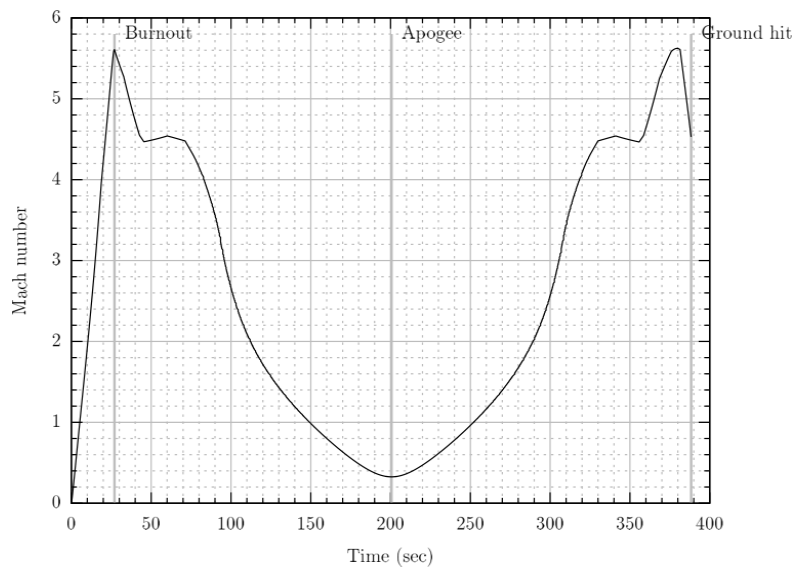


Figure 6. S-310 Mach number

**Conclusion:** The primary objective of this article was to develop a software to numerically simulate the trajectory of a sounding rocket. In this work, it was the intention to give the through information about aerodynamics and flight mechanics of the single stage sounding rocket. As a result governing equations of the flight path is derived and a C++ program developed to calculate the path and related information of flight.

## **REFERENCES**

1. Seibert G. (2006). The History of Sounding Rockets and Their Contribution to European Space Research, ESA Publications Division, Netherlands.
2. U.S. Army Ordnance Missile Command (n.d). Ballistic Missile Series: Trajectories (ORDP 20-284), Ordnance Engineering Handbook Office, North Carolina, USA.
3. Goldstein H. (2002). Classical Mechanics, Addison-Wesley.
4. Vinh N.X., Busemann A. and Culp R.D. (1980). Hypersonic and Planetary Entry Flight Mechanics, John Wiley & Sons Inc., Rexdale, Canada.
5. Varfolomeeva V.I., Kopytova M.I. (1970). Design and Testing of Ballistic Missiles, USSR MoD Military Publishing, Moskow, USSR.
6. Griffin M.D. and French J.R. (2004). Space Vehicle Design, AIAA, Virginia, USA.
7. Fleeman E.L. (2006). Tactical Missile Design, AIAA, Virginia, USA.
8. Hitchcock J. (1951). On Estimating the Drag Coefficient of Missiles, Technical Report 545, Ballistic Research Laboratories, USA.
9. Jerger J.J. (1960). Systems Preliminary Design: Principles of Guided Missile Design, volume 7, Van Nostrand, New Jersey.

## **ELMI-TƏDQIQAT RAKETİNİN TRAYEKTORİYASININ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ**

**Tağiyev V.Q.**  
**Milli Aviasiya Akademiyası**

*Bu məqalədə uçuş mexanikasına, hərəkət tənliklərinə və aerodinamik qüvvələrin təyininə diqqət yetirərək, elmi-tədqiqat raketinin trayektoriyasının modelləşdirilməsinə baxılır. Nyutonun hərəkət qanunlarına əsasən uçuş aparatının qalxma və enmə mərhələlərini təsvir etmək üçün tənliklər sistemi işlənilir. Müxtəlif uçuş şəraitlərində aerodinamik qüvvələri dəqiq təyin etmək üçün müxtəlif yanaşmalardan istifadə olunur. Tədqiqat raketinin trayektoriyasının səmərəli hesablanmasına və təhlilinə imkan verən 4-cü tərtib Runge-Kutta ədədi inteqrallama metodunu istifadə edən C++ kodunun hazırlanması ilə yekunlaşır. Nəticələr aşağı orbitli kosmik aparatların trayektoriyalarının təyin edilməsində də istifadə edilə bilər.*

**Açar sözlər:** raket trayektoriyası, ədədi üsullar, hərəkət tənlikləri, raketin uçuş yolu, Runge-Kutta metodu, aerodinamika, C++, müqavimət qüvvəsi əmsali

**Rəyçi: t.e.d., prof. Abdullayev P.Ş.**

### **Müəllif haqqında məlumat**

<b>Soyadı, adı, atasının adı</b>	<b>İş yeri</b>	<b>Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı</b>	<b>Əlaqə</b>
Tağiyev Vüsal Qadir oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	magistrant	<a href="mailto:vusal.taghiyev@naa.edu.az">vusal.taghiyev@naa.edu.az</a> mob: (+994) 55-481-14-84

УДК 547.541.521.621

DOI: 10.34826/NAА.2023.25.3.003

## СИНТЕЗ РОДАНИД- И ТИОКАРБОНИЛПРОИЗВОДНЫХ 1-ФЕНИЛСУЛЬФАМИДО-N-2-ЙОД-3-ХЛОРПРОПАНА

*Мамедова С.И., Ладохина Н.П., Аскерова К.Т., Аббасова Ш.Б.,  
Мамедова Г.Г., Юзбашева Л.Н.*

*Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики, Институт химии присадок  
им. академика А.М. Кулиева, Национальная Академия Авиации*

*На основе синтезированного синтона - 1-фенилсульфамидо-N-2-йод-3-хлорпропана ступенчато проведены многокомпонентные реакции. Это соединение, с двумя гетероатомами галогенов, обладающих различными реакционными способностями, открыло широкие возможности для синтеза полифункциональных сульфамидов с заданными свойствами. В мягких условиях и при низких температурах синтезированы тиокарбонилпроизводные роданидсульфамидов. Исследовано бактерицидное и фунгицидное действие некоторых синтезированных соединений. Найдено, что их антимикробное действие зависит в основном от природы функциональных групп.*

***Ключевые слова:** галоидалкилсульфамиды, азиридинсульфамиды, дитиокарбомат, ксантогенат, бактерицид, фунгицид, сульфоамиды, гетероциклизация.*

**Введение.** Анализ современной ситуации в области органического синтеза позволяет говорить о появлении нового направления – синтеза органических молекул, биологически активных соединений, фармацевтических блоков и передовых материалов с абсолютной селективностью. Новый этап в развитии органического синтеза обуславливает новые синтетические методы для введения функциональных групп и более сложных заместителей в органическую молекулу, создавая соединения, обладающие практически полезными свойствами. Между тем разрабатываемые синтетические методы должны не только основываться на простых и промышленно доступных реагентах, характеризоваться низкой себестоимостью конечных продуктов, но и являться экологически безвредными. Наиболее актуальным и перспективным направлением является синтез функциональнозамещенных сульфамидов, для получения которых в последние годы интенсивно проводится исследование по изучению реакции N-моно- и N-дихлораминов сульфокислот с неопределенными соединениями, а также их применению в реакциях амингидроксилирования, эпоксилирования, гетероциклизации, азиридирования алкенов и др.

Цель данной работы заключается в синтезе ряда новых функциональнозамещенных сульфамидов на основе полученного нами синтона – 1-фенилсульфамидо-N-2-йод-3-хлорпропана путем проведения каскадных реакций.

**Экспериментальная часть.** ЯМР-спектры полученных соединений регистрировали на спектрофотометре «Bruker-300», ИК-спектры – на спектрометре «Nicolet IS-10».

**1-Фенилсульфамидо-N-2-йод-3-хлорпропан (I).** К смеси 0.25 моля (28 г) аллилхлорида, 0.25 моля хлорамина-Б и 0.2 моля (33.2 г) КJ и 100 мл бензола после предварительного перемешивания в течение 25-30 минут по каплям прибавляли 56 мл концентрированного (35.5 %) раствора HCl с такой скоростью, чтобы температура не поднималась выше 40 – 45 °С. Смесь перемешивали еще 3 часа при температуре 50 °С,

охлаждали, добавляли 50 мл гексана. Выпавшие кристаллы отфильтровывали, промывали гексаном и сушили. Затем перекристаллизовывали их из этанола. Получено 76.2 г (64,8 %).

В ЯМР-спектре соед. I в растворе ДМСО- $d^6$  наблюдается сигнал в виде мультиплета в области 3.45÷4.3 м.д. ( $\text{CH}_2\text{Cl}$ ;  $\text{CH}_2\text{J}$ ), в области 5.1 м.д. – неразделенные сигналы протонов  $\text{CH}_2\text{N}$ . Сигнал NH-протона находится в области 6.8 м.д. Протоны однозамещенного бензола и  $\text{CH} - \text{Cl}$  проявляются вместе в области 7.7 м.д.

**1-фенилсульфониламино-2-тиоциано-N-3-(-2-меркаптилацетанид) пропан (II).** 0.02 моля (7.2 г) 1-фенилсульфамид-N-2-йод-3-хлорпропана растворяли в 50 мл этилового спирта, добавляли 0.022 моль (2.2 г)  $\text{KCSN}$ , перемешивали, затем при перемешивании медленно, по каплям, добавляли 0.02 моль 10% раствора  $\text{NaOH}$ . Реакционную смесь перемешивали при 65-78°C в течение 5 часов. Затем добавляли 0.22 моль N-фенил-2-меркаптоацетамида (**изопропилксантогенат-К, N, N-диэтилдитиокарбамоил Na, тиокарбомид, 2-меркаптобензотиазол**) и 0.02 моль 10% раствора  $\text{NaOH}$ . Реакционную смесь перемешивали при 70-78°C в течение 5 часов. Затем добавляли 50 мл воды. Полученные кристаллы отфильтровывали, сушили и перекристаллизовывали из этанола.

Соединения **1-фенилсульфониламино-2-тиоциано-N-3-изопропилксантогенат- (III), -N, N-диэтилдитиокарбамоил- (IV), -тиокарбонил- (V), - меркаптобензотиазолпропан (VI)** получены по аналогичной методике с той разницей, что добавлялось 0.22 моля изопропилксантогената калия, N, N-диэтилдитиокарбамоила натрия, тиокарбомид и 2-меркаптобензотиазола соответственно. Физико-химические характеристики соединения I-VI приведены в таблице 1.

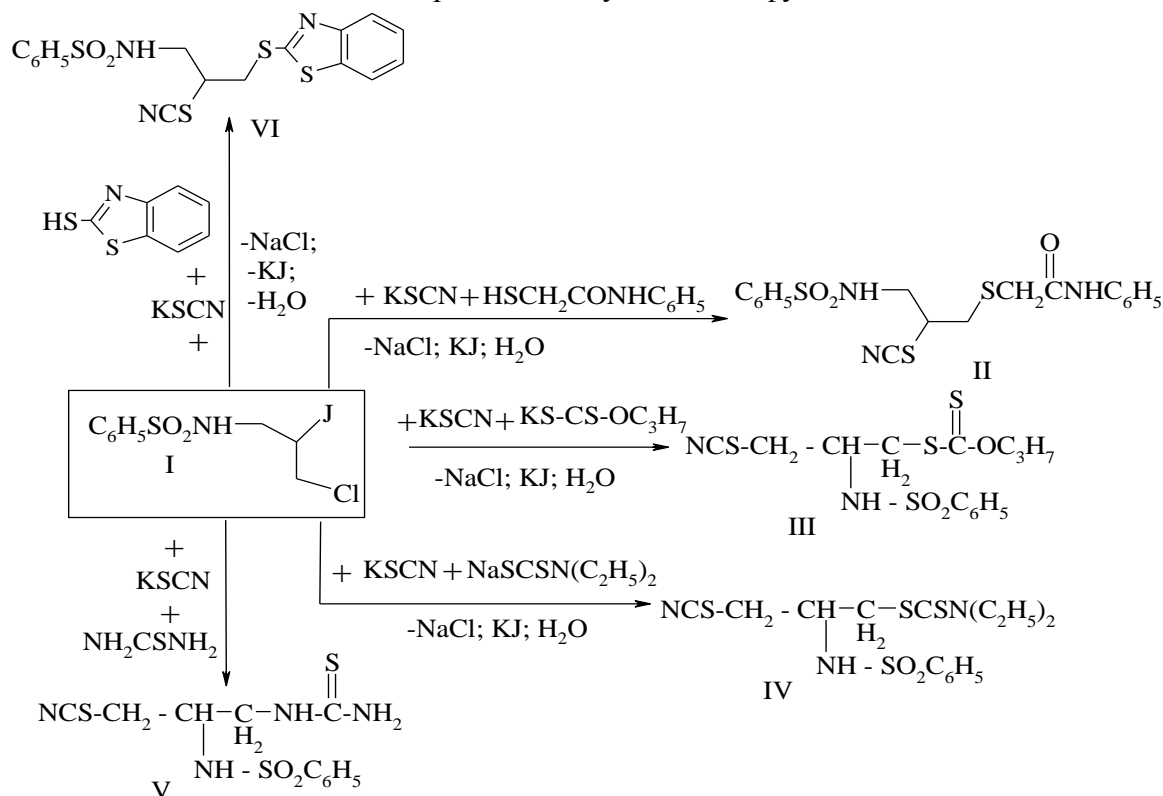
**Таблица 1.** Физико-химические свойства синтезированных соединений (I-VI)

Шифр соед.	Выход, %	$T_{пл.}, ^\circ\text{C}$	Брутто-формула	Найдено Вычислено, %	
				N	S
1	2	3	4	5	6
I	64.2	250 – 252	$\text{C}_{19}\text{H}_{31}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}_5$	$\frac{6.78}{6.45}$	$\frac{25.10}{24.50}$
II	73,20	185-187	$\text{C}_{17}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}_3$	$\frac{10.02}{9.75}$	$\frac{23.02}{22.69}$
III	66,80	189-190	$\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_3\text{S}_4$	$\frac{11.01}{11,04}$	$\frac{49,14}{49,10}$
IV	62,60	183-187	$\text{C}_{15}\text{H}_{21}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}_4$	$\frac{10,13}{9,98}$	$\frac{32,04}{31,81}$
V	78,60	172-174	$\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_3\text{S}_3$	$\frac{7,98}{7,67}$	$\frac{26,05}{26,79}$
VI	52,30	305-308	$\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}_4$	$\frac{10,20}{10,01}$	$\frac{30,04}{30,02}$

**Результаты и их обсуждение.** N-натрий-монохлорамины легко присоединяются к непредельным соединениям в кислой среде. По мнению Чаттавея при взаимодействии с кислотой хлорамины образуют нестойкие монохлорамины, которые как очень активные вещества легко присоединяются к двойным связям. Описанные в источниках [1,2,6] методы присоединения хлораминов к непредельным соединениям разнообразны и зависят от структуры непредельных соединений и использования N-моно- или N, N-дихлораминов. Нами исследована [3] реакционная способность нуклеофильного замещения атома хлора в N-2,3-дихлоралкилсульфамидах, полученных реакцией аллилхлорида с N-монохлорамином-Б. Нуклеофильным замещением двух атомов хлора в N-2,3-дихлорпропилсульфамидах и атома хлора в азиридинах синтезированы N-2- и N-3-замещенные сульфамиды. Реакция N, N-дихлор-п-толилсульфамида с алкенами в присутствии палладия приводит не только к продуктам

присоединения, но и к азиридинованию [4]. Наши исследования [5] показали, что реакцией аллилхлорида с N-монохлорамин-Б в присутствии КJ можно синтезировать синтон, содержащий два различных атома галогена и арилсульфамидный фрагмент. Наличие двух разных атомов галогена в составе соединения позволяет проводить их замещение не только одинаковыми, но и двумя разными радикалами, что приводит к синтезу соединений с более сложной структурой. Используя этот синтон, были синтезированы гидразин- и гидроксиламинопроизводные 1-фенилсульфамидо-N-2-йод-3-хлорпропана, а также исследованы их бактерицидные и фунгицидные действия.

В последующих наших исследованиях в синтезированное сульфамидное соединение были включены роданидный фрагмент и различные аминотульфиды. При температуре 70-80°C на основе стадийных каскадных реакций получены полифункциональные соединения:



В ЯМР-спектре соед. VI (рисунок 1) в растворе ДМСО-d<sup>6</sup> наблюдается сигнал в виде мультиплета в области 3.15÷3.57 м.д. (CH<sub>2</sub>N; CH-NH), дуплет в области 2.53-2.66 м.д. соответствует сигналам протонов группы (CH<sub>2</sub>S). Протоны однозамещенного бензола проявляются в области 7.468÷7.495, а протоны группы 2(N-CH<sub>2</sub>) проявляются вместе в области 7.283÷7.630 м.д., а протоны **бензтиазолового** фрагмента в виде мультиплета наблюдаются в области 6,486÷7.018 м.д.

Изучены антимикробные свойства, проявляемые синтезированными соединениями в зависимости от их состава и строения. Бактерицидные свойства этих препаратов связаны с их негативным действием на клеточную стенку микроорганизмов, которые вызывают денатурацию белка, входящего в состав клеточной стенки, нарушение проницаемости цитоплазматической мембраны, замедление жизнедеятельности ферментов бактерий. 5 соединений были тестированы в 45% этаноле при концентрациях 0,01; 0,05 и 0,1%. Для сравнения использовали раствор 45% этанола в воде без препарата. Для испытаний использовали как эукариотические, так и прокариотические микроорганизмы:

*Эукариот: золотистый стафилококк (Staphylococcus aureus)*

*Enterobacteriaceae-s.typhi (возбудитель брюшного тифа)*

*Прокариоты: Penicillium (плесень)*

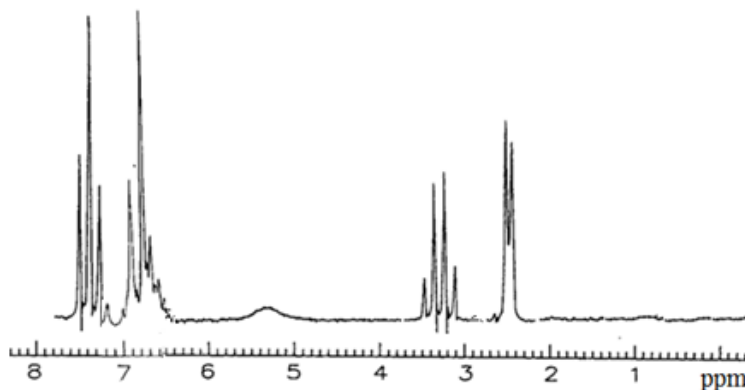


Рисунок 1. ЯМР-спектр 1-Фенилсульфамидо-N-2-роданид-3-(2-меркаптобензтиазол) пропана (VI)

Таблица 2. Антимикробные свойства синтезированных сульфамидов

Штаммы микроорганизмов	Концентрация, %														
	0,01					0,05					0,1				
	Экспозиция в мин.					Экспозиция в мин.					Экспозиция в мин.				
	10	20	30	40	60	10	20	30	40	60	10	20	30	40	60
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Соединение 1										45% раствор спирта				
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+										
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	+										
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	X										
	Соединение 2														
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	+	+	+	X	-	-	X	X	-	-	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	X	X	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	Соединение 3														
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	+	+	X	-	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	X	+	+	+	X	X	+	X	-	-	-
	Соединение 4														
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	X	+	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	X	-	+	+	-	-	-
	Соединение 5														
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	+	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	+	+	X	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Соединение 6														
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+	X	+	X	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Entero-s.typh</i>	+	+	+	+	X	X	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>Penicillium</i>	+	+	+	+	X	+	X	-	-	-	+	-	-	-	-

**Примечание 1:** «+»-развитие микроорганизмов; «-»-полное уничтожение микроорганизмов; «X»-30-40% уничтожение микроорганизмов.

Как видно из таблицы 2, соединение-1 при концентрации 0,05% уничтожает золотистый стафилококк в течение 30 минут, а пенициллиновые грибки - в течение 40 минут. При той же концентрации все микроорганизмы, взятые для исследования, уничтожаются в течение 40 минут. Оптимальная концентрация 1-го соединения-0,5% и продолжительность действия 40 минут. При концентрации 0,1% соединение 1 полностью уничтожает стафилококковые и пенициллиновые микроорганизмы за 20 минут, кишечные бактерии - за 30 минут. В течение 30 минут все микроорганизмы, взятые для исследования, полностью уничтожаются.

Антимикробный эффект соединения 2 выражен слабо. Таким образом полного уничтожения микроорганизмов за 1 час при концентрации 0,05% не происходит, а при концентрации 0,1% микроорганизмы полностью уничтожаются за 40 минут.

Антимикробное действие соединения 3 близко к действию соединения 1, но несколько слабее по сравнению с ним. В строении этих соединений отличается только сульфидный фрагмент: соединение 1 имеет -2-меркаптилацетанилид, а соединение 3-фрагмент -N, N-диэтилдитиокарбамоил. Интересно, что фрагмент -N, N-диэтилдитиокарбамоила оказался более эффективным, чем фрагмент -2-меркаптилацетанилида против стафилококков и кишечных бактерий, но не против плесени и полностью уничтожает стафилококковые бактерии в течение 10 минут при концентрации 0,05%, а в течение 30 минут - бактерии брюшного тифа. Для соединения 3 при концентрации 0,05% все микроорганизмы уничтожаются за 40 мин. Оптимальная концентрация для этого соединения – 0,1%, а продолжительность действия – 20 минут.

Соединение 4 количественно более эффективно по сравнению с другими протестированными соединениями. Даже при концентрации 0,05% все исследуемые микроорганизмы уничтожаются за 15-20 дней. По бактерицидным свойствам оно не уступает соединениям 1 и 3. Наличие в его составе наряду с сульфамидным и роданидным группами тиокарбаминовой группы положительно сказывается на его антимикробные свойства.

Соединение 5 содержит сульфамидную группу, а также роданид и бензотразиновый фрагменты, обладающие высокой эффективностью по отношению ко всем испытанным штаммам микробов. Оптимальная концентрация для этой комбинации — 0,05%, а продолжительность действия — 20 минут. Антимикробные свойства этого соединения слабые по сравнению с соединением 4.

Таким образом, результаты испытаний синтезированных соединений в отношении золотистого стафилококка, возбудителя брюшного тифа и пенициллинового грибка показали, что они обладают высокими антимикробными свойствами. Оптимальная концентрация исследуемых соединений для подавления и полного уничтожения микроорганизмов составляет 0,05-0,1%.

**Выводы.** На основании проведенного исследования можно заключить, что функциональнозамещенные сульфамиды, содержащие два различных атома галогена, являются перспективными соединениями для проведения каскадных реакций. В результате этих реакций с высоким выходом получают соединения, сочетающие в себе множество функциональных групп, что значительно повышает их бактерицидную и фунгицидную активность и делает их потенциальными лекарственными препаратами широкого спектра действия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фрейдлина Р.Х., Рыбакова Н.А., Семин Г.К., Кравченко Э.А. Влияние окислителей и среды на реакцию N, N-дихлор-п-хлорбензолсульфамида с аллилхлоридом // Докл. АН СССР. 1967. Т.176. № 2. С. 352 – 353.
2. Мамедов С.А., Левшина А.М., Керимов К.О., Гасанова Т.Ш., Адигезалова Ф.А. Синтез N-β-хлоралкиларилсульфамидов и исследование их в качестве присадок к смазочным маслам // Нефтехимия. 1988. Т.28. № 3. С.396 – 401.

3. Zeynalova L.F: "Some features of nucleophilic substitution of chlorine atoms in N-2,3-dichloroalkyl sulfamides and the study of the antimicrobial properties of the obtained " Elmi Məcmuələr 2022, Cild 23, № 4, səh. 24-31
4. Han Jiantin, Li Yufeng, Thi Sanjun, Pan Yi, Timmans Gody, Li Guigen. Катализируемое палладием азиридинование алкенов в качестве источника азота использующее N, N-дихлор-п-толилсульфонамид // Tetrahedron. 2006. No 40. P.7226 – 7228.
5. С.И. Мамедова Н.П. Ладохина, К.Т. Аскерова, Ш.Б. Аббасова, Дж.Б. Маликова "Синтез и свойства многофункциональных сульфамидов на основе синтона - 1-фенилсульфамидо-п-2-йод-3-хлорпропана" Elmi Məcmuələr 2023. Cild 24, № 3, . 54-63.
6. Hauger G., Kolsow S., Göttlich D. Медные (1+) катализаторы стереоселективного присоединения N-хлорамидов к двойным связям: диастереоселективная радикальная циклизация // J.Org.Chem. 2003. No 11. P. 1848 – 1854.

## REFERENCES

1. Freidlina R.Kh., Rybakova N.A., Semin G.K., Kravchenko E.A. Influence of oxidizers and environment on the reaction of N,N-dichloro-p-chlorobenzenesulfamide with allyl chloride // Dokl. Academy of Sciences of the USSR. 1967. Vol.176. No. 2. S. 352 - 353.
2. Mamedov S.A., Levshina A.M., Kerimov K.O., Gasanova T.Sh., Adigezalova F.A. Synthesis of N-β-chloroalkylarylsulfamides and their study as additives to lubricating oils // Petrochemistry. 1988. V.28. No. 3. P.396 - 401.
3. Zeynalova L.F: "Some features of nucleophilic substitution of chlorine atoms in N-2, 3-dichloroalkyl sulfamides and the study of the antimicrobial properties of the obtained" Elmi Məcmuələr. Cild 23, No. 4, səh. 24-31
4. Han Jiantin, Li Yufeng, Thi Sanjun, Pan Yi, Timmans Gody, Li Guigen. Palladium-catalyzed aziridination of alkenes using (N, N-dichloro-p-toluenesulfonamide) as a nitrogen source // Tetrahedron. 2006. No 40. P.7226 - 7228.
5. S.I. Mamedova, N.P. Ladokhina, K.T. Askerova, Sh.B. Abbasova, J.B. Malikova "Synthesis and properties of multifunctional sulfamides based on synthon - 1-phenylsulfamido-n-2-iod-3 - хлорпропана" Scientific Collections 2023., Vol. 24, No. 3, . 54-63.
6. Hauger G., Kolsow S., Göttlich D. Copper (1+) catalysts for the stereoselective addition of N-chloramides to double bonds: diastereoselective radical cyclization // J.Org.Chem. 2003. No 11. P. 1848 - 1854.

## ***1-FENİLSULFAMİD-N-2-YOD-3-XLORPROPANIN RODANİD VƏ TIOKARBONİL TÖRƏMƏLƏRİNİN SİNTEZİ***

***Məmmədova S.İ., Ladoxina N.P., Əsgərova K.T., Abbasova Ş.B.,  
Məmmədova G.H., Yüzbaşova L.N.***

***Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, akademik Ə.M. Quliyev adına  
Aşqarlar Kimyası İnstitutu, Milli Aviasiya Akademiyası***

*Sintez olunmuş sinton - 1-fenilsulfamid-N-2-yod-3-xlorpropan - əsasında mərhələli çoxkomponentli reaksiyalar aparılır. Müxtəlif reaksiya qabiliyyətinə malik iki heteroatom halogeni olan bu birləşmə müəyyən xüsusiyyətlərə məxsus polifunksional sulfamidlərin sintezi üçün geniş imkanlar yaratmışdır. Rodanid sulfamidlərin tiokarbonil törəmələri mülayim şəraitdə və aşağı temperaturda sintez olunur. Bəzi sintez edilmiş birləşmələrin bakterisid və funqisid təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, onların antimikrob fəaliyyəti əsasən funksional qrupların xarakterindən asılıdır.*

***Açar sözlər:*** halogenalkilsulfamidlər, aziridinsulfamidlər, ditiokarbomat, ksantogenat, bakterisid, funqisid, sulfamidlər, heterosiklləşmə.



**SYNTHESIS OF RHODANIDS AND THIOCARBONYL DERIVATIVES  
1-PHENYLSULFAMIDO-N-2-IODINE-3-CHLORPROPANE**

**Mamedova S.I., Ladokhina N.P., Askerova K.T., Abbasova Sh.B.,  
Mamedova G.G., Yuzbasheva L.N.**

**Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Chemistry of Additives  
named after A.M. Guliyev, National Aviation Academy**

On the basis of synthesized synthon - 1-phenylsulfamido-N-2-iod-3-chloropropane - stepwise multi-component reactions are carried out. This compound, possessing two heteroatoms of halogens with different reactivity, opened wide possibilities for the synthesis of polyfunctional sulfamides with specified properties. Thiocarbonyl derivatives of rhodanid sulfamides are synthesized in mild conditions and at low temperatures. The bactericidal and fungicidal action of some synthesized compounds has been investigated. It was found that their antimicrobial activity depends mainly on the nature of functional groups.

**Keywords:** haloalkyl sulfonamide, aziridine sulfonamide, dithiocarbamate, xanthate, bactericide, fungicide, sulfoamides, heterocyclization.

**Рецензент:** к.т.н., доц. Г.Дж. Омарова

**Сведения об авторах**

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Должность, ученая степень, ученое звание	Контактный телефон
Мамедова Севгили Исмайыл кызы	НАНА, Институт химии присадок	Заведующий лабораторией «Тонкий органический синтез»	<a href="mailto:alximikseva@mail.ru">alximikseva@mail.ru</a> моб.: (+994) 55-388-98-55
Ладохина Нина Петровна	НАНА, Институт химии присадок	Ведущий научный сотрудник лаборатории «Тонкий органический синтез»	<a href="mailto:ninalad70@gmail.com">ninalad70@gmail.com</a> моб.: (+994) 70-266-33-70
Аскерова Кямаля Таги кызы	НАНА, Институт химии присадок	Научный сотрудник лаборатории «Тонкий органический синтез»	<a href="mailto:Kama.af-13@mail.ru">Kama.af-13@mail.ru</a> моб.: (+994) 77-420-07-89
Аббасова Шафаг Бахрам кызы	НАНА, Институт химии присадок	Научный сотрудник лаборатории «Тонкий органический синтез»	<a href="mailto:ashafaq15a202012@mail.ru">ashafaq15a202012@mail.ru</a> моб.: (+994) 51-516-88-44
Мамедова Гюльнар Гаджимамед кызы	НАНА, Институт химии присадок	Докторант	<a href="mailto:gulnarmammedova1987@gmail.com">gulnarmammedova1987@gmail.com</a> моб.: (+994) 51-980-61-78
Юзбашева Лала Назим кызы	Национальная Авиационная Академия	Старший научный сотрудник отдела «Научно-технической информации и патента», к.х.н.	<a href="mailto:lala_analitik@mail.ru">lala_analitik@mail.ru</a> моб.: (+994) 50-775-71-95

UOT:004.89

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.004

## HAVA GƏMİSİNİN UZUNUNA HƏRƏKƏTİNİN İDARƏ OLUNMASI SİSTEMİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

*İsmayilov İ.M.*  
*Milli Aviasiya Akademiyası*

*Müasir dövrdə bir mürəkkəb texniki sistem kimi təyyarələrin uçuş dinamikası, dayanıqlıq, idarə olunma oblastundakı tədqiqatlar, yüksək avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin işlənilməsi bu proseslərin elmi-metodiki müşayiəti olmadan, modelləşdirilmədən istifadə etmədən mümkün deyil. Bunu nəzərə alaraq məqalədə MATLAB/Simulink proqram vasitələrindən istifadə edərək təyyarənin uzununa hərəkətinin dinamikasının imitasiyalı Simulink-modelinin formalaşdırılması metodikası təqdim edilmiş, hava gəmisinin idarə olunmasının müxtəlif aspektlərdə modelləşdirilməsi məsələlərinə baxılmış, modelin tərkibinə daxil olan bütün komponentlərin eksperimental olaraq daha dəqiq təyin edilməsi, o cümlədən model üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən tənzimləyicilərin modelləşdirilməsi və onların müxtəlif yanaşmalarda tədqiqi məsələləri göstərilmiş, qeyri-səlis tənzimləyici üçün sürət və hündürlük giriş parametrlərinə uyğun olaraq çıxış parametrləri - tanqaj bucağı və dartı avtomatının parametrlərinin hesablanma metodikası verilmişdir.*

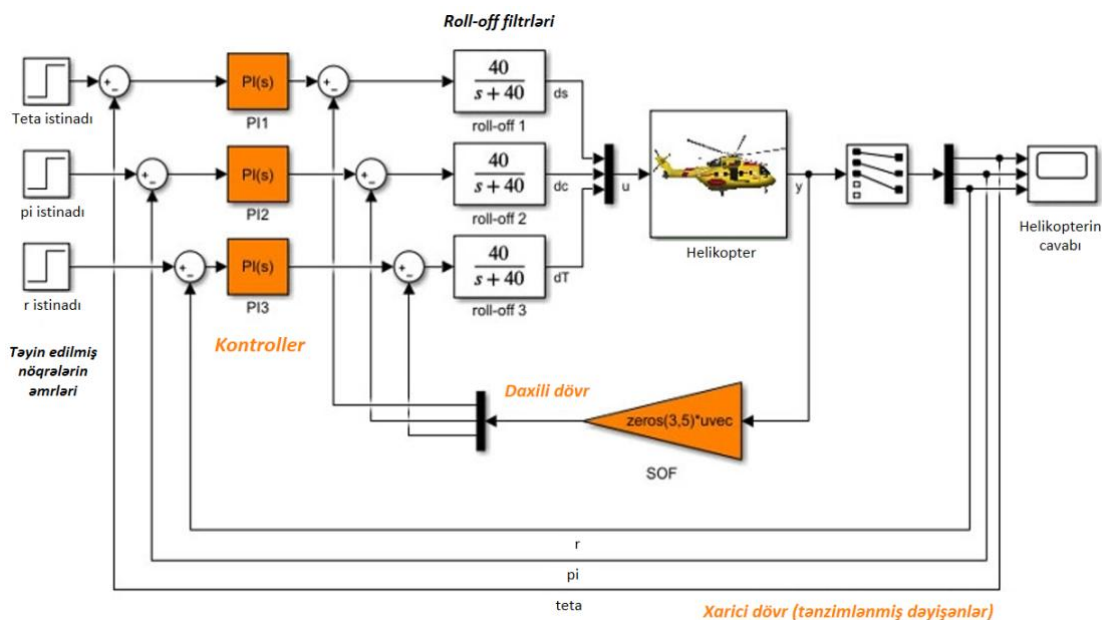
***Açar sözlər:** aviasiya sistemi, təyyarənin uçuş dinamikası, uçuş informasiyasının monitorinqi, təyyarənin idarə olunması sistemləri, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi, modelləşdirmənin əsasları, Matlab/Simulink proqram vasitələri, qeyri-səlis məntiq.*

**Giriş.** Müasir texniki qurğuların və sistemlərin layihələndirilməsinin mühüm və ayrılmaz mərhələsi modelləşdirmədir. Müasir texniki sistemlərin xüsusiyyətlərindən biri onların fiziki qeyri-bircinsliyi, yəni onların tərkibində müxtəlif fiziki təbiətli elementlərin olmasıdır. Məsələn, mexatronikanın formalaşdırılmasına öz zamanında mexanika və elektronikanı birləşdirən bir elm kimi elektromexanikanın meydana gəlməsinə səbəb oldu. Mikroelektronikanın və mikroprosessor texnikasının inkişafı mexaniki qurğuların hərəkəti ilə bağlı olan texniki sistemlərin funksional imkanlarında yeni keyfiyyət sıçrayışı üçün şərait yaratdı və bu son nəticədə yeni elmin yaranmasına gətirdi [1]. Analoji olaraq nəzərə alsaq ki, texniki sistem mexaniki, elektriki və kompüter hissələrinin sinergetik birləşdirilməsidir, o zaman modelləşdirmə vasitələri bu hissələrin vahid metodoloji əsasda birləşdirilməsinə yönəldilməli və çoxaspektli modellərin qurulmasına, həmçinin onların tədqiqinə imkan verməlidir.

Bir mürəkkəb texniki sistem kimi təyyarələrin uçuş dinamikası, dayanıqlıq, idarə olunma oblastundakı tədqiqatlar, yüksək avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin işlənilməsi bu proseslərin elmi-metodiki müşayiəti olmadan, modelləşdirilmədən istifadə etmədən mümkün deyil. Uçuşun dinamikası oblastında bir sıra məsələlər öyrənilən proseslərin və obyektlərin riyazi modellərini əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirən buraxıla bilən istisnalar və mülahizələr hesabına həll edilə bilirlər [2]. Lakin təyyarələrin aerodinamik xarakteristikalarının və hərəkətin kinematik parametrlərinin geniş diapazonunda istismar olunan güc qurğusunun xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi, idarəetmə sistemlərinin parametrlərinin mürəkkəbliyi, pilotun (ekipajın) real atmosfer şəraitində təyyarənin idarə olunmasının müxtəlif məqsəd məsələlərinin imitasiya modelləşdirilməsi prosesində iştirakının zəruriliyi “təmiz” riyazi modellərdən istifadəni qeyri-mümkün edir və xüsusi proqram vasitələrindən istifadə etməklə tədqiqatların aparılmasının yarımnatura formatını tələb edir. Dinamik sistemlərin, o cümlədən uçuş aparatlarının uçuş dinamikasının modelləşdirilməsi üçün daha geniş yayılmış, məlum Matlab&Simulink tətbiqi proqram kompleksindən istifadə daha məqsəduyğun hesab edilir [3-4].

**Məsələnin qoyuluşu.** Simulink paketində xətti sistemlərin modelləşdirilməsi metodlarının, idarəetmə sistemlərinin modellərinin qurulmasının və redaktə olunmasının tədqiqi, o cümlədən hava gəmisinin kurs üzrə idarə olunması sisteminin strukturunun təyin edilməsi və onun modelləşdirilməsi, sistemdə keçid proseslərinin, həmçinin PİD tənzimləyicisinin köməyi ilə daimi həyəcanların kompensasiya metodlarının tədqiqi (giriş və çıxış parametrlərinin sayının müəyyən edilməsi, idarəetmə sisteminin struktur sxeminin yaradılması), idarəetmə modelinin realizə olunmasıdır.

**Məsələnin həlli.** Təyyarənin uzununa hərəkəti üçün uçuşun idarə olunması zamanı nəzərə almaq lazımdır ki, təyyarənin və icra mexanizminin davranışının birinci tərtibli xətti aproksimasiyaları uçuşun idarə olunmasının analoq sxemi ilə bağlıdır. Bu sxem joystickin addımına təyyarənin tanqaja görə vəziyyəti üçün verilmiş nöqtə qismində pilotun əmrindən istifadə edir. O həmçinin komandaların təyini üçün təyyarənin tanqaj bucağından və tanqaj sürətindən istifadə edir. Uçuş aparatının idarə olunmasının modelləşdirilməsinin ümumi təsəvvürü üçün şəkil1-də Simulinkdə helikopterin idarə olunması sisteminin modelləşdirilməsinin ümumi görünüşü təsvir edilmişdir. Sistem daxili konturdan (göy rəng) və xarici konturdan (narıncı rəng) ibarətdir [5-6].



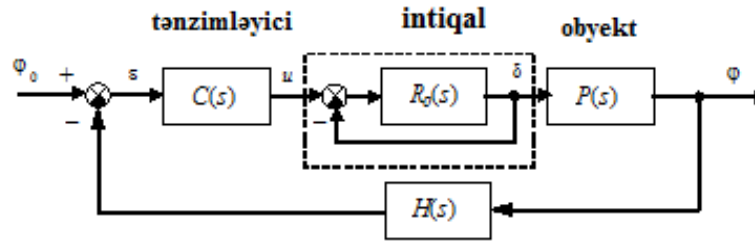
Şəkil 1. Simulinkdə idarəolunma sistemi

Məlumdur ki, idarəetmə sistemləri üzrə mühəndislərə idarəetmə sisteminin sazlanması mürəkkəb məsələ kimi görünə bilər, əgər əl ilə sazlamaya və təcrübəyə ümid etmək olarsa. Bu xüsusilə bir neçə əks əlaqə konturlarına və ya PİD kaskad konturları kimi sazlanan komponentlərə malik idarəetmə sistemləri üçün xüsusilə aktualdır. Ənənəvi olaraq mühəndislər bir elementi və ya bir idarəetmə konturunu sazlayırlar. Bundan başqa bu metod interaktiv və çox zəhmət tələb edən metoddur. O təcrübə tələb edir, onun mənimsənilməsində yeni mühəndislər çətinlik çəkirlər və optimal sonuncu layihəyə zəmanət vermir.

Şəkil1-də göstərilən idarəetmə sistemi timsalında məhsuldarlıq və etibarlılığa qoyulan standart tələblər nəzərə alınaraq tənzimləyicinin (kontrollerin) bütün parametrlərinin eyni zamanda sazlanmasının sistematik və avtomatlaşdırılmış metodu təsvir edilmişdir. Helikopterin dinamikası "Helikopter" blokunda modelləşdirilir. Uçuşun idarəetmə sistemi  $\theta$  (tanqaj bucağı),  $\varphi$  (kren bucağı) və  $p$ ,  $q$  və  $r$  (kren, tanqaj və vurnuxma sürətləri) ölçmələrindən istifadə etməklə  $ds$ ,  $dc$  və  $dT$  əmrlərini hasil edir. Kontroller iki əks əlaqə konturlarından ibarətdir. Daxili kontur (statik çıxış əks əlaqə bloku, şəkildə açıq göy rəngdə) sabitlik və ayrılmanın yüksəldilməsini təmin edir. Xarici kontur (PI, şəkildə narıncı rəngdə) təyin nöqtəsinin izlənilməsinin arzuolunan məhsuldarlığını təmin edir [7-8].

Simulink paketində idarəetmə sistemlərinin modelləşdirilməsində modelin parametrlərinin dəyişdirilməsini, keçid proseslərinin qurulmasını, həmçinin PID tənzimləyicisinin köməyi ilə daimi həyəcanların kompensasiyası metodlarını tədqiq etmək üçün avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin müvafiq müddəalarından istifadə edək [9].

Hava gəmisinin kurs üzrə idarə olunması sisteminin struktur sxemi şəkil 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. Hava gəmisinin kursda stabilizasiya sistemlərinin struktur sxemi

Gəminin hərəkəti aşağıdakı ötürmə funksiyası şəklində xətti riyazi modelə təsvir olunur

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)} \quad (1)$$

burada  $K = 0.0694$  rad/san,  $T_s = 18.2$  san.

Gəminin vurnuxmasını təsvir edən xətti riyazi model aşağıdakı şəkildə olur:

$$\varphi' = \omega_y; \quad \omega' = -\omega_y / T_s + K\delta / T_s. \quad (2)$$

Burada  $\varphi$  - vurnuxma bucağı (verilmiş kursdan meyl bucağı),  $\omega_y$  - şaquli ox ətrafında fırlanmanın bucaq sürəti,  $\delta$  - şaquli sükanın tarazlıq vəziyyətinə nisbətən dönmə bucağı,  $T_s$  - zaman sabiti,  $K$  - rad/san ölçmə vahidinə malik sabit əmsaldır.

Sükanın dönmə bucağından vurnuxma bucağına olan ötürmə funksiyası aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)} \quad (3)$$

İntiqaal (sükan maşını) təqribi olaraq vahid mənfi əks əlaqə ilə əhatə olunmuş inteqrallayıcı manqa kimi modelləşdirilir. Beləliklə onun ötürmə funksiyası aşağıdakı kimi olur

$$R(s) = \frac{1}{T_R s + 1} \quad (4)$$

burada  $T_R = 2$  san.

Vurnuxma bucağının ölçülməsi üçün girokompasdan istifadə olunur. Bu girokompasın riyazi modeli ötürmə funksiyalı birinci tərtib aperiodik manqa şəklində yazılır.

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1} \quad (5)$$

burada  $T_{os} = 6$  san.

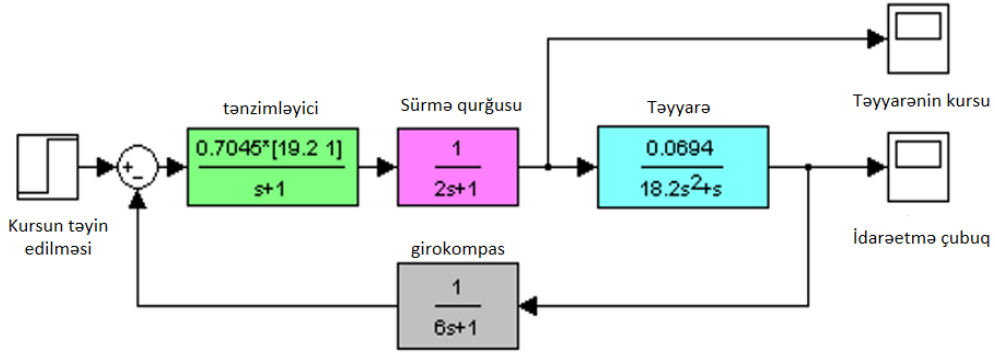
### PD-tənzimləyicili sistemin tədqiqi.

Minimal müddətli keçid prosesini təmin edən PD- tənzimləyicisinin ötürmə funksiyası:

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) \quad (6)$$

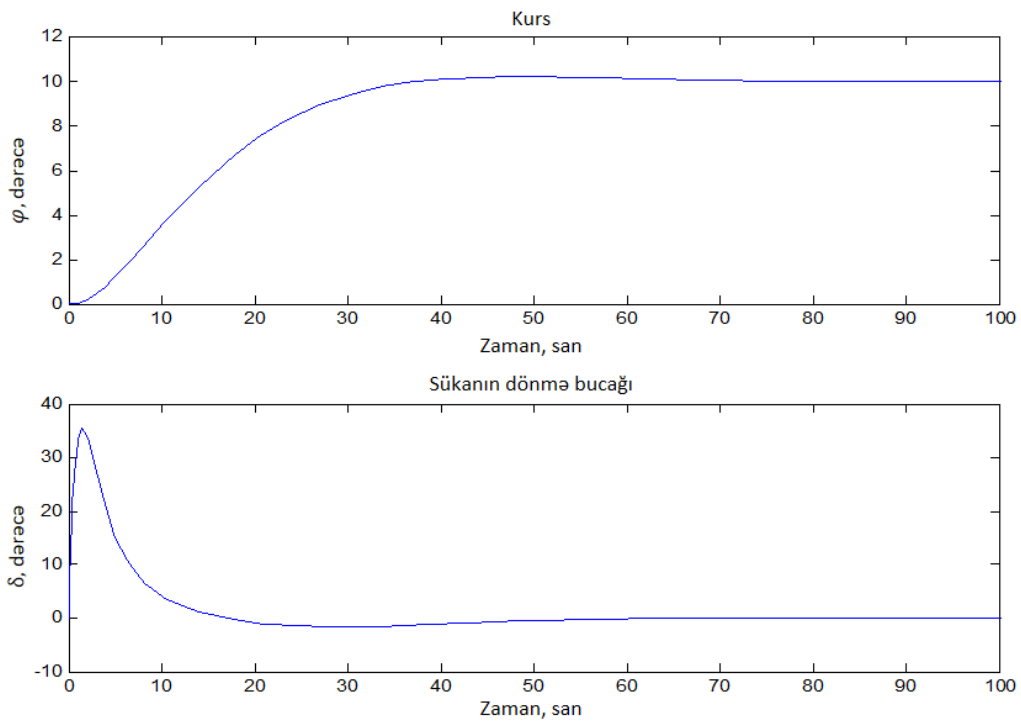
burada  $K_c = 0.7045$ ,  $T_s = 18.2$  san,  $T_v = 1$  san.

PD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 3-də verilmişdir.



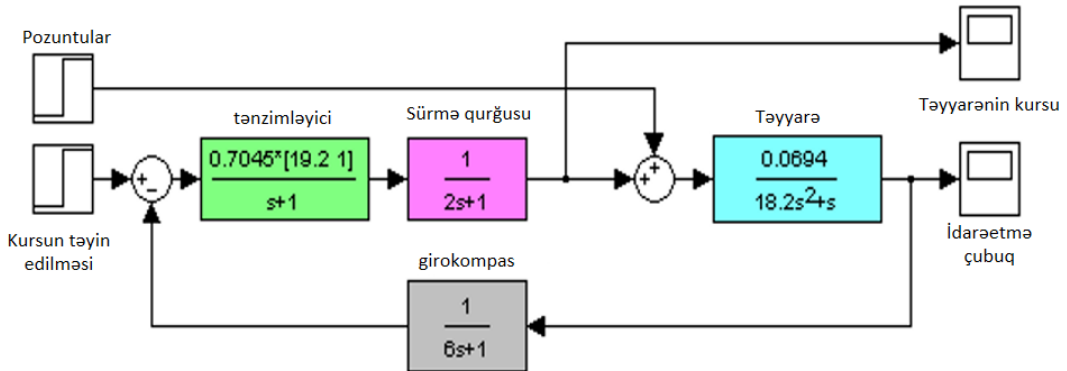
Şəkil 3. PD-tənzimləyicili sistemin modeli

Kursun 10 dərəcə dəyişməsində PD-tənzimləyicili sistemdə keçid prosesləri şəkil 4-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 4. PD-tənzimləyicili sistemdə keçid prosesləri

Xarici təsir nəzərə alınmaqla PD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 5-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 5. Xarici təsir nəzərə alınmaqla PD-tənzimləyicili sistemin modeli.

PD-tənzimləyicili sistem üçün həyəcana görə ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.003813 s^3 + 0.006355 s^2 + 0.00286 s + 0.0003178}{s^5 + 1.722 s^4 + 0.8416 s^3 + 0.1245 s^2 + 0.008877 s + 0.0002239}$$

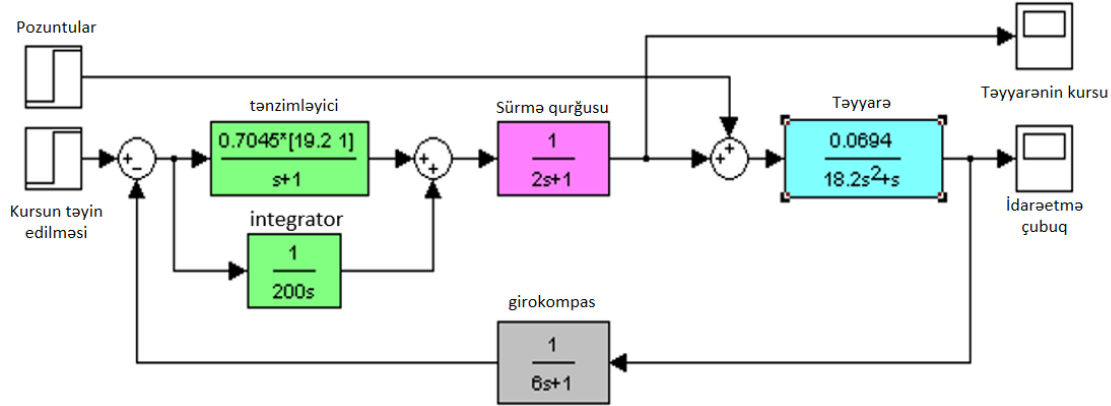
### PİD-tənzimləyicili sistemin tədqiqi.

PİD-tənzimləyicisindən istifadə zamanı işə sistemdə keçid prosesləri aşağıdakı kimi tədqiq olunurlar:

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s} \quad (7)$$

burada  $K_c = 0.7045$ ,  $T_s = 18.2$  san,  $T_v = 1$  san,  $T_I = 200$  san.

Xarici həyəcanlar nəzərə alınmaqla PİD-tənzimləyicili sistemin modeli şəkil 6-da verilmişdir.

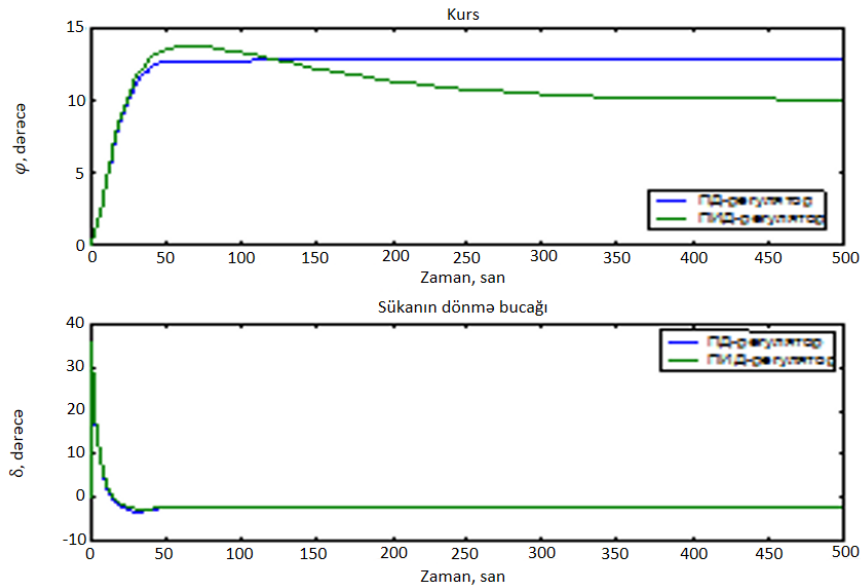


Şəkil 6. Xarici həyəcanlar nəzərə alınmaqla PİD-tənzimləyicili sistemin modeli

PİD-tənzimləyicili sistem üçün həyəcana görə ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.003813 s^4 + 0.006355 s^3 + 0.00286 s^2 + 0.0003178 s}{s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.008877 s^2 + 0.0002255 s + 1.589e-006}$$

PD və PİD-tənzimləyicili sistemlərdə keçid prosesləri şəkil 7-də təsvir edilmişlər.



Şəkil 7. PD və PİD-tənzimləyicili sistemlərdə keçid prosesləri

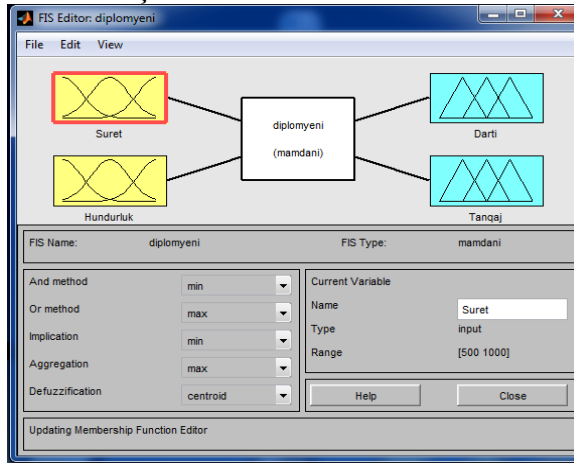
PİD-tənzimləyicili açıq sistemin ötürmə funksiyası:

$$\frac{0.004298 s^2 + 0.0002255 s + 1.589e-006}{s^6 + 1.722 s^5 + 0.8416 s^4 + 0.1245 s^3 + 0.004579 s^2}$$

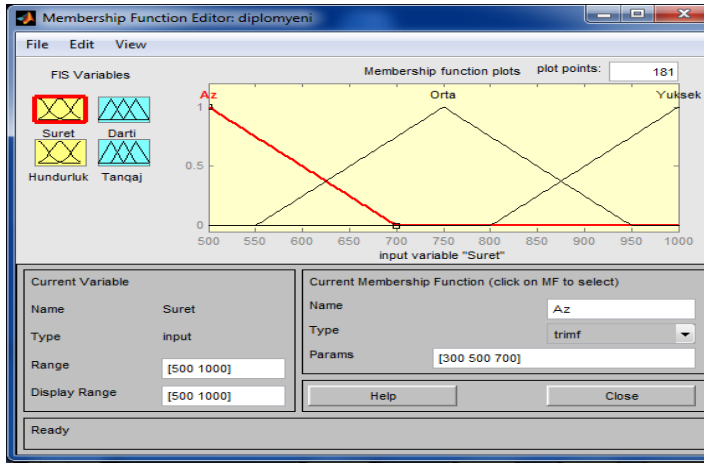
Amplituda görə dayanıqlıq ehtiyatı  $d g_m = 18.4$  dB, fazaya görə  $\varphi_m = 63^\circ$ , ehtiyatlar kifayət qədərdir.

### Qeyri-səlis tənzimləyicinin modelləşdirilməsi.

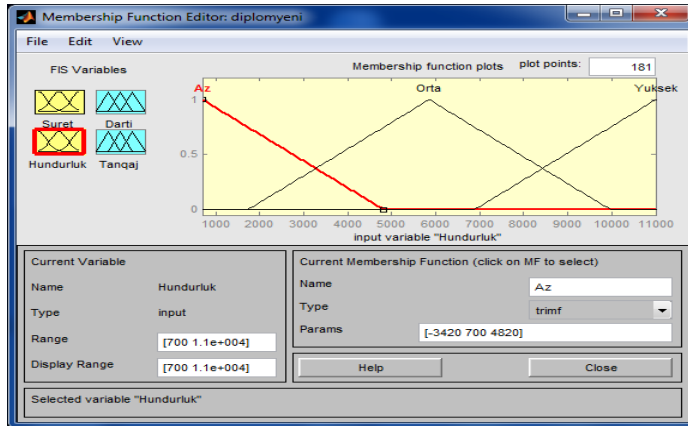
Qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinə müvafiq olaraq qeyri-səlis tənzimləyicinin modelləşdirilməsi zamanı modelin giriş və çıxış parametrlərinin sayı müəyyən edilməlidir. Bizim misalda təyyarənin idarə edilməsində əsas etibarilə istifadə olunan giriş parametrləri kimi sürət və hündürlük, çıxış parametrləri kimi isə dartı avtomatı və tanqaj bucağı götürülmüşdür. Həmin parametrlərin MATLAB proqram mühitinin “Fuzzy Logic Toolbox” paketində müvafiq mənsubiyyət funksiyaları (Membership Function Editor) ilə birlikdə təsviri şəkil 8-də verilmişdir. Giriş parametrlərinin diapazonunu üç hissəyə bölərək aşağı, orta və yüksək kimi təyin edirik. Sürət parametrlərinin diapazonu 500-1000km/san, hündürlük parametrlərinin diapazonu isə 700-2000m təşkil edir. Sürət və hündürlük parametrlərinin hər birinin ayrılıqda görünüşləri şəkil 9 və şəkil 10-da verilmişdir.



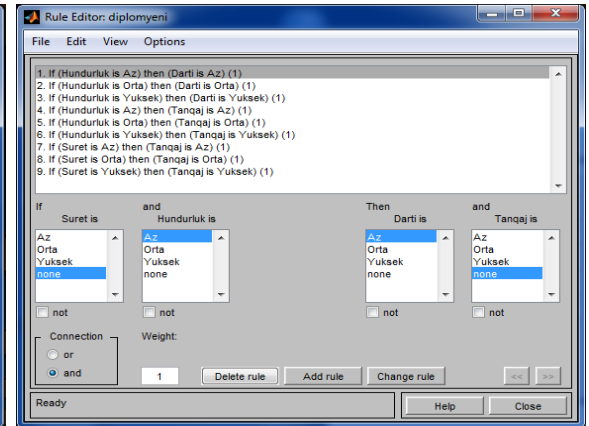
Şəkil 8. Nəzarət olunan parametrlər və onların mənsubiyyət funksiyaları



Şəkil 9. Sürət parametri



Şəkil 10. Hündürlük parametri



Şəkil 11. Qaydalar pəncərəsi

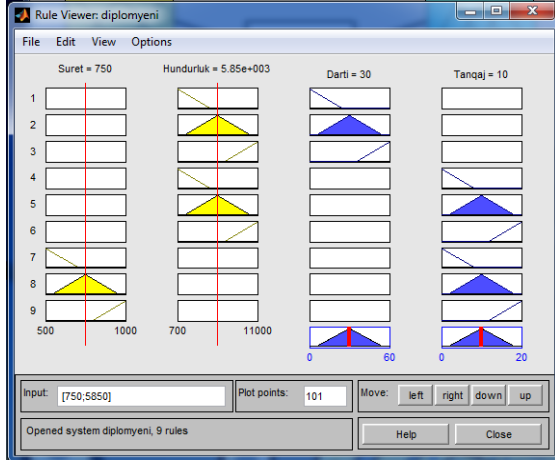
Şəkil 11-də göstərilirdiyi kimi iş rejiminin verilməsi qaydalarını yaradırıq. İş rejimləri uçuş aparatının xarakteristikalarına, müxtəlif rejimlərə uyğun olaraq təyin edilir. Linqivistik qaydalar aşağıdakı kimi qeyd olunur:

- Əgər sürət=none and hündürlük=az, onda dartı=az
- Əgər sürət=none and hündürlük=orta, onda dartı=orta
- Əgər sürət=none and hündürlük=yüksək, onda dartı=yüksək
- Əgər sürət=az and hündürlük=none, onda tanqaj=az
- Əgər sürət=none and hündürlük=az, onda tanqaj=az
- Əgər sürət=orta and hündürlük=none, onda tanqaj=orta

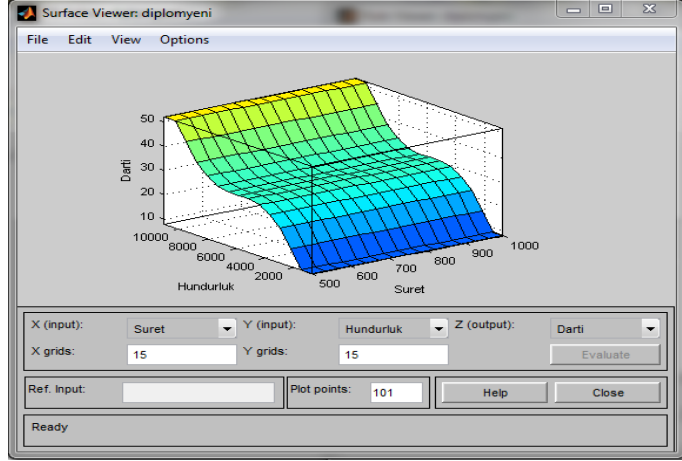
Əgər sürət=none and hündürlük=orta, onda tanqaj=orta

View menyusundan Rules əmrindən istifadə edərək qaydaları qrafiki olaraq şəkil 12-də görmək olar. Input sahəsindən giriş parametrini daxil edərək linqivistiq qaydalara uyğun olaraq çıxış parametrlərini müşahidə etmək olar.

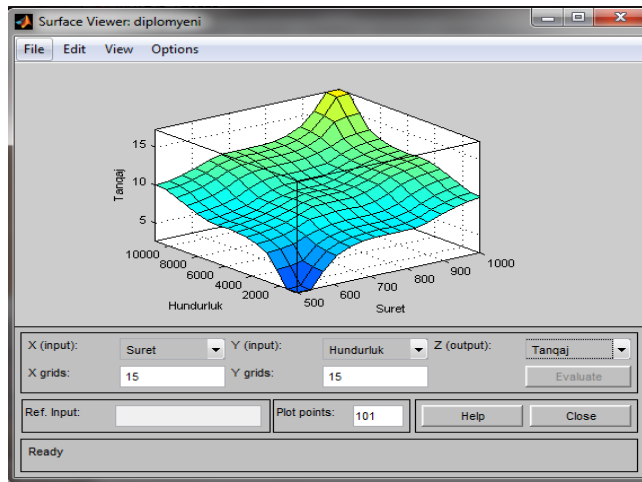
Uçuş aparatının sürətinin, hündürlüyünün, dartı avtomatının (şəkil 13) və tanqaj bucağının (şəkil 14) dəyişmə tempinin asılılıq qrafiklərinə View menyusundan Surface əmrindən istifadə edərək qrafiklərə baxa bilərik. Qrafiklərdə oxlar üzrə sürət və hündürlüyə uyğun olaraq çıxış parametrlərinin qiymətləri əks olunmuşdur.



Şəkil 12. Qaydalar qrafiki



Şəkil 13. Dartı avtomatı asılılıq qrafiki



Şəkil 14. Tanqaj bucağı asılılıq qrafiki

## Nəticə

Hava gəmisinin idarə olunması sisteminin bir mürəkkəb texniki sistem kimi modelləşdirilməsi əsaslandırılmış və modelləşdirmənin daha əyani şəkildə təsviri, həmçinin modelin parametrlərinin daha dəqiq təyin edilməsi üçün MATLAB/Simulink proqram vasitələrindən istifadə edilmişdir. Modelin tərkibinə daxil olan bütün komponentləri eksperimental tədqiqi, o cümlədən model üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən tənzimləyicilərin modelləşdirilməsinə və onların müxtəlif aspektlərdən tədqiqi məsələlərinə baxılmış, qeyri-səlis tənzimləyici üçün sürət və hündürlük giriş parametrlərə uyğun olaraq çıxış parametrləri - tanqaj bucağı və dartı avtomatının parametrləri hesablanmışdır. Model təyyarənin idarə olunan hərəkətini real zaman miqyasında imitasiya modelləşdirilməsini təmin edir.



## **ƏDƏBİYYAT**

1. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И.В.Черных. М.: Диалог-МФТИ, 2003. 496с.
2. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Аэродинамика самолёта: Динамика продольного и бокового движения. — М.: Машиностроение, 1979. 320с.
3. Бобиков А.И. Использование пакета Simulink/MATLAB для исследования систем управления (Построение блок-схем): Учеб. пособие. Рязань: РГРТА, 2003, 64 с.
4. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. СПб.: Питер, 2002, 432 с.
5. Верещагин Ю.О., Костин П.С., Волошин В.А. Программно-моделирующий комплекс для полунатурного моделирования динамики маневренного самолета.  
// Труды МАИ, 2015, №81, С. 1-30. [Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.mai.ru/publications/81-2015/1-30.pdf>
6. Aircraft Longitudinal Flight Control.  
<https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/aircraft-longitudinal-flight-control.html>
7. Aircraft pitch: simulink controller design.  
<https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch&section=SimulinkControl>
8. Aircraft Flight Dynamics, Control and Simulation Using MATLAB and SIMULINK Cases and Algorithm Approach.  
[https://www.academia.edu/11323688/Aircraft\\_Flight\\_Dynamics\\_Control\\_and\\_Simulation\\_Usin](https://www.academia.edu/11323688/Aircraft_Flight_Dynamics_Control_and_Simulation_Usin)
9. İsmayılov İ.M., Hüseynov K.K. MATLAB/Simulink mühitində texniki sistemlərin modelləşdirməsi üzrə laboratoriya işləri. Tədris-metodiki vəsait. MAA, Bakı, 2022. – 205 s.

## **REFERENCES**

1. Chernikh I.V. SIMULINK: sreda sozdaniya injenernikh prilozheniy/ İ.V.Chernikh. M.:Dialog-MFTI, 2003. 496s.
2. Byushgens Q. S., Studnev R.V. Aerodinamika samoleta. Dinamika prodolnoqo i bokovoqo dvizheniya.- M.: Mashinostroeniye, 1979. 320s.
3. Bobikov A.I. İspolzovanie paketa Simulink/MATLAB dlya issledovaniya sistem upravleniya.(Postroenie blok-skhem) Uçeb. Posobie.Ryazan: PQPTA, 2003, 64s.
4. Dyakonov V. P., Kruqlov V.V. MATLAB. Analiz, identifikasiya i modelirovanie sistem. SPb.: Piter, 2002, 432s.
5. Vereshagin Yu.O., Kostin P.S., Voloshin V.A. Proqrammno-modeliruyushiy kompleks dlya polunaturalnoqo modelirovaniya dinamik manebronnoqo samoleta.// Trudi MAI, 2015, № 81, s. 1-30 [Elektronniy resurs. Rejim dostupa: <http://www.mai.ru/publications/81-2015/1-30.pdf> (data obraşeniya 10.02.2021
6. Aircraft Longitudinal Flight Control.  
<https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/aircraft-longitudinal-flight-control.html>
7. Aircraft pitch: simulink controller design.  
<https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=AircraftPitch&section=SimulinkControl>
8. Aircraft Flight Dynamics, Control and Simulation Using MATLAB and SIMULINK Cases and Algorithm Approach.  
[https://www.academia.edu/11323688/Aircraft\\_Flight\\_Dynamics\\_Control\\_and\\_Simulation\\_Uin](https://www.academia.edu/11323688/Aircraft_Flight_Dynamics_Control_and_Simulation_Uin)
9. İsmayılov İ.M., Huseynov K.K. MATLAB/Simulink muhitinde tekhniki sistemlerin modelleshdirmesi uzre laboratoriya ishleri. Tedris-metodiki vesait. MAA, Bakı, 2022. 205s.

## ***SIMULATION OF THE AIRCRAFT LONGITUDINAL MOVEMENT CONTROL SYSTEM***

***Ismayilov I.M.***  
***National Aviation Academy***

*Research in the field of aircraft flight dynamics, assessment of stability and controllability characteristics, and development of algorithms for highly automated control systems are impossible without scientific and methodological support of these processes through simulation. Considering the above, in the article, in the MATLAB / Simulink software environment, a method for generating a simulation Simulink model of the aircraft longitudinal motion dynamics is proposed. For different approaches, the issues of modeling the aircraft control system are considered, ways to more accurately determine all the components included in the model are indicated, including the modeling of controllers that are of particular importance for the model and their study with various simulation variations. The use of a fuzzy controller as part of the model is also considered. For this case, a method is given for calculating input data, such as speed, altitude, as well as output data - pitch angle and autothrottle.*

***Keywords:*** *aviation system, aircraft flight dynamics, flight information monitoring, aircraft control systems, automatic control theory, modeling basics, Matlab/Simulink software, fuzzy logic.*

***Rəyçi: t.e.d., prof. Nəbiyev R.N.***

### ***Müəllif haqqında məlumat***

<b>Soyadı, adı, atasının adı</b>	<b>İş yeri</b>	<b>Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı</b>	<b>Əlaqə</b>
İsmayilov İsmayıl Mahmud oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	“Aerokosmik informasiya sistemləri” kafedrasının müdiri, AMEA-nın müxbir üzvü, t.e. d., professor	<a href="mailto:ismayil.maa@gmail.com">ismayil.maa@gmail.com</a> mob: (+994) 50 387-02-79

UOT: 004

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.005

## HİBRİD MÜHARİBƏ ANLAYIŞI VƏ ONUN MAHIYYƏTİ

*Musayev H.M.*

*Sərhəd Qoşunları Akademiyası*

*Məqalədə müasir şəraitdə müharibələrin təsnifatına diqqət yetirilir, onların içərisində hibrid müharibə anlayışı ayrıca təhlil olunur. Bu müharibənin ənənəvi müharibələri əvəz etməsindən ətraflı bəhs edilir. Hibrid müharibə formasının və onun tərkib elementi kimi dövlət terrorunun təhlili həyata keçirilir. Məqalədə müharibənin xüsusiyyətləri, təzahür formaları üzə çıxarılır. Yeni müharibə modeli kimi tədqiq olunmasının əhəmiyyəti vurğulanır.*

*Məqalədə sistemli yanaşma, müqayisəli təhlil, elmi ümumiləşdirmə kimi tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir. Məqalənin sonunda müvafiq nəticələr çıxarılır.*

*Açar sözlər: müharibə, hibrid, hibrid müharibə, terrorçuluq, dövlət terroru, separatizm, etnik münəqişə, informasiya təhlükəsizliyi, beynəlxalq terrorçuluq, təhlükəsizlik.*

Müharibələrin tarixi elə bəşəriyyət qədər qədim olsa da, XXI əsrdə ona bir çox yeni çalarlar əlavə olunub. Buna əsas səbəb elm və texnologiyaların sürətli inkişafı, elmi-texniki tərəqqinin nailiyyətlərinin bir çox sahələr kimi hər b sənətinə də sirayət etməsidir. İnformasiya texnologiyaları əsrində aparılan müharibələr həm də informasiya məkanını əhatə edir. Məhz virtual müharibələr yeni terminin – “hibrid müharibə” anlayışının meydana gəlməsinə səbəb olub. Hibrid müharibə termini XXI əsrin ilk onilliyində bir neçə alimin “gələcək münəqişələrin qarışıq və aydın olmayan xarakterinə” diqqət yetirdikləri zaman daha çox istifadə edilməyə başlandı [1, s. 76].

Son dövrlərdə beynəlxalq münasibətlərdə baş verən gərgin hadisələr, xüsusilə Ukrayna və Suriya ətrafında yaranmış böhranla əlaqədar “hibrid müharibə” terminologiyası siyasətçilərin nitqlərində, konseptual sənədlərdə öz əksini tapıb. Beynəlxalq siyasətdə qarşıdurmanın iki əsas güc mərkəzi - həm Qərb, xüsusilə ABŞ, həm də Rusiya Federasiyası milli təhlükəsizliyə dair sənədlərdə artıq bu termindən rəsmi surətdə istifadə edirlər. Məsələn, Rusiya Federasiyasının 2014-cü il dekabrın 26-da qəbul olunan yeni hərbi doktrinasında bu ölkəyə qarşı aparılan və ya aparıla biləcək hibrid müharibəsi əsas təhdidlərdən biri kimi göstərilib. Hibrid müharibəsi taktikası nəzəriyyələrini Rusiya Müdafiə Nazirliyinin Baş Qərargahı 2013-cü ildən etibarən daha fəal şəkildə araşdırmağa başlayıb. Baş Qərargahın rəisi ordu generalı Valeri Gerasimov müasir müharibələrin aparılması üsullarını təsvir edib. Bəzi rusiyalı alimlərin fikrincə, hazırda Rusiyaya qarşı aparılan hibrid müharibə iqtisadi, informasiya, mənəvi sahələrə nüfuz etməkdədir [2, s. 22].

Qərbin apardığı hibrid müharibə tərəflərin informasiya-psixoloji qarşıdurması olmaqla, informasiya məkanında başlayır, daha sonra ictimai rəyə psixoloji təsir göstərməklə davam edir. Bunun ardınca siyasi aksiyalar, kaos, “rəngli” inqilablar baş verir. Əgər bütün bunlar nəticə vermirsə, o halda Ukraynada olduğu kimi özündə hibrid müharibəsinin əlamətlərini ehtiva edən vətəndaş müharibəsi başlayır. Analitiklər gələcək müharibələrin məhz hibrid müharibə olacağını proqnozlaşdırırlar. ABŞ hərbi texnoloqları, xüsusilə İraq və Əfqanıstan ərazisində bəzi dövlətlərin və terror təşkilatlarının koalisiya üzvlərinə qarşı latent (gizli) texnologiyalardan istifadə etməklə, hibrid müharibə aparmasından narahatlıqlarını ifadə ediblər. Məhz bu məqsədlə, ABŞ öz

yurisdiksiyasına daxil olan Quam adaları və Puerto-Rikoda yerli və federal hüquq-mühafizə orqanları üçün terrorçu və qiyamçı qruplaşmalara qarşı təlimlər həyata keçirir [3, s. 19].

ABŞ Dəniz Piyadalarının keçmiş zabiti, hazırda isə Pentaqonun elmi əməkdaşı Frenk Hofman “hibrid müharibə” anlayışını siyasi məqsədlərə nail olmaq üçün düşmənin bir anda silahların mürəkkəb kombinasiyası, partizan müharibəsi, terrorçuluq və döyüş meydanında cinayətkar davranışları əhatə edən fəaliyyətinin məcmusu kimi təsvir edir. Hibrid müharibəsi konsepsiyasının əsas müəlliflərindən olan F.Hofmanın fikrincə, bu müharibədə qalib gəlmək üçün ordu, lazım gələrsə, cinayətkar dəstələrin rəhbərlərini ələ almaq, siyasi qətlər və terror aktları da törətmək olar [4].

ABŞ Müdafiə Departamentinin strateji planlaşdırma sənədlərində ölkənin üzleşdiyi qeyri-dövlət və dövlətlər tərəfindən dəstəklənən subyektlərin Amerikanın milli təhlükəsizliyinə qarşı yaratdıqları əsas təhdidlər kimi bunlar göstərilir: kompüter şəbəkələri və peyk hücumları, yer-hava tipli raketlər, informasiya və media vasitəsilə manipulyasiya, kimyəvi, bioloji, radioaktiv, nüvə və yüksək dərəcəli partlama gücünə malik olan maddələr. ABŞ Konqresi bununla əlaqədar Baş Hesablama Ofisinə müraciət edərək, hibrid müharibə anlayışının Müdafiə Departamenti tərəfindən nə dərəcədə düzgün təsnif olunduğunu, bu növ müharibənin digərlərindən nə ilə fərqləndiyini aydınlaşdırmağı tələb edib. Lakin qeyd etmək yerinə düşərdi ki, Müdafiə Departamenti ayrı-ayrı sənədlərdə “hibrid müharibə” terminindən istifadə etsə də, bu anlayışı öz doktrinasına daxil etməyib. ABŞ Xüsusi Əməliyyatlar Komandanlığı ənənəvi anlayışların əməliyyat şəraitini əks etdirmək üçün qənaətbəxş olmasını əsas gətirərək, hibrid müharibə terminindən istifadə etmir [5].

Hibrid müharibəsi adi, kiçik və kibermüharibəni birləşdirən hərbi strategiyasıdır. Habelə, “hibrid müharibəsi” termini Qərbdə CBRN adlandırılan nüvə, bioloji və kimyəvi silah növləri, eləcə də əldəqayıma partlayıcı maddələr və informasiya müharibəsi vasitəsilə edilən hücumu ifadə etmək üçün də işlədilir. Münaqişələrə belə yanaşma müharibənin güclü və mürəkkəb növünə aid edilir. Qərb mütəxəssislərindən ABŞ Dəniz Piyadaları Korpusunun zabiti Bill Nemettin fikrincə, bu, “müasir texnologiyaları və yeni səfərbərlik metodlarını birləşdirən partizan müharibəsinin müasir növüdür”. Strateji və Beynəlxalq Araşdırmalar Mərkəzinin əməkdaşı Neytan Frayer hibrid müharibəsinin özündə ehtiva etdiyi təhdidləri bu qaydada müəyyənləşdirib:

- ənənəvi;
- qeyri-standart;
- fəlakət həddində olan terrorçuluq;
- hərbi qüvvə baxımından üstünlüyə qarşı durmaq üçün texnologiyaların istifadə olunduğu dağıdıcı müharibələr.

ABŞ ordusunun polkovniki Cek Mak Kuen hibrid müharibəsini asimmetrik müharibədə əsas metod kimi qəbul edir. Onun fikrincə, bu cür müharibə 3 növ döyüş meydanında – münaqişə zonasının əhalisi, arxa cəbhənin əhalisi və beynəlxalq ictimaiyyət arasında aparıla bilər [6].

Son üç il ərzində “hibrid müharibə” termini fəal siyasi mühitdə daha çox istifadə olunur, lakin bu anlayışın hüquqi aspektləri kifayət qədər öyrənilməyib. “Hibrid müharibə” təhlükəli vəziyyətlərdə dövlətlərin informasiya sahəsindəki siyasi tendensiyaların davamını əks etdirən, aydın hüquqi məzmunu malik olmayan hərbi-güc terminologiyası kimi təqdim olunur.

Qarışıq müharibə konsepsiyası Tomas Huber tərəfindən ortaya atılıb. Bununla o, nizamlı və nizamsız qüvvələrin eyni vaxtda vahid istiqamətdə mübarizə aparmasını ehtiva edən əsas müharibələri nəzərdə tutub. Huber Amerika inqilabı, Vyetnam müharibəsindəki qarışıq müharibə, Sovetlərin Əfqanıstandakı təcrübəsi və s. kimi illüstrativ keyslərə diqqət yetirib. Huber qeyd edir: “Qarışıq müharibə düşməne qarşı nizamlı və əsas qüvvələrin nizamsız və ya partizan qüvvələrlə

eyni vaxtda istifadə edilməsidir. Başqa sözlə, qarışıq müharibələrlə iştirakçılar eyni vaxtda həm ənənəvi, həm də qeyri-ənənəvi güc tətbiq edərək hərbi gücünü artırır” [7, s. 68]. Hoffman mürəkkəb müharibə nəzəriyyəsini “strateji səviyyədə sinerji və kombinasiyalar” kimi ifadə edib, lakin əslində Huberin təqdim etdiyi tarixi hadisələr göstərir ki, “silahlı və nizamsız qüvvələr nizamlı qüvvələrlə işləyəndə nizamsız qüvvələr ikinci yerdə qalır və onlar ikinci növ ənənəvi qüvvə kimi nəzərdən keçirilir” [4].

Mövcud vəziyyətdə hüquq kontekstində beynəlxalq hüquqi terminologiyanın istifadəsinin və onun gələcək inteqrasiyasının mümkünlüyü barədə ciddi müzakirələr aparılır. “Hibrid müharibə” fenomeni beynəlxalq münasibətlərin informasiya komponenti kimi əhəmiyyətli dinamik artım göstərir və əsasən heç bir fiziki təsir etmədən “rəngli inqilablar” və ya “ərəb baharı” anlayışlarının həyata keçirilməsinin məntiqi davamı hesab olunur.

30 ildir ki, mövcud olan “dövlət terroru” beynəlxalq hüquq termini olduğu halda beynəlxalq hüquq aparatına “hibrid müharibə” termininin daxilolma perspektivi çox qeyri-müəyyən görünür. Bununla yanaşı, informasiya-kommunikasiya sahəsi dinamikasına görə beynəlxalq hüquqi tənzimləmə obyektini kimi çox mürəkkəbdir. Biz “hibrid müharibə” hüquqi anlayışını klassik hərbi güc kateqoriyaları sırasında ən əhəmiyyətli beynəlxalq hüquqi məsələ kontekstində araşdırmalıyıq. Bu kontekstdə sual yaranır – kiberhücum dövlət özünümüdafiəsinin əsası hesab oluna bilərmi və “hibrid müharibə”yə aid edilə bilən bu hərəkətlər beynəlxalq hüquqi məsuliyyət üçün əsas kimi təsnif edilə bilərmi?

Hibrid müharibəsi (ing. hybrid warfare) - təcavüzkarın klassik hərbi müdaxiləyə müraciət etmədiyi, ancaq gizli əməliyyatlar, təxribatlar, kiberhücumlar kombinasiyasından istifadə edərək düşmən bölgəsində fəaliyyət göstərən üsyançılara dəstək verən müharibə növüdür. Eyni zamanda, bu müharibə növündə hərbi əməliyyatlar ümumiyyətlə aparılmaya bilər və rəsmi nöqtəyi-nəzərdən sülh dövründə hibrid müharibəsi davam edə bilər [5].

Təcavüzkar bu hərəkətlərin strateji əlaqələndirilməsini həyata keçirir, eyni zamanda münaqişədə iştirakını inkar etmə ehtimalını saxlayır. XX əsrin sonu - XXI əsrin əvvəllərindəki hibrid müharibələrinin klassik nümunəsi kimi Əfqanıstandakı müharibələr (SSRİ-nin Əfqanıstan müharibəsinin başlanğıc dövründəki hərəkətləri (1979-1989), həmçinin ABŞ, Pakistan, Çin və digər dövlətlərin mücahidlərə dəstək verməsi və Talibana qarşı silahlı mübarizə zamanı etdiyi hərəkətlər) göstərilir [3]. Hibrid müharibəsindən əvvəl asimmetrik müharibə ola bilər. Üsyançıların döyüş bacarıqları böyüdükcə, asimmetrik müharibə hibrid müharibəyə çevrilə bilər.

İnformasiya müharibəsi həmişə ənənəvi hərbi-güc qarşılıqlı əlaqəsində dövlətlərin ayrılmaz hissəsi olub, lakin son illərdə beynəlxalq münasibətlərdə informasiya komponenti əhəmiyyəti və ciddi artım ilə müşayiət olunur. 2017-ci ilin fevralında “Microsoft” korporasiyasının rəhbəri B.Smit kibercinayətkarlığa qarşı mübarizə üzrə “Rəqəmsal Cenevrə Konvensiyası”nın yaradılmasını, eləcə də digər ölkələrə qarşı kiberhücumların hökumətlər tərəfindən maliyyələşdirilməsini araşdırmaq üçün müstəqil təşkilat qurmaq təklif etdi [2].

Rusiyada isə 2017-ci ilin fevralında informasiya əməliyyatları aparacaq qüvvələrin yaradılması rəsmən elan olundu. Yuxarıda göstərilən nümunələr mövcud mərhələdə dövlətlərin informasiya qarşılıqlı əlaqəsinin vacibliyini aydın göstərir. Əgər, “informasiya müharibəsi” termini bizə kifayət qədər tanışdırsa, “hibrid müharibə” termini son bir neçə ildə işlənməyə başlayıb. “Google” axtarış mühərrikində “hibrid müharibə” sözünün sorğu dinamikası göstərir ki, bu termin 2014-ci ilin yazına qədər xüsusi maraq kəsb etməyib. Sanki bu termin bilərəkdən media məkanına “atılan” və çoxsaylı ekspertlərin və akademik icmaların çoxsaylı müzakirə və şərhələrinə səbəb olan bir ifadə idi. “Hibrid müharibə” termininin siyasi və hüquqi konteksti, bu terminin beynəlxalq

hüquq terminologiyasına daxil edilməsi perspektivləri aktuallığına baxmayaraq, qeyri-müəyyən görünür [6].

Uzun müddət “hibrid müharibə” “informasiya müharibəsi”, “rəngli inqilab” beynəlxalq hüquqa aidiyyəti olmayan sırf siyasi elementlər kimi qəbul edilirdi. Lakin son zamanlar Qərb ekspertləri tərəfindən “hibrid müharibə”nin beynəlxalq hüquqi aspektləri fəal araşdırılmağa başlayıb. Ölkəmizin beynəlxalq hüquq doktrinası, ümumiyyətlə “hibrid müharibə” termini ilə “əməliyyat aparmağa” üstünlük vermir, çünki bu söz beynəlxalq hüquq termini kimi qəbul edilməyib. Digər tərəfdən, bu mövqe, terminin mövcud beynəlxalq hüquqi sənədlərdə də təsbit olunmadığına görə əsaslı hesab oluna bilər. Digər prizmadan, son onillikdə “humanitar müdaxilə” və ya “uğursuz dövlət” terminlərinin mövcud beynəlxalq hüququn bütün strukturuna güclü təsir göstərdiyinin də şahidiyik [8, s. 78].

Beynəlxalq ictimaiyyətin bütün söylərinə baxmayaraq, müasir beynəlxalq hüquqda gücdən istifadə problemi tamamilə həll olunmadığı aydındır, lakin son onilliklərdə bir çox ölkələr açıq təcavüzkar siyasətlərini həyata keçirilməsi məqsədi ilə beynəlxalq ictimaiyyətin gözündə öz hərəkətlərinə maksimum legitimlik qazandırmaya çalışır. Belə hərəkətlərə misal kimi Rusiya Federasiyasının Ukrayna dövlətinə qarşı həyata keçirdiyi böyük insan tələfatı və dağıntılarla, yaşayış məskənlərinin, iri şəhərlərin viran qoyulması ilə müşayiət olunan hərbi təcavüzünü göstərmək olar, halbuki Rusiya tərəfi bu təcavüzkar müharibəni xüsusi əməliyyat adlandırır. Buna görə də “müharibə” termini BMT Nizamnaməsinin birbaşa pozulmasına işarə etdiyinə görə son illərdə daha az işlənir, əvəzində isə çox tez-tez “beynəlxalq münaqişə” və ya “beynəlxalq böhran” terminlərinə rast gəlirik. Bundan əlavə, son onilliklərdə açıq hərbi münaqişələrdən daha çox gizli münaqişələrə rast gəlirik. Bu faktlar dünyada baş verən vətəndaş müharibələrinin, separatizmin və “öz milli müqəddəratını təyin etmə” meyllərinin sayının görünməyən həddə artmasına gətirib çıxarıb. V.S. Kotlyar, “hibrid müharibə” ifadəsinin müasir istifadəsinin iki əsas kontekstini qeyd edir. Birinci kontekst, müntəzəm olmayan hərbi qurumların, təhlükəsizlik xidmətlərinin xidmətlərindən istifadə edərək, təxribat, sabotaj, diversiya, informasiya, maliyyə və iqtisadi əməliyyatlar, kiberhücumlar, insanların davranışına psixoloji təsir göstərmək və s. kimi pozuculuq fəaliyyətləri yerinə yetirməkdən ibarətdir [8, s. 72].

İkinci kontekst isə, hücum edən ölkənin müntəzəm Silahlı Qüvvələrdən istifadə etmədən, onun maraqlarını paylaşan qurban verilən rəqib ölkənin daxili siyasi gücünə dəstək verərək, mövcud rejimi və ya onun siyasətini radikal şəkildə dəyişdirmək üçün irimiqyashlı təxribat əməliyyatlarının həyata keçirilməsi ilə bağlıdır [5].

Belə ki, beynəlxalq hüquq mühakiməsində “hibrid müharibə”ni qarşıdurma zamanı klassik hərbi güc xaricində düşməyə müxtəlif təsir vasitələrindən istifadəni nəzərdə tutan “çətir” terminlərə aid etmək olar. Qeyd etmək vacibdir ki, beynəlxalq hüquqda 30 ildən artıqdır ki, tərkibində “hibrid müharibəyə” çox yaxın olan “dövlət terrorizmi” termini var. “Dövlət terrorizmi” çoxşaxəli bir termdir, lakin onun bütün təzahürləri bir dövlətin başqa bir dövlətə qarşı yönələn gizli təsirlərindən ibarət olur. Bu ekstremist və terrorçu təşkilatların dəstəklənməsindən ibarət “dövlət dəstəkli terrorçuluq” adlanan bir fəaliyyət (Yuxarı Qarabağda ermənilərin böyük dövlətlər tərəfindən hərtərəfli dəstəklənməsi, dövlət terrorunun klassik nümunəsidir) də hesab edilə bilər. Bu həmçinin geniş və uzaq planları olan, digər ölkə müxalifətinə maliyyə dəstəyi göstərən dövlət fəaliyyəti (faktiki olaraq, hər hansı bir “rəngli inqilab” və ya “Ərəb baharı” formatına uyğun gəlir) də ola bilər. “Dövlət terrorizmi”nə, başqa dövlətin ərazisində xüsusi xidmət orqanlarının qanunsuz olaraq həyata keçirilən fəaliyyətini də aid etmək olar. Bu cür fəaliyyətlərə bir başqa dövlətin səfirliklərinin və ya digər qurumlarının qeyri-

qanuni dinlənilməsi, strateji obyektlərin sıradan çıxarılması, siyasi xadimlərin aradan götürülməsi kimi fəaliyyətlər də aiddir. Cenevrə Bəyannaməsi (1987) “dövlət terrorizmi” siyasətinin qanunsuzluğunu qeyd edir, lakin bu məsələ ilə bağlı tammiqyaslı qadağanetmə konvensiyası hələ ki, qəbul olunmayıb [8].

“Hibrid müharibə” konsepsiyasının ortaya çıxması səbəbləri “Hibrid müharibə” fenomeninin ortaya çıxması üçün üç əsas səbəb qeyd edə bilərik. Onları, şərti olaraq, “hüquqi”, “hərbi” və “texniki” qrup kimi qəbul edək. Birinci səbəblər qrupu (“hüquqi”) birbaşa BMT Nizamnaməsinin (1945) 2-ci maddəsində əks olunub və dövlətlərarası ziddiyyətləri həll etmək üçün silahlı təcavüzün tətbiq edilməsinə qadağa ilə bağlıdır. Bu maddənin məcburi prinsiplial tətbiqi nəticəsində ayrı-ayrı dövlətlər silahlı gücdən istifadə etmədən xarici siyasət məqsədlərinin həyata keçirilməsini qeyri-zorakı üsullarla axtarmağa başladılar. Bir sıra ekspertlər hesab edirlər ki, Sovet İttifaqı və ABŞ arasında on illərlə davam edən “Soyuq Müharibə” şəraitində “hibrid müharibə”nin fərdi elementlərindən istifadə edilməsi normal haldır: birbaşa hərbi toqquşma mümkün olmadığı üçün, ABŞ və Rusiya hər silahlı münaqişə zamanı döyüşən tərəflərdən birini hərbi baxımdan dəstəkləyirdi [9].

İkinci “hərbi” səbəblər qrupudur. Qlobal hərbi güc qarşılıqlı beynəlxalq hüquq baxımından getdikcə aktuallığını itirməsindən başqa faktiki səmərəliliyini də itirir. Silahlı aksiyaların kütləvi təbiəti, böyük ordunun istifadəsi artıq keçmişdə qalıb. Qərbi ölkələrində bu tip münaqişələrdə verilən çoxsaylı itkilər seçicilərin (İraq və Əfqanıstandakı münaqişələrə qarşı ABŞ-da kütləvi nümayişlər) etirazına səbəb olur. “İnformasiya müharibəsində” itkilər hərbi qüvvələrin qarşılıqlı ilə müqayisə ediləcək qədər böyük olur. Hal-hazırda informasiya qarşılıqlı və “yumşaq güc” ilə təsir faktiki olaraq mövcud beynəlxalq hüquq sahəsindən kənara çıxıb. İnformasiya axını, davamlı olaraq, orta vətəndaşın üzərinə tökülür və tədricən onun dünya görünüşünü, dəyərlərini dəyişir. Beləliklə, “hibrid müharibənin” məqsədlərindən biri “cəmiyyətin əsas əhəmiyyətli dəyərlərini təcavüzkarın mənəvi və psixoloji münasibəti ilə əvəz edilməsi” baş tutur. Daxili ekspertlər “hibrid müharibə”də insanların etno-psixoloji, cins, yaş və digər xüsusiyyətləri, onların kütləvi şüuruna yönələn məlumatlarda kütləvi manipulyativ psixotexnologiyalardan istifadə ilə müşayiət olunduğunu qeyd edirlər [10].

İnformasiya və kommunikasiya texnologiyaları, xüsusilə İnternet vasitəsilə məlumatların yayılması sayəsində “hibrid müharibə”nin hərbi əməliyyatlar teatrı nəzəri olaraq istənilən ölkə ola bilər. “Hibrid müharibə” mövzusunun gerçəkləşdirən səbəblərin üçüncü qrupu “texniki” olaraq təyin edilib. Çünki bu, müasir dövlətlərin texniki cəhətdən artan imkanları ilə əlaqəli olur. İnformasiya məkanının son iki onilliyi ərzində, kütləvi kommunikasiya sahəsində yeni texnologiyaların yaranması səbəbilə, qeyri-zorakı qarşılıqlı üçün, bahalı və texniki cəhətdən çətin olan klassik hərbi-güç qarşılıqlı nisbətən daha ucuz və effektiv vasitələrin istehsalına gətirib çıxardı. Bir tərəfdən raket əleyhinə kompleksin yerləşdirilməsi, xidmət olunması və saxlanması, digər tərəfdən isə nəzarətdə olan kütləvi informasiya vasitələrində dezinformasiya yerləşdirilməsi arasında yaranan maliyyə fərqi hamıya aydındır. “Hibrid müharibə”lərin hüquqi tənzimlənməsinin perspektivləri bəzi hallarda informasiya sahəsinə təsir göstərən, məsələn, BMT Baş Assambleyasının 18 sayılı qətnaməsi kimi deklarativ xarakterli bir çox beynəlxalq sənədlər var [11].

Digər tərəfdən, hələ də yerinə yetirilməsi məcburi olan həqiqətən təsirli normativ və hüquqi sənədlər çox azdır. İnformasiya mübadiləsi sahəsində ən görkəmli və çoxtərəfli sənədlərdən biri Avropa Şurasının 2001-ci ildə qəbul edilmiş kibercinayətkarlıq haqqında Budapeşt Konvensiyasıdır. Lakin bu sənəd ilk növbədə iştirakçı dövlətlərin sayını əhəmiyyətli

dərəcədə məhdudlaşdırır; ikincisi, informasiya texnologiyalarının inkişafını nəzərə alaraq, 17 il əvvəl qəbul edilən Konvensiyada dəyişiklik edilməlidir; üçüncüsü, bu Konvensiyanın müəyyən müddəaları məzmun baxımından mübahisəli olduğu və hətta bəzi ekspertlər tərəfindən “qlobal miqyasda casusluğu qanuniləşdirmək cəhdi” kimi dəyərləndirilir. Ümumən, hüquqi bazanın tətbiqi siyasi konsensus tələb edir, lakin informasiya məkanı minimum uyğunlaşdırılmadan və ya ümumi terminologiya tətbiqindən hələ çox uzaqdır [7].

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, hibrid müharibə müasir dövrdə istifadəsi daha çox mümkün olan müharibə növlərindən biridir.

## **ƏDƏBİYYAT**

1. Hərb tarixi. I cild, Bakı, 2000, s.76.
2. Martin van Kreveld. Трансформация войны. Москва, Социум. 29 янв. 2022, s.22.
3. Мэри Калдор. Нефть и конфликты. М. 2007, s.19.
4. Чарльз Блэнди. Воздействие бакинской нефти на Нагорно-Карабахский конфликт. М., 1997.
5. Воронкова А.А. Политика националистической мобилизации, конфликты и насилие. М., 2008. Издательство МГУ. 57 с.
6. Хаймо Хофмастер. Воля к войне или бессилие политики. М., 2001.
7. Thomas Huber. Dynamics of Governance and Control on Internationale Organizational Software Development. Cuvillier. 2014. P. 204. s.68.
8. В.С. Котляр. Международное право и современные стратегические концепции. Москва, 2008, s. 72-78.
9. Актуальные международно-правовые и гуманитарные проблемы. Дипломатическая Академия МИД РФ. Москва, 2000.
10. Alexander Huber, Thomas Huber, Reinhold Messner. The Wall: A New Dimension in Climbing / 2001.Washington D.C.
11. Thomas Huber, Van Horn Vail, Kimberly Sparks / Modern German. 1978, s.24.

## **REFERENCES**

1. Herb tarixi. I jild, Bakı, 2000, s.76.
2. Martin van Kreveld. Transformatsiya voyni. Moskva, Sotsium. 29 yan. 2022, s.22.
3. Meri Kaldor. Neft' i konflikti.M.2007, s.19.
4. Charl'z Blendi. Vozdeystve bakinskoy nefti na Naqorno-Karabaghskiy konflikt. M., 1997.
5. Voronkova A. A. Politika natsionalisticheskoy mobilizatsii, konflikti i nasilie. M., 2008. İzdatel'stvo MGU. 57 s.
6. Khaymo Khofmaster. Volya k voyne ili bessilie politiki. M., 2001.
7. Thomas Huber. Dynamics of Governance and Control on Internationale Organizational Software Development. Cuvillier. 2014. P. 204. s. 68.
8. V.S. Kotlyar. Mejdunarodnoe pravo i sovremennie strategicheskie kontseptsii. Moskva, 2008, s.72-78.
9. Aktual'nie mejdunarodno-pravovie i gumanitarnie problemi. Diplomaticeskaya Akademiya MID RF. Moskva, 2000.
10. Alexander Huber, Thomas Huber, Reinhold Messner. The Wall: A New Dimension in Climbing / 2001.Washington D.C.
11. Thomas Huber, Van Horn Vail, Kimberly Sparks / Modern German. 1978, s. 24.



## **THE CONCEPT OF HYBRID WARFARE AND ITS ESSENCE**

**Musayev H.M.**  
**Border Troops Academy**

*The article focuses on the classification of wars in modern conditions, among which the concept of hybrid war is analyzed separately. The fact that this war replaced traditional wars is discussed in detail.*

*Analysis of the form of hybrid war and state terror as its constituent element is carried out. The features and forms of this war are revealed. The importance of studying it as a new war model is emphasized.*

*Research methods such as systematic approach, comparative analysis, and scientific generalization were used in the article. Relevant conclusions are drawn at the end of the article.*

**Keywords:** war, hybrid, hybrid war, terrorism, state terrorism, separatism, ethnic conflict, information security, international terrorism, security.

**Rəyçi:** *h.f.d., dos. Nağıyev N.T.*

### **Müəllif haqqında məlumat**

<b>Soyadı, adı, atasının adı</b>	<b>İş yeri</b>	<b>Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı</b>	<b>Əlaqə</b>
Musayev Hafiz Məhərrəm	Sərhəd Qoşunları Akademiyası	h.f.d.	mob: (+994) 50- 211-23-78

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ НА $m$ -ИЧНЫХ КОДАХ

*Маммадов М.Ф.*

*Азербайджанский Технический Университет*

*Развитие высоких технологий и бурный рост вычислительных ресурсов выдвигает более жесткие требования к механизмам защиты, особенно на основе криптографических преобразований. Проведенные исследования показали, что методы формирования псевдослучайных чисел (ПСЧ) на основе  $m$ -ичных избыточных блоковых кодов допускают эффективную программную и аппаратную реализацию. Установлено, что задача нахождения секретных ключевых данных при их использовании сводится к решению теоретико-сложностной задачи декодирования случайного кода. В статье приводится исследование стойкости разработанных генераторов псевдослучайных чисел (ГПСЧ) к различным атакам криптоанализа, в том числе, с использованием методов неалгебраического кодирования.*

**Ключевые слова:** генератор псевдослучайных чисел, вектор инициализации, методы неалгебраического кодирования, избыточный код,  $m$ -ичные избыточные коды, псевдослучайные генераторы.

**Введение.** Для оценки стойкости разработанных ГПСЧ на  $m$ -ичных кодах [1,2] к криптографическим атакам противника рассмотрим метод формирования ПСЧ на основе избыточных блоковых кодов и метод, позволяющий формировать ПСЧ с повышенной длиной периода.

Как следует из формального математического определения [3] под секретным ключом в усовершенствованном методе формирования ПСЧ понимается начальное состояние РСЛОС (регистр сдвига с линейной обратной связью), которое используется для генерации последовательности максимального периода. Фрагмент формируемой ПСЧ задается значением функции:

$$\text{ППСЧ} = \phi (N_x, \gamma(\phi((K_i) \times (\phi(S_{K_i})))))) \quad (1)$$

где  $K_i = (K_{i_0} \ K_{i_0} \ \dots \ K_{i_{m-1}})$  – значение секретного ключа;

$S^*K_i = (S^*K_{i_0} \ S^*K_{i_1} \ \dots \ S^*K_{i_{m-1}})$  – последовательность обратной связи (на первом раунде – системная константа).

Как было показано во втором разделе нахождение противником секретных ключевых данных  $K_i$  по известной (перехваченной) ПСЧ сопряжено с поиском вычислительно эффективных алгоритмов выполнения обратного отображения  $\phi^{-1}$  (ППСЧ). Поскольку ПСЧ представляет собой фрагментарное объединение синдромной последовательности, задача выполнения обратного отображения  $\phi^{-1}$  (ППСЧ), т.е. задача нахождения противником секретных ключевых данных  $K_i$  эквивалентна теоретико-сложностной задаче декодирования случайного кода.

Для разработанного метода формирования ПСЧ с повышенной длиной периода задача поиска секретных ключевых данных сводится к выполнению обратного отображения  $\xi^{-1}(C^*K_i)$ , причем ПСЧ есть результат нескольких функциональных отображений, что в общем виде можно записать как:

$$\text{ППСЧ} = C^*k_i = \xi \ S^*k_i, C_{k_i} = \xi \ \psi \ S_{k_i}, \Lambda, \phi \ I_{k_i} = \xi(\psi \ \gamma \ \phi^* \ K_i^*, \Lambda, \phi(\phi \ K_i))$$

Секретным ключом в таком генераторе выступают два вектора  $K_i$  и  $K_i^*$ , которые являются начальными состояниями соответствующих ЛРР, т.е. секретные ключи как результат выполнения обратных отображений можно найти, выполнив обратное отображение  $\xi^{-1}(C^*k_i)$ , т.е. решив задачу декодирования.

$$K_i = \varphi^{*-1}(\gamma^{-1}(\psi^{-1} \xi^{-1}(S^*k_i))) \quad (2)$$

$$K_i^* = \varphi^{-1}(\xi^{-1}(C^*k_i)) \quad (3)$$

Выполнение обратных отображений  $\varphi^{*-1}$ ,  $\gamma^{-1}$ ,  $\psi^{-1}$  и  $\varphi^{-1}$  усложняет противнику криптоанализ, но эти преобразования не связаны с решением теоретико-сложностных задач. Следовательно, в оценке криптостойкости предлагаемых генераторов учитывать сложность реализации обратных отображений  $\varphi^{*-1}$ ,  $\gamma^{-1}$ ,  $\psi^{-1}$  и  $\varphi^{-1}$  не будет учитываться.

Таким образом, для предложенных методов [задача нахождения противником секретных ключевых данных эквивалентна задаче декодирования применяемого блочного кода, т.е. выполнению обратных отображений  $\phi^{-1}$  (ППСЧ) (усовершенствованный метод) и  $\xi^{-1}$  (ППСЧ)

(предложенный метод с повышенной длиной периода). В случае, когда противнику неизвестно правило быстрого (алгебраического) декодирования (оно может и не существовать вовсе, если применяемый код является случайным), тогда противник вынужден применять неалгебраические методы декодирования случайного кода. Вынудить противника использовать вычислительно сложный неалгебраический алгоритм декодирования – основная цель разработчика криптосистем на избыточных кодах. Таким образом, актуальность научно-практической задачей является оценка теоретической стойкости ГПСЧ на основе  $m$ -ичных кодов [4].

*Целью статьи* является оценка теоретической стойкости выходных последовательностей ГПСЧ на основе  $m$ -ичных кодов.

Проанализируем возможные пути решения задачи неалгебраического декодирования, рассмотрим основные методы и алгоритмы декодирования случайного кода, оценим вычислительную сложность их практической реализации.

*Корреляционный декодер.* Наиболее простой и эффективный метод декодирования избыточных блочных кодов небольшой длины является корреляционный способ, основанный на сравнении принятого кодового слова с ошибками со всеми кодовыми словами и выборе ближайшего кодового слова (в метрике Хемминга). Этот метод позволяет осуществить декодирование по критерию максимального правдоподобия (критерию максимальной схожести принятого слова с ошибками и отождествляемого ему кодового слова) и является оптимальным с точки зрения минимизации ошибки декодирования кодового слова. Графическая интерпретация корреляционного декодера представлена на рисунке 1.

На рисунке. 1 схематично точками изображены все кодовые слова  $C_i$ ,  $i = 1, \dots, q^k$  блочного  $(n, k, d)$  кода над  $GF(q)$  как элементы векторного пространства  $GF^n(q)$ . Принятое кодовое слово с ошибками  $C^*$  не принадлежит множеству кодовых слов, но принадлежит пространству  $GF^n(q)$ .

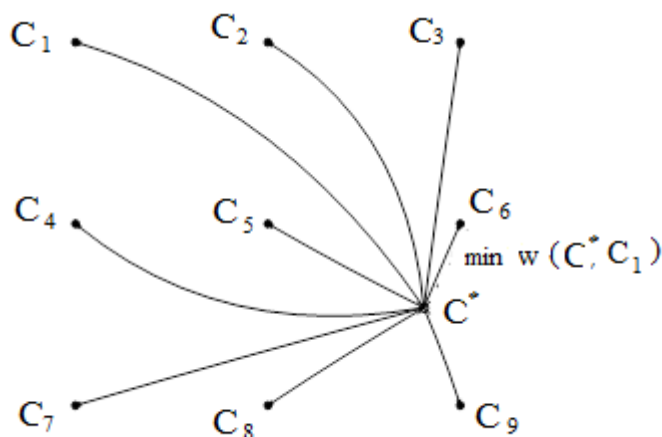


Рисунок 1. Графическая интерпретация корреляционного декодера

Корреляционный декодер сравнивает (в метрике Хемминга) принятую последовательность  $C^*$  (представлена крестиком на рисунке) со всеми кодовыми словами, т.е. вычисляет расстояние по Хеммингу  $w(C^*, C_i), i = 1, \dots, q^k$  между принятой последовательностью  $C^*$  и кодовыми словами  $C_i$ . Это эквивалентно вычислению коэффициентов корреляции последовательностей  $C^*$  и  $C_i$ . Далее выбирается наименьшее расстояние  $\min_{i=1..q^k} w(C^*, C_i)$ , т.е. выбирается кодовое слово, наиболее коррелированное с принятой последовательностью. Выбранное кодовое слово принимается за результат декодирования. На рисунке в качестве примера приведен случай выбора наименьшего расстояния, когда соответствующее кодовое слово  $C_6$ , т.е.:

$$\min_{i=1..q^k} w(C^*, C_i) = w(C^*, C_6) \quad (4)$$

Оценим сложность решения задачи корреляционного декодирования. При использовании  $(n, k, d)$  блочного кода над  $GF(q)$  количество кодовых слов и соответствующих сравнений, которые требуется выполнить для корреляционного декодирования, определяется выражением:

$$N_{к.д.} = q^k \quad (5)$$

что при малых  $q$  и  $k$  легко реализовать на современной вычислительной технике. При больших значениях  $q$  и  $k$  реализация корреляционного декодера вычислительно сложна и нецелесообразна.

*Табличный (синдромный) способ декодирования* несколько проще корреляционного, но он предполагает линейность используемого кодового слова [5]. Применяемые в разработанных методах формирования ПСЧ коды являются линейными, следовательно, противник может воспользоваться синдромным декодированием для нахождения секретного ключа, т.е. для целей криптоанализа соответствующего ГПСЧ.

В основе табличного (синдромного) декодирования лежит сопоставление синдромной последовательности  $S_j$  (фрагмент ПСЧ в усовершенствованном методе) возможным векторам ошибок  $E_j$ . Синдромная последовательность  $S_j$  для предложенного метода с повышенной длиной периода может быть легко рассчитана по известным ПСЧ и

проверочной матрице кода  $H$  и кодовому слову с ошибками  $C^*$  (в предложенном методе это фрагмент ПСЧ):

$$S_j = C^* \cdot H^T \quad (6)$$

Принимая во внимание

$$C^* = C_i + E_j$$

и равенство

$$C_i \cdot H^T = 0, i = 1, \dots, q^k$$

получим

$$S_j = (C_i + E_j) \cdot H^T = C_i \cdot H^T + E_j \cdot H^T = E_j \cdot H^T$$

т.е. синдромная последовательность  $S_j$  зависит только от вектора ошибок  $E_j$  и не зависит от конкретного кодового слова  $C_i$ . Следовательно, для реализации неалгебраического декодирования линейного блочного кода с произвольной структурой достаточно сохранять соответствие всех синдромных последовательностей  $S_j$  и векторов ошибок  $E_j$ , например, в виде таблицы декодирования (см. таблица 1).

В таблице 1 схематично представлено соответствие синдромных последовательностей  $S_j$  и векторов ошибок  $E_j$ , а так же значения искаженных ошибками кодовых слов  $C^*$  (как фрагмент ПСЧ, например).

Таблица 1

Таблица декодирования линейного блочного кода в общем виде

$E_j$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	...	$E_M$
$C_i \setminus S_j$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	...	$S_M$
$C_1$	$C^* = C_1 + E_1$	$C^* = C_1 + E_2$	$C^* = C_1 + E_3$	...	$C^* = C_1 + E_M$
$C_2$	$C^* = C_2 + E_1$	$C^* = C_2 + E_2$	$C^* = C_2 + E_3$	...	$C^* = C_2 + E_M$
$C_3$	$C^* = C_3 + E_1$	$C^* = C_3 + E_2$	$C^* = C_3 + E_3$	...	$C^* = C_3 + E_M$
...	...	...	...	...	...
$C_{q^k}$	$C^* = C_{q^k} + E_1$	$C^* = C_{q^k} + E_2$	$C^* = C_{q^k} + E_3$	...	$C^* = C_{q^k} + E_M$

Как следует из таблицы 1, для декодирования линейного блочного  $(n, k, d)$  кода над  $GF(q)$  достаточно использовать первые две строки таблицы, в которых приведены значения векторов  $E_j$  и соответствующих им векторов  $S_j$ . В остальных строках приведены значения вектора  $C^*$  как суммы векторов  $C_i$  и  $E_j$ , т.е. для всех  $C_i$ ,  $i = 1, \dots, q^k$  соответствующие  $S_j$  равны и определяются исключительно  $E_j$ . В этом случае третья строка таблицы при  $C_1 = 0$  (вектор из всех нулей) совпадает с первой строкой, которая и определяет смысловое содержание всей таблицы. Конкретные значения  $E_j$  принято называть в теории кодирования лидерами смежных классов, а все разложение возможных векторов  $C^*$  по их соответствию конкретным величинам  $E_j$  - разложением на смежные классы [6].

Процесс декодирования табличным (синдромным) способом линейного блочного кода состоит в нахождении по выражению (6) синдромного вектора  $S_j$  (для усовершенствованного метода вектор  $S_j$  известен – это фрагмент РСЧ) и сопоставлении его с соответствующим вектором  $E_j$ .

Для усовершенствованного метода найденный вектор суть значения, поступившее с блока формирования последовательности максимального периода. Если этот блок выполнен в виде ЛРР, то найденный вектор  $E_j$  – значение ячеек ЛРР на соответствующем этапе формирования РСЧ, т.е. выполнив соответствующие операции над РСЛОС не сложно найти его начальное состояние, т.е. секретный ключ  $K_i$ .

Для предложенного метода с повышенной длиной периода, найденное значение вектора  $E_j$  задает значение ячеек РСЛОС на соответствующем этапе формирования РСЧ, т.е. после выполнения соответствующих преобразований знание противником вектора  $E_j$  приведет к вычислению им секретного ключа  $K_i^*$ . Для нахождения секретного ключа  $K_i$  достаточно вычесть из вектора  $C^*$  (фрагмент РСЧ) значение найденного вектора  $E_j$ , т.е. найти кодовое слово  $C_i$ , после чего вычислить информационный вектор, соответствующий заполнению ячеек РСЛОС, начальное состояние, которого и соответствует значению секретного ключа  $K_i$ .

Таким образом, после выполнения декодирования избыточного блочного кода нахождение значений секретных ключевых данных в разработанных методах формирования РСЧ не представляется сложным. Оценим сложность синдромного (табличного) декодирования [7].

Как следует из приведенных рассуждений для декодирования рассмотренным методом противнику необходимо хранить таблицу синдромов и соответствующих векторов ошибок, т.е. всего потребуется  $2M$  ячеек таблицы, где параметр  $M$  задается число различных конфигураций ненулевых ошибок, которые может исправить линейный блочный код. Если используется блочный  $(n, k, d)$  код над  $GF(q)$ , позволяющий исправлять не менее  $t = \left\lfloor \frac{d-1}{2} \right\rfloor$  ошибок, число различных конфигураций ненулевых векторов ошибок определяется следующим выражением:

$$M = \sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{d-1}{2} \right\rfloor} (q-1)^i \cdot \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (7)$$

Вывод выражения (6) основывается на следующих рассуждениях. Предположим, что в кодовом слове произошло  $i$  ненулевых ошибок. Значение каждой ненулевой ошибки над  $GF(q)$  может быть в пределах от 1 до  $q-1$  (все не нулевые элементы поля), т.е. всего существует  $(q-1)^i$  вариантов значений ошибок для одной конфигурации (заданного расположения ненулевых значений). Всего возможно  $\frac{n!}{i!(n-i)!}$  различных конфигураций (с различными значениями ненулевых ошибок), т.е. общее число конфигураций из  $i$  ненулевых ошибок определяется выражением:

$(q-1)^i \cdot \frac{n!}{i! \cdot n-i!}$ . Поскольку код может исправить от одной до  $t$  ошибок, общее число возможных конфигураций ненулевых векторов  $E_j$  определяется выражением (7).

Таким образом, сложность синдромного декодирования определяется выражением:

$$N_{c.d.} = 2 \cdot \prod_{i=1}^{d-1} (q-1)^i \cdot \frac{n!}{i! \cdot n-i!} \quad (8)$$

где, под  $N_{c.d.}$  следует понимать как число ячеек памяти, требуемое для реализации алгоритма, так и число необходимых сравнений, выполняемых при поиске искомого вектора  $E_j$ . Сложность реализации синдромного декодирования оценим в виде выражения

$$S_{c.d.} = 2N$$

Очевидно, что при малых  $q$ ,  $n$  и  $t$  синдромное декодирование легко реализовать на современной вычислительной технике. При больших значениях  $q$  и  $k$  реализация корреляционного декодера вычислительно сложна и нецелесообразна. При сопоставимых  $q$  и  $n$  малом  $t$  синдромное декодирование может быть значительно эффективнее корреляционного способа. В тоже время при больших значениях  $q$ ,  $n$  и  $t$  практическая реализация синдромного декодера вычислительно сложна и нецелесообразна.

*Декодер Меггита, мажоритарный декодер.* Декодер Меггита является модификацией рассмотренного выше синдромного декодирования для кодов, обладающих специальной алгебраической структурой – цикличности кода. Свойство цикличности состоит в том, что из условия принадлежности некоторой последовательности кода следует принадлежность коду любой циклической сдвижки этой последовательности. Другими словами, циклический код является объединением конечного числа орбит (полного множества всех циклических сдвижек) последовательностей.

Синдромный декодер для циклического кода можно существенно упростить, поскольку из условия цикличности следует, что поиск вектора  $E_j$  можно осуществлять с точностью до циклической сдвижки. Другими словами, таблицу соответствия синдромов и векторов ошибок можно существенно (в  $n$  раз) сократить, а поиск соответствия выполнять с учетом свойств цикличности кода. В тоже время применяемые в разработанных методах формирования ПСЧ избыточные коды не являются циклическими, следовательно, декодер Меггита в качестве метода криптоанализа не применим.

Другим примером быстрого неалгебраического декодирования линейного блочного кода является мажоритарный декодер. Он состоит в последовательной пороговой (мажоритарной) оценке кодовых символов, которая выполняется с помощью системы ортогональных, относительно данного символа, уравнений. Этот метод имеет исключительно низкую вычислительную сложность и (если он применим) является одним из наиболее эффективных способов декодирования линейных блочных кодов. В тоже время для реализации мажоритарного способа декодирования линейный блочный код должен допускать полную ортогонализацию, т.е. должна существовать система проверочных уравнений, ортогональных относительно каждого кодового символа. На практике мажоритарный метод используется крайне редко, поскольку кодов, допускающих полную ортогонализацию с требуемыми параметрами крайне мало. Предложенные методы формирования ПСЧ не предполагают использование кодов со специальной структурой, в том числе, допускающих полную ортогонализацию. Следовательно, противник не сможет применить мажоритарный алгоритм декодирования для реализации криптоанализа [8, 9, 10, 11].

*Перестановочный декодер* – способ, позволяющий за конечное число шагов декодировать линейный блочный код с произвольной структурой. По своей сути он состоит из последовательного преобразования кодового слова и перестановки символов, инвариантной относительно кода. Получена оценка сложности реализации перестановочного декодера в виде выражения:

$$S_{n.д.} \geq \left[ \frac{n}{n-k} \left[ \frac{n-1}{n-k-1} \dots \left[ \frac{n-t-1}{n-k-t-1} \right] \right] \right], t = \left[ \frac{d-1}{2} \right] \quad (9)$$

На рисунках 2, 3, 4 представлены зависимости сложности различных методов криптоанализа, основанных на неалгебраическом декодировании избыточных блочных кодов (на корреляционном, синдромном и перестановочном декодере). Оценка приведена в логарифмическом масштабе.

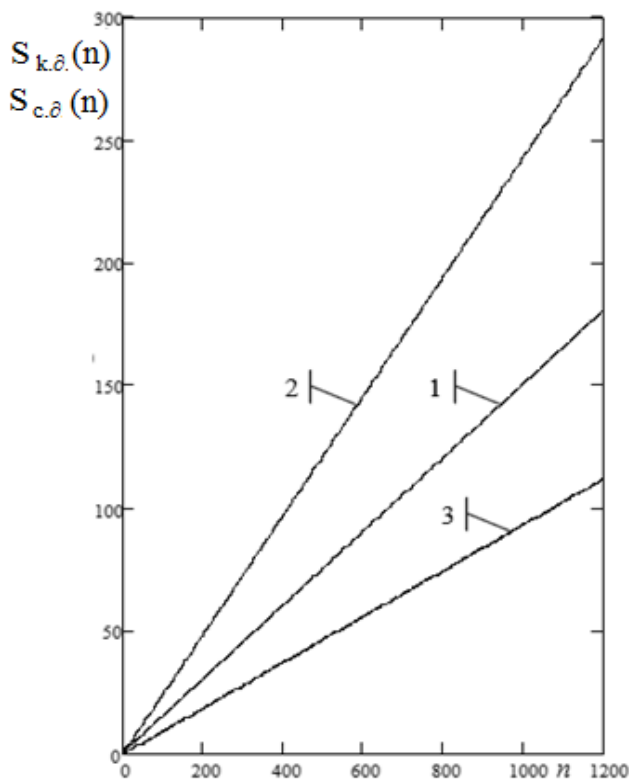


Рисунок 2. Зависимости: 1)  $S_{k.д.}(n)$ ,  
2)  $S_{c.д.}(n)$ , 3)  $S_{n.д.}(n)$  для  $q = 2$ ,  $k=0,75 \cdot n$

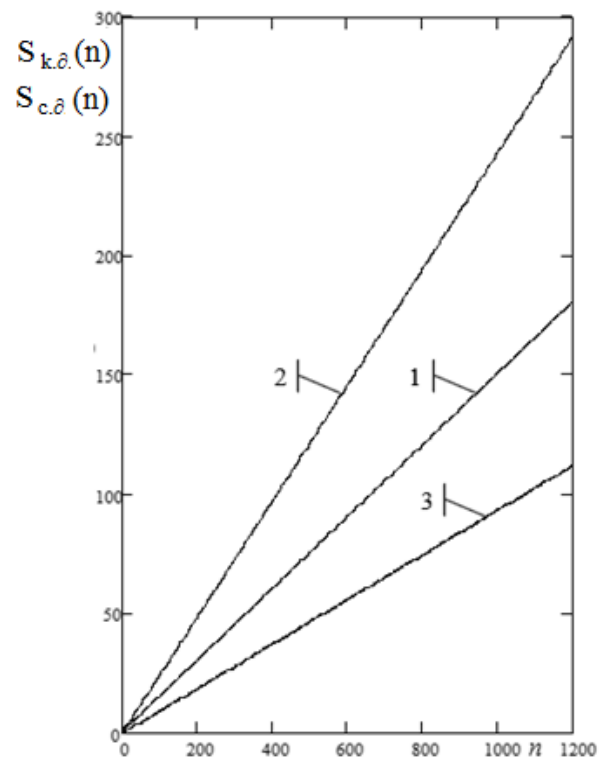


Рисунок 3. Зависимости: 1)  $S_{k.д.}(n)$ ,  
2)  $S_{c.д.}(n)$ , 3)  $S_{n.д.}(n)$  для  $q = 2$ ,  
 $k=0,5 \cdot n$

Как следует из приведенных зависимостей, уже при длине кода  $n > 100$  корреляционный и синдромный способы декодирования становятся вычислительно не эффективными, применение их для криптоанализа становится не целесообразно. В случае использования перестановочного декодера (для этого противник должен обладать порождающей и/или проверочной матрицей применяемого кода, которые являются открытым ключом в предложенных криптосистемах) сложность криптоанализа существенно ниже.



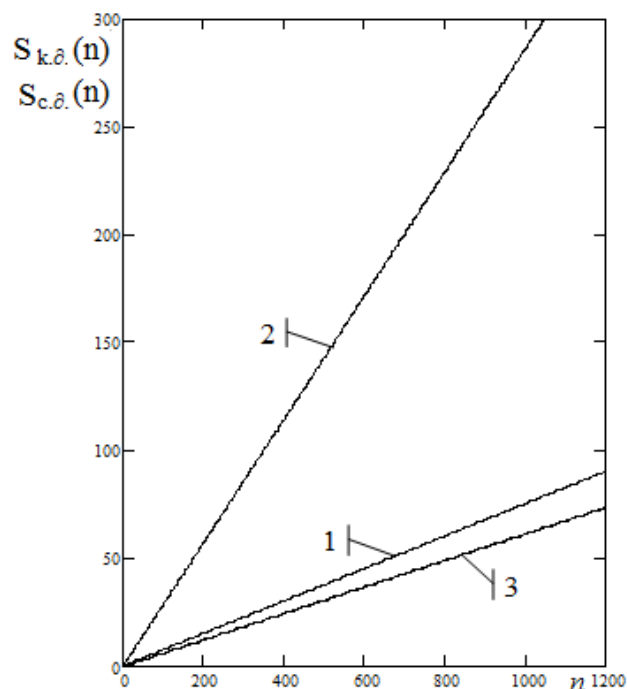


Рисунок 4. Зависимости: 1)  $S_{k.d.}(n)$ , 2)  $S_{c.d.}(n)$ , 3)  $S_{n.d.}(n)$  для  $q=2$ ,  $k=0,25 \cdot n$

Тем не менее, даже при наличии у противника открытого ключа и применения перестановочного декодера криптоанализ при  $n > 250$  становится вычислительно неэффективным.

Следует отметить, что для высокоскоростных избыточных кодов корреляционный декодер менее эффективен, чем синдромный. При снижении относительной скорости кодирования вычислительная эффективность синдромного декодирования снижается, а при  $R = k/n < 0,5$  корреляционный декодер является более предпочтительным для использования его противником в качестве метода криптоанализа.

На рисунке 5. приведены зависимости  $N_{k.d.}(R)$ ,  $N_{c.d.}(R)$ ,  $S_{n.d.}(R)$  для  $q = 2$  и фиксированной длине используемого кода  $n = 1000$ . Оценка приведена в логарифмическом масштабе. Анализ приведенных зависимостей, позволяет сделать вывод о снижении вычислительной эффективности синдромного декодирования и повышении вычислительной эффективности корреляционного декодирования относительной скорости используемого кода. Вычислительная эффективность синдромного и корреляционного декодеров эквивалентна при  $R \approx 0,65$ .

Анализ зависимостей, приведенных на рисунках 4, 5 показывает, что применение перестановочного декодера с известным противнику открытым ключом при  $0,1 \leq R = k/n \leq 0,95$  и длине используемого кода  $n = 1000$  для криптоанализа вычислительно нецелесообразно, крипто-кодовая система защиты информации эффективно обеспечивает безопасность передачи данных в компьютерных системах и сетях [12].

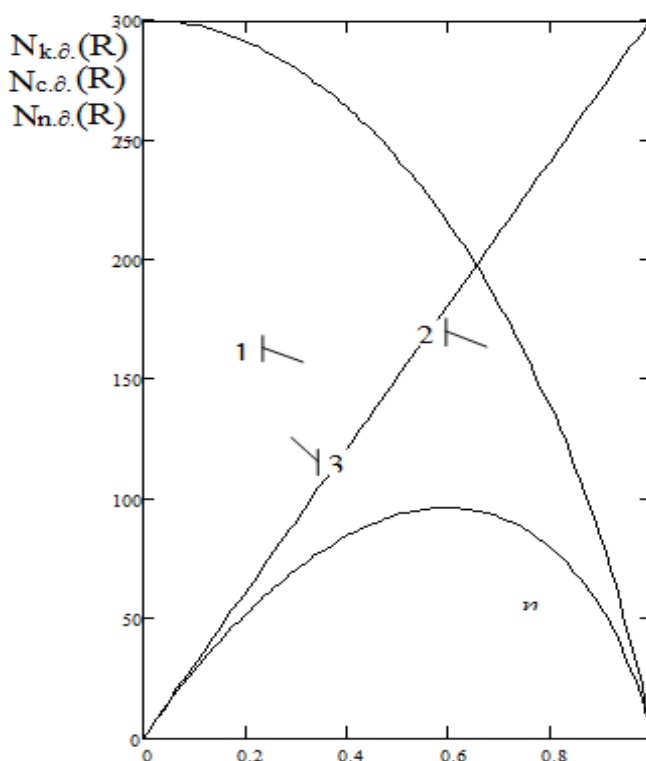


Рисунок 5. Зависимости: 1)  $N_{k.d.}(R)$ , 2)  $N_{c.d.}(R)$ , 3)  $S_{n.d.}(R)$  для  $q=2$

Таким образом, проведенные исследования показали, что разработанные методы формирования ПСЧ на  $m$ -ичных кодах обладают высокими показателями стойкости. Теоретическая оценка сложности криптоанализа показала, что применение неалгебраических методов декодирования при соответствующих параметрах кодовых конструкций не позволяет противнику эффективно реализовать криптоанализ предложенных генераторов.

#### Выводы

1. Разработанные методы формирования ПСЧ основаны на использовании избыточных блочных кодов в режиме маскирования быстрого правила декодирования. Следовательно, задача нахождения противником секретного ключа (задача криптоанализа) сопряжена с решением теоретико-сложностной задачи декодирования случайного кода.

2. Проведенные исследования известных методов неалгебраического декодирования показали, что противник сможет реализовать криптоанализ одним из известных методов (корреляционным, синдромным (табличным) или перестановочным декодером). Сложность реализации соответствующих атак определяется выражениями (1), (4), (5), (6). В то же время для больших значений длины кода и для высокой исправляющей способности кода реализация рассмотренных атак малоэффективна. С увеличением относительной скорости  $R$  кодирования резко увеличивается сложность корреляционного способа декодирования и снижается сложность синдромного декодера. При  $0,1 \leq R \leq 0,95$  и длине используемого

кода  $n = 1000$  применение любого из рассмотренных методов вычислительно нецелесообразно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Serhii Yevseiev, Oleksandr Milov, Ivan Opirskyy, Olha Dunaievska, Oleksandr Huk, Volodymyr Pogorelov, Kyrylo Bondarenko, Nataliia Zviertseva, Yevgen Melenti, Bogdan Tomashevsky. Development of concepts for the cyber security metrics classification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4/4 (118). 2022. P. 6–18.
2. Serhii Yevseiev, Khazail Rzaev, Oleksandr Laptiev, Ruslan Hasanov, Oleksandr Milov, Bakhar Askerova, Zhala Jamalova, Serhii Pohasii. Development of a hardware cryptosystem based on a random number generator with two types of entropy sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 5/9 (119). P. 6–16.
3. Євсєєв С.П., Рзаєв Х.Н, Корольов Р.В., Мамедов М., Багіров Е. Генератор псевдовипадкових чисел на  $m$ -ічних кодах. XI міжнародна науково-практична конференція “Математика. Інформаційні технології. Освіта”. Луцьк-Світязь, 3–5 червня 2022. С. 70.
4. Роман Корольєв, Муса Мамедов, Ельнур Багіров. Розробка вдосконаленого методу формування псевдовипадкових чисел на основі надлишкових  $m$ -ічних кодів. V Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем” (PCSITS)”14–15 квітня 2022, Київ, Україна. С. 11–13.
5. R. Korolov, A. Tkachov, N. Voropay, M. Mammadov, E. Baghirov. Development of an improved method for forming pseudorandom numbers based on redunte  $m$ -ary codes. *Системи обробки інформації*, 2022, випуск 1 (168), P.11–13. DOI: 10.30748/soi.2022.168.00.
6. Корольов Р.В. Дослідження періодичних властивостей генераторів псевдовипадкових чисел, заснованих на використанні надмірних кодів / Р.В. Корольов // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – №3(15). – С. 126 – 128.
7. Кузнецов А.А. Исследование статистической безопасности генераторов псевдослучайных чисел / А.А. Кузнецов, Р.В. Королев, Ю.Н. Рябуха // Системи обробки інформації. – 2007. – №3(70). – С.79 – 82.
8. Иванов М.А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей / М.А. Иванов, И.В. Чугунков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ-2003. 240 с.
9. Поточные шифры Результаты зарубежной открытой криптологии [Электронный ресурс]//–М.1997.  
[www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto/potok/str\\_ciph.htm](http://www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto/potok/str_ciph.htm) Москва 1997.
10. Кузнецов А.А. Усовершенствованный метод быстрого формирования последовательностей псевдослучайных чисел / А.А.Кузнецов, Р.В. Королев, Ю.Н. Рябуха // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2008. – Вип. 3(18). – С. 101 – 104.
11. Рябко Б.Я. Криптографические методы защиты информации: Учебное пособие для вузов / Б.Я. Рябко, А.Н. Фионов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2005. – 229 с.
12. Кузнецов О.О. Захист інформації та економічна безпека підприємства. Монографія. О. О. Кузнецов, С.П. Євсєєв, С.В. Кавун, – Харків: Вид. ХНЕУ, 2009. – 360 с.

## REFERENCES

1. Serhii Yevseiev, Oleksandr Milov, Ivan Opirskyy, Olha Dunaievska, Oleksandr Hri Volodymyr Pogorelov, Kyrylo Bondarenko, Nataliia Zviertseva, Yevgen Melenti, Bogdan Tomashevsky. Development of concepts for the cyber security metrics classification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4/4 (118). 2022. P. 6–18.
2. Serhii Yevseiev, Khazail Rzaev, Oleksandr Laptiev, Ruslan Hasanov, Oleksandr Milov, Bakhar Askerova, Zhala Jamalova, Serhii Pohasii. Development of a hardware cryptosystem based on a random number generator with two types of entropy sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 5/9 (119). P. 6–16.
3. Cvseev S.P., Rzaev KH.N, Korol'ov R.V., Mamedov M., Bagirov E. Generator psevdovipadkovikh chisel na m-ichnikh kodakh. KHI mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya "Matematika. Informatiini tekhnologii. Osvita". Luts'k-Svityaz', 3–5 chervnya 2022. S. 70.
4. Roman Korol'ov, Musa Mamedov, El'nur Bagirov. Rozrobka vdoskonalenoogo metodu formuvannya psevdovipadkovikh chisel na osnovi nadlshkovikh m-ichnikh kodiv. V Mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya "Problemi kiberbezpeki informatiino-telekomunikatsiiniikh sistem" (PCSITS)"14–15 kvitnya 2022, Kiïv, Ukraïna. S. 11–13.
5. R. Korolov, A. Tkachov, N. Voropay, M. Mammadov, E. Baghirov. Development of an improved method for forming pseudorandom numbers based on redunte m-ary codes. *Sistemi obrobki informatiï*, 2022, vipusk 1 (168), R.11–13. DOI: 10.30748/soi.2022.168.00.
6. Korol'ov R.V. Doslidzhennya periodichnikh vlastivostei generatoriv psevdovipadkovikh chisel, zasnovanikh na vikoristanni nadmirnikh kodiv / R.V.Korol'ov // *Sistemi ozbroennya i viis'kova tekhnika*. – 2008. – №3(15). – S. 126 – 128.
7. Kuznetsov A.A. Issledovanie statisticheskoi bezopasnosti generatorov psevdosluchainykh chisel / A.A. Kuznetsov, R.V. Korolev, YU.N. Ryabukha // *Sistemi obrobki informatiï*. – 2007. – №3(70). – S.79 – 82.
8. Ivanov M.A. Teoriya, primenenie i otsenka kachestva generatorov psevdosluchainykh posledovatel'nostei / M.A. Ivanov, I.V. Chugunkov. – M.: KUDITS-OBRAZ-2003. 240 s.
9. Potochnye shifry Rezul'taty zarubezhnoi otkrytoi kriptologii [Elektronniï resurs] // –M. 1997 – rezhim dostupu : [www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto/potok/str\\_ciph.htm](http://www.ssl.stu.neva.ru/psw/crypto/potok/str_ciph.htm) Moskva 1997.
10. Kuznetsov A.A. Uovershenstvovannyi metod bystrogo formirovaniya posledovatel'nostei psevdosluchainykh chisel / A.A. Kuznetsov, R.V. Korolev, YU.N. Ryabukha // *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*. – 2008.–Vip. 3(18). S.101– 104.
11. Ryabko B.YA. Kriptograficheskie metody zashchity informatiï: Uchebnoe posobie dlya vuzov / B.YA. Ryabko, A.N. Fionov. – M.: Goryachaya liniYA–Telekom, 2005. – 229 s.
12. Kuznetsov O. O. Zakhist informatiï ta ekonomichna bezpeka pidpriemstva. Monografiya. O.O. Kuznetsov, S.P. Cvseev, S.V. Kavun, – Kharkiv: Vid. KHNEU, 2009. – 360 s.

## ***m-lik KODLARI ÜZRƏ GENERATORLARIN KRİPTOQRAFİKİ TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN NƏZƏRİ QIYMƏTLƏNMƏSİ***

***Məmmədov M.F.***  
***Azərbaycan Texniki Universiteti***

*Yüksək texnologiyaların inkişafı və hesablama resurslarının sürətli artımı ələlxüsusda kriptografiki çevrilmələrə əsaslanan mühafizə mexanizmlərinə daha sərt tələblər qoyur. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, m-lik izafi blok kodları əsasında PTƏ-in formalaşdırılması üsullarının proqram və aparat vasitəsilə tətbiqinə imkan verir. Müəyyən edilmişdir ki, məxfi açar məlumatların tapılması məsələsi onlardan istifadə zamanı təsadüfi kodun dekodlaşdırılmasının nəzəri-mürəkkəb probleminin həllinə gətirib çıxarır. Məqalədə hazırlanmış PTƏG-in müxtəlif kriptozanaliz hücumlarına, o cümlədən qeyri-cəbri kodlaşdırma metodlarından istifadə edilənlərə qarşı dayanıqlıq tətbiq edilmişdir.*

***Açar sözlər:** psevdotəsadüfi generator, ədəd, vektor, inisalizə, qeyri-cəbri kodlaşdırma üsulları, izafi kod, m-lik izafi blok kodları, psevdotəsadüfi generator.*

## ***THEORETICAL ESTIMATION OF THE CRYPTOGRAPHIC SECURITY OF GENERATORS ON m-CHATE CODES***

***Mammadov M.F.***  
***Azerbaijan Technical University***

*The development of high technologies and the rapid growth of computing resources put forward more stringent requirements for protection mechanisms, especially based on cryptographic transformations. The conducted studies have shown that methods for generating pseudo-random numbers (PRN) based on m-ary redundant block codes allow efficient software and hardware implementation. It has been established that the task of finding secret key data when using them is reduced to solving the complexity-theoretic problem of decoding a random code. The article studies the resistance of the developed pseudo-random number generators (PRNG) to various cryptanalysis attacks, including those using non-algebraic coding methods.*

***Keywords:** pseudo-random number generator, vector, initializations, non-algebraic coding methods, redundant code, m-ary redundant codes, pseudo-random generators.*

***Рецензент:** д.ф.т., доц. Дадашов Ф.Г.*

### ***Müəllif haqqında məlumat***

<b>Фамилия, имя, отчество</b>	<b>Место работы</b>	<b>Должность, ученая степень, ученое звание</b>	<b>Контакты</b>
Маммадов Муса Фамил оғлу	Cybernet LLC, Senior Software Developer	Докторант АзТУ	musamammadovv@gmail.com mob:(+994) 051-988-58-58

## AEROKOSMIK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI

UOT: 551.513; 551.582.1

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.007

### MÜXTƏLİF İQLİM DÖVRLƏRİNDƏ ABŞERON YARIMADASINDA HAVANIN ORTA TEMPERATURUNUN DƏYİŞMƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN VƏ İNTENSİVLİYİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

*Safərov S.H.*  
*Milli Aviasiya Akademiyası*

*Məqalədə müxtəlif iqlim dövrlərində Abşeron yarımadasında havanın orta temperaturunun dəyişmə xüsusiyyətlərinin və intensivliyinin qiymətləndirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Bu dövrlərə Şimal yarımkürəsində müşahidə olunmuş şimal meridional epoxa (1899-1915-ci illər), zonal epoxa (1916-1956-cı illər) və cənub meridional epoxa (1957-ci ildən bu günə kimi) aiddir. Qlobal iqlimin istiləşməsi və soyuqlaşması dövrləri 1881-1911-ci illərin qlobal soyuqlaşma, 1912-1940-cı illərin qlobal istiləşmə, 1940-1972-ci illərin qlobal soyuqlaşma və 1972-2014-cü illərin qlobal istiləşmə dövrləridir. Bunlarla bərabər, Bakı şəhəri zonasında havanın orta temperaturunun dəyişməsinin intensivliyinin qiymətləndirilməsi üçün 1848-1960 və 1961-2014-cü illərdə havanın fəslə və illik temperaturlarının 1961-1990-cı illər dövrü üzrə norma qiymətlərindən meyletmələrinin müxtəlif qradasiyalar üzrə təkrarlanması faizlə hesablanmış və müqayisəli təhlillər aparılmışdır. Abşeron yarımadasında havanın orta temperaturunun 1955-2014-cü illər üzrə hər bir ay üzrə müasir dəyişmə tendensiyasının qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Qiymətləndirilmələr göstərmişdir ki, XX əsrin 70-ci illərindən başlayan qlobal istiləşmə ilə Abşeron yarımadasında müşahidə olunan iqlim dəyişmələri arasında müəyyən əlaqələr mövcuddur.*

***Açar sözlər:** global və regional iqlim dəyişmələri, Şimal yarımkürəsi, şimal meridional sirkulyasiya epoxası, zonal sirkulyasiya epoxası, cənub meridional sirkulyasiya epoxası, qlobal istiləşmə və soyuqlaşma, temperatur qradasiyaları, havanın temperaturunun dəyişmə intensivliyi, Abşeron yarımadası.*

#### **Giriş**

Müasir iqlim sisteminin vəziyyətinin tədqiqinin istiqamətlərindən biri iqlim dəyişmələrindəki tendensiyaların və bu dəyişmələrin mümkün səbəblərinin müəyyənləşdirilməsidir. Quru səthin qlobal temperaturunun fəslə dövrülüyünün dəyişmələri üzrə tədqiqatlarda qlobal iqlim modelləri vasitəsilə aparılan hesablamalarda parnik qazlarının emissiyasının artması şəraitində yerüstü hava temperaturun fəslə sikkələrində faza gecikmələrinin və amplitudalarının azalması məlumdur [1]. Müxtəlif iqlim modelləri ilə alınan nəticələr qlobal temperaturun yüksək coğrafi enliklərdə, xüsusilə də okeanlar üzərində daha çox artmasını göstərir. Bu dəyişmələrin müasir dövrdə baş verdiyini, XXI əsrdə isə davam edəcəyini, faza gecikməsinin 5 gün və amplitudun isə 5% azaldığını göstərir. Bu dəyişmələrə sübut kimi, başlıca olaraq dəniz buzlarının azalması göstərilir. Belə ki, XXI əsrdə dəniz buzlarının əriməsi okeanların səth sularının effektiv istilik tutumunun artmasına və beləliklə, əks temperatur cavabının zəifləməsinə gətirib çıxaracaq.

Böyük tarixi dövrü əhatə edən iqlim dəyişmələrinin digər bir aspekti [2]-də öyrənilmişdir. Burada Tibet yaylasının mərkəzi-şərq hissəsində 7 meteoroloji stansiyanın məlumatları əsasında son 2485 ildə və gələcəkdə havanın temperaturunun dəyişmə trendi və sürətləri, amplitudaları, dövrülüyü və səbəbləri tədqiq olunmuşdur. Tədqiqatların aparılmasında istifadə olunan üsulların əsasını aşağıdakılar təşkil etmişdir:

1) 2485 il üzrə soyuq dövrlər havanın temperaturu + orta kvadratik meyiletmənin yarı qiymətinin baxılan dövr üzrə orta qiymətdən az olduğu illər, isti dövrlər isə - çox olduğu illər kimi qəbul edilmişdir.

2) Amplituda iki qarışıq isti və soyuq dövrlərin orta temperaturlarının fərqi kimi təyin edilmişdir.

3) Dəyişmə sürəti temperaturun müəyyən dövrdə artmasının və ya azalmasının trendinin mailliyi kimi təyin olunub.

4) Baxılan sırada dövrülük Redfit 35 proqramı vasitəsilə aşkar edilmişdir.

5) Tibet yaylasında yaxın 120 il üçün gələcək temperatur şəraitinin ssenarisi Caterpillar-SSA üsulu ilə müəyyənləşdirilmişdir.

Alınmış nəticələr ətraflı təhlil edilmişdir. Məsələn, qeyd olunmuşdur ki, XX əsrin sonlarındakı qlobal istiləşmə adətən sikllərin qalxma fazalarında bir neçə siklin konstruktiv üst-üstə düşməsi nəticəsində baş versə də, bu sikllərə əlavə olaraq minillik sikllər də istiləşməyə əhəmiyyətli təsir göstərmişdir. Yaxın 120 ildə havanın temperatur trendlərinin proqnozlaşdırılmasının nəzəri əsasları kimi qəbul edilmişdir ki, dövrü proseslər iqlim sistemində təbii proseslərdir və bu proseslər min illər boyu baş verir və yaxın yüzilliklərdə də davam edəcəkdir. Caterpillar-SSA üsulu məlumatlar sırasının vaxta görə təhlili və onların proqnozu üçün yeni və güclü vasitədir. Baxılan temperatur sırası 2445 ili (b.e.ə. 464-cü il – b.e. 1980-ci ili) əhatə edir və 40 illik orta cəmi sürüşmələrlə səlisləşdirilmişdir. Kalibrəmə dövrü b.e.ə. 464-cü il – b.e. 834-cü ilini, verifikasiya dövrü b.e. 835-1980-ci illərini (faktiki müşahidə dövrü üçün b.e. 1957-2006-cı illərini), proqnozlaşdırma dövrü isə b.e.1981-2134-cü illərini əhatə etmişdir.

[3]-də Hindistan ərazisi üçün temperatur trendlərinin variasiyalarının bir neçə amillə əlaqəli ola biləcəyi məsələləri araşdırılmışdır. Temperatur sıralarındakı ən prinsipial variasiyalar atmosfer yağıntıları ilə əlaqəlidir. Digər amilə artan urbanizasiya ilə əlaqəli parnik qazlarının artması aid edilmişdir.

[4]-də müəyyən edilmişdir ki, havanın gündüz temperaturunun sahilyanı ərazilərdə azalması dəniz brizinin, sahilyanı adveksiyanın təsiri və aşağı təbəqə buludları ilə əlaqəlidir. Hətta böyük su həcminə malik Miçiqaq gölü də sahilyanı gündüz temperaturuna təsir edir. Dəniz səviyyəsindən yüksəklik bu göstəriciyə birbaşa təsir etmir, lakin vadilərin təsiri ətraf təpəliklərin temperaturundan 2–6K çox olduğunu şərtləndirə bilər. Günorta saatlarından sonra gündüz temperaturlarına təsir göstərən əsas amil aşağı təbəqə buludları ilə dinamik əlaqədə olan nisbi rütubətlikdir.

Avropa ərazisində havanın gündüz temperaturlarının sıralarındakı trendlərinin müəyyənləşdirilməsi [5]-də həyata keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, gündüz temperaturunun dəyişmələrinə yer səthinə gələn qısa və uzundalğalı radiasiya və aerozol emissiyaları təsir edir. Bunlarla bərabər, atmosfer havası yüksək çirklənməyə məruz qalan ərazilərdə CO<sub>2</sub> emissiyaları, radiasiya və gündüz temperaturları arasında lazımı səviyyədə əlaqələr var. Bunlarla bərabər, son 120-130 ildə qlobal miqyasda Şimal yarımkürəsində atmosferin ümumi sirkulyasiyasının tərəddüdləri ilə əlaqəli olan və müxtəlif iqlim dövrlərində havanın temperaturunun tərəddüdləri ilə əlaqəli olan məsələlərə də baxılır. Məsələn, [6]-da göstərilmişdir ki, yaxşı məlum olan antropogen səbəblərlə bərabər, təbii səbəblərdən biri atmosferin ümumi sirkulyasiyasının tərəddüdlərinin xüsusiyyətləridir. Bununla əlaqədar olaraq Şimal yarımkürəsinin müxtəlif hissələrindəki temperatur dəyişmələri baxılan proseslərlə əlaqələndirilmişdir. Burada atmosfer sirkulyasiyasının xarakterinin dəyişmələrinin qiymətləndirməsi B.L.Dzerdzeyevskinin [7, 8] rəhbərliyi altında işlənmiş Şimal yarımkürəsi üzərində sirkulyasiya proseslərinin tipləşdirilməsi əsasında aparılmışdır. Bu metodikanın unikalığı ondan ibarətdir ki, hər bir sirkulyasiya növündə barik sistemlərin yerdəyişmələrinin dinamik sxemlərinin mövcudluğu istənilən regionda konkret növ üçün atmosfer proseslərinin xarakterini qiymətləndirməyə imkan verir. Atmosfer sirkulyasiyasının tipləşdirilməsi 1899-cu ildən aparılır.

[7, 8, 9, 10]-də müəyyən edilmişdir ki, 1899-cu ildən başlayaraq Şimal yarımkürəsində üç sirkulyasiya epoxası müşahidə olunmuşdur:

-birinci meridional epoxa 1899-1915-ci illərdə müşahidə olunmuş və şimal meridional epoxa adlanaraq, meridional şimal (bloklaşdırıcı antisiklonlar) proseslərin cəmi illik davamiyyətinin onların 1899-2011-ci illər üzrə orta qiymətlərindən müsbət meylliyi ilə xarakterizə olunur;

-zonal epoxa 1916-1956-cı illəri əhatə etmiş və zonal növ proseslərin cəmi illik davamiyyətinin onların 1899-2011-ci illər üzrə orta qiymətlərindən müsbət meyliyi ilə xarakterizə olunur;

-1957-ci ildən bu günə kimi dominant rol oynayan cənub meridional epoxadır, cənub siklonların cəmi illik davamiyyətinin onların 1899-2011-ci illər üzrə orta qiymətlərindən müsbət meyliyi ilə xarakterizə olunur. Bu epoxa aşağıdakı dövrlərə bölünmüşdür:

-1957-1969-cu illərdə cənub siklonları ilə bərabər, bloklaşdırıcı proseslərin də orta qiymətlərdən müsbət meyliyi ilə xarakterizə olunmuşdur;

-1970-1980-ci illərdə bütün proseslərin davamiyyəti 1899-2011-ci illər üzrə orta qiymətə yaxın olmuşdur;

-1981-1997-ci illərdə cənub siklonların cəmi illik davamiyyətinin sürətlə artması baş vermişdir;

-1998-ci ildən başlayaraq cənub siklonların cəmi illik davamiyyətinin sürətlə azalması baş vermişdir. [7, 8]-də isə göstərilmişdir ki, amtosfer sirkulyasiyasının xarakterinin dəyişməsinə həm Şimal yarımkürəsinin, həm də qlobal miqyasda yerətrafi temperaturun reaksiyası çox həssasdır. Məsələn, bloklaşdırıcı antisiklonların davamiyyətinin artdığı illər (XX əsrin başlanğıcı və 1960-cı illər) soyuqlaşma dövrü kimi olmuşdur.

[11]-də Şərqi İngiltərə universitetinin 1850-2009-cu illər üzrə məlumatlarından və NCEP/NCAR –nin 1948-2009-cu illər üzrə reanaliz məlumatlarından istifadə olunmaqla yerətrafi temperaturun uzunmüddətli dəyişmə xüsusiyyətləri tədqiq olunmuşdur. Baxılan dövrün 1877-1911-ci illərdə soyuqlaşma baş vermiş və 34 il ərzində  $0.23^{\circ}\text{C}$  təşkil etmişdir. İkinci soyuqlaşma isə 1940-1972-ci illərdə müşahidə olunmuş və temperaturun azalması 32 ildə  $0.17^{\circ}\text{C}$  olmuşdur. Baxılan soyuqlaşma dövrlərindən sonra daha intensiv istiləşmə baş vermişdir. Birinci istiləşmə 1911-1940-cı illərdə müşahidə edilməklə, temperatur artımı 29 il ərzində  $0.51^{\circ}\text{C}$  olmuşdur. İkinci istiləşmə isə 1972-2009-cu illərdə müşahidə olunmaqla, hələ qurtarmamışdır və onun davam etdiyi 37 ildə qlobal temperatur  $0.68^{\circ}\text{C}$  artmışdır.

**Tədqiqatların metodikası.** Müxtəlif iqlim dövrlərində Bakıda havanın ortaillik temperaturlarının xətti trend üsulu ilə dəyişməsi qiymətləndiriləcək, havanın fəsli və illik temperaturlarının dəyişməsinin intensivliyini qiymətləndirmək üçün 1848-1960 və 1961-2014-cü illərdə bu göstəricilərin onların norma qiymətlərindən (1961-1990-cı illər) meyletmələrinin müxtəlif qradasiyalar üzrə təkrarlanması faizlə hesablanacaq.

#### **İşin məzmunu:**

**1) Şimal yarımkürəsində müşahidə olunmuş sirkulyasiya epoxaları dövrlərində Bakıda havanın ortaillik temperaturunun dəyişməsinin qiymətləndirilməsi.** Müşahidə olunmuş şimal meridional epoxa dövründə Bakıda ortaillik temperatur demək olar ki, dəyişməmiş, zonal epoxa dövründə  $0.45^{\circ}\text{C}$  azalmış, cənub meridional epoxa dövrünün 1957-1969-cu illərində  $0.34^{\circ}\text{C}$ , 1970-1980-ci illərdə  $0.51^{\circ}\text{C}$  və 1981-1997-ci illərdə  $0.21^{\circ}\text{C}$  azalmış, 1998-2014-cü illərdə isə  $0.36^{\circ}\text{C}$  artmışdır.

**2) Qlobal iqlimin istiləşməsi və soyuqlaşması dövrlərində Bakıda havanın ortaillik temperaturunun dəyişməsinin qiymətləndirilməsi.** [5]-də göstərilmiş 1881-1911-ci illərin qlobal soyuqlaşma fonunda ( $-0.23^{\circ}\text{C}$ ) Bakıda havanın ortaillik temperaturu əhəmiyyətsiz də olsa artmış ( $0.07^{\circ}\text{C}$ ), 1912-1940-cı illərin qlobal istiləşmə fonunda ( $0.51^{\circ}\text{C}$ ) azalmış ( $-0.31^{\circ}\text{C}$ ), 1940-1972-ci illərin qlobal soyuqlaşma fonunda ( $-0.17^{\circ}\text{C}$ ),  $0.71^{\circ}\text{C}$  artmış və nəhayət, 1972-2014-cü illərin qlobal istiləşmə fonunda ( $0.68^{\circ}\text{C}$ )  $2.00^{\circ}\text{C}$  artmışdır.

Hər iki müqayisəli təhlildən görünür ki, XX əsrin 70-ci illərindən başlayan qlobal istiləşmə ilə Bakıda müşahidə olunan iqlim dəyişmələri arasında müəyyən əlaqələr mövcuddur. Bu müddəaları [12, 13]-də alınan nəticələr də təsdiqləyir.

**3) Bakı şəhəri zonasında havanın orta temperaturunun dəyişməsinin intensivliyinin qiymətləndirilməsi.** Bunun üçün 1848-1960 və 1961-2014-cü illərdə havanın fəsli və illik temperaturlarının 1961-1990-cı illər dövrü üzrə norma qiymətlərindən meyletmələrinin müxtəlif qradasiyalar üzrə təkrarlanması faizlə hesablanmış və cədvəl 1-də verilmişdir.



Cədvəl 1

1848-1960 və 1961-2014-cü illər dövrlərində havanın fəslı və illik temperaturlarının onların norma qiymətlərindən meyl etmələrinin müxtəlif qradasiyalar üzrə təkrarlanması, %

Fəsilər	Temperatur anomaliyaları, °C											
	Müsbət, °C						Mənfi, °C					
	0.0-0.9		1.0-1.9		≥2.0		-0.0...-0.9		-1.0...-1.9		≤-2.0	
	1848-1960	1961-2014	1848-1960	1961-2014	1848-1960	1961-2014	1848-1960	1961-2014	1848-1960	1961-2014	1848-1960	1961-2014
Qış	16.8	27.8	12.4	20.4	3.5	9.3	29.2	20.4	21.3	18.5	16.8	3.6
Yaz	28.3	25.9	8.8	25.9	1.0	7.4	32.8	24.1	24.8	16.7	4.3	0.0
Yay	40.7	38.9	8.0	18.5	0.9	9.3	42.5	25.9	7.0	7.4	0.9	0.0
Payız	35.4	33.3	23.0	27.8	4.4	5.5	19.5	16.7	15.0	14.8	2.7	1.9

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, *qış fəslində* 0.0-0.9 °C–li müsbət qradasiyanın təkrarlanması 1848-1960-cı illərdə 16.8% təşkil etdiyi halda, 1961-2014-cü illərdə 27.8% olmuşdur. 1.0-1.9 °C–li müsbət qradasiyanın təkrarlanması 1848-1960-cı illərdə 12.4% təşkil etdiyi halda, 1961-2014-cü illərdə 20.4% olmuşdur. 2°C-dən çox qradasiyanın təkrarlanması da 1961-2014-ci illərdə əvvəlki dövrə nisbətən çox olmuşdur. Mənfi temperatur anomaliyalarının qradasiyalarının təkrarlanmasına gəldikdə isə onu qeyd etmək olar ki, 1961-2014-cü illərdə mənfi 0.1-0.9°C –li qradasiyanın təkrarlanması əvvəlki dövrə nisbətən 9.2%, 1.0-1.9 °C –li qradasiyanın təkrarlanması 2.8%, 2 °C-dən az olan qradasiya 13.2% az olmuşdur. Bunlar bir daha son 167 ildə orta qış temperaturunun artmasını təsdiqləyir.

*Yaz fəslində* 0.0-0.9°C-li müsbət qradasiyaların təkrarlanması 1961-2014-cü illərdə əvvəlki müvafiq dövrə nisbətən 24.4% az, 1.0-1.9°C-li qradasiya isə 17.1% çox olmuşdur. 2°C-dən çox qradasiya da əvvəlki dövrə nisbətən 6.4% çoxdur. Mənfi işarəli müvafiq qradasiyalar son dövrdə müvafiq olaraq 8.7%, 8.1% və 4.3% az olmuşdur. Bunlar da son onilliklərdə yaz fəslı temperaturunun artdığını göstərir.

*Yay fəslində* 0.0-0.9°C-li müsbət qradasiyaların təkrarlanması 1961-2014-cü illər dövründə əvvəlki dövrə nisbətən 1.8% az olmuşdur. 1.0-1.9°C-li qradasiyalar isə 1848-1960-cı illər dövründə sonrakı müvafiq dövrlə nisbətdə 10.5% çox olmuşdur. Eyni tendensiya 2°C-dən çox qradasiya üçün də xarakterikdir (8.4% çox). Mənfi temperatur anomaliyalarının qradasiyalarının təkrarlanmasına gəldikdə 0.1-0.9°C-li qradasiya 1961-2014-cü illər dövründə ondan əvvəlki dövrə nisbətən 16.6% az, 1.0-1.9°C qradasiyalı təkrarlanma 0.4% çox, 2.0°C-dən az olan qradasiyaların təkrarlanması isə 0.9% az olmuşdur.

*Payız fəslində* 0.0-0.9°C-li müsbət qradasiyalar 1961-2014-cü illər dövründə əvvəlki müvafiq dövrlə müqayisədə 2.1%, 1.0-1.9°C-li qradasiyalar 13.3% az olmuş 2°C-dən böyük qradasiyalar isə 1.1% çox olmuşdur. 1848-1960-cı illər üzrə hər üç mənfi qradasiyaların təkrarlanması 1961-2014-cü illərdəki müvafiq göstəricilərdən çox olmuşdur.

**4) Abşeron yarımadasında havanın orta temperaturunun müasir dəyişmə tendensiyasının qiymətləndirilməsi.** Qiymətləndirmələrin əsasını baxılan meteoroloji elementin çoxillik sıralarındakı dəyişkənliyin xətti trendlə müəyyənləşdirilməsi təşkil edir. Bu vaxt dəyişmə tendensiyasının statistik əhəmiyyətliyi və ya dəyişmələrin qanunauyğun xarakter daşması və ya daşımamasını müəyyənləşdirmək üçün  $r^2 > r^{*2}$  şərtindən istifadə olunur. Baxılan sıralar 60 il təşkil etdiyi üçün  $r^{*2} = 0.06$  [12]. Havanın temperaturunun aylıq qiymətlərinin 1955-2014-cü illər üzrə dəyişmə tendensiyası statistik əhəmiyyətli olduğu hallarda həmin ay üzrə korrelyasiya əmsalının qiymətləri ( $r^2$ ) müvafiq cədvəllərdə qalın şriftlə göstərilmişdir. Bunlarla bərabər, havanın temperaturunun Maştağa və Sumqayıt HMS-ları üzrə yanvar və avqust aylarındakı qiymətlərinin çoxillik dinamikalarının və dəyişmələrin xətti trendlərinin qrafikləri də veriləcək. Bununla da ilin

ən soyuq və ən isti dövrləri üçün havanın temperaturunun çoxillik dinamikasının iki stansiya üzrə müqayisəli təhlilini aparmaq mümkün olacaq.

Havanın orta temperaturunun aylıq qiymətlərinin 1955-2014-cü illər üzrə dəyişməsinin qiymətləri cədvəl 2-də, dəyişmələrin xətti trendlərinin korrelyasiya əmsallarının qiymətləri isə cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 2

Havanın orta temperaturunun orta aylıq qiymətlərinin 1955-2014-cü illər üzrə dəyişməsi, °C  
(«-» işarəsi azalmanı göstərir)

Stansiya	Ayların sıra nömrəsi											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Maştağa	1.0	0.9	2.5	1.9	1.7	2.3	2.0	2.3	1.7	1.7	0.7	0.5
Sumqayıt	0.8	0.6	2.1	1.2	0.6	1.1	1.3	1.7	1.8	1.7	0.9	0.4

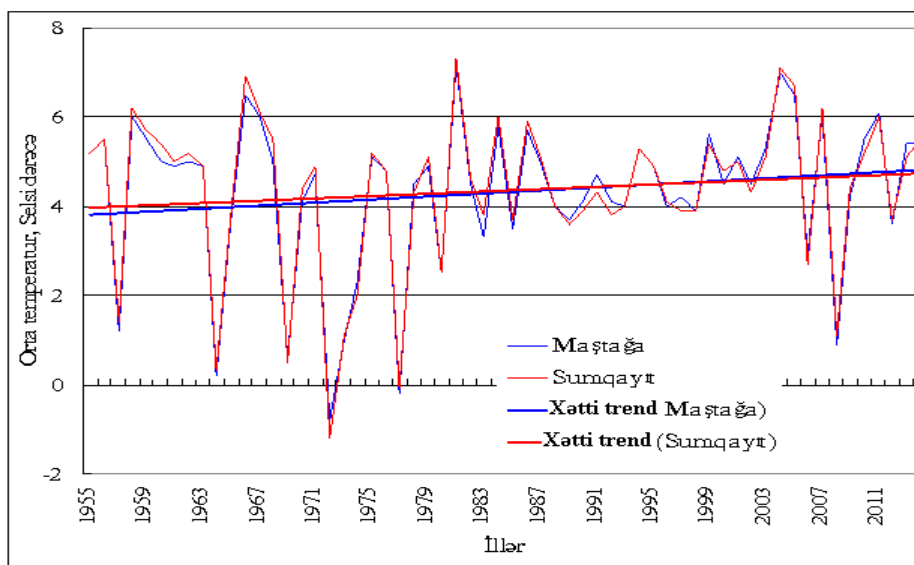
Cədvəl 3

Havanın orta temperaturunun orta aylıq qiymətlərinin 1955-2014-cü illər üzrə dəyişmə tendensiyasının statistik əhəmiyyətliyinin korrelyasiya əmsalı ( $r^2$ ) göstəriciləri

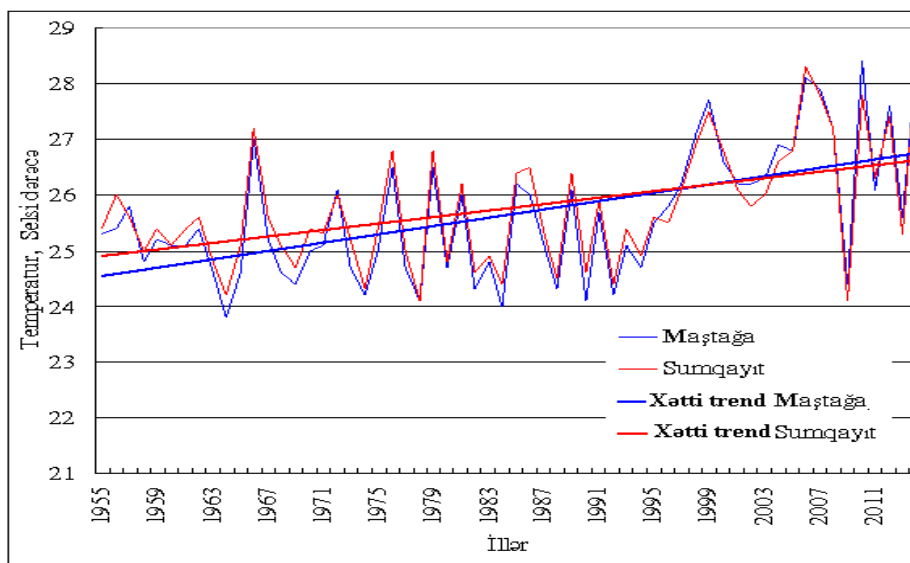
Stansiya	Ayların sıra nömrəsi											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Maştağa	0.17	0.16	0.48	0.36	0.35	0.51	0.49	0.56	0.44	0.32	0.13	0.10
Sumqayıt	0.15	0.10	0.37	0.23	0.15	0.29	0.37	0.48	0.44	0.32	0.16	0.07

Cədvəl 2-dən görünür ki, ilin bütün aylarında həm Maştağada, həm Sumqayıtda havanın orta temperatur artmışdır. Bu artma qış fəslində 0.4-1.0°C, yaz fəslində 0.6-2.5°C, yay fəslində 1.1-2.3°C, payız fəslində isə 0.7-1.8°C təşkil etmişdir. Ən çox istiləşmə ilin isti dövründə olmuşdur. Bu da, artıq qış istiləşməsinin yerinin yay istiləşməsinə doğru dəyişməsinə göstərir. Həmçinin göstərmək olar ki, payız ayları istisna olmaqla, Maştağa üzrə alınmış qiymətlər, Sumqayıtdakı qiymətlərdən çoxdur. Cədvəl 3-dən görmək olar ki, havanın orta temperaturunun artması bütün aylar üzrə statistik cəhətdən əhəmiyyətlidir və qanunauyğun xarakter daşıyır.

Şəkil 1-dən görünür ki, yanvar ayında havanın orta temperaturunun hər iki stansiya üzrə qiymətləri və bu sıraların xətti trendləri demək olar ki, üst-üstə düşür. Eyni hal avqust ayının məlumatları üçün də xarakterikdir (şəkil 2).



Şəkil 1. 1955-2014-cü illər üzrə Maştağa və Sumqayıt HMS-da yanvar ayı üzrə havanın orta temperaturunun aylıq qiymətlərinin çoxillik dinamikası və dəyişmələrinin xətti trendləri



Şəkil 2. 1955-2014-cü illər üzrə Maştağa və Sumqayıt HMS-da avqust ayı üzrə havanın orta temperaturunun aylıq qiymətlərinin çoxillik dinamikası və dəyişmələrinin xətti trendləri

#### Nəticələr:

1) Şimal yarımkürəsində müşahidə olunmuş şimal meridional epoxa dövründə Bakıda ortaillik temperatur demək olar ki, dəyişməmiş, zonal epoxa dövründə  $0.45^{\circ}\text{C}$  azalmış, cənub meridional epoxa dövrünün 1957-1969-cu illərində  $0.34^{\circ}\text{C}$ , 1970-1980-ci illərdə  $0.51^{\circ}\text{C}$  və 1981-1997-ci illərdə  $0.21^{\circ}\text{C}$  azalmış, 1998-2014-cü illərdə isə  $0.36^{\circ}\text{C}$  artmışdır.

2) 1881-1911-ci illərin qlobal soyuqlaşma fonunda ( $-0.23^{\circ}\text{C}$ ) Bakıda havanın ortaillik temperaturu əhəmiyyətsiz də olsa artmış ( $0.07^{\circ}\text{C}$ ), 1912-1940-cı illərin qlobal istiləşmə fonunda ( $0.51^{\circ}\text{C}$ ) azalmış ( $-0.31^{\circ}\text{C}$ ), 1940-1972-ci illərin qlobal soyuqlaşma fonunda ( $-0.17^{\circ}\text{C}$ ),  $0.71^{\circ}\text{C}$  artmış və nəhayət, 1972-2014-cü illərin qlobal istiləşmə fonunda ( $0.68^{\circ}\text{C}$ )  $2^{\circ}\text{C}$  artmışdır.

3) Qış fəslində müxtəlif temperatur qradasiyalarının təkrarlanmasının müqayisəli təhlili göstərmişdir ki, son 167 ildə orta qış temperaturunun artması baş vermişdir. Yaz, yay və payız fəsilələrində isə son onilliklərdə havanın temperaturu artmışdır.

4) Abşeron yarımadasında 1955-2014-cü illər ərzində ilin bütün aylarında həm Maştağada, həm Sumqayıtda havanın orta temperaturu artmışdır. Bu artma qış fəslində  $0.4-1.0^{\circ}\text{C}$ , yaz fəslində  $0.6-2.5^{\circ}\text{C}$ , yay fəslində  $1.1-2.3^{\circ}\text{C}$ , payız fəslində isə  $0.7-1.8^{\circ}\text{C}$  təşkil etmişdir. Ən çox istiləşmə ilin isti dövründə olmuşdur. Bu da artıq qış istiləşməsinin yerinin yay istiləşməsinə doğru dəyişməsinə göstərir.

5) Hər dörd müqayisəli təhlildən görünür ki, XX əsrin 70-ci illərindən başlayan qlobal istiləşmə ilə Abşeron yarımadasında müşahidə olunan iqlim dəyişmələri arasında müəyyən əlaqələr mövcuddur.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Dwyer J.G., Biasutti M., Sobel A.H. Projected Changes in the Seasonal Cycle of Surface Temperature // Journal of Climate, 2012, Vol. 25, pp. 6359-6374. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00741.1
2. Yu L., QiuFang C., Hui Ming S., ZhiSheng A., Linderholm H.W. Amplitudes, rates, periodicities and causes of temperature variations in the past 2485 years and future trends over the central-eastern Tibetan Plateau // Chinese Sci Bull October (2011) Vol.56, No.28-29.
3. Characteristics of surface air temperature in India // TERI University-Ph.D. Thesis, 2012.

4. Geerts B. Empirical estimation of the monthly-mean daily temperature range // *Theor. Appl. Climatol.* 000, 1–21 (2002) DOI 10.1007/s00704-002-0715-3
5. Makowski K., Wild M., Ohmura A. European DTR trends Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005 // *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6483-6498, 2008
6. Кононова Н.К. Особенности колебаний циркуляции атмосферы и температуры воздуха на Европейской территории России в XXI веке. 8 с. [Электронный ресурс] URL: <http://meteoweb.ru/articles/kononova.pdf>
7. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. // Междувед. геофиз. комитет, Институт географии АН СССР, Материалы метеорол. исслед. - Москва. 1968. - 240 с.
8. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин; Российская акад. наук, Ин-т географии. - М.: Воентехиниздат, 2009. - 372 с.
9. Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария и их проявление в Евразии в XXI веке/ [Электронный ресурс] URL: [http://www.rusnauka.com/1\\_NIO\\_2013/Geographia /2\\_124669.doc.htm](http://www.rusnauka.com/1_NIO_2013/Geographia /2_124669.doc.htm)
10. Кононова Н.К., Хмелевская Л.В. Многолетние колебания дат начала и продолжительности циркуляционных сезонов внетропических широт Северного полушария//Известия РАН, серия «Географическая», 2011, №3, с.43-62. [Электронный ресурс] URL: [www.atmoshfric-cirkulation.ru](http://www.atmoshfric-cirkulation.ru)
11. Proietti T., Hillebrand E. Seasonal Changes in Central England Temperatures// CREATES Research Paper, June 1, 2015.
12. Səfərov S.H., Mahmudov R.N. Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan. Bakı, Ziya, 2011, 312 s.
13. Сафаров С.Г. Современная тенденция изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Азербайджане. Баку, Элм, 2000, 300 с.

## **REFERENCES**

1. Dwyer J.G, Biasutti M., Sobel A.H. Projected Changes in the Seasonal Cycle of Surface Temperature // *Journal of Climate*, 2012, Vol. 25, pp. 6359-6374. Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00741.1
2. Yu L., QiuFang C., Hui Ming S., ZhiSheng A., Linderholm H.W. Amplitudes, rates, periodicities and causes of temperature variations in the past 2485 years and future trends over the central-eastern Tibetan Plateau // *Chinese Sci Bull* October (2011) Vol.56 No.28-29.
3. Characteristics of surface air temperature in India // TERI University-Ph.D. Thesis, 2012.
4. Geerts B. Empirical estimation of the monthly-mean daily temperature range // *Theor. Appl. Climatol.* 000, 1–21 (2002) DOI 10.1007/s00704-002-0715-3
5. Makowski K., Wild M., Ohmura A. European DTR trends Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005 // *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6483-6498, 2008
6. Kononova N.K. Osobennosti kolebaniy sirkulyasii atmosferi i temperaturi vozdukha na Evropeyskoy territorii Rossii v XXI veke. 8 p. [Elektronniy resurs] URL: <http://meteoweb.ru/articles/kononova.pdf>
7. Dzerdzeyevskiy B.L. Sirkulyasionnie mekhanizmi v atmosfere Severnogo polushariya v XX stoletii // Mejduved. geofiz. komitet, Institut Geografii AN SSSR, Materiali meteorol. issled.-Moskva. 1968. - 240 s.
8. Kononova N.K. Klassifikasiya sirkulyasionnikh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeyevskomu /otv. red. A.B. Shmakin; Rossiyskaya Akad. Nauk, In-t Geografiya. - M.: Voyentekhinizdat, 2009. - 372 s.
9. Kononova N.K. Osobennosti sirkulyasii atmosferi Severnogo polushariya i ikh proyavleniye v Evrazii v XXI veke/ [Elektronniy resurs] URL: [http://www.rusnauka.com/1\\_NIO\\_2013/Geographia /2\\_124669.doc.htm](http://www.rusnauka.com/1_NIO_2013/Geographia /2_124669.doc.htm)

10. Kononova N.K., Khmelevskaya L.V. Mnogoletniye kolebaniya dat nachala i prodoljitelnosti sirkulyasiionnikh sezonov vnetropicheskikh shirot Severnogo polushariya //Izvestiya RAN, seriya «Geograficheskaya», 2011, №3, s.43-62. [Elektronniy resurs] URL: www.atmosphric-cirkulyation.ru
11. Proietti T., Hillebrand E. Seasonal Changes in Central England Temperatures// CREATES Research Paper, June 1, 2015.
12. Safarov S.H., Mahmudov R.N. Muasir iglim deyishmeleri ve Azerbaijan. Bakı, Ziya, 2011, 312 s.
13. Safarov S.H. Sovremennaya tendensiya izmeneniya temperaturi vozdukh i atmosfernih osadkov v Azerbaijane. Baku, Elm, 2000, 300 s.

**ASSESSMENT OF THE FEATURES AND INTENSITY OF CHANGES IN THE AVERAGE AIR TEMPERATURE ON THE ABSHERON PENINSULA IN DIFFERENT CLIMATIC PERIODS**

**Safarov S.H.**  
**National Aviation Academy**

*The article deals with the issues of features and intensity of changes in air temperature on the Absheron Peninsula in different climatic periods. These periods include the northern meridional epoch (1899–1915 years), the zonal epoch (1916–1956 years), the southern meridional epoch (1957 year– at present), which were observed in the Northern Hemisphere, global cooling (1881-1911 years), global warming (1912-1940 years), global cooling (1940-1972 years), global warming (1972-2014 years). Along with these, to assess the intensity of changes in the average air temperature, the periods 1848-1960 and 1961-2014 years were considered, the average values of seasonal and annual values were compared with modern climatic norms for 1961-1990. According to the values of deviation from the norm, various gradations of these deviations were calculated. An assessment was also made of changes in average monthly air temperatures on the Absheron Peninsula for the period 1955-2014 years.*

*The obtained estimates showed that there are certain links between the last global warming, which began in the 70-s of the twentieth century, and the observed climatic changes on the Absheron Peninsula.*

**Keywords:** *global and regional climate changes, Northern Hemisphere, northern meridional circulation epoch, zonal circulation epoch, southern meridional circulation epoch, global warming and cooling, temperature gradations, intensity of temperature change, Absheron Peninsula.*

**Rəyçi: t.e.d., prof. Əzizov B.M.**

**Müəllif haqqında məlumat**

<b>Soyadı, adı, atasının adı</b>	<b>İş yeri</b>	<b>Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı</b>	<b>Əlaqə</b>
Səfərov Surxay Həsən oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Ətraf mühitin aerokosmik monitorinqi kafedrasının professoru, c.e.d.	<a href="mailto:surxaysafarov@mail.ru">surxaysafarov@mail.ru</a> mob: (+994) 59 371-31-15

UOT: 623

DOI: 10.34826/NAA.2023.25.3.008

## DÖRDBƏNDLİ FƏZA MEXANİZMİNİN ÜÇÖLÇÜLÜ KOMPÜTER MODELİ

*Mustafayev M.R., Yəhyayeva A.N., Rəhimova S.M.*

*Milli Aviasiya Akademiyası*

*Məqalədə AutoCAD qrafiki proqram paketində dördbəndli lingli fəza mexanizminin üçölçülü parametrik kompüter modeli və onun əsasında bəndlərinin vəziyyətlərinin təyini üçün qrafiki üsul və aparılan bəndin dönmə bucağının təyini üçün yeni analitik ifadə verilmişdir. Təklif olunan üsul həndəsi qurmalara əsaslanmışdır. Həndəsi qurmaların yerinə yetirilməsi və alınan nəticələrin vizüallaşdırılması üçün AutoCAD-da əlavə işlənmişdir. Mexanizmin təklif olunan üçölçülü parametrik modeli, mexanizmin vəziyyətlər planı ilə yanaşı, onun sürət və təcil planlarının qurulmasına imkan verir.*

**Açar sözlər:** *AutoCAD qrafiki proqramlar paketi, dördbəndli lingli fəza mexanizmi, üçölçülü kompüter modeli, parametrik model, vəziyyətlər planı, həndəsi qurmalar, aparılan bəndin dönmə bucağı, analitik ifadə.*

Fəza lingli mexanizmləri müstəvi lingli mexanizmlərin malik olduğu bütün üstünlüklərə malik olmaqla yanaşı, onlar yüksək sürətdə maşınların etibarlı işini təmin edir. Həmçinin bu mexanizmlər qeyd olunanlardan əlavə:

- kəşişən və çarpaz oxlar arasında az saylı bəndlər və sürtünən səthlərlə hərəkət ötürməyə;
- çox sayda hərəkət qanununu almağa;
- verilən şərtləri (məsələn, aparılan bəndin maksimum dönmə bucağı, qeyri-müntəzəmlik əmsalı) daha böyük intervalda dəyişməyə;
- sxemdə hərəkət edən bəndlərin sayını azaltmaqla maşın və mexanizmin dinamik keyfiyyətlərini yaxşılaşdırmağa imkan verir

Fəza mexanizmlərinin kinematik analizinə dair nəzəriyyə keçən yüz illiyin ortalarında işlənilsə də, bu mexanizmlər hələ də layiq olduğu tətbiq sahəsini tapmamışdır. Buna təsir göstərən əsas səbəblərdən biri, bu mexanizmlərin sintezi və analizinə dair üsulların mürəkkəbliyi və kifayət qədər işlənilməməsidir. Fəza mexanizmlərinin analizində ən mürəkkəb məsələ mexanizmin bəndlərinin vəziyyətlərinin müəyyən edilməsidir [1,2].

**İşin məqsədi:** Dördbəndli fəza mexanizmlərinin analizində ən mürəkkəb məsələ olan mexanizmin bəndlərinin vəziyyətlərinin müəyyən edilməsi üçün yeni üsulun işlənilməsidir.

Bu məqsəd üçün qrafiki üsul daha sadə və inandırıcıdır. Qrafiki üsulla məsələnin həlli, həllinin gedişini izləməyi və başadüşməyi asanlaşdırır ki, bu da qoyulan məsələnin həllini sürətləndirir. Həmçinin qrafiki həllin nəticəsinə baxmaq həllin korrekliyini müəyyən etməyə imkan verir. Ənənəvi qrafiki üsulun çatışmazlığı kimi onun dəqiqliyinin analitik üsulla müqayisədə yüksək olmamağı və qrafiki qurmaların çox əmək tutumlu olması hesab olunur. Lakin, hesablama texnikasının inkişafı, xüsusi ilə, tətbiqi qrafiki proqramların tətbiqi sayəsində, qrafiki üsul öz üstünlüklərini saxlamaqla çatışmazlıqlarından məhrum olmuşdur. Hal-hazırda qrafiki qurmaların dəqiqliyi analitik üsulların dəqiqliyi ilə müqayisə olunan səviyyədədir və parametrik qrafiki modellərin istifadəsi böyük eyni tipli qurmaların aparılması zərurətini aradan qaldırır [3,4].

Bir çox sahələrdə müasir maşınlarda çarpaz və kəşişən oxlar arasında hərəkətin ötürülməsi üçün fəza lingli dördbəndli mexanizmlərdən istifadə olunur (şəkil 1). Mexanizmdə iki beşinci sinif fırlanma ( $A$  və  $D$ ) və iki üçüncü sinif sferik cütü ( $B$  və  $C$ ) vardır.

Koordinat oxlarının və proyeksiya müstəvilərinin ixtiyari götürülməsi fəza mexanizmlərinin analizi və sintezi zamanı ayrı-ayrı mənbələrdən götürülmüş nəticələrin istifadəsi zamanı çox çətinliklər yaradır.

Əgər müstəvi mexanizmlərdə bir koordinat sistemindən digərinə keçmək ciddi çətinlik yaratmasa da, fəza mexanizmlərində bəzi hallarda yaranan çətinliklər məsələnin yeni həlli ilə eyni səviyyədə olur. Əksinə, koordinat oxlarının (analitik üsul üçün) və proyeksiya müstəvilərinin (qrafiki üsul üçün) rəşional seçimi bir çox hallarda məlum həlləri sadələşdirir və ya fəza mexanizminin analiz və sintezinə dair daha mürəkkəb məsələlərin həllinə imkan verir [5].

Qrafik və analitik üsulu eyni zamanda istifadə etdikdə proyeksiya müstəvilərindən oxlara keçid çətinlik yaratmamalıdır. Müstəvi mexanizmi fəza mexanizminin xüsusi halı kimi ümumiləşmiş fəza mexanizmindən alınmalıdır. Sonuncu hal, alınmış nəticələrin yoxlanılmasını asanlaşdırır.

Deyilənlərdən görüldüyü kimi, fəza mexanizmlərinin kinematik analizi üçün sadə, lakin kifayət qədər dəqiq qrafiki üsulun işlənilməsi aktual məsələdir. Bu məqsədlə, son illərdə üçölçülü kompüter modeli daha aktual hesab olunur.

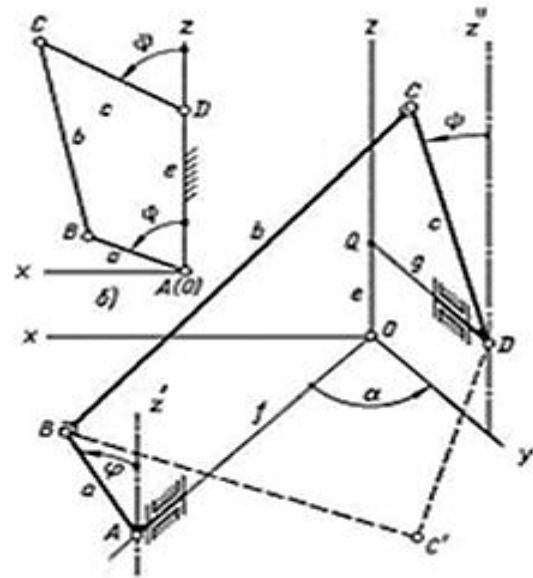
CAD sistemlərindən AutoCAD fəza mexanizmlərinin üçölçülü modelinin yaradılması üçün daha münasibdir. Belə ki, geniş yayılmışdır, əlavələr üçün açıqdır, yüksək səviyyəli AutoLISP proqramlaşdırma dili və CAL hesablama sisteminə malikdir [6,7]. AutoCAD-a əlavənin işlənilməsi hesablama işləri və qrafiki qurmaların eyni mühitdə birləşdirilməsi üçün ən effektiv üsuldur.

Nümunə kimi şəkil 1-də verilmiş fəza lingli dördbəndli mexanizminin üçölçülü kompüter modelinin qurulmasını nəzərdən keçirək. Mexanizmin AB aparıcı bəndinin  $\varphi$  dönmə bucağı  $Z''//Z$  oxunun, DC aparıcı bəndin  $\Psi$  dönmə bucağı  $Z''//Z$  oxunun müsbət tərəfindən hesablanır və müsbət istiqamət uyğun olaraq OA və QD xətlərin ucundan baxılırsa, saat əqrəbinin hərəkət istiqamətinin əksi götürülür. Görüldüyü kimi, mexanizmin BC bəndi öz uzununa oxu ətrafında dönmə imkanına malikdir, başqa sözlə əlavə sərbəstlik dərəcəsinə malikdir.

Koordinat sisteminin belə seçimi müstəvi mexanizmə keçməyə imkan verir. Belə ki, fəza mexanizmindən  $\alpha = 0$  və  $f = g = 0$  qiymətlərində müstəvi mexanizmi alınır. Belə mexanizm şəkil 1b-də verilmişdir. Bu halda  $e$  normalının uzunluğu AD tərpnəmz bəndinin uzunluğu,  $a, b, c$  bəndlərin uzunluğu kimi qalır, dördbəndli mexanizm, XOZ müstəvisi üzərində alınır.  $\varphi$  və  $\Psi$  dönmə bucaqları Z oxunun müsbət istiqamətindən X oxunun müsbət tərəfinə doğru hesablanır.

Qrafiki və qrafoanalitik üsulla lingli fəza dördbəndli mexanizminin xüsusi hallarının vəziyyətlər planının qurulması [8,9] baxılmışdır. Bu işlərdə qrafiki qurmalar tərsimi həndəsənin qaydalarına əsaslanmışdır və icraçıdan yüksək hazırlıq tələb edir, belə ki, kifayət qədər mürəkkəb qurma əməliyyatları əllə yerinə yetirilir.

Həmçinin bu işlərin nəticələrini ixtiyari vəziyyətdə olan mexanizmlərə tətbiq etmək mümkün deyildir. İxtiyari lingli fəza dördbəndli mexanizminin kinematik analizi üçün (o cümlədən vəziyyətlər planının qurulması üçün) mexanizmin AutoCAD paketində qurulmuş 3D



Şəkil 1. Mexanizmin kinematik sxemi

kompyuter modelindən istifadə etmək daha məqsədə uyğundur [4]. Bu, aparılan və aparılan bəndlərin yerləşdiyi müstəvilərin vəziyyətindən asılı olmayaraq ümumiləşmiş mexanizmin kinematik analizinə və bu prosesin avtomatlaşdırılmasına imkan verir.

Mexanizmin vəziyyətlər planını qurmaq üçün onun  $B$  və  $C$  nöqtələrinin fəzadakı vəziyyətini müəyyən etmək kifayətdir. Baxılan halda  $B$  nöqtəsi,  $A$  nöqtəsindən keçən və  $OA$  düz xəttinə perpendikulyar müstəvi üzərində, mərkəzi  $A$  nöqtəsində olan və radiusu  $r = l_{AB}$  olan çevrə üzərində yerləşir.  $C$  nöqtəsi isə  $B$  nöqtəsindən  $l_{CB}$  məsafəsində yerləşməlidir. Bu nöqtələrin həndəsi yeri isə, mərkəzi  $B$  nöqtəsində yerləşən və radiusu  $r = l_{CB}$  olan  $K$  kürəsidir. Digər tərəfdən  $C$  nöqtəsi  $D$  nöqtəsindən keçən və  $DQ$  düz xəttinə perpendikulyar olan müstəvi üzərindəki, mərkəzi  $D$  nöqtəsində olan və radiusu  $r = l_{DC}$  olan  $C_2$  çevrəsinin üzərində olmalıdır. Başqa sözlə  $C$  nöqtəsi  $K$  kürəsi ilə  $C_2$  çevrəsinin kəsişmə nöqtəsidir.

Məlumdur ki, müstəvi xətt ilə səthin kəsişmə nöqtəsini tapmaq üçün [10], xətdən müstəvi keçirib onunla səthin kəsişmə xəttini qurmaq və kəsişmə xətti ilə verilən xəttin kəsişmə nöqtəsini təyin etmək lazımdır ki, bu nöqtə xətlə səthin kəsişmə nöqtəsi olur. Baxılan halda  $K$  kürəsini  $D$  nöqtəsindən keçən və  $DQ$  xəttinə perpendikulyar müstəvi ilə kəsib, kəsişmədən alınan  $C_1$  çevrəsi ilə  $C_2$  çevrələrinin kəsişmə nöqtələri təyin edilir. Onlardan biri seçilir və  $CD$  bəndinin vəziyyəti təyin edilir.

Bu məsələnin həlli üçün, mexanizmin üçölçülü kompyuter modelində koordinat oxları şəkil 1-ə uyğun olması üçün AutoCAD-da dünyəvi (W) şimal-şərq izometrik fəza koordinat sistemi (NE) seçilir. Bu koordinat sistemində  $XOY$  müstəvisi üzərində  $OA$ ,  $ZOY$  müstəvisi üzərində  $QD$  düz xətt parçaları çəkilir və  $OA$  düz xətt parçasından istifadə edərək yeni istifadəçi koordinat sistemi (İKS) yaradılır, hansının ki, koordinat başlanğıcı  $A$  nöqtəsində,  $Z$  oxu isə  $AO$  xətti üzərində olur. Bu koordinat sistemində  $XY$  müstəvisi üzərində dünyəvi koordinat sisteminin (W)  $Z$  oxu ilə  $\varphi$  bucağı əmələ gətirən  $AB$  düz xətt parçası çəkilir. Bundan sonra koordinat başlanğıcı  $D$  nöqtəsində və  $Z$  oxu  $DQ$  xətti üzərinə düşən yeni (İKS) yaradılır və onun  $XOY$  müstəvisi üzərində mərkəzi  $D$  nöqtəsində yerləşən və radiusu  $r_2 = l_{DC}$  olan  $C_2$  çevrəsi çəkilir. Bundan sonra mərkəzi  $B$  nöqtəsində olan və radiusu  $r = l_{BC}$  olan kürənin 3D modeli qurulur və o,  $D$  nöqtəsindən keçən  $DQ$  düz xəttinə perpendikulyar olan müstəvi ilə kəsilir. Kürənin müstəvi ilə kəsişməsindən  $C_1$  çevrəsi alınır.  $C_1$  və  $C_2$  çevrələrinin kəsişmə nöqtələri  $C$  nöqtəsinin vəziyyəti olur.

Yuxarıda qeyd olunan metodu reallaşdırmaq üçün, AutoLISP alqoritmik dilindən istifadə etməklə, AutoCAD-a əlavə işlənmişdir, hansının ki, proqramı aşağıda verilir.

*;Qrafiki üsulla dördbəndli fəza mexanizminin vəziyyətlər planının qurulması*

*(defun c:zz (fi / )*

*;(setq fi 10) (print fi)*

*; Koordinat sisteminin seçilməsi və koordinat oxlarının çəkilməsi*

*(command "view" "Ne" "ucs" "W" "erase" "all" "" "cal" (cal "1\*1"))(setq "osmode" 0)*

*(command "line"(list 0 0 0 )(list 0 0 120)"" )*

*(command "line"(list 0 120 0)(list 0 0 0 )(list 120 0 0)"" )*

*; Mexanizmin ölçülərinin daxil edilməsi*

*(setq al 45 bl 75 cl 80.0 f 100 gl 83 el 20 alf 50 )*

*; A və B nöqtələrinin koordinatlarının təyini və çəkilməsi*

*(setq ya(\*f( cal"cos(alf)") ) xa(\*f( cal"sin(alf)") ))(setq PA(list xA yA 0))*

*(setq xB(cal"f\*sin(alf)+al\*sin(fi)\*cos(alf)") )*

*(setq yB(cal"f\*cos(alf)-al\*sin(fi)\*sin(alf)") )*

*(setq zB(cal"al\*cos(fi)") ) (setq pB(list xB yB zB))*

*(command "line"(list 0 0 0 ) pA"" )(command "line" PA pB "" )*

*; Koordinat başlanğıcı A nöqtəsində yerləşən və xOy müstəvisi AO xəttinə perpendikulyar*



; yeni istifadəçi koordinat sisteminin yaradılması  
 (command "ucs" "ZA" PA (list 0 0 0))  
 (command "circle" (list 0 0 0) al)  
 ; Mərkəzi B nöqtəsində olan və radiusu  $r=bl$  olan kürənin çəkilməsi  
 (command "ucs" "w" "sphere" (list xB yB zB) bl) (setq sf (entlast))  
 ; D nöqtəsinin yerinin təyini, QD xəttinin çəkilməsi və yeni koordinat sisteminin seçilməsi  
 (setq pQ(list 0 0 el) pD(list 0 gl el)) (command "line" pQ pD "" )  
 (command "ucs" "ZA" PD pQ)  
 ;Kürənin müstəvi ilə kəsilməsi  
 (command "section" sf "" "xy" "") (setq ck (entlast))  
 (command "erase" sf "") (setq c(entlast))(command "circle" (list 0 0 0) cl)  
 Çevrələrin kəsişmə nöqtələrinin oxunması  
 (command "trim" c "" (list (- 0 cl) 0 0) "" )  
 (setq an(cdr(assoc 51(entget(entlast)))))) (setq ksi(- 90 (cal"an\*180/pi"))) )  
 (setq xCu (cal"cl\*cos(an\*180/pi))) (print xC) (setq zCu 0)  
 (setq yCu (cal"cl\*sin(an\*180/pi))) (print yC) (setq pCu(list xCu yCu zCu))  
 (setq Cw(cal"u2w(pCu)))  
 (command "ucs" "w" "line" pB Cw pD "" )  
 (print fi) (print ksi)  
 (princ)

Qrafiki həll ardıcılığı əsasında aparılan bəndin dönmə bucağı üçün aşağıdakı analitik ifadə alınmışdır.

$$\psi = \arctg \frac{x_1}{y_1} \quad (1)$$

harada ki,

$$y_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad a_1 = y_{o1} \quad x_{o1}; \quad x_{o1} = x_B - x_D; \quad y_{o1} = z_B - e;$$

$$x_1 = a_1 y_1 + b_1; \quad a = a_1^2 + 1; \quad b = 2a_1 b_1; \quad c = b_1^2 - r_2^2;$$

$$b_1 = r_2^2 + x_{o1}^2 + y_{o1}^2 - r_1^2 \quad 2x_{o1}; \quad r_1 = \sqrt{b_l^2 + dy^2}; \quad dy = g - y_B;$$

$$x_B = f \sin \alpha + a_l \sin \varphi \cos \alpha; \quad y_B = f \cos \alpha + a_l \sin \varphi \sin \alpha; \quad z_B = a \cos \varphi;$$

$$y_D = g; \quad z_D = e; \quad r_2 = l_{DC}; \quad a_l = l_{AB}; \quad b_l = l_{BC};$$

Mexanizmin vəziyyətlər planının qurulmasından əvvəl, onun verilən ölçülərlə mümkün olub-olmamağını aşağıdakı şərtlərlə yoxlamaq lazımdır.

$$\begin{aligned} g - y_B &< l_{BC}; \\ r_1 + r_2 &> (x_{o1}^2 + y_{o1}^2)^{0.5} \\ r_1 &< r_2 + (x_{o1}^2 + y_{o1}^2)^{0.5} \end{aligned} \quad (2)$$

**Nəticə:** Fəza dördbəndli mexanizminin vəziyyətlər planının qurulmasında qrafiki üsul və onun əsasında alınmış analitik ifadə (1) kifayət qədər sadə və dəqiqdir. Belə ki,  $\phi$  və  $\Psi$ -nin uyğun

qiymətləri əsasında analitik üsulla hesablanmış  $B$  və  $C$  nöqtələri arasındakı məsafə yüksək dəqiqliklə (0.001%)  $l_{BC}$ -nin qiyməti ilə üst-üstə düşür. Bu isə öz növbəsində alınmış analitik ifadənin köməyi ilə mexanizmin riyazi modelini yaratmağa və onun vasitəsi ilə mexanizmi tədqiq etməyə imkan verir.

## **ƏDƏBİYYAT**

1. Диментберг Ф.М. Теория пространственных шарнирных механизмов. М.: Наука, 1982. 336 с.
2. Бурмистров А.Г. Графический метод определения положений пространственных пятизвенных механизмов. Машиноведение, №2, 1966.
3. Хлебосолов И.О. Графоаналитические методы расчета механизмов с использованием ЭВМ // Теория механизмов и машин, 2004. №2. Том 2. с. 40-44.
4. Мустафаев М.Р. и др. Графическое определение положений пространственных пятизвенных механизмов на ее трехмерной компьютерной модели в пакете AutoCAD. МАА, Elmi Məcmuə, cild 19, №3, 2017.
5. Левитский Н.И., Полухин В.П. К выбору осей координат и плоскостей проекций в пространственном четырехзвеннике. «Наука», «Машиноведение», 1968, №6.
6. Лич Дж. Энциклопедия AutoCAD 2002. - СПб.: Питер, 2002, 1072 с.
7. Полешук Н.Н., Лоскутов П.В. AutoLISP и Visual LISP в среде AutoCAD. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 960 с.
8. Артоболевский И.И. Теория механизмов. М.: 1965, 776 с.
9. Полухин В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочных машин. М.: 1972, 280 с.
10. Фролов С.Ф. Начертательная геометрия. М., Машиностроение, 1983, 240 с.

## **REFERENCES**

1. Dimentberg F.M. Teoriya prostranstvennikh sharnirnikh mekhanizmov. M.: Nauka, 1982. 336 s.
2. Burmistrov A.G. Graficheskii metod opredeleniya polozheniy prostranstvennikh pyatizvennikh mekhanizmov. Mashinovedeniye, №2, - 1966.
3. Khlebosolov I.O. Grafoanaliticheskie metodi rascheta mekhanizmov s ispol'zovaniyem EVM // Teoriya mekhanizmov i mashin, 2004. №2. Tom 2. с. 40-44.
4. Mustafayev M.R. i dr. Graficheskoe opredelenie polozheniy prostranstvennikh pyatizvennikh mekhanizmov na ee trekhmernooy kompyuternooy modeli v pakete AutoCAD. МАА, Elmi Mejmueler, jild 19, №3, 2017.
5. Levitskiy N.I., Polukhin V.P. K viboru osey koordinat i ploskostey proektsiy v prostranstvennom chetiryokhzvennike. "Nauka", "Mashinovedenie", 1968, №6.
6. Lich Dzh. Ensiklopediya AutoCAD 2002. - SPb.: Piter, 2002, 1072 s.
7. Poleshuk N.N., Loskutov P.V. AutoLISP i Visual LISP v srede AutoCAD. - SPb.: BKhV-Peterburg, 2006, 960 s.
8. Artobolevskiy I.I. Teoriya mekhanizmov. M. 1965. 776 с.
9. Polukhin V.P. Proyektirovanie mekhanizmov shveyno-obmetochnikh mashin. M.: 1972, 280 s.
10. Frolov S.F. Nachertatel'naya geometriya. M., Mashinostroyeniye, 1983, 240 s.

### ***THREE-DIMENSIONAL COMPUTER MODEL OF A FOUR-POINT SPACE MECHANISM***

***Mustafayev M.R., Yakhyayeva A.N., Ragimova S.M.  
National Aviation Academy***

*A 3D parametric computer model of a lever spatial 4-link mechanism is proposed in the AutoCAD package and, based on it, a graphical method for determining the mechanism links positions, as well as a new analytical dependence for determining the driven links position. These methods are based on geometric constructions. To automate geometric construction and display the results obtained, an AutoCAD user application has been developed. The proposed the mechanism 3D parametric model also allows building velocity and acceleration diagram of the mechanism.*

**Keywords:** AutoCAD graphic program package, four - bar link space mechanism, three-dimensional computer model, parametric model, plan of displacement, geometric constructions, rotation angle of the constructed link, analytical expression.

**Rəyçi:** *f.-r.e.n., dos. Yaqubov Ə.H.*

**Müəlliflər haqqında məlumat**

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Mustafayev Mustafa Rəhim oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası, Nəqliyyat mexanikası kafedrası	t.e.d., professor	<a href="mailto:musta-mro@rambler.ru">musta-mro@rambler.ru</a> mob: (+994) 50-613-38-14
Yəhyayeva Aygül Nazir qızı	Milli Aviasiya Akademiyası, Nəqliyyat mexanikası kafedrası	Laborant	<a href="mailto:aygul.yehyayeva@mail.ru">aygul.yehyayeva@mail.ru</a> mob: (+994) 55-886-98-57
Rəhimova Səidə Məmməd qızı	Milli Aviasiya Akademiyası, Tədris-Metodik Şöbə	Metodist	<a href="mailto:saida_abdullayeva@bk.ru">saida_abdullayeva@bk.ru</a> mob: (+994) 50-508-86-97

## İNGİLİS DİLİNİN TƏDRİSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİ

*Abbasova N.A., Əliyeva G.A.*  
*Milli Aviasiya Akademiyası*

*Müasir elmin ən son tendensiyası olan süni intellekt (Sİ) davamlı olaraq gündəlik həyatımıza nüfuz edir, onun ayrılmaz hissəsinə çevrilir, təhsildə, xüsusən də xarici dillərin öyrənilməsində getdikcə daha əhəmiyyətli rol oynayır. Hazırda bütün dünyada süni intellektin köməyi ilə tədris prosesinin keyfiyyətini yüksəltmək və zəruri peşə vərdişlərinə səmərəli şəkildə yiyələnmək üçün müasir texnologiyalardan geniş istifadə olunur. Sİ, qiymətləndirmə sistemlərini qismən optimallaşdırmağa imkan verir. Sİ-nin köməyi ilə tədris fəaliyyətini, onun çətinlik səviyyəsini, təlim tempini və tədris metodlarını rəşional tənzimləyərək effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq mümkündür.*

*Açar sözlər: süni intellekt, qiymətləndirmə sistemi, tədris metodu, fərdi hədəf proqramları, müqayisəli təhlil, ünsiyyət bacarıqları, inteqrasiya, iş yükünün azaldılması, peşə vərdişləri.*

**Giriş.** Bizi bu məqaləni yazmağa İCAO prezidenti cənab Salvatore Sciacchitanonun, 2023-cü ilin iyununda Milli Aviasiya Akademiyasına səfəri zamanı müəllim və tələbələr qarşısındakı çıxışı ruhlandırdı. Çıxış zamanı o, Hava Hərəkətinin İdarəedilməsində Sİ-dən istifadə edilməsi kimi əhəmiyyətli bir məsələyə toxunmuşdu.

Bu gün bu, az öyrənilmiş sahədir və bu haqda məlumat çox deyil, amma aviasiya sahəsində Sİ-nin tətbiq imkanları çox genişdir. Biz bu məqalədə Sİ-nin gələcəkdə ingilis dili tədrisindəki rolu və imkanlarından danışıcayıq.

Məqalənin yazılmasından məqsəd Sİ-nin ingilis dili fənninin tədrisində rolunu araşdırmaq, üstünlüklərini qeyd etmək və onların dərş prosesində tətbiq yollarını öyrənməkdən ibarətdir. Sİ müəllimi əvəz etmir, yalnız onun işini asanlaşdırır, sürətləndirir, iş yükünün azaldılması, həmçinin səhv qərarların verilməsindən çəkindirmək və onları sığortalamaq üçün istifadə olunur. Məqsəd süni intellektin anlayışla qarşılınması və bu sahədə təbliğat və təşviqatı genişləndirməkdir. Məqalədə, gələcəkdə superintellektli maşınlar onları idarə etmək cəhdlərinə müqavimət göstərəcək və təhlükəli hala gələcəyi barədə xəbərdarlıq edilir.

Son onilliklərdə xarici dillərin tədrisi metodologiyasında qlobal dəyişikliklər baş vermişdir. Müasir elmin ən son tendensiyası olan Sİ davamlı olaraq gündəlik həyatımıza nüfuz edir, onun ayrılmaz hissəsinə çevrilir, təhsildə, xüsusən də xarici dillərin öyrənilməsində getdikcə daha əhəmiyyətli rol oynayır. Apple, Google, Microsoft və Facebook kimi texnoloji nəhənglər hazırda Sİ sahəsində güclü rəqabət aparır, bu sahədəki yeni tədqiqatlara böyük sərmayələr qoyurlar. Pandemiya və bunun nəticəsində distant təhsilə artan zərurət Sİ texnologiyalarının təhsil sektoruna inteqrasiyasını bir qədər də sürətləndirdi. Hazırda bütün dünyada Sİ-nin köməyi ilə tədris prosesinin keyfiyyətini yüksəltmək və zəruri peşə vərdişlərinə səmərəli şəkildə yiyələnmək üçün müasir texnologiyalardan geniş istifadə olunur.

Sİ-nin inkişafı və tətbiqi üzərində çalışan Intellias, Alphary, Microsoft kimi nəhəng korporasiyaların araşdırmalarına görə, Sİ alqoritmləri həyatın bütün sahələrində elektron tədrisi inkişaf etdirmək üçün böyük potensiala malikdirlər. Xarici dilləri istənilən zaman və məkanda öyrənmək üçün müasir maddi-texniki bazası olan bəzi böyük universitetlərdə, nəqliyyat mühəndislərinin hazırlıq proqramlarında, beynəlxalq korporasiyalarda Sİ-dən də istifadə edirlər. Zaman keçdikcə ənənəvi məktəblər, kolleclər və universitetlər də tələbələrin imkanlarını daha rəngarəng etmək və genişləndirmək üçün Sİ ilə işləyən proqramlarına dil tədrisini əlavə edəcəklər.

Xarici dil tədrisində Sİ-dən istifadə sahəsində lider hesab olunan alman İT şirkəti Intellias-in təcrübəsini nümunə olaraq göstərmək olar. Intellias Alphary ilə birgə istifadəçilər üçün Android, İOS və veb saytları əsasında ingilis dilinin öyrənilməsinə yardımçı olan bir sıra tətbiqlər və proqramlar yaratmışdır. Bu tətbiqlər avtomatik olaraq intellektual əks əlaqəni təmin etmək üçün Oksford lüğətlər toplusundan və FeeBu (Feedback Butterfly) adlı inteqrasiya olunmuş Sİ-dən istifadə edirlər. Bu tətbiqin istifadəsi o qədər uğurlu oldu ki, dünyanın ingilis dili üzrə ən böyük tədris materialları nəşriyyatı olan Oxford University Press onu satın aldı və bu texnologiyayı dünyada yaymaq üçün lisenziyalaşdırdı.

Tədris prosesində istifadə olunan Sİ texnologiyası xarici dil tədrisinin mahiyyətini, tədris prosesinin təşkili qaydalarını dəyişərək, tədris problemlərini ən uyğun şəkildə həll edə bilir. Bu günlərdə Sİ tədrisində və innovativ təhsildə ən böyük problemləri belə həll etmək potensialına malikdir.

Sİ-dən hazırda təhsildə istifadənin bir neçə əsas istiqamətini ayırmaq olar:

- rutin tapşırıqların avtomatlaşdırılması;
- təlimin fərdiləşdirilməsi;
- məzmun və təlim proqramlarının yaradılması;
- soft skillsin inkişafı.

Bu istiqamətləri ayrı-ayrılıqda təhlil edək.

**Rutin tapşırıqların avtomatlaşdırılması.** Bu günlərdə Sİ həyatımızın hər sahəsinə nüfuz etdiyindən, Sİ alqoritmləri bütün sahələrdə eLearning-i təkmilləşdirmək potensialına malikdir. Sİ vasitəsilə dil tədrisi platformaları istifadəçilərə mövzuları təkrarlamaq, diqqəti daha çətin tapşırıqlara yönəltmək, həmçinin mədəni fon amillərini nəzərə almaq şərti ilə özlərinə uyğun sürət və tempdə işləmək imkanı yaradır.

Test tapşırığının cavablandırılması üzərində səylə çalışdıqdan sonra nəticələri gözləmək tələbələr üçün yorucu olur. Testin nəticələrini aldıqdan sonra səhvləri gördükdə, onları necə və hansı səbəbdən etdiyini xatırlamaq çətin olur. Sİ-nin tətbiqi ilə artıq bu qədər gözləmək zərurəti yoxdur, testlər ani olaraq avtomatik qiymətləndirilir və təhlil edilir. Nəticədə dərhal aşkar olunan səhvlərin aradan qaldırılması üçün zəruri tədbirlər görülür və nəticədə növbəti imtahanlardan daha yüksək nəticələr əldə edilir.

Sİ-dən artıq uzun müddətdir təhsildə, ilk növbədə bacarıqların inkişafına və sınaqlara kömək edən bəzi sistemlərdə istifadə olunur. Xarici dilin öyrənilməsi zamanı yaranan sualları yalnız auditoriyada, yaxud müəllimlə birbaşa görüş zamanı həll etmək mümkün olduğu halda, Sİ botlarından istifadə edərək günün istənilən vaxtında, istənilən mövzuda verilən sorğuya dərhal cavab verən 24/7 rejimində tədrisin mövcud olması əhəmiyyətli üstünlükdür.

Sİ vasitəsilə müəllimlər tədris planındakı çatışmazlıqları, mühazirələrdə və ya praktik tapşırıqlarda nəzərdən keçiriləcək istiqamətləri, tələbələr çətin gələn mövzuları və əlavə təlimə ehtiyacı olan tələbələri müəyyən etmək imkanı əldə edəcəklər. Bundan əlavə, müəllim tələbələrlə ünsiyyət, qiymətləndirmə, mənimsəmə təhlili, tapşırıqların yoxlanılması və dərslərə hazırlıq hissəsinin bir qismini Sİ-yə həvalə edə bilər. Məsələn, Gradescope proqramı məktəblərdə və universitetlərdə müxtəlif fənlər üzrə tipik tapşırıqları avtomatik yoxlamağa və qiymətləndirməyə imkan yaradır. “Qiymətləndirmə sistemləri qismən optimallaşaraq, avtomatik olaraq Sİ vasitəsilə tapşırıqla əks əlaqə yaradır, müəllimlər tələbələrin biliklərindəki boşluqları müəyyənləşdirir və onlara müvafiq zəruri materiallar təqdim edirlər” [1]. PrepAI servisi isə dərslər materialları əsasında testlər hazırlaya bilər. Müəllim mühazirəni, dərslərin fəslini və ya müvafiq mətni yükləyir və proqram çətinlik səviyyəsinə uyğun olaraq avtomatik dəyişə bilən suallar hazırlayır. Bu tətbiqin istifadəsi müəllimlərin vaxtına əhəmiyyətli dərəcədə qənaət edir, belə ki, müəllimlər orta hesabla iş vaxtının 40%-dən çoxunu tapşırıqların yoxlanılmasına, dərslərə hazırlığa və inzibati vəzifələrin yerinə yetirilməsinə sərf edirlər.

EFL (İngilis dili xarici dil kimi) öyrənmələr dərslərə yeni başlayanda çoxlu sayda səhvlər edirlər, həmçinin və bu müddət ərzində daim dəyişən dil bacarıqlarının mütəmadi olaraq yoxlanılmasına ehtiyac yaranır. Digər tərəfdən, müəllimlər eyni səhvləri düzəltmək kimi monoton

işdən çox yorulurlar. Buna görə də, bir çox tədqiqatçılar kompüter təlimi vasitəsilə öyrənmə və öyrətmə proseslərinin səmərəliliyini artırmağa çalışırlar.

**Təlimin fərdiləşdirilməsi.** Tədris prosesinə Sİ-nin daxil edilməsinin əsas üstünlüklərindən biri tələbələrə daha fərdi öyrətmə imkanları verməkdir və bu səbəbdən Sİ sutka ərzində tələbələrlə əks əlaqə yaradan chatbotlardan tutmuş hər bir tələbənin zərurətlərinə uyğunlaşan fərdiləşdirilmiş öyrənmə alqoritmlərinə qədər müxtəlif variantlardan istifadə edilir.

Xarici dil müəllimi üçün 15-25 nəfərdən ibarət qrupda hər bir tələbəyə fərdi yanaşması kifayət qədər çətin ola bilər. Yalnız Sİ-nin istifadəsi sayəsində yeni dil öyrənən hər bir tələbənin zəruri tələbatlarını nəzərə almaq mümkündür. Tədris prosesinə inteqrasiya edilmiş Sİ vasitəsilə müəllimlər tələbələri, onların maraqları, qabiliyyətləri və s. haqqında gigabaytlarla məlumat əldə edə bilirlər. Təhlil edildikdən sonra bu məlumatlar fərdiləşdirilmiş təhsilə yol açır.

Google mütəxəssisləri «Future of Education» adlı araşdırmalarında bu gün təhsilin Sİ texnologiyası sayəsində daha çox fərdiləşdirildiyini müəyyən ediblər. Qeyd edildiyi kimi Sİ təlimi hər bir tələbənin fərdi ehtiyacına uyğun qurmağa imkan verir. Bu sahədə ixtisaslaşan Carnegie Learning təhsil platforması müəllimlərə tələbələrin fəaliyyətini izləməyə və onlarla fərdi əks əlaqə qurmağa kömək edir.

“MathIAu alqoritmi tələbələrin inkişaf səviyyəsini izləyir, tapşırıqların icrası ilə bağlı rəy verir, tələbənin köməyə ehtiyacı olması barədə real vaxt rejimində müəllimi dərhal məlumatlandırır. Digər proqram, Coursera, ən çox səhv cavablandırılan sualları qeyd edərək məlumatları proqramın müəlliflərinə ötürür. Nəticədə sualların məzmununda dəyişikliklər edilir, yaxud mövzu əlavə olaraq izah edilir, tələbələr isə testi düzgün cavablandırmaq üçün müvafiq məlumatlar alırlar. Proqram tələbənin sualları cavablandırarkən hansı çətinliklərlə üzləşdiyini müəyyənləşdirir və müdaxilə edərək düzəlişlər edir” [2]. Tələbələr ev tapşırıqlarını yerinə yetirdikdə yenə də Sİ və neyroşəbəkələrdən fəal şəkildə istifadə edirlər. Bəzi tətbiqlərdə alqoritmlər fəaliyyət tarixçəsini təhlil edərək tədris proqramının hansı hissəsində təkmilləşdirilməyə zərurətin olduğunu göstərir və təhsil platformasının mövcud bilik səviyyəsinə uyğun fərdiləşdirilmiş proqramı təklif edir.

Daha çox fərdiləşdirilmiş tədris müəllimlərin dərslər vaxtından daha səmərəli istifadəsi deməkdir. Sİ texnologiyası iş yükünü azaltmaq və tədrisin səmərəliliyini artırmaqla fərdiləşdirilmiş tədrisdə müəllimin sinifdəki rolunu daha mükəmməl edəcək potensiala malikdir. Gələcəkdə təhsil texnologiyaları sektoruna daha çox Sİ əsaslı tətbiqetmələr daxil ediləcək və bu sahə inkişaf etdikcə tədrisə daha çox fayda gətirəcəkdir.

**Məzmun və təlim proqramlarının yaradılması.** PrepAI test generatoru Sİ ilə tədris məzmunları yaradır. SmartestLearning platforması ilə birgə bazaya yüklənmiş materialları təhlil edərək məzmunu uyğun müxtəlif formatlarda testlər, krossvordlar, suallar, interaktiv qrafiklər və s. kimi tapşırıqlar təklif edir. Sİ-nin köməyi ilə məsələn, synthesys servisində təlim videoları da yaratmaq mümkündür. Ssenari skripti yükləndikdən sonra alqoritm mətni nitqə və ya videoya çevirir. Dil, səsləndirmə səsləri və avatar seçməklə nəticəni tənzimləmək olar.

Təlim proqramları Sİ texnologiyasını yalnız məzmunu emal etmək, tənzimləmək və chatbotlarla qarşılıqlı əlaqə yaratmaq üçün istifadə etmir. Məsələn, Duolingo kimi xarici dil öyrənmə proqramında Sİ, hətta tələbənin nitqini başa düşməyə belə imkan yaradır. Alqoritm qrammatik konstruksiyaları, lüğəti, sözlərin tələffüzünü təhlil edir və səhv olduqda düzgün variantı təklif edir. Memrise tətbiqində isə texnologiya hətta real dünya obyektinin necə adlandırıldığını öyrənməyə imkan verir. Deyək ki, “masa” sözünün ingilis dilində tərcüməsini bilmək istəyirsinizsə, cavabı smartfonun kamerasını masaya yönəltməklə əldə etmək olar.

“Xarici dillərin tədrisində tam şəkildə Sİ-dən istifadənin üstünlüklərindən biri də mövcud dil chatbotlarıdır. Dil öyrədən Sİ chatbotları verilən sualları fərdi şəkildə cavablandırır, görülən işləri qiymətləndirir və təkmilləşdirmək üçün məsləhətlər verə bilər. Əvvəllər botlar yalnız ingilis, ispan, alman və ya fransız dillərində danışa bilirdisə, hazırda onlar müxtəlif mövzularda 23-dən çox dildə (və onların sayı artır) danışa bilirlər” [3]. Duolingo, dünyada dil öyrənmək üçün ən populyar chatbotlardan biridir və PC Magazine jurnalı bu tətbiqi ən yaxşı proqramlardan biri adlandırır. Bu proqram istifadəçinin tələblərini anlayır, Sİ alqoritmləri sayəsində fərqli

istifadəçilər eyni suala fərqli cavablar ala bilər. Duolingo, dil öyrənmə chatbotundakı virtual müəllimlər sayəsində minlərlə insanın anlaşılmazlıq hissi keçirmədən yeni bir dil öyrənməsinə imkan yaradır.

Chatbotlardan istifadə etmək üçün lazım olan tək şey Sİ botu ilə söhbətə başlamaq və onun təcrübəsindən yararlanmaqdır. ChatGPT hələ ki, təhsilin təşkili analitikasında ayrı-ayrı sorğu çatları ilə işləyir, lakin onun törəmələrinin (o cümlədən, GPT-4) kütləvi tətbiqi, şübhəsiz ki, bu kimi problemləri aradan qaldıracaq. Əvvəllər heç bir proqram ChatGPT qədər tapşırıqları tez və dəqiq yerinə yetirmirdi, hazırda isə onunla qarşılıqlı əlaqə nəticəsində müstəqil iş üçün tapşırıqlar, test sualları, inşa tipli cavabların avtomatik yoxlanılması üçün cavab standartları yaranır.

Hal-hazırda geniş istifadəsi olan müxtəlif chatbotlar mövcuddur: A. L. I. C. E., Mitsuku, Splotchy, Cleverbot, Existor, Elbot, iGod və s. Bu cür chatbotlar dil ünsiyyəti maneələrini aradan qaldıraraq xarici dildə məhdudiyətsiz ünsiyyət imkanları təmin etmək baxımından əvəzəlməzdir.

**Soft skills inkişafı.** Soft skills və ya «yumşaq bacarıqlar», şəxsi münasibətləri və xarakter xüsusiyyətləri ilə yanaşı sosial və idarəetmə qabiliyyətləri ilə də sıx əlaqəli insani keyfiyyətlərdir. Yumşaq bacarıqlara ənənəvi olaraq tənqidi düşüncə, ünsiyyət bacarıqları, başqalarını dinləmək bacarığı, komanda işi, yaradıcı düşüncə, mentorluq və s. aid edilir. Yumşaq bacarıqları kəmiyyətcə ölçmək mümkün olmasa da, onlar şəxsi və peşə həyatında uğur qazanmaqda strateji xarakter daşıyır və xarici dillərin öyrənilməsinə həm müsbət, həm də mənfi təsir edə bilər. Xarici dillərin öyrənilməsi tələbələrin fərdi xüsusiyyətlərinə və uyğun öyrənmə tərzinin seçilməsinə diqqətlə yanaşmağı tələb edir. Tədqiqatlara görə Sİ texnologiyaları həm tələbələr, həm də müstəqil dil öyrənənlərin yaradıcılıq, tənqidi düşüncə və hətta ünsiyyət bacarıqlarını artırmağa kömək edir. Məsələn:

-tələbələr neyroşəbəkənin köməyi ilə müəyyən tapşırığın qaralmasını hazırladıqdan sonra onu əl ilə köçürə bilərlər. Bu, məzmunu daha yaxşı başa düşməyə və qavramağa kömək edir;

-neyroşəbəkədən mübahisədə bu və ya digər məsələyə uyğun olaraq opponent kimi istifadə etmək olar;

-alqoritmlər bəzi hallarda səhv cavab verdiyindən tələbələr neyroşəbəkənin cavablarını təhlil edib faktları yoxlamaqla öz üzərlərində işləyə bilərlər.

Sİ-nin xarici dillərin tədrisində istifadəsinin tələbələrə verdiyi bir çox üstünlüklərini qeyd etmək vacibdir. Sİ demək olar ki, bütün nitq fəaliyyətlərinin tədrisində istifadə edilə bilər: danışmaq, dinləmək, oxumaq, yazmaq və tərcümə etmək. Tələbənin bilik səviyyəsini müəyyənləşdirməyə, tədris materialını və tədris prosesini uyğunlaşdırmağa, avtomatik sual generatorlarından istifadə etməyə, əlavə kurslar tövsiyə etməyə, öyrənmə nəticəsini proqnozlaşdırmağa, səs botlarından istifadə etməyə və s. kömək edə bilər. Müxtəlif aspektlərdə tələbələr üçün Sİ-nin fəaliyyətinin üstünlüklərini nəzərdən keçirək:

-şifahi nitq tədrisində Sİ müəllimləri təqlid edən yeganə texnologiyadır. Ona əsasən tələbələrlə fərdi və interaktiv dil tədrisi aparılır, tələbələrin tələffüzü düzəldilir, dialoqlar yaradılır, cümlə qurma tapşırıqları yerinə yetirilir, avtomatik olaraq danışma, həmçinin həm danışma, həm də dinləmə yoxlamaları keçirilir;

-təlimin ilkin mərhələsində fonetikaya xüsusi diqqət yetirildiyindən Sİ hərflərin və sözlərin tələffüzünə düzəlişlər edə bilər. Qeyri-standart tələffüz səbəbindən yeni öyrəndiyi əcnəbi dildə danışdıqda ifadələrin mənasını anlamaq bir qədər çətin olur və ünsiyyətdə maneələr yaranır. Nitqin tədrisi zamanı danışq dili mühitinin olmadığı şəraitdə Sİ tələbələrlə istənilən zaman və istənilən məkanda danışa bilər, beləliklə şifahi ünsiyyət üçün daha çox şans yaranır, “zəif danışq bacarığı” və “söhbətə başlamağın çətinliyi və ya utancaqlıq” problemlərini həll edərək nitq ünsiyyəti üçün daha çox şans yaradır, dil öyrənərkən ünsiyyət bacarıqlarının formalaşmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir;

-Sİ-nin köməyi ilə tələbələrin öyrənmə tərzində dəyişiklik sürətlənir. Tələbələrin fərdi inkişafının tələblərinə uyğun olaraq, tədqiqat məlumatlarının toplanması, təhlili və xüsusiyyətlərinin anlaşılması əsasında Sİ müxtəlif kanallarla təlim mənbələri əldə edir, müvafiq bilik səviyyəsinə çatmaq üçün ən uyğun təlimin fərdi hədəf proqramlarını hazırlaya bilər.

Beləliklə, təlim fərdi qabiliyyətlərə uyğun olaraq aparılır, hər tələbə üçün uyğun təlim seçilir və Sİ tədris prosesində nəticələri qiymətləndirərək rəy verir;

-Sİ-dən istifadə edildikdə, nəhəng material toplusundan lazımı materiallar tez bir zamanda axtarışa verilib tapılır və beləliklə tələbələrin vaxtına xeyli qənaət edilir;

-tələbələr proqrama yerinə yetirdikləri tapşırıq cavablarını yüklədikdən sonra, təbii dil işləmə texnologiyasına (NLP- natural language processing) əsaslanaraq, Sİ texnologiyası qrammatik səhvləri düzəliş edib müvafiq tövsiyələr verir. Beləliklə, tələbələrə verilən suallar vaxtında cavablandırılır, müstəqil təhsil qabiliyyəti artır [4-6].

Müəllimlər üçün Sİ yaratdığı üstünlüklər isə aşağıdakılardır:

-Sİ əsas bilikləri müəllimdən daha maraqlı bir şəkildə izah etmək imkanı verir;

-xarici dildən şifahi imtahan zamanı Sİ texnologiyasından istifadə edilərək müəllimlərin nitq tonu təqlid olunmaqla suallar verilir, imtahan verənin cavabı və eyni anda reaksiyası qeydə alınır. Sonda nitq ünsiyyəti ixtisas və geniş tədris təcrübəsi olan mütəxəssislər tərəfindən yoxlanılır.

Sİ texnologiyalarından istifadə etməklə xarici dillərin tədrisi interaktivliyini artırmaq, təhsil prosesinin fərdi meyarlara görə fərqləndirilməsinə kömək etmək, tədrisin keyfiyyətini və səmərəliliyini, tələbələrin savadını və xarici dili başa düşmə qabiliyyətini artırmağa bilər.

Sİ-nin köməyi ilə tədris fəaliyyətini, onun çətinlik səviyyəsini, təlim tempini və tədris metodlarını rəşional tənzimləyərək effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq mümkündür. Qeyd etmək lazımdır ki, Sİ insanlara nisbətən daha dəqiq qiymətləndirərək tələbələrə hərtərəfli və sistemli təlim proqramı təqdim edir. Qiymətləndirmə tədris fəaliyyətinin vacib hissəsi olduğundan avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə sistemi obyektiv, ardıcıl, səmərəli və yüksək səviyyəli nəticələrə nail ola bilər.

Tələbələrin qiymətləndirmə sisteminin özünü də Sİ-nin köməyi ilə təkmilləşdirmək olar. Bunun üçün ardıcıl olaraq növbəti addımlar atılmalıdır:

-məlumatlar proqrama daxil edilir;

-müəllimlə birlikdə imtahan tapşırıqlarında müvafiq düzəlişlər edilir;

-proqram tərəfindən məlumatlar təhlil edilir;

-növbəti sınağa hazırlaşmaq üçün düzəliş edilmiş məlumatların son nəticəsinin dəqiqliyi təmin olunur.

Əlavə olaraq, Sİ auditoriyada mühazirə dinləyən tələbələrin yaşadığı emosional dəyişiklikləri anlamaq üçün üz ifadələrinin və səs tonlarının tanıma texnologiyasından istifadə edərək dərsi nə qədər yaxşı mənimsədikləri və öyrənmə motivasiyasının necə dəyişdiyi barədə məlumatlar dərhal müəllimə ötürülə bilər. Bunun əsasında müəllim tədrisin mənimsənilmə metodikasına düzəlişlər edə bilər.

Böyük dil modelləri (Large language models, LLM) və onlara əsaslanan alətlər, görüntü generatorları (text2img texnologiyaları), görüntü və video emal vasitələri və digər texnologiyalar yeni texnoloji səviyyədə demək olar ki, müəllimin iştirakı olmadan tədris məzmunu yaratmağa imkan verir. Onlar Sİ tərəfindən yaradılan, tədris məhsullarına və videolara, virtual reallığa, müəllimin rəqəmsal həmkarlarına və s. daxil olan personajlardır.

Yuxarıda yazılanları yekunlaşdıraraq qeyd etmək olar ki, elm və tədris sahəsində tərəqqinin ayrılmaz hissəsi olan Sİ-in müasir dünyada böyük əhəmiyyətə malik olduğunu, təhsil sahəsində inkar edilməz üstün cəhətləri olduğu kimi müəyyən çatışmazlıqlarını da göstərmək vacibdir: yüksək xərclər, müəllimlər arasında yarana biləcək işsizlik, yaradıcılığın, etika və duyğuların olmaması, texnoloji asılılıq, koqnitiv inkişafa təsir və s.

Bu çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün Sİ-nin müasir dövrdə və gələcəkdə tədrisə təsirinin müqayisəli təhlili əhəmiyyətli məlumatlar verə bilər. Təlimçilər, müəllimlər və təhsil müəssisələri tərəfindən təhsil sahəsində yeni texnologiyaların istifadəsi və Sİ tətbiqlərinin inkişafı şübhə doğurmur, ancaq tapşırıqları optimallaşdırmağa məşinlərlə bu məşinlərdən istifadə edən insanlar arasında bir tarazlıq tapmaq zərurəti yaranır.



**Nəticə.** Sİ-nin məqsədi heç də müəllimləri əvəz etmək deyil, yalnız rollarını yeni bir şəkildə müəyyənləşdirməkdir. Çünki müəllimin vəzifəsi yalnız bilik ötürmək, yaxud təhsil vermək deyil, həm də tələbələri tərbiyələndirmək, həm də mənəvi dəyərlər aşılamaqdır. Təhsilin mahiyyəti duyğuların ötürülməsindədir, bu səbəbdən Sİ texnologiyası daha faydalı öyrənmə vasitəsi ola bilər, çünki maşının emosiyaları olmadığı üçün müəllimləri tamamilə əvəz edə bilməz. Bu isə, Sİ texnologiyasının hazırda yerinə yetirə bilmədiyi vacib bir xüsusiyyətdir.

## **ƏDƏBİYYAT**

1. Course Book Cambridge University Press, 2011 pg123.
2. A Call For Intelligent Practice, Torben Schmidt, 2022, pg 167.
3. SAGE Journals. Artificial Intelligence in English Language Teaching”2023, April 26, page 21.
4. IETE Technical Review, Volume 4, 2023.
5. [www.UNESCO.org](http://www.UNESCO.org)
6. Center for American Progress, Future Testing in Education.

## **APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING ENGLISH**

**Abbasova N.A., Aliyeva G.A.**  
*National Aviation Academy*

*Artificial intelligence (AI), the latest trend of modern science, is constantly penetrating our daily life, becoming an integral part of it, playing an increasingly important role in education, especially in learning foreign languages. AI evaluation systems allow for partial optimization. With the help of AI, it is possible to significantly increase the effectiveness of educational activity, its level of difficulty, learning pace and teaching methods. Currently, modern technologies are widely used all over the world to improve the quality of the educational process with the help of artificial intelligence and effectively acquire the necessary professional skills.*

**Keywords:** *Artificial intelligence, assessment system, teaching method, individual target programs, comparative analysis, soft skills, integration, decrease of workload, professional skills.*

**Rəyçi:** *f.f.d., dos. Yusifova A.N.*

### **Müəlliflər haqqında məlumat**

<b>Soyadı, adı, atasının adı</b>	<b>İş yeri</b>	<b>Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı</b>	<b>Əlaqə</b>
Abbasova Nailə Arif qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Peşəkar ingilis dili kafedrasının dosent əvəzi	<a href="mailto:nailya.abbasova@gmail.com">nailya.abbasova@gmail.com</a> mob: (+994)50-220-27-51
Əliyeva Gülxar Ağasəlim qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Peşəkar ingilis dili kafedrasının dosent əvəzi	<a href="mailto:A_gulkhar@mail.ru">A_gulkhar@mail.ru</a> mob: (+994)055-765-04-56

## *MÜNDƏRİCAT*

### *AVIASIYA VƏ KOSMİK TEXNİKASI*

1. Elmi-tədqiqat raketinin trayektoriyasının modelləşdirilməsi  
Tağıyev V.Q. .... 1

### *MATERIALŞÜNASLIQ*

2. 1-fenilsulfamid-n-2-yod-3-xlorpropanın rodanid və tiokarbonil törəmələrinin sintezi  
Məmmədova S.İ., Ladoxina N.R., Əsgərova K.T., Abbasova Ş.B.,  
Məmmədova G.H., Yüzbaşova L.N. .... 10

### *İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI*

3. Hava gəmisinin uzununa hərəkətinin idarə olunması sisteminin modelləşdirilməsi  
İsmayılov İ.M. .... 18
4. Hibrid müharibə anlayışı və onun mahiyyəti  
Musayev H.M. .... 29
5. m-lik kodları üzrə generatorların kriptografiki təhlükəsizliyinin nəzəri qiymətlənməsi  
Məmmədov M.F. .... 36

### *AEROKOSMİK MONİTORİNG VƏ ƏTRAF MÜHİTİN QORUNMASI*

6. Müxtəlif iqlim dövrlərində Abşeron yarımadasında havanın orta temperaturunun dəyişmə xüsusiyyətlərinin və intensivliyinin qiymətləndirilməsi  
Səfərov S.H. .... 48

### *CİHAZQAYIRMA*

7. Dördbəndli fəza mexanizminin üçölçülü kompüter modeli  
Mustafayev M.R., Yəhyayeva A.N., Rəhimova S.M. .... 57

### *İCTİMAİ ELMLƏR*

8. İngilis dilinin tədrisində süni intellektin tətbiqi  
Abbasova N.A., Əliyeva G.A. .... 63

## *CONTENTS*

### *AVIATION AND SPACE TECHNOLOGY*

1. Trajectory modelling of sounding rocket  
Taghiyev V.G. .... 1

### *MATERIALS SCIENCE*

2. Synthesis of rhodanids and thiocarbonyl derivatives 1-phenylsulfamido-n-2-iodine-3-chloropropane  
Mamedova S.I., Ladokhina N.P., Askerova K.T., Abbasova Sh.B.,  
Mamedova G.G., Yuzbasheva L.N. .... 10

### *INFORMATION TECHNOLOGY*

3. Simulation of the aircraft longitudinal movement control system  
Ismayilov I.M. .... 18
4. The concept of hybrid warfare and its essence  
Musayev H.M. .... 29
5. Theoretical estimation of the cryptographic security of generators on m-chate codes  
Mammadov M.F. .... 36

### *AEROSPACE MONITORING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION*

6. Assessment of the features and intensity of changes in the average air temperature  
on the absheron peninsula in different climatic periods  
Safarov S.H. .... 48

### *INSTRUMENTATION*

7. Three-dimensional computer model of a four-point space mechanism  
Mustafayev M.R., Yakhyayeva A.N., Ragimova S.M. .... 57

### *SOSIAL SCIENCES*

8. Applying artificial intelligence in teaching english  
Abbasova N.A., Aliyeva G.A. .... 63

## Məqalələrin təqdim olunma qaydaları

Məqalələr Azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul olunur. Hər bir məqaləyə Azərbaycan, rus və ingilis dillərində xülasə və açar sözlər verilməlidir. Çapa təqdim olunan məqalələr A4 formatda, 12 ölçülü şriftlə (cədvəllər, şəkillər və şəkilaltı yazılar 11 ölçülü şriftlə), ağ kağızda bir intervalla çap olunmalıdır. Boşluqlar: vərəqin bütün kənarlarından 2 sm. Məqalənin həcmi: orijinal məqalələr üçün 10, icmal məqalələr üçün 15 səhifədən artıq olmamalıdır. Məqalələr 2 nüsxədə çap və elektron variantda (WORD) təqdim olunur. Əlyazmalar müəlliflərə qaytarılmır. Digər təşkilatlardan olan müəlliflərin məqalələri onların işlədiyi təşkilatın məktubu ilə birlikdə təqdim olunmalıdır.

Məqalələrə müsbət rəy verildikdən sonra redaksiya heyətinin qərarı ilə çap olunur.

1. Hər bir məqalə onun UOT-u və ya PACS-ı, DOI-si, adı, müəlliflərin adı, ata adı, soyadları, elektron ünvanları, təşkilatın adı, məqalənin yazıldığı dildə bir intervalla çap olunmalı, qısa annotasiya və açar sözlərlə başlanmalıdır.

2. Ədəbiyyata istinad (References):

- ədəbiyyata istinad məqalədə rast gəlinəndə ardıcılıqla işlənməlidir.

Sitat gətirmə qaydası:

- dövrü jurnallardakı məqalələr: müəlliflərin A.A. Soyadları, məqalənin adı, dövrü jurnalın adı, çap olunma ili, cildi, nömrəsi, səhifə nömrəsi;
- konfrans materialları və tezislər: müəlliflərin A.A. Soyadları, konfrans materialları və ya tezisnin adı konfransın adı, keçirildiyi yer və il, çap materialının cildi, nömrəsi və səhifələri;
- kitablar: müəlliflərin soyadları, kitabın adı, çap olunduğu nəşriyyat, il və yer, səhifələrin sayı, təkrar istinadlarda isə səhifə nömrəsi verilir.

References - ədəbiyyatın orijinal dildə ingilis əlifbası ilə verilmiş variantıdır.

3. Annotasiya.

Annotasiya digər iki dildə 8 sətirdən az olmayaraq, ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır.

4. Açar sözlər.

Azərbaycan, rus və ingilis dillərində 8-10 söz.

5. Rəsmlər və şəkillər.

Rəsmlər və şəkillər yazıları və izahatları ilə ayrıca təqdim olunmalıdır. Ölçülər: 6 sm x 6 sm-dan az və 23sm x 16 sm-dan çox olmayaraq. Qrafiklərin koordinat oxları minimum rəqəm tərkibli olmalıdır. Koordinat oxlarının adları çox aydın yazılmalıdır. Qrafiklərdəki hər bir xətt nömrələnmiş və izahlı şəkildə olan yazılarla verilməlidir.

6. Cədvəllər.

Cədvəllər ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır. Onlar nömrələnəli və başlıqla verilməlidir.

7. Məqalənin sonunda müəlliflər haqqında məlumat verilir: adı, soyadı və atasının adı; elmi dərəcəsi və adı; elektron ünvanı; iş yeri və ünvanı; işin icra olunduğu şöbə, laboratoriya və ya kafedra; maraq dairəsi.

**Verilmiş tələblərə uyğun gəlməyən məqalələrə baxılmır!!!**

## **Publication guidelines for articles in the Scientific Journal of National Aviation Academy**

Articles are accepted in Azerbaijani, Russian or English. Each article should have an abstract and keywords in Azerbaijani, Russian and English. Articles submitted for publication should be printed with one interval on white A4 paper, font size 12 (tables, figures and captions for figures, font size 11). Margins: 2 cm on all edges page. Article length for original articles is no more than 10 pages, and 15 pages for review articles. Both articles should be submitted in 2 copies in printed and electronic version. The copies must be typed in the Microsoft Word text editor. Manuscripts of articles are not returned to the authors. For authors from other organizations, articles are accompanied by a letter and an examination certificate from the organization where they work. Articles are reviewed.

Only the articles received positive review of the Editorial Board are published.

1. Each article begins with UDC or PACS, DOI, title, information about the author(s), email address, name of the organization and a brief annotation in the original language of the article and keywords published in one interval.
2. References to literature (References):
  - references should follow the order that are cited in the article
  - Citation order:
    - articles in periodicals: Author's full name, title of the article, title of the periodical, year of publication, volume and page numbers;
    - conference publications and abstracts: Author's full name, title of the conference publication or abstract, conference title, place and year of the conference, volume number, page numbers.
    - books: Author's full name, title of the book, publisher, date and place, number of pages; when referring again, the page number is also given.
3. Abstract. The abstract of at least 5 lines in two other languages printed on a separate paper.
4. Key words in Azerbaijani, Russian and English, 5-10 words.
5. Drawings and photographs with inscriptions and explanations are attached separately. Dimensions: not less than 6x6 cm and not more than 23x16 cm. The coordinate axes of the graphs must contain minimum numbers. The names of the coordinate axes must be written very clearly. Each line in the graphs should be given with numbered and well-explained figure captions.
6. Tables should be numbered, titled and printed on a separate sheet.
7. The author(s) information is given at the end of the article: full name; academic degree and academic title; place of work and address; department, laboratory or chair where the work was fulfilled; sphere of scientific interests; email address; contact numbers.

**Articles that do not meet these requirements will not be considered!!!**

“Elmi Məcmuə”nin redaksiya heyəti tərəfindən  
nəşrə hazırlanmış və çapına icazə verilmişdir

"Scientific Journal" prepared for publication by the  
editorial board and permission to print

Çapa hazırlanmışdır: 10.10.2023  
“Elmi Məcmuə”  
“Azərbaycan Hava Yolları” Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti  
Hava Limanlarının İstismarı Baş İdarəsinin  
Poliqrafiya Mərkəzində çap olunmuşdur.  
Formatı - 60x84 1/8.  
Tiraj 50 nüsxə.

