

ISSN 2957-5931



FÖVQƏLADƏ HALLAR NAZİRLİYİNİN AKADEMİYASININ
ELMİ XƏBƏRLƏRİ

SCIENTIFIC HERALD
THE ACADEMY OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
АКАДЕМИИ МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

CİLD 1

FÖVQƏLADƏ HALLAR NAZİRLİYİNİN AKADEMİYASININ ELMİ XƏBƏRLƏRİ



1

2026



DOI: 10.30546/FHNA



ISSN 2957-5931



**Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının
ELMİ XƏBƏRLƏRİ**

SCIENTIFIC HERALD
**The Academy of the Ministry of Emergency
Situations**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
**Академии министерства по чрезвычайным
ситуациям**

Elmi-texniki jurnal
Scientific-technical journal
Научно-технический журнал

BAKİ – 2026

Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının

ELMİ XƏBƏRLƏRİ

Elmi-texniki jurnal

BAŞ REDAKTOR – dosent B.H.SALAYEV

Baş redaktorun müavini – t.f.d. **K.T.Kazimov**

Məsul katib – t.f.d. **X.Ş.Həsənov**

REDAKSIYA HEYƏTİ:

h.ü.f.d. V.Q.Polevoy (Rusiya), professor İ.İ.Polevoda (Belarus), E.Haarselhorst (Niderland), dosent J.X.Xasenov (Qazaxstan), dosent Pañçenkov V.V. (Rusiya), dosent M.V.Elifimova (Rusiya), professor O.E.Ziyadullayev (Özbəkistan), dosent A.N.Baturo (Rusiya), professor X.A.Həsənov, professor S.R.Rəsulov, professor İ.Ə.Həbibov, professor F.Ə.İmanov, professor C.İ.Hüseynov, professor R.Ahıska, professor F.Z.İbrahimzadə, professor İ.F.Dadaşov, professor Ə.S.Əfəndi.

Scientific-technical journal

SCIENTIFIC HERALD

The Academy of the Ministry of Emergency Situations

EDITOR-IN-CHIEF – assoc.prof B.H.SALAYEV

Deputy Editor-in-Chief – Ph.D. **K.T.Kazimov**

Executive Secretary – Ph.D. **Kh.Sh.Hasanov**

EDITORIAL BOARD:

Ph.D. Assoc. Prof. V.G.Polevoy (Russia), professor I.I.Polevoda (Belarus), E.Haarselhorst (Netherlands), Assoc. Prof. J.Kh.Khasenov (Kazakhstan), Assoc. Prof. V.V.Panchenkov (Russia), Assoc. Prof. M.V.Elifimova (Russia), professor O.E.Ziyadullayev (Uzbekistan), Assoc. Prof. A.N.Baturo (Russia), professor X.A.Hasanov, professor S.R.Rasulov, professor I.A.Habibov, professor F.A.Imanov, professor J.I.Huseynov, professor R.Ahiska, professor F.Z.Ibrahimzada, professor I.F.Dadashov, professor A.S.Afandi.

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

Академии Министерства По Чрезвычайным Ситуациям

Научно-технический журнал

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – Доцент Б.Г.САЛАЕВ

Заместитель главного редактора – к.т.н. **К.Т.Казымов**

Исполнительный секретарь – к.т.н. **Х.Ш.Гасанов**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

к.в.н. доцент В.Г.Полевой (Россия), профессор И.И.Полевода (Беларусь), Э.Харсельхорст (Нидерланды), доцент Ж.Х.Хасенов (Казахстан), доцент В.В.Панченков (Россия), доцент М.В.Елфимова (Россия), профессор О.Э.Зиядуллаев (Узбекистан), доцент А.Н.Батуро (Россия), профессор Х.А.Гасанов, профессор С.Р.Расулов, профессор И.А.Габибов, профессор Ф.А.Иманов, профессор Дж.И.Гусейнов, профессор Р.Ахиска, профессор Ф.З.Ибрагимзаде, профессор И.Ф.Дадашов, профессор А.С.Афанди.

T Ə S İ S Ç İ : Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası

Jurnal 2021-ci ilin dekabr ayından nəşr olunur. Dövriliyi ildə 2 dəfədir. Azərbaycan Respublikası Ədliyyə Nazirliyində qeydiyyatda alınmışdır. Qeydiyyat № 4349, 07.07.2021-ci il. Jurnal Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının "Azərbaycan Respublikasında dissertasiyaların əsas nəticələrinin dərc olunması tövsiyə edilən dövrü elmi nəşrlər siyahısı"na daxil edilmişdir.

F O U N D E R : The Academy of the Ministry of Emergency Situations

The journal has been published since December 2021. The periodicity is 4 times a year. The journal was registered in the Ministry of Justice of the Republic of Azerbaijan. Registration № 4349, 07.07.2021. The journal has been included in the "List of periodical scientific publications recommended for the publication of the main results of dissertations in the Republic of Azerbaijan" of the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Azerbaijan.

У Ч Р Е Д И Т Е Л Ь : Академия Министерства по Чрезвычайным Ситуациям

Журнал издаётся с декабря 2021 года. Периодичность выхода журнала четыре раза в год. Журнал зарегистрирован в Министерстве Юстиции Азербайджанской Республики за номером № 4349 от 07.07.2021 года. Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией при Президенте Азербайджанской Республики для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Redaksiya ünvanı:

*Hövsan qəs. Elmar Qasımov
küç.
tel: +994125124181,
E-mail:
editor.academy@fhn.gov.az*

Editorial address:

*Hovsan settlement Elmar
Gasimov str.
tel: +994125124181,
E-mail:
editor.academy@fhn.gov.az*

Адрес редакции:

*пос.Говсаны, ул.Эльмара
Гасымова.
тел: +994125124181,
E-mail:
editor.academy@fhn.gov.az*

MÜNDƏRİCAT

G.R.Mustafayeva, S.A.Geraybeyli

Geophysical emergencies and their complex impact on industrial safety, the environment and public health5

P.M.Veliyev

Etiological risk factors and occupational disease exposure among employees of a cigarette production enterprise in the Republic of Azerbaijan 18

S.T.Əhmədova

Partlayıcı maddələrin aşkar olunmasında istifadə olunan ion mobil spektrometriya texnologiyasının iqtisadi səmərəliliyinin Su-Field analizi vasitəsilə təhlili29

H.C.Sərdarlı

Tibb müəssisələrində SƏTƏMM sisteminin strateji tətbiqi: “Referans Medical Group” modeli əsasında ISO 45001 yanaşması35

M.M.Yunusov

Fəlakət risklərinin yayılma dinamikasının riyazi tənlilər vasitəsilə analizi49

M.E.Musayev, İ.F.Dadaşov

Toksik maye dağılmaları və “B” sinif yanğınlarına qarşı universal vasitələrin hazırlanması üsulları60

R.T.İsmayılov

Sənaye obyektlərində fəvqəladə halların çoxmeyarlı risk qiymətləndirilməsi və struktur təsnifatı.....75

R.A.Rzazade

Organization of the State of Emergency and Personnel Support: A Review of Modern Approaches85

O.C.Малютин, С.О.Куртов

Моделирование параметров работы насосно-рукавных систем с использованием языка программирования Python 102

M.R.Babayev

Comparative analysis of the calculation of the stability of retaining walls 121

N.Z.Abdullayeva, G.S.Aliyeva

Mathematical modeling and simulation of ecological risks arising in water as a result of corrosion of oil pipelines in the Absheron Peninsula 135

G.S.Aliyeva, N.Z.Abdullayeva

Determination, mathematical modeling and simulation of ecological risks that will occur in the soil during oil production in the Absheron Peninsula 153

MƏQALƏNİN TƏRTİBAT QAYDALARI 167

UDC 550.34:614.8:504:614

GEOFYSICAL EMERGENCIES AND THEIR COMPLEX IMPACT ON INDUSTRIAL SAFETY, THE ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH

Mustafayeva Gulshan Rasul

Associate Professor, PhD in Technical Sciences

e-mail: gulsen190777@gmail.com

Geraybeyli Samira Aslan

PhD in Technical Sciences

e-mail: geraybeylisamira@rambler.ru

Azerbaijan State Oil and Industry University

Department of Industrial Safety and Labor Protection

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the multifaceted impacts of geophysical emergencies – such as earthquakes, volcanic eruptions, tsunamis, and mud volcanism – on industrial facilities, engineering infrastructure, the environment, and human health. The characteristics, formation mechanisms, and consequences of geophysical risks are explained using specific examples (the Tohoku earthquake, the La Palma volcanic eruption, mud volcanoes in Azerbaijan etc.). The study highlights the effects of earthquakes in terms of building collapses, the failure of engineering structures, increased risks of technological accidents and fires, as well as the impacts of volcanic eruptions such as air pollution, soil salinization, and the destruction of local ecosystems.

Issues of geophysical risk management are examined separately in the context of sustainable development and climate change. The indirect influence of climate change on certain geodynamic processes and the necessity of considering these factors in risk assessments are scientifically substantiated. Ecosystem-based restoration and rehabilitation measures – including land reclamation, restoration of saline soils, purification of water sources, and biodiversity conservation programs are described in detail.

In conclusion, the article emphasizes that taking geophysical risks into account is a critical component of sustainable development in the design of industrial facilities, urban planning, and infrastructure development. It is noted that collaboration between the state, science, and industry, as well as the application of international best practices, are key to achieving success in this field.

Keywords: earthquake, volcanic eruption, tsunami, mud volcanism, industrial safety, technological risks, environmental protection, human health, climate change.

Introduction. The article provides a comparative analysis of the legislative framework of the Republic of Azerbaijan for managing geophysical risks [4,5]. It highlights the importance of implementing preventive engineering and organizational measures, constructing seismically resilient buildings, creating ecological buffer zones, and deploying modern monitoring systems to reduce risks in the context of sustainable development and climate change [1,2,11]. Post-emergency environmental restoration and rehabilitation measures including ecosystem-based approaches, land reclamation, water body purification, and biodiversity restoration programs are systematically examined [6,8,9]. The article emphasizes that ensuring environmental safety and promoting the sustainable development of communities are key priorities. Scientific and practical recommendations are provided to enhance risk reduction and emergency preparedness. Geophysical emergencies are manifestations of the Earth's internal

geodynamic processes and have complex, multifaceted impacts on human society, industrial facilities, the environment, and public health [10]. Throughout history, events such as earthquakes, volcanic eruptions, tsunamis, and mud volcanism have claimed millions of lives, devastated major cities and settlements, and caused economic losses amounting to billions of dollars.

Earthquakes occur as a result of the sudden release of accumulated stress in the Earth's crust, spreading seismic waves across large areas. Volcanic eruptions are accompanied by explosive events as magma and volcanic gases rise from the mantle to the surface. Mud volcanism is mainly associated with oil and gas fields, occurring when gas, oil, and mud emerge from deep layers of the Earth. Tsunamis are giant waves generated by underwater earthquakes or volcanic processes that strike coastal areas. There are seismically active regions in Azerbaijan such as Shamakhi-Ismayilli, Zagatala, and Lerik-Lankaran, as well as volcanically active zones including Absheron, Gobustan, and the Caspian coastal area [1,2] (figure 1).



Figure 1. Geographical distribution of seismic and volcanic hazard zones in Azerbaijan.

Geophysical emergencies cause severe damage to industrial facilities and engineering infrastructure, creating risks of technological accidents and environmental disasters. Earthquakes destroy buildings and communication lines, increasing the likelihood of technological accidents and fires. Volcanic eruptions destroy industrial facilities through lava and ash flows, and cause air pollution. Tsunamis and mud volcanism have a destructive impact on coastal infrastructure and engineering structures (table 1). The impact of geophysical emergencies on the environment results in long-term consequences that are sometimes difficult to restore [6,8]. Earthquakes and volcanic eruptions alter landscapes, change river courses, create new lakes, and destroy fertile soil layers. Tsunami waves contaminate coastal soils and drinking water sources with saltwater, leading to the decline of biodiversity and the cessation of agricultural activities.

Table 1. *Effects of Geophysical Emergencies and Recovery Measures.*

Geophysical Emergency	Impact on Industrial Facilities	Impact on the Environment	Recovery and Rehabilitation Measures
Earthquake	Damage to buildings, power lines, and technology systems	Landslides, watercourse changes	Seismic construction, riverbed restoration
Volcanic eruption	Lava damage, disruption of operations	Air pollution, vegetation loss	Ash cleanup, forest restoration
Tsunami	Destruction of coastal and offshore infrastructure	Saltwater intrusion, ecosystem loss	Soil desalinization, coastal rehab
Mud volcanism	Damage to roads, pipelines, drilling sites	Soil degradation, biodiversity loss	Land recovery, water cleanup

Volcanic gases (such as sulfur dioxide, carbon dioxide, and hydrogen chloride) change the chemical composition of the air, cause acid rain, and lead to soil acidification and water pollution. Volcanic fluorine compounds adhere to ash particles, and when these settle on the ground, they contaminate pastures and water bodies, causing severe diseases and losses among livestock. Mud volcanism disrupts soil structure and destroys local flora and fauna.

Geophysical emergencies pose numerous threats to human health. Their impact is not limited to physical injuries and fatalities. Earthquakes, volcanic eruptions, and tsunamis cause stress, depression, and post-traumatic disorders that can persist for a long time. For example, the 2008 Sichuan earthquake in China resulted in the deaths of more than 87,000 people, left millions homeless, and had psychological effects that lasted for decades. In 2011, the Tōhoku earthquake and tsunami in Japan triggered a nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, releasing radioactive substances into the environment and displacing tens of thousands of people [8,10,11]. The 2021 volcanic eruption on La Palma led to the evacuation of thousands of residents, with land areas buried under lava and rendered unusable for a long period (figure 2).

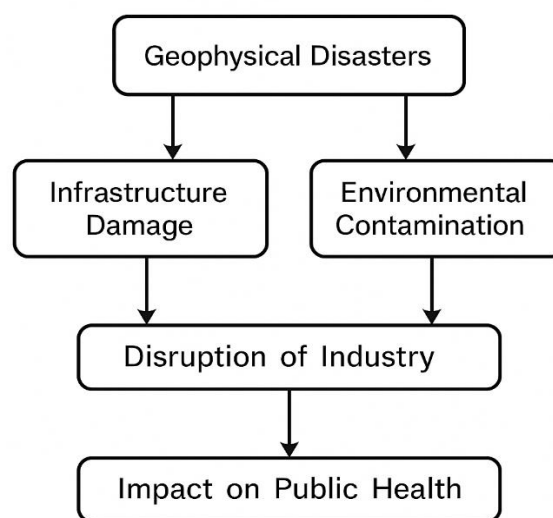


Figure 2. Impact flow diagram of a geophysical disaster.

In the modern era, advanced technologies are applied for monitoring and forecasting geophysical emergencies [7]. A network of seismic stations records seismic waves, while satellite monitoring and GPS technology track micro-deformations of the Earth's crust. Volcanic activity is observed through gas analyzers, seismic activity sensors, and temperature sensors. In industrial facilities, smart sensor networks detect vibrations and structural changes, integrating with early warning systems to help reduce the impact of emergencies. In such countries as Japan and Chile, early warning systems play a crucial role in minimizing human casualties [9,11]. Coastal zones are designed with barrier walls and evacuation routes to protect against tsunami threats. Some countries, including Japan and Italy, implement seismic isolation technologies – special elastic supports that reduce the impact of earthquake waves on buildings [12]. These practices can serve as examples for Azerbaijan. Studying these experiences and integrating them into national measures can strengthen industrial safety and population protection. Normative-legal documents and engineering-technical solutions are of great importance for managing geophysical hazards. The regulatory framework in this area is shaped not only by national legislation but also by international standards and frameworks. In the Republic of Azerbaijan, key documents include the *Law on Emergency Situations*, the *Law on Industrial Safety*, *Technical Safety Regulations in Construction*, seismic safety building codes, and other normative documents. In addition, at the international level, the *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)*, *ISO 22327:2018 – Security and resilience – Emergency management – Guidelines for community-based landslide early warning systems*, and the *UN Sustainable Development Goals* (in particular Goals 11 and 13) define the main directions for geophysical risk management [6,7,8] (table 2).

Table 2. *Comparative Table on International and National Regulation of Geophysical Emergencies.*

Area	Azerbaijan Regulation	International Practice/Standards
Regulatory Framework	Laws on Emergency Situations and Industrial Safety	Sendai Framework, ISO 22327:2018
Construction Standards	Seismic safety construction codes, SNIPs	Japan's seismic isolation standards, European EMS scale
Risk Management	Ministry of Emergency Situations (MES) plans, local executive authority measures	UN Sustainable Development Goals (Goals 11 and 13), community-based risk management

Seismically resilient structures are designed for industrial facilities, along with emergency valves against gas leaks, filters to protect against volcanic ash, and evacuation plans. As part of occupational safety measures, regular emergency drills are conducted, and personal protective equipment is provided. Instruction manuals and guidebooks are prepared to raise public awareness, and warning systems are established using sirens, SMS, and mobile applications [3,5]. Based on international experience, work is carried out in the preparation of geophysical hazard maps, seismic zoning, and risk assessment. That means, it should be noted that comprehensive measures are essential to reduce the impact of geophysical emergencies on industrial facilities, the environment, and human health. The application of modern monitoring technologies, the development of engineering and technical solutions, improving public preparedness, and studying international experience are of great importance in this field. Considering geophysical risks should be one of the main conditions for sustainable development in the design of industrial facilities. Reducing the impact of geophysical emergencies is a key

component of sustainable development [6,8]. Although there is no direct link between geophysical risks and climate change, modern research shows that climate change can indirectly influence certain geodynamic processes (for example, changes in tectonic stresses due to glacial melting). This may increase the likelihood of intensified volcanic activity or more frequent earthquakes.

In sustainable urban planning and industrial development, taking geophysical risks into account – such as constructing seismically resilient buildings, creating ecological buffer zones in coastal areas, and establishing special protection zones near mud volcanoes and active fault lines – serves to protect both human life and the environment. The UN's Sustainable Development Goal 11 "Sustainable Cities and Communities" and Goal 13 "Climate Action" play a strategic guiding role in this area [6]. The integration of geophysical emergencies into sustainable development strategies enhances the risk resilience of industrial facilities, contributes to ecosystem protection, and supports economic sustainability. Environmental restoration and rehabilitation measures after geophysical emergencies require a long-term and systematic approach. The destruction of coastal zones, soil cover, water bodies, and biodiversity as a result of tsunamis, volcanic eruptions, and earthquakes disrupts ecosystem balance. During the rehabilitation phase, programs for ecological monitoring, land reclamation, water source purification, and restoration of damaged landscapes are implemented. For example, after the 2011 Tohoku tsunami in Japan, long-term projects were carried out to combat soil salinization, and artificial ecological buffer zones were created along coastal areas. In Indonesia, forest restoration and soil erosion control programs have been successfully implemented following volcanic eruptions [9]. In Azerbaijan, special agrotechnical measures and land reclamation projects are being planned to restore soils damaged by mud volcano eruptions [2].

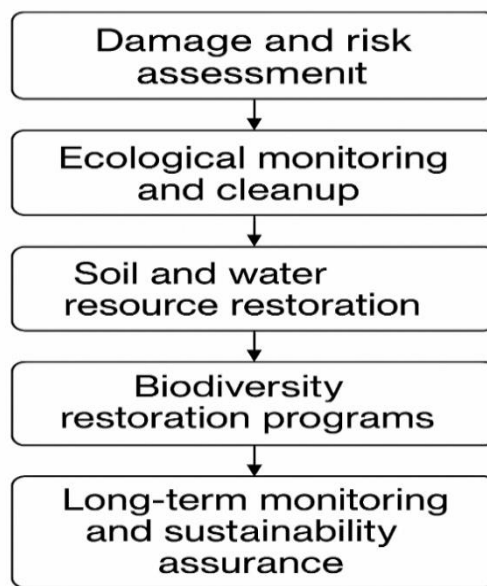


Figure 3. *Stages of rehabilitation measures.*

Environmental rehabilitation serves not only to restore natural resources but also to re-establish sustainable living conditions for local communities. These measures are also aligned with the UN’s Sustainable Development Goal 15 – “Life on Land,” specifically the target of preventing land degradation and protecting ecosystems.

Conclusion. The application of ecosystem-based approaches, adherence to environmental safety standards, and the development of scientifically grounded rehabilitation plans are essential for eliminating the consequences of geophysical disasters.

REFERENCES

1. Aliyev, A.Sh. (2010). *Azerbaijan’s seismic hazard zones*. Baku: Elm Publishing.
2. Mammadov, T.G. (2015). *Mud volcanism and engineering risks*. Baku: Education Publishing.

3. Aliyev, F.M., & Gurbanov, R.A. (2018). *Emergency situations and industrial safety*. Baku: Azerneshr.
4. Law of the Republic of Azerbaijan “On Emergency Situations” (2002). Baku: National Assembly of the Republic of Azerbaijan.
5. Law of the Republic of Azerbaijan “On Industrial Safety” (2010). Baku: National Assembly of the Republic of Azerbaijan.
6. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Geneva: UNDRR.
7. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 22327: Security and resilience – Emergency management – Guidelines for community-based landslide early warning systems*. Geneva: ISO.
8. World Bank. (2010). *Natural Hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention*. Washington, DC: World Bank.
9. Eshghi, K., & Larson, R.C. (2008). Disaster mitigation and preparedness: Global best practices. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 5(1).
10. Boulanger, R.W., & Idriss, I.M. (2014). *Liquefaction Susceptibility and Seismic Hazard in Urban Areas*. New York: Springer.
11. JICA. (2013). *Seismic Risk Assessment and Mitigation Measures in Developing Countries*. Tokyo: Japan International Cooperation Agency.
12. European Seismological Commission. (2005). *EMS-98 European Macroseismic Scale*. Brussels: ESC.

GEOFİZİKİ FÖVQƏLADƏ HALLAR VƏ ONLARIN SƏNAYE TƏHLÜKƏSİZLİYİ, ƏTRAF MÜHİT VƏ İCTİMAİ SAĞLAMLIĞA KOMPLEKS TƏSİRİ

Xülasə. Məqalədə geofiziki mənşəli fəvqəladə halların – zəlzələlər, vulkan püskürmələri, sunami və palçıq vulkanizmi kimi proseslərin sənaye obyektlərinə, mühəndis infrastruktura, ətraf mühitə və insan sağlamlığına göstərdiyi çoxşaxəli təsirlər geniş şəkildə təhlil olunmuşdur. Geofiziki risklərin xüsusiyyətləri, onların yaranma mexanizmi və nəticələri konkret nümunələr (Tohoku zəlzələsi, La Palma vulkan püskürməsi, Azərbaycandakı palçıq vulkanları və s.) əsasında izah edilmişdir. Zəlzələlərin binaların dağılması, mühəndis qurğularının sıradan çıxması, texnogen qəzalar və yanğın riskini artırması, vulkan püskürmələrinin hava çirklənməsi, torpağın şoranlaşması və sahə ekosistemlərinin məhv olmasına gətirib çıxarması kimi təsirləri vurğulanmışdır. Davamlı inkişaf və iqlim dəyişikliyi kontekstində geofiziki risklərin idarə olunması məsələləri ayrıca araşdırılmışdır. İqlim dəyişikliyinə dolayısı ilə bəzi geodinamik proseslərə təsiri, risklərin qiymətləndirilməsində bu faktorların nəzərə alınmasının zəruriliyi elmi əsaslarla əsaslandırılmışdır. Ekosistem əsaslı bərpa və reabilitasiya tədbirləri – torpağın rekultivasiyası, şoran torpaqların bərpası, su mənbələrinin təmizlənməsi, bioloji müxtəlifliyin qorunması üzrə proqramlar geniş təsvir olunmuşdur. Məqalənin nəticəsi olaraq, geofiziki risklərin nəzərə alınmasının sənaye obyektlərinin layihələndirilməsi, şəhərsalma planlaşdırılması və infrastrukturun inkişafında davamlı inkişafın vacib komponenti olduğu vurğulanmış, dövlət, elm və sənaye əməkdaşlığının və beynəlxalq təcrübənin tətbiqinin bu sahədə uğurun təminatçısı olduğu qeyd edilmişdir.

Açar sözlər: zəlzələ, vulkan püskürməsi, sunami, palçıq vulkanizmi, sənaye təhlükəsizliyi, texnogen risklər, ətraf mühitin qorunması, insan sağlamlığı, iqlim dəyişikliyi.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ И ИХ КОМПЛЕКСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Резюме. В статье проведён всесторонний анализ многогранного воздействия геофизических чрезвычайных ситуаций – таких как землетрясения, извержения вулканов, цунами и грязевой вулканизм – на промышленные объекты, инженерную инфраструктуру, окружающую среду и здоровье человека. Особенности геофизических рисков, их механизмы возникновения и последствия рассмотрены на конкретных примерах (землетрясение в Тохоку, извержение вулкана Ла-Пальма, грязевые вулканы Азербайджана и др.). Отмечено, что землетрясения приводят к разрушению зданий, выходу из строя инженерных сооружений, повышению риска техногенных аварий и пожаров, а извержения вулканов вызывают загрязнение воздуха, засоление почв и разрушение экосистем. В контексте устойчивого развития и изменения климата подробно рассмотрены вопросы управления геофизическими рисками. Научно обоснована необходимость учёта влияния изменения климата на отдельные геодинамические процессы при оценке рисков. Описаны мероприятия по восстановлению и реабилитации на основе экосистемного подхода – рекультивация земель, восстановление засоленных почв, очистка водоёмов, программы по сохранению биологического разнообразия. В качестве вывода подчёркивается, что учёт геофизических рисков является важным компонентом устойчивого развития при проектировании промышленных объектов, градостроительном планировании и развитии инфраструктуры. Отмечена необходимость сотрудничества государства, науки и промышленности, а также применения международного опыта для достижения успеха в этой области.

Ключевые слова: землетрясение, извержение вулкана, цунами, грязевой вулканизм, промышленная безопасность, техногенные риски, охрана окружающей среды, здоровье человека, изменение климата.

UDC 613.6:614.2:331.45:663.97

**ETIOLOGICAL RISK FACTORS AND OCCUPATIONAL DISEASE
EXPOSURE AMONG EMPLOYEES OF A CIGARETTE PRODUCTION
ENTERPRISE IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN**

P.M.Veliyev

*Ph.D. Senior Researcher, Corresponding Member of the International
Academy of Sciences Azerbaijan State Scientific Research Institute
of Occupational Safety and Health “AzDEMTTETI”
Baku, Republic of Azerbaijan
e-mail: velperviz@yahoo.com; p.valiyev@azdemtteti.az*

Abstract. Occupational and environmental diseases remain an important public health problem in industrial sectors worldwide. Workers employed in cigarette production facilities are exposed to various harmful factors, including chemical agents, noise, vibration, and unfavorable microclimatic conditions, which may increase the risk of occupational diseases.

Aim. To estimate the rate of etiological risks factors and harmful agents of occupational and environmental diseases exposure development among the employees in cases of cigarette production enterprise activity in the Republic of Azerbaijan.

Materials and methods. The number of technical equipment as presented for estimation of risk exposures of occupational and environmental diseases among employees in cases of activity in cases of cigarette production enterprise activity. The number of technical equipment as presented for estimation of risk exposures

of occupational and environmental diseases among employees in cases of activity in cases of cigarette production enterprise activity.

Results. It was demonstrated obtained abnormal results related with attestation process at workplaces related with noise, chemical substances, microclimate parameters, vibration, gas measurement, air pollution and light parameters.

Conclusion. In order to mitigate the exposures process of occupational and environmental diseases in cases of activities among Employees of company medical examination, (including additional payment) for the Staff is recommended to be provided and improvement the work conditions is essential.

Keywords: *etiological harmful occupational risk factors, occupational and environmental diseases, stress, ecological factors.*

Introduction. Occupational and environmental diseases represent a significant group of health disorders associated with exposure to harmful factors in the workplace. In many cases, these diseases are clinically and pathologically similar to non-occupational conditions, which complicates their diagnosis and identification [1,2,3,4].

Exposure to harmful occupational factors during professional activity can lead to the development of chronic pathological conditions affecting various physiological systems. The diagnosis of occupational diseases is often challenging because clinical manifestations may not always clearly indicate the relationship between the disease and workplace exposure [4].

According to international standards, including those established by the **International Labor Organization (ILO)**, an occupational disease is defined as a disease contracted as a result of exposure to risk factors arising from work activity. The recognition and classification of occupational diseases vary between countries, and compensation systems for affected workers differ depending on national legislation [3,4].

Ensuring adequate protection of workers and proper compensation mechanisms for occupational diseases is an important component of occupational health policy. In many countries, official lists of occupational diseases are periodically revised to include new work-related conditions, such as musculoskeletal disorders, work-related mental health disorders, and diseases associated with exposure to hazardous substances [3,4].

In this context, studying occupational risk factors in cigarette production enterprises is particularly relevant, as workers may be exposed to a combination of chemical, physical, and environmental hazards [3,4].

The objects of investigation. The objects of this study was to assess etiological risk factors and harmful agents contributing to the development of occupational and environmental diseases among employees of a cigarette production enterprise in the Republic of Azerbaijan.

Materials and Methods. Workplace assessments were carried out using certified technical measurement devices to evaluate occupational exposure levels. Measurements included noise intensity, microclimatic parameters, air pollution, toxic gas concentration, electromagnetic radiation, illumination levels, and other environmental indicators within the production areas.

Table 1.
Provided databases of devices for estimation.

<i>Nº</i>	Purpose of devices usage	Type of devices	<i>Place of production</i>
1.	Noise condition testing	Assistant-SİUV	Russia
2.	Microclimate condition H/h	Metrel	Slovenia
3.	Electromagnet resting	BE-METR-AT-004	Russia
4.	Pulsimetr-luksimetr	ARQUS	Russia
5.	Air pollution testing	İKP-5	Russia
6.	Gas concentration testing	ФП-34	Russia
7.	Radioaktiv indicator	SOEKS	Russia

Provided databases of devices for estimation. Certificate is presented.

In order to achieve our purpose of investigation, had been used a number of several devices for providing of audit monitoring process in case of cigarette production enterprise work activity such as: “Assistant SIUV” for noise control, “Metrel” for microclimate control, “BE-METR-AT-004” for electromagnetic condition control, “IKP-5’ for air pollution control, “ARGUS’ for light control and ФП-34, to control of toxic or hazardous carbon monoxide concentration in air.

All obtained Results without calculation accurately were included in “Official Protocol” of the Institute and had been analyzed in detail. This way, officially reliable Results had been provided in detail in our investigation. That also is recommended to be noted, that the equipment was correlated and certificate is presented. The Results were obtained accurately was included and estimated graphically.

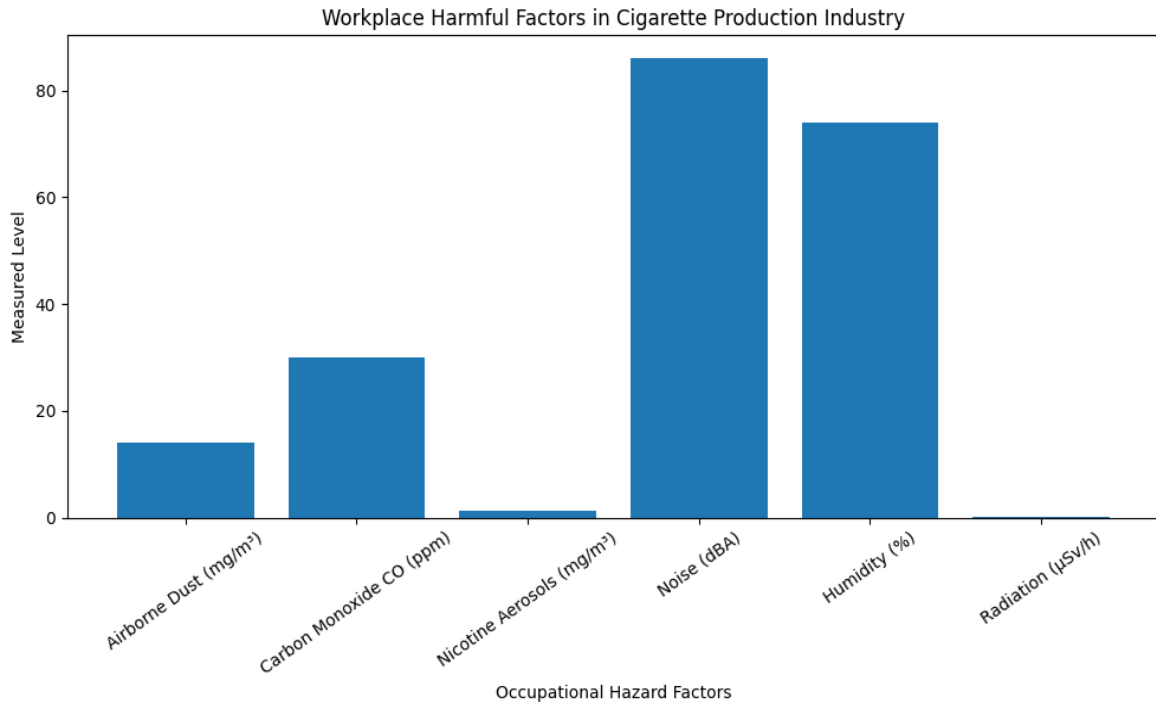
So, as a matter of fact, was demonstrated various harmful factors related with cigarette production plant work activity. It is already known, that the harmful factors are able to deteriorate Employees health status and which is actual aspect and very problematic ever time and everywhere.

By the Staff of our “Radiation, Sanitary-Hygiene in production” laboratory of State Scientific-Research Institute of Labor Protection and Safety Engineering in detail had been carried out an estimation process of the Harmful occupational risk factors in case of activity of cigarette production enterprise.

It had been carried out an estimation process of the harmful factors by the Staff of our laboratory and included information in the “control Protocol Results”, sooner being calculated by us appointed databases. In (table 2) being provided databases of the harmful factors were presented which have harmfully influenced for normal health status of employees.

In (table 2) provided databases of the harmful risks factors, had been presented as well as: noise, radiation, electromagnetic factor and microclimate parameters were clear during our audit control procedure.

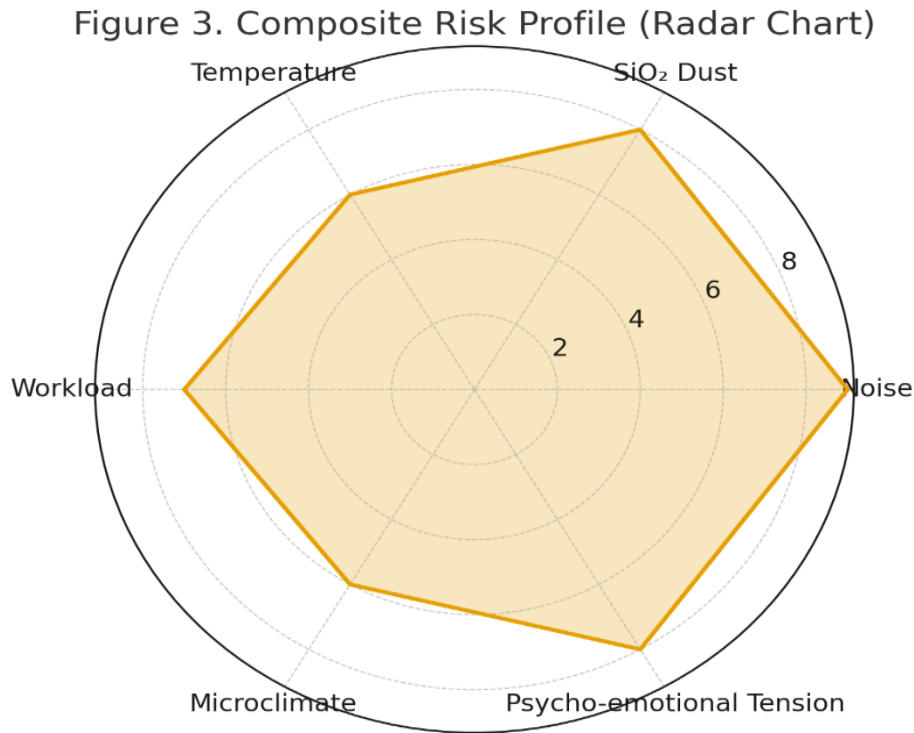
Table 2.



Harmful factor	Percentage
Noise	41.9 %
Humidity	36.0 %
Carbon Monoxide (CO)	14.6 %
Airborne Dust	6.8 %
Nicotine Aerosols	0.6 %
Radiation	0.1 %

As a normal Figure for air pollution is 6 mq/m³, but during control attestation process is 13-15 mq/m³. It should be noted that, low light factor was demonstrated also for lift operator as harmful factor for visual organ one (for monitor was estimated – 13,2 mq/m³, for Employee responsible for electric problems was estimated – 12-14 mq/m³, and for others were being estimated – 13-15 mq/m³ which is twice more than normally). Light estimating for lift Employee was 74 LK, but normally is 100 LK. which is less than normal. There were no problems with vibration.

So, refer to presented data in (figure 3) can be estimated the risk factors of employee's health status deteriorated as well as: for monitor person, Staff of cigarette department and Staff of technical department which is also finally also demonstrated clear.



The acceptable normal rate of noise factor is 80 dBA, but control rate during attestation process was resulted as: department monitor – 82 dBA, temporary Employee – 86.2 dBA, technology assistant – 61-84 dBA, operator – 71-83 dBA, Employee – 73-86 dBA and sanitarian service Employee – 72-84 dBA, that were resulted abnormal.

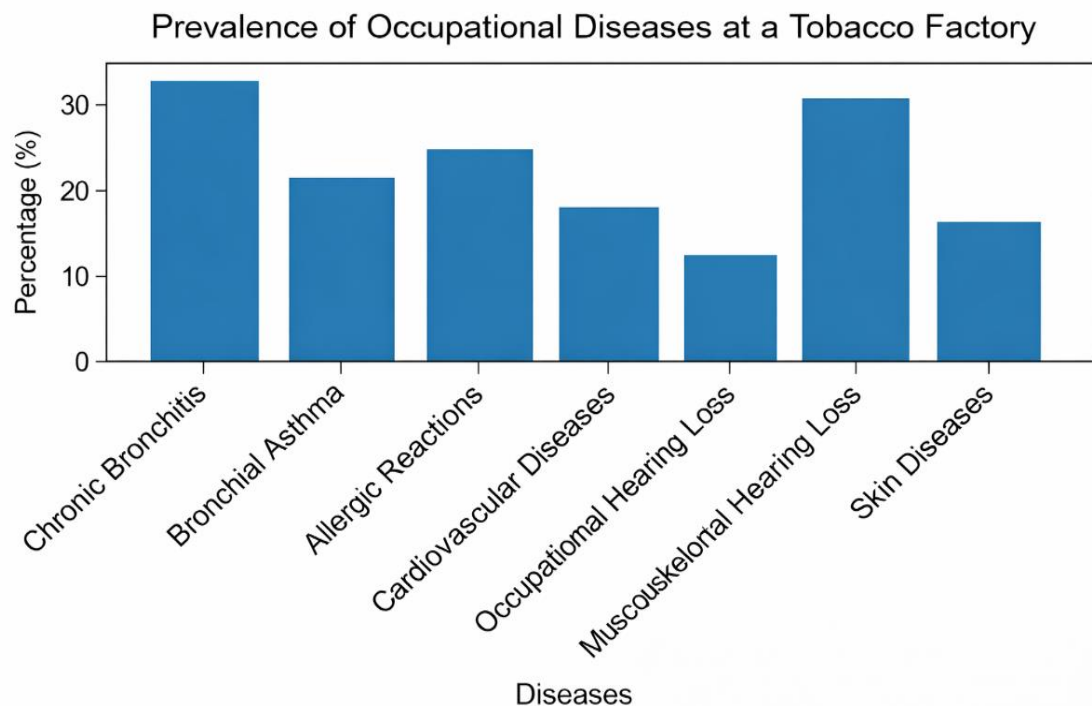
Precisely, noise factor was presented as a matter of fact in case of industrial operations and this study identified the risks of exposure of occupational and environmental diseases of Central Nervous System (mental disorders), cardiac system, ulcer of digestion tract, deterioration of acoustic organs activity and other

chronic disorder complications. We should also remember about long time of duration of existence the above harmful factors, which should be taken into appointment.

About CNS, that should be noted about noise is stressful factor and had been influenced for a long time of duration. It could be resulted with by different deteriorated conditions as nervousness, psychosis, decreasing the ability of activity of persons at the places of job, especially decreasing concentration of listening, vision, thinking, problems with emotional stability and other different chronic disorder complications [1].

In (figure 3) provided databases of the harmful risk factor of microclimate data especially humidity of air at work places: Normal rate was presented – 70% but 72-80% more than normal rate for Employees. It should be noted about microclimate parameters, that also can be estimated as the risk factors of employee's health deterioration such as: for monitor person, Staff of cigarette department and Staff of technical department which is also finally also clear. Precisely microclimate parameters factor was presented as a matter of fact in case of industrial operations and this study identified the risks factors of exposure of occupational and environmental diseases also related with respiratory tract such as: tuberculosis, pneumonia, bronchial asthma and other different complications. We should note about duration of harmful factor, which is also complicated appointed situation for example chronic type of pneumonia, complicated types of tuberculosis, severe type of bronchial asthma condition and others complications [6,7.8].

Table 3.



1. Chronic Bronchitis – 27%;
2. Bronchial Asthma – 18%;
3. Allergic Reactions – 22%;
4. Cardiovascular Diseases – 15%;
5. Occupational Hearing Loss – 10%;
6. Musculoskeletal Disorders – 26%;
7. Skin Diseases – 14%.

Discussions:

This study provides a comprehensive overview of different types of risk etiological factors related with occupational and environmental diseases exposure in cigarette production enterprises in the Republic of Azerbaijan. Provided findings of harmful etiological risk factors are deterioration of worker's health and target for improving of job conditions including additional payment for workers in cigarette enterprise.

Abbreviations:

- (ILO) – International Labor Organization;
- (CNS) – Central Nervous System.

Conflict of Interest:

The author declares no conflict of interest.

Conclusion.

1. According to an agreement 31.08.2021 year T.A.-21/219-09 among Azerbaijan State Scientific-Research Institute of Labor Protection and Safety Engineering of the Ministry of Emergency Situations and cigarette production plant had been provided audit control for appearance of the harmful factors for employee's health status in case of cigarette production industrial operations.
2. During the occupational health audit had been demonstrated several harmful risk factors for employee's health status deteriorated in case of industrial operations and refer the adopted rules of Labor Protection of the Republic of Azerbaijan additional payment for Employees should be paid.
3. It is strongly recommended to organize an additional medical examination, dispensarization during a year for employees of cigarette production plant in order to make clear and mitigate the risks of occupational and environmental diseases exposure and following in future complication.
4. It is vital to improve job conditions, according to the adopted rules of Labor Protection of the Republic of Azerbaijan.

REFERENCES

1. О.Н.Пусак. Справочник книга по охране труда. Л.Машиностроение. 1989.540с.
2. [1] ILO – International Labor Organization, P155 – Protocol of 2002 to the Occupational Safety and Health Convention, 1981, 2002. Available at: http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312338

3. ILO – International Labor Organization, National System for Recording and Notification of occupational and environmental diseases Practical Guide, 2013. Available at: http://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_210950/-lang-en/index.htm

4. P.M.Veliyev. Estimation risks of occupational and environmental diseases rate among employees in cases of industrial activity of metallurgical plant. Scientific Herald The Academy of the Ministry of Emergency Situations. 87-109. ISSN 2957-593.DOI:10.30546/FHNA

5. Megas I.F., Beier J.P., Grieb G. The History of Carbon Monoxide Intoxication. Medicina. 2021;57:400. doi: 10.3390/medicina57050400. [DOI] [PMC free article]

6. “Epidemiology of Tuberculosis”. Epidemiology of chronic disease: global perspectives. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning. p. 682. ISBN 978-0-7637-8047-0. Archived from the original on 7 February 2024. Retrieved 17 September 2017.

Abstract. Проблема профессиональных заболеваний была и есть актуальной, как в прошлом, так и в настоящее время. В данной статье указаны вредоносные факторы, во время производственной деятельности сигаретной фабрики при производстве сигарет на состояние здоровья работников.

Подробно приведены данные, при проведении аудита условий работы сотрудниками лаборатории «Радиации, Санитарии и Гигиены на производстве» при производстве сигарет в Азербайджанской Республике, а также возможные риски воздействия вредоносных факторов на возникновения соответствующих профессиональных заболеваний у работников данного предприятия. Были даны соответствующие рекомендации согласно данной проблемы.

Keywords: *вредоносные риски, факторы, профессиональные заболевания, стресс, экологические факторы.*

Xülasə. Peşə xəstəliklərinin problemi hər bir zaman aktual olub. Siqaret istehsalında işləyən işçilərin sağlamlığına və iş qabiliyyətinə mənfi təsir göstərən əmək şəraiti ilə səciyyələnir.

Bu problemin tədqiqi məqsədilə “Radiasiya, sənayedə gigiyena və sanitariya laboratoriyası”nın mütəxəssisləri tərəfindən iş yerlərinin attestasiyası zamanı zərərli istehsalat amillərinin ölçmələri aparılmış, alınmış nəticələrə əsasən siqaret istehsalı ilə işçilərinin əmək şəraitinin yaxşılaşdırılması üzrə tövsiyələr verilmişdir.

Açar sözlər: *zərərli istehsalat amilləri, ölçmələr, peşə xəstəlikləri, ekoloji faktor.*

UOT 656.71:543.27:662.4

PARTLAYICI MADDƏLƏRİN AŞKAR OLUNMASINDA İSTİFADƏ OLUNAN İON MOBİL SPEKTROMETRİYA TEXNOLOGİYASININ İQTİSADI SƏMƏRƏLİLİYİNİN SU-FIELD ANALİZİ VASİTƏSİLƏ TƏHLİLİ

Əhmədova Səidə Tahir qızı

Milli Aviasiya Akademiyası

“Aviasiya təhlükəsizliyi” kafedrasının müəllimi, doktorant

e-mail: sahmadova@naa.edu.az

Xülasə. Bu məqalədə partlayıcı maddələrin aşkarlanmasında istifadə olunan ion mobil spektrometriya (IMS) texnologiyasının iqtisadi səmərəliliyi Su-Field analizi vasitəsilə təhlil olunur. Təhlükəsizlik sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması, xüsusilə mülki aviasiyada, risklərin qarşısının alınması baxımından IMS texnologiyasının rolu əsaslandırılır. Ənənəvi aşkarlama metodlarının məhdudiyyətləri nəzərə alınaraq, IMS texnologiyasının texniki üstünlükləri yüksək həssaslıq, sürətli analiz və aşağı istismar xərcləri iqtisadi baxımdan qiymətləndirilir. Tədqiqatda TRIZ metodologiyasının Su-Field analitik aləti vasitəsilə IMS sisteminin “maddə-sahə-maddə” modeli qurulur və funksional ziddiyyətlər müəyyən edilir. Analiz nəticəsində kalibrasiya intervalının qısalığı, operator asılılığı və saxta pozitiv siqnallar kimi problemlər aşkar olunur. Su-Field transformasiyası ilə təklif olunan təkmilləşdirmələr – avtomatik kalibrasiya modulu, nano-katalizatorlu pre-kollektor, plazma ionlaşdırma sahəsi və süni intellekt modulu – sistemin texniki və iqtisadi göstəricilərini əhəmiyyətli dərəcədə

yaxşılaşdırır. Hesablamalar göstərir ki, bu yeniliklər illik texniki xərcləri 20-25% azaldır, analiz sürətini 10-15% artırır və ümumi səmərəliliyi yüksəldir. Nəticədə IMS texnologiyası təhlükəsizlik və iqtisadi baxımdan optimal sistem kimi qiymətləndirilir və mülki aviasiyada tətbiqinin genişləndirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur.

Açar sözlər: ion mobil spektrometriya, partlayıcı maddələrin aşkarlanması, Su-Field analizi, TRIZ, iqtisadi səmərəlilik, aviasiya təhlükəsizliyi, texniki sistemlər, optimallaşdırma.

Müasir dünyada təhlükəsizlik sistemlərinin etibarlılığı, xüsusilə də mülki aviasiya, sərhəd keçid məntəqələri və strateji obyektlər kimi yüksək riskli mühitlərdə partlayıcı maddələrin vaxtında və dəqiq aşkarlanmasından asılıdır. Qlobal təhlükə risklərinin artması, terror hadisələrinin qarşısının alınması və ictimai təhlükəsizliyin təmin olunması bu istiqamətdə yeni texnologiyaların tətbiqini zəruri etmişdir. Ənənəvi üsullar – rentgen qurğuları, kimyəvi analizatorlar və mexaniki yoxlama sistemləri müəyyən effektivlik göstərsə də, onların həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan məhdudiyyətləri vardır. Belə şəraitdə İon Mobil Spektrometriya (IMS) texnologiyası yüksək həssaslıq, sürətli analiz və aşağı istismar xərcləri kimi üstünlüklərinə görə xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu texnologiya partlayıcı maddələrin iz miqdarlarını saniyələr ərzində aşkarlamağa imkan verir və bu xüsusiyyət onu hava limanları və digər nəzarət məntəqələri üçün ideal edir [1].

İon mobil spektrometriya əsasən qaz fazasında ionların elektrik sahəsində hərəkət sürətinə əsaslanır. Nümunədən ayrılan hissəciklər ionlaşdırıldıqdan sonra müəyyən gərginlik altında drift borusundan keçir və ionların uçuş vaxtı onların kimyəvi tərkibini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Bu üsul həm nitrat, peroksid, xlorat əsaslı partlayıcıların aşkarlanmasında, həm də narkotik maddələrin müəyyən edilməsində effektivdir. Texnologiyanın əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, analiz prosesi cəmi 5-10 saniyə çəkir, cihazlar portativdir və nümunə miqdarı çox az tələb olunur. Lakin bu üstünlüklərlə yanaşı, cihazların istismarında müəyyən

iqtisadi və texniki ziddiyyətlər də mövcuddur: tez-tez kalibrasiya tələbi, filtrlərin dəyişdirilməsi, operatorun müdaxiləsi və sistemin saxta siqnallara meyilliliyi istismar xərclərini artırır. Buna görə də texnologiyanın iqtisadi səmərəliliyinin sistemli təhlili vacib məsələdir.

Bu məqsədlə məqalədə TRIZ nəzəriyyəsinin əsas analitik alətlərindən biri olan Su-Field analizi tətbiq olunur. Su-Field (Substance-Field) analizi texniki sistemlərin struktur-funksional modelini quraraq onların daxilindəki qarşılıqlı təsirləri, enerji və informasiya axınlarını, eləcə də funksional ziddiyyətləri müəyyən etməyə imkan verir. Bu yanaşma vasitəsilə sistemdəki “maddə-sahə-maddə” əlaqələri təhlil edilir və texniki, həm də iqtisadi baxımdan daha səmərəli formaya gətirilir. İon mobil spektrometriya texnologiyası bu baxımdan tipik “maddə-sahə-maddə” sistemidir: analiz edilən nümunə (hava və ya səth hissəcikləri) birinci maddə kimi, detektor və ionizasiya kamerası ikinci maddə kimi çıxış edir, aralarındakı qarşılıqlı təsir isə elektrik sahəsi vasitəsilə baş verir. Sistem aşağıdakı şəkildə təmsil oluna bilər: S_1 (nümunə) $\rightarrow$ F (elektrik sahəsi) $\rightarrow$ S_2 (detektor). Bu modeldə məlumat siqnalı nəticə kimi alınır [2].

Su-Field analizi göstərir ki, mövcud IMS sistemlərində bəzi ziddiyyətlər mövcuddur. Həssaslıq artdıqca saxta pozitiv hallar çoxalır, bu isə analiz vaxtını uzadır və nəticədə daha çox operator müdaxiləsinə ehtiyac yaranır. Digər tərəfdən kalibrasiya intervallarının qısa olması texniki xidmət xərclərini artırır və cihazın fasiləsiz işləmə rejimini məhdudlaşdırır. Bu kimi problemlər iqtisadi baxımdan əlavə xərclər formalaşdırır, sistemin ümumi səmərəliliyini azaldır. Bu mərhələdə məqsəd Su-Field transformasiyası vasitəsilə yeni funksional sahələr və köməkçi maddələr əlavə etməklə sistemi daha optimal vəziyyətə gətirməkdir.

İqtisadi səmərəliliyin qiymətləndirilməsi üçün əsas parametrlər cihazın alış qiyməti, illik texniki xidmət xərci, istismar müddəti və əldə olunan təhlükəsizlik faydası kimi göstəricilərlə ölçülür. Məsələn, hava limanında istifadə olunan tipik IMS cihazı (məsələn, Smiths Detection IONSCAN 600) təxminən 45 min

ABŞ dollarına başa gəlir. İllik texniki xidmət və kalibrasiya xərci orta hesabla 3500 dollar təşkil edir [3]. Operatorların təlim xərcləri isə ildə 1000-1200 dollar civarındadır. Cihazın orta istismar müddəti 7 ildir və bu müddət ərzində onun aşkarlama dəqiqliyi 95-98% arasında dəyişir. Əgər belə bir cihazın tətbiqi nəticəsində hava limanında potensial təhlükələrin azaldılması ilə illik 100 min dollar ekvivalentində fayda əldə edilərsə, bu halda iqtisadi səmərəlilik əmsalı 2.14 təşkil edir. Yəni cihaz öz investisiya dəyərini iki dəfədən çox doğruldu. Bu nəticə IMS texnologiyasının təkcə texniki deyil, həm də iqtisadi cəhətdən effektiv olduğunu göstərir [4].

Su-Field transformasiyası mərhələsində təklif olunan dəyişikliklər bu səmərəliliyi daha da artırmağa yönəlib. Əvvəla, sistemə əlavə məlumat sahəsi kimi avtomatik kalibrasiya modulu daxil edilə bilər. Bu, texniki xidmət xərclərini və operator asılılığını azaldır. İkinci mərhələdə köməkçi maddə kimi nano-katalizatorlu pre-kollektorun əlavə edilməsi ionların daha sabit toplanmasını təmin edir və həssaslığı artırır. Üçüncü addımda isə elektrik sahəsi plazma ionlaşdırma sahəsi ilə əvəzlənərək seçiciliyi və analiz sürətini artırır. Nəhayət, operator rolu süni intellekt modulunun tətbiqi ilə əvəz olunur ki, bu da insan faktorundan yaranan səhvləri minimuma endirir. Nəticədə formalaşan “ağıllı IMS” sistemi həm texniki göstəriciləri, həm də iqtisadi səmərəliliyi əhəmiyyətli dərəcədə artırır [5].

Belə yanaşma nəticəsində sistemdə illik texniki xidmət xərclərinin 20-25% azalması, analiz sürətinin isə 10-15% artması müşahidə edilir. Bundan başqa, avtomatlaşdırma dərəcəsinin yüksəlməsi sayəsində operator təliminə və əmək xərclərinə qənaət olunur. Bu isə bir cihaz üçün illik təxminən 1500-2000 dollar iqtisadi fayda deməkdir. Hava limanı miqyasında 20 cihazın tətbiqi halında illik qənaət 30-40 min dollar səviyyəsinə çata bilər ki, bu da ümumi əməliyyat xərclərinin azaldılmasına əhəmiyyətli təsir göstərir. Bununla yanaşı, sistemin etibarlılığının yüksəlməsi təhlükəsizlik risklərini azaldır və xidmətin keyfiyyətini artırır.

Bütün bu nəticələr göstərir ki, ion mobil spektrometriya texnologiyasının iqtisadi səmərəliliyinin Su-Field analizi vasitəsilə təhlili, texniki sistemlərin təkcə fiziki deyil, həm də maliyyə aspektlərini optimallaşdırmağa imkan verir. Bu metod vasitəsilə sistemdəki enerji və maddə axınları arasında balans təmin olunur, funksional ziddiyyətlər aradan qaldırılır və cihazın məhsuldarlığı artır. TRIZ metodologiyasının bu istiqamətdə tətbiqi yalnız IMS texnologiyası üçün deyil, digər aşkarlama sistemləri üçün də universaldır. Gələcək tədqiqatlarda bu yanaşmanın real istismar məlumatları ilə statistik təsdiqi və iqtisadi modellərin daha geniş tətbiqi məqsədəuyğun olardı.

Nəticə. Nəticə etibarilə, ion mobil spektrometriya texnologiyasının Su-Field analizi göstərir ki, bu sistem həm texniki, həm də iqtisadi baxımdan yüksək səmərəliliyə malikdir. Su-Field transformasiyaları vasitəsilə təkmilləşdirilmiş IMS sistemi müasir təhlükəsizlik tələblərinə cavab verir, istismar xərclərini azaldır və aşkarlama prosesinin dəqiqliyini artırır. Bu isə texnologiyanın mülki aviasiya, gömrük və sərhəd təhlükəsizliyi sahələrində geniş tətbiqi üçün yeni imkanlar yaradır. Beləliklə, TRIZ yanaşmasının tətbiqi təkcə texniki yaradıcılıq vasitəsi deyil, həm də iqtisadi qərarların optimallaşdırılmasında mühüm analitik metod kimi çıxış edir.

ƏDƏBİYYAT

1. Eiceman, G.A., & Karpas, Z. Ion Mobility Spectrometry. CRC Press, 2013.
2. Smiths Detection. IONSCAN 600 Technical Data Sheet, 2024.
3. Altshuller, G.S. The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. Technical Innovation Center, 1999.
4. Gadd, K. TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving. Wiley, 2011.
5. Ahmadova, S. et al. "Application of IMS Technology for Trace Explosives Detection in Civil Aviation Security." Journal of Aviation Safety Studies, 2025.

**ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ION MOBILITY
SPECTROMETRY TECHNOLOGY USED FOR EXPLOSIVES
DETECTION THROUGH SU-FIELD ANALYSIS**

Abstract. This paper analyzes the economic efficiency of ion mobility spectrometry (IMS) technology applied in the detection of explosive materials, using the Su-Field analytical model of the TRIZ methodology. The study identifies functional and economic contradictions within IMS systems, such as frequent calibration, operator dependency, and false positive responses. Based on Su-Field transformations, optimization approaches including automated calibration, nano-catalyst-based pre-collectors, and artificial intelligence modules are proposed to improve cost efficiency and reliability. The analysis demonstrates that IMS technology, through TRIZ-based modeling, can reduce operational costs by up to 25% and increase detection speed by approximately 15%. This makes IMS a technically advanced and economically viable solution for civil aviation and border security applications.

Keywords: ion mobility spectrometry, explosives detection, Su-Field analysis, TRIZ, economic efficiency, aviation security, system optimization, artificial intelligence.

UOT 614.2:331.45:005.6:006.83

TİBB MÜƏSSİSƏLƏRİNDƏ SƏTƏMM SİSTEMİNİN STRATEJİ TƏTBİQİ: “REFERANS MEDICAL GROUP” MODELİ ƏSASINDA ISO 45001 YANAŞMASI

Sərdarlı Hüseyn Cavanşir oğlu

Referans Medical Group, SƏTƏMM üzrə mütəxəssis

e-mail: huseynsardarli698@gmail.com

Açar sözlər (Azərbaycan dilində): SƏTƏMM, ISO 45001, səhiyyə təhlükəsizliyi, risklərin idarə olunması, təhlükəsizlik mədəniyyəti.

İngilis dilində: OHSE, ISO 45001, healthcare safety, risk management, safety culture.

Rus dilində: ОТ и ТБ, ISO 45001, безопасность здравоохранения, управление рисками, культура безопасности.

Xülasə (Azərbaycan dilində). Bu məqalədə tibb müəssisələrində sağlamlıq, əməyin təhlükəsizliyi və ətraf mühitin mühafizəsi (SƏTƏMM) sisteminin ISO 45001:2018 standartı əsasında strateji tətbiqi məsələləri araşdırılır. Tədqiqatın əsas məqsədi səhiyyə sektorunda təhlükəsizlik idarəetmə sisteminin effektiv qurulması və tətbiqi üçün praktiki modelin təqdim edilməsidir. Məqalədə “Referans Medical Group”-un çoxprofilli tibb müəssisələrində tətbiq etdiyi SƏTƏMM sistemi nümunə kimi təhlil olunur və bu modelin əsas komponentləri – liderlik, risklərin qiymətləndirilməsi, operativ idarəetmə, monitoring və davamlı təkmilləşdirmə mexanizmləri izah edilir.

Tədqiqat zamanı sistemli yanaşma, risk əsaslı idarəetmə prinsipləri və

ISO 45001 standartının müvafiq maddələri əsasında analiz aparılmışdır. Məqalədə, həmçinin səhiyyə müəssisələrində rast gəlinən əsas təhlükə mənbələri və onların idarə olunması yolları göstərilmişdir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, SƏTƏMM sisteminin düzgün tətbiqi işçi təhlükəsizliyinin artırılmasına, istehsalat qəzalarının azaldılmasına və təşkilati davamlılığın gücləndirilməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Təklif olunan model səhiyyə müəssisələrində təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılması üçün praktik baxımdan uğurlu yanaşma kimi qiymətləndirilə bilər.

Abstract (English). This article examines the strategic implementation of the Occupational Health, Safety, and Environmental Management System (HSE-MS) in healthcare institutions in accordance with the requirements of ISO 45001:2018. The primary objective of the study is to present a practical model for the effective establishment and implementation of a safety management system within the healthcare sector. The study analyzes the HSE-MS implemented across the multidisciplinary healthcare facilities of “Referans Medical Group” as a case study and elaborates on its core components, including leadership, risk assessment, operational control, monitoring, and continuous improvement mechanisms.

The research is conducted using a systematic approach, grounded in risk-based management principles and aligned with the relevant clauses of the ISO 45001 standard. In addition, the study identifies the main hazard sources commonly encountered in healthcare institutions and outlines appropriate control measures. The findings demonstrate that the effective implementation of an HSE-MS significantly enhances employee safety, reduces occupational incidents, and strengthens organizational resilience and sustainability. The proposed model can be considered an effective approach for fostering a strong safety culture within healthcare institutions.

Аннотация (Russian). В данной статье рассматриваются вопросы стратегического внедрения системы управления охраной труда, безопасностью и окружающей средой (СУОТ) в медицинских учреждениях

на основе стандарта ISO 45001:2018. Основной целью исследования является представление практической модели эффективного построения и внедрения системы управления безопасностью в сфере здравоохранения. В статье анализируется система СУОТиЭ, внедрённая в сети медицинских учреждений “Referans Medical Group”, а также раскрываются её ключевые элементы: лидерство, оценка рисков, операционное управление, мониторинг и механизмы постоянного совершенствования.

Исследование основано на системном подходе, принципах риск-ориентированного управления и положениях стандарта ISO 45001. В статье также рассматриваются основные источники опасностей в медицинских учреждениях и методы их контроля. Полученные результаты показывают, что эффективное внедрение системы СУОТиЭ способствует повышению безопасности персонала, снижению производственного травматизма и укреплению устойчивости организации. Предложенная модель может быть использована как эффективный инструмент формирования культуры безопасности в медицинских учреждениях.

Giriş. Müasir dövrdə səhiyyə sektoru yalnız tibbi xidmətlərin göstərilməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda mürəkkəb və çoxşaxəli risklərin idarə olunmasını tələb edən strateji fəaliyyət sahəsinə çevrilmişdir. Tibb müəssisələrində işçi heyətinin, pasiyentlərin və ziyarətçilərin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi, həmçinin ətraf mühitə təsirlərin minimuma endirilməsi idarəetmə sistemlərinin ayrılmaz tərkib hissəsi kimi çıxış edir. Bu baxımdan sağlamlıq, əməyin təhlükəsizliyi və ətraf mühitin mühafizəsi (SƏTƏMM) sistemlərinin tətbiqi səhiyyə təşkilatlarında prioritet istiqamətlərdən biri hesab olunur.

Azərbaycan Respublikasının Əmək Məcəlləsinin 207-209-cu maddələrinə əsasən, hər bir işçi təhlükəsiz və sağlam əmək şəraitində işləmək hüququna malikdir və işəgötürən bu şəraiti təmin etmək öhdəliyi daşıyır. Bu hüquqi çərçivə tibb müəssisələrində də SƏTƏMM sisteminin tətbiqini qanunvericilik tələbi kimi həyata keçirilməsini zəruri edir [6].

Beynəlxalq təcrübədə əməyin mühafizəsi və təhlükəsizlik sahəsində ən müasir idarəetmə yanaşmalarından biri ISO 45001:2018 standartı ilə müəyyən olunur. Bu standart təşkilatlarda risk əsaslı yanaşmanın tətbiqini, liderliyin aktiv iştirakını, işçi heyətinin cəlb olunmasını və davamlı təkmilləşdirmə prinsipini əsas götürərək təhlükəsizlik idarəetmə sistemlərinin səmərəliliyini təmin etməyə yönəlmişdir. Xüsusilə səhiyyə müəssisələrində bu standartın tətbiqi bioloji, kimyəvi, fiziki və psixososial risklərin kompleks şəkildə idarə olunmasına imkan yaradır.

Son illərdə Azərbaycanda səhiyyə sektorunda təhlükəsizlik idarəetmə sistemlərinin inkişafı istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır. Bu istiqamətdə qabaqcıl yanaşmalardan biri “Referans Medical Group” tərəfindən tətbiq olunan vahid SƏTƏMM modelidir. Bu model çoxsaylı tibb müəssisələrini əhatə etməklə, risklərin sistemli şəkildə qiymətləndirilməsi, təhlükəsizlik üzrə vahid siyasətin formalaşdırılması, audit mexanizmlərinin tətbiqi və əməkdaşların davamlı təlimləndirilməsi kimi əsas komponentləri özündə birləşdirir.

Təqdim olunan məqalənin məqsədi tibb müəssisələrində SƏTƏMM sisteminin ISO 45001:2018 standartı əsasında strateji tətbiqini araşdırmaq və “Referans Medical Group”-un praktiki təcrübəsi əsasında səmərəli idarəetmə modelini təhlil etməkdir. Məqalədə bu modelin əsas elementləri, tətbiq mexanizmləri və əldə olunan nəticələr sistemli şəkildə təqdim edilir.

Tədqiqatın metodologiyası. Bu tədqiqat keyfiyyət xarakterli analitik yanaşma əsasında həyata keçirilmişdir. Araşdırma zamanı ISO 45001:2018 standartının tələbləri, beynəlxalq təcrübə və milli qanunvericilik sənədləri sistemli şəkildə təhlil edilmişdir. Eyni zamanda “Referans Medical Group” müəssisələrində aparılmış daxili auditlərin nəticələri, risk qiymətləndirmə göstəriciləri və tətbiq olunan idarəetmə mexanizmləri müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır. Əldə olunan məlumatlar ümumiləşdirilərək praktiki model çərçivəsində təqdim edilmişdir.

Bu tədqiqat çərçivəsində çoxmüəssisəli müqayisəli risk idarəetmə yanaşmasından da istifadə olunmuşdur. “Referans Medical Group”-un tərkibinə daxil olan tibb müəssisələrində fəaliyyət növlərinin oxşarlığı səbəbindən risk

profillərinin də böyük ölçüdə eyni xarakter daşdığı nəzərə alınmışdır. Bu əsasda eyni risklər üzrə müxtəlif müəssisələrdə tətbiq olunan nəzarət tədbirləri müqayisəli şəkildə təhlil edilmiş, onların risk səviyyəsinin azaldılmasına təsir dərəcəsi qiymətləndirilmişdir. Təhlilin nəticələrinə əsasən, daha yüksək səmərəlilik göstərən nəzarət tədbirləri müəyyən edilərək digər müəssisələrdə tətbiq olunması tövsiyə edilmişdir. Bu yanaşma risklərin qəbul oluna bilən həddə daha operativ endirilməsinə və vahid SƏTƏMM sistemində idarəetmə qərarlarının optimallaşdırılmasına imkan yaradır.

SƏTƏMM sisteminin ISO 45001:2018 əsasında idarə olunması prinsipləri.

Səhiyyə müəssisələrində sağlamlıq, əməyin təhlükəsizliyi və ətraf mühitin mühafizəsi (SƏTƏMM) sisteminin nəticəyönlü təşkili üçün beynəlxalq yanaşmaların tətbiqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Bu istiqamətdə ISO 45001:2018 standartı risk əsaslı idarəetmə modelini ön plana çıxararaq təşkilatlarda təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılmasına sistemli yanaşma təqdim edir.

Standartın əsasını təşkil edən prinsiplər – liderliyin aktiv iştirakı, işçi heyətinin cəlb olunması, risklərin qabaqcadan müəyyən edilməsi və davamlı təkmilləşdirmə – səhiyyə müəssisələrinin fəaliyyətinə uyğunlaşdırıldıqda yüksək nəticələr əldə olunur. Bu yanaşma təhlükəsizlik məsələlərinin operativ çərçivədən kənara çıxaraq strateji idarəetmə səviyyəsində inteqrasiya olunmasını təmin edir.

“Referans Medical Group”da SƏTƏMM modelinin qurulması.

“Referans Medical Group”un tərkibinə daxil olan çoxsaylı tibb müəssisələrində vahid SƏTƏMM sisteminin tətbiqi təşkilati idarəetmədə yeni mərhələnin formalaşmasına şərait yaratmışdır. Sistem mərkəzləşdirilmiş idarəetmə prinsipi əsasında qurularaq bütün müəssisələrdə vahid siyasət və prosedurların tətbiqini təmin edir.

Modelin əsas komponentləri aşağıdakılardır:

- vahid SƏTƏMM siyasətinin hazırlanması və tətbiqi;
- hər müəssisədə cavabdeh şəxslərin təyin olunması;

- risklərin sistemli şəkildə qiymətləndirilməsi;
- illik audit və monitoring planlarının icrası;
- fəvqəladə hallara hazırlıq tədbirlərinin təşkili;
- davamlı təlim və maarifləndirmə proqramlarının həyata keçirilməsi.

Tətbiq olunan model təşkilatda təhlükəsizlik fəaliyyətlərinin sistemli və strukturlaşdırılmış idarə olunmasını təmin edir.

Risqlərin kompleks qiymətləndirilməsi və idarə olunması.

Aparılmış araşdırmalar və Avropa təcrübəsi ilə müqayisəli təhlil göstərir ki, səhiyyə sektorunda mövcud risklər çoxşaxəli və dinamik xarakter daşıyır. EU-OSHA tərəfindən təqdim olunan məlumatların yerli təcrübə ilə müqayisəsi nəticəsində müəyyən olunur ki, bu risklərin nəticəyönlü idarə olunması yalnız vahid və sistemli SƏTƏMM yanaşmasının tətbiqi ilə mümkün olur [4].

“Referans Medical Group”da tətbiq olunan yanaşma risklərin kateqoriyalar üzrə sistemləşdirilməsinə əsaslanır:

- **fiziki risklər:** elektrik təhlükələri, yanğın riski, avadanlıqların nasazlığı;
- **bioloji risklər:** infeksiyalar, tibbi tullantılar, mikrobioloji təhlükələr;
- **kimyəvi risklər:** dezinfeksiya vasitələri, dərman preparatları;
- **erqonomik risklər:** uzunmüddətli statik iş, ağır yüklərin qaldırılması;
- **psixososial risklər:** stress, emosional gərginlik, növbəli iş rejimi.

Risqlərin qiymətləndirilməsi ehtimal və təsir göstəricilərinə əsaslanan sistem üzrə aparılır və əldə olunan nəticələrə uyğun olaraq preventiv tədbirlər planı formalaşdırılır. Bu yanaşma təhlükələrin başvermə ehtimalının minimuma endirilməsinə və risklərin idarə olunmasının proaktiv səviyyədə təşkilinə imkan yaradır. Bununla yanaşı, vahid idarəetmə modeli çərçivəsində oxşar fəaliyyət profilli tibb müəssisələrində eyni xarakterli risklər üzrə tətbiq olunan nəzarət tədbirlərinin effektivliyi müqayisəli şəkildə təhlil edilir və bu yanaşmanın praktik tətbiqi və əldə olunan nəticələrin müqayisəli təhlili cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur. Aparılan təhlil nəticəsində texniki və mühəndislik yönümlü nəzarət tədbirlərinin risk səviyyəsinin azaldılmasında daha yüksək effektivliyə malik

olduğu müəyyən edilir və bu tədbirlərin digər müəssisələrdə tətbiqi təmin olunur. Beləliklə, risklərin idarə olunması prosesi yalnız qiymətləndirmə ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda təşkilat daxili ən yaxşı təcrübələrin sistemli şəkildə yayılması və idarəetmə qərarlarının optimallaşdırılması ilə müşayiət olunaraq, risklərin qəbul oluna bilən həddə operativ şəkildə endirilməsinə və təhlükələrin daha qısa müddətdə aradan qaldırılmasına zəmin yaradır.

Cədvəl 1. Klinikalar üzrə risklərin müqayisəli qiymətləndirilməsi və nəzarət tədbirlərinin effektivliyi.

Risk növü	Klinika	İlkin risk (R)	Tətbiq olunan nəzarət tədbiri	Tədbirdən sonra risk (R)	Risk azalma (%)	Effektivlik
Elektrik riski	A	16	Avtomatik qoruyucu sistemlərin quraşdırılması	6	62.5%	Yüksək
Elektrik riski	B	15	Dövri texniki baxış və nəzarət	10	33%	Orta
Elektrik riski	C	14	Təlim və maarifləndirmə	11	21%	Aşağı
Yanğın riski	A	20	Yanğın siqnalizasiya sisteminin yenilənməsi	5	75%	Yüksək
Yanğın riski	B	18	Odsöndürən vasitələrin artırılması	11	39%	Orta
Yanğın riski	C	17	Təlim və təxliyyə məşqləri	12	29%	Orta
Bioloji risk	A	15	Dezinfeksiya protokollarının sərtləşdirilməsi	7	53%	Yüksək
Bioloji risk	B	14	PPE istifadəsinə nəzarətin artırılması	9	36%	Orta
Bioloji risk	C	13	Maarifləndirmə və təlim	10	23%	Aşağı

Audit və monitoring mexanizmləri.

SƏTƏMM sisteminin effektivliyinin qiymətləndirilməsi məqsədilə “Referans Medical Group”da mütəmadi daxili auditlər həyata keçirilir. Bu yanaşma ISO 45001:2018 standartının 9.2-ci maddəsində nəzərdə tutulmuş daxili audit tələblərinə uyğun olaraq həyata keçirilir. Bu auditlər əvvəlcədən hazırlanmış illik tədbirlər planı çərçivəsində aparılmaqla yanaşı, risk əsaslı yanaşmaya uyğun olaraq yeni texnologiyaların tətbiqi zamanı, struktur dəyişikliklər baş verdikdə və rəhbərliyin tapşırığı əsasında əlavə şəkildə təşkil olunur və bütün müəssisələri əhatə edir. Bununla yanaşı, tibb sahəsində innovativ inkişaf mərhələsini öz fəaliyyətinə inteqrasiya edən “Referans Medical Group” klinikalarını mütəmadi olaraq yeni tibbi avadanlıqlarla təchiz edir ki, bu da risklərin dinamik şəkildə dəyişməsinə səbəb olur və audit, monitoring mexanizmlərinin fasiləsiz həyata keçirilməsini zəruri edir.

Audit prosesində aşağıdakı istiqamətlər üzrə qiymətləndirmə aparılır:

- elektrik və yanğın təhlükəsizliyi;
- tibbi tullantıların idarə olunması;
- radiasiya təhlükəsizliyi;
- texniki avadanlıqların vəziyyəti;
- sənədləşmə və qeydiyyat sistemi.

Qiymətləndirmə nəticələri balla ifadə olunur və müəssisələr üzrə müqayisəli analiz aparılır. Risk səviyyələri vizual olaraq təsnif edilir və bu, rəhbərliyə operativ qərarların qəbulunda mühüm dəstək verir.

Bu mexanizm təhlükəsizlik sisteminin real vəziyyətini obyektiv şəkildə müəyyən etməyə və aşkar olunan uyğunsuzluqlar üzrə operativ tədbirlərin görülməsinə şərait yaradır.

Təlim, maarifləndirmə və təhlükəsizlik mədəniyyəti.

SƏTƏMM sisteminin davamlılığı əməkdaşların bilik və bacarıqlarının inkişafı ilə birbaşa əlaqədardır. Bu məqsədlə “Referans Medical Group”da illik təlim planları hazırlanır və bütün əməkdaşlar üzrə mərhələli şəkildə həyata keçirilir. Bununla

yanaşı, risk əsaslı yanaşmaya uyğun olaraq, yeni avadanlıq və texnologiyaların tətbiqi zamanı, normativ tələblərdə dəyişiklik baş verdikdə, eləcə də yeni işçilərin işə qəbulu və ya əməkdaşların vəzifə dəyişiklikləri zamanı əlavə təlimlər təşkil olunur. Bu yanaşma təşkilatda təhlükəsizlik mədəniyyətinin davamlı inkişafını təmin edir.

Təlim proqramları aşağıdakı istiqamətləri əhatə edir:

- giriş, təkrar, növbədənəkar təlimatlar və biliklərin yoxlanılması;
- elektrik və yanğın təhlükəsizliyi;
- bioloji təhlükəsizlik;
- fəvqəladə hallara hazırlıq;
- risklərin idarə olunması.

Bu tədbirlər nəticəsində əməkdaşlar təhlükələri vaxtında müəyyən etmə və düzgün reaksiya vermə bacarığı qazanır. Nəticə etibarilə, təşkilatda təhlükəsizlik mədəniyyəti formalaşır və təhlükəsizlik gündəlik fəaliyyətin ayrılmaz hissəsinə çevrilir.

Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının yanaşmasına görə, təhlükəsizlik mədəniyyəti səhiyyə müəssisələrində risklərin uğurlu idarə olunmasının və təhlükəsiz xidmət mühitinin təmin edilməsinin əsas determinantlarından biri hesab olunur [7]. Bu yanaşma göstərir ki, təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılması birbaşa əməkdaşların bilik və bacarıqlarının səviyyəsi ilə bağlıdır. Bu baxımdan SƏTƏMM sisteminin effektivliyinin təmin olunmasında əməkdaşların səriştəlilik səviyyəsinin artırılması əsas şərtlərdən biri kimi çıxış edir.

Bu məqsədlə “Referans Medical Group”-un tərkibinə daxil olan tibb müəssisələrində əməyin mühafizəsi üzrə məsul şəxslər üçün xüsusi təlim proqramları təşkil olunur və onların SƏTƏMM sahəsində bilik və bacarıqları sistemli şəkildə inkişaf etdirilir.



Şəkil 1. “Referans Medical Group” müəssisələrində SƏTƏMM üzrə məsul şəxslərin ixtisasartırma təlimindən sonra sertifikatlaşdırılması prosesi.

Təlim proqramlarını uğurla başa vuran əməkdaşlara müvafiq sertifikatlar təqdim olunmuşdur ki, bu da ISO 45001:2018 standartının səriştəliliklə bağlı tələblərinin praktik tətbiqinin göstəricisi kimi qiymətləndirilə bilər.

Fövqəladə hallara hazırlığın gücləndirilməsi məqsədilə Azərbaycan Respublikasının Fövqəladə Hallar Nazirliyinin yanğınsöndürmə bölmələri ilə birgə praktiki təlimlər təşkil olunur. Bu təlimlər əməkdaşların fəvqəladə vəziyyətlərdə düzgün davranış bacarıqlarının formalaşdırılmasına və operativ reaksiya qabiliyyətinin artırılmasına xidmət edir.

Təlimlər çərçivəsində ilkin yanğınsöndürmə vasitələrinin ümumi yoxlanılması həyata keçirilir, onların texniki vəziyyəti qiymətləndirilir və əməkdaşlara bu vasitələrdən düzgün istifadə qaydaları praktiki şəkildə öyrədilir. Bu yanaşma yanğının ilkin mərhələsində effektiv müdaxilə imkanlarının artırılmasına mühüm töhfə verir.



Şəkil 2. “Referans Medical Group” müəssisələrində Azərbaycan Respublikasının Fövqəladə Hallar Nazirliyinin yanğınsöndürmə bölmələri ilə birgə keçirilən “Fövqəladə hallara hazırlıq” və “Təxliyyə” üzrə praktiki təlim prosesi.

Bununla yanaşı, tibb müəssisələrində yanğın təhlükəsizliyi siqnalizasiya sistemlərinin mütəmadi yoxlanılması təmin olunur, aşkar olunan nasazlıqlar operativ şəkildə aradan qaldırılır və sistemlərin fasiləsiz işlək vəziyyətdə saxlanması təmin edilir.

Eyni zamanda, mövcud təxliyə planları mütəmadi olaraq yenilənir, rekonstruksiya olunmuş müəssisələr üçün yeni təxliyə sxemləri hazırlanır, təsdiq olunur və tətbiq edilir. Təhlükəsizliyin praktiki səviyyədə möhkəmləndirilməsi məqsədilə müəssisələrdə müntəzəm təxliyyə məşqləri keçirilir və bu proseslər təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılmasına sistemli şəkildə inteqrasiya olunur.

Bu yanaşma nəticəsində müəssisələrdə təhlükəsizlik üzrə məsul şəxslərin peşəkar hazırlıq səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlmiş və təhlükəsizlik idarəetmə sisteminin dayanıqlılığı təmin olunmuşdur [1].

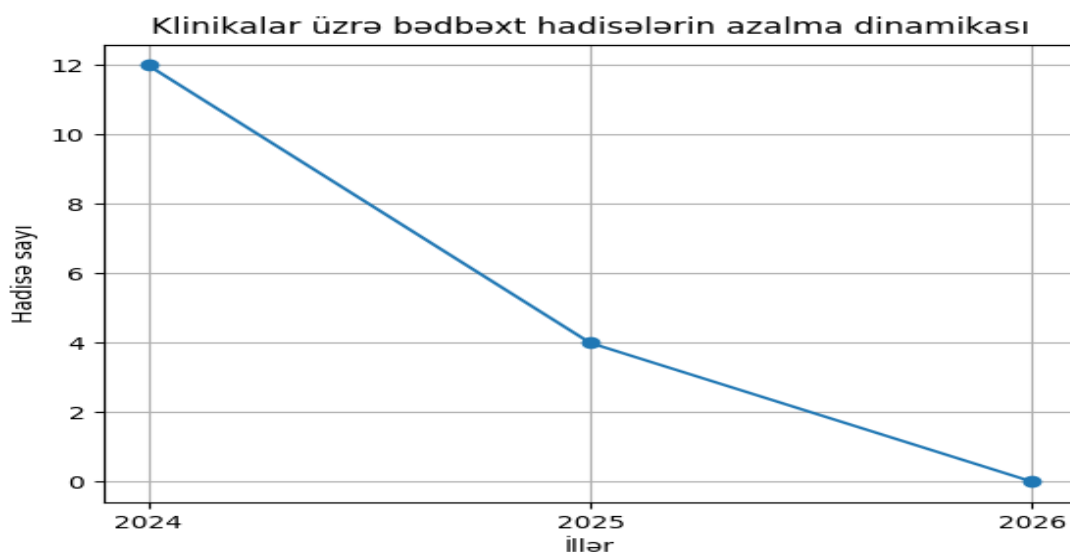
Bu fəaliyyətlər ISO 45001:2018 standartının 7.2 (Səriştəlilik) və 7.3 (Maarifləndirmə) maddələrinin tələblərinə uyğun olaraq təşkil olunur.

Əldə olunan nəticələr və sistemin effektivliyi.

Tətbiq olunan SƏTƏMM modelinin nəticələri təşkilati səviyyədə mühüm göstəricilərlə müşahidə olunur.

Aparılan tədbirlərin effektivliyini təsdiq edən mühüm göstəricilərdən biri kimi, 2026-cı ilin fevral ayında “Leyla Medical Center”də həyata keçirilmiş iş yerlərinin attestasiyası zamanı əldə olunmuş nəticələr qeyd oluna bilər. Qiymətləndirmə zamanı hər hansı uyğunsuzluq aşkar olunmamışdır ki, bu da müəssisədə tətbiq olunan vahid SƏTƏMM sisteminin effektivliyini bir daha təsdiq edir [5].

Tətbiq olunan SƏTƏMM modelinin effektivliyini xarakterizə edən əsas göstəricilərdən biri istehsalat qəzalarının dinamikasında müşahidə olunan dəyişikliklərdir. Bu dinamika tətbiq olunan vahid SƏTƏMM modelinin yüksək effektivliyini əks etdirən əsas göstəricilərdən biri kimi qiymətləndirilir. Aparılan tədbirlər nəticəsində:



Nəticə. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, tibb müəssisələrində sağlamlıq, əməyin təhlükəsizliyi və ətraf mühitin mühafizəsi sisteminin ISO 45001:2018 standartı əsasında qurulması təşkilati idarəetmənin keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir. Risk əsaslı yanaşmanın tətbiqi, liderliyin fəal iştirakı və əməkdaşların sistemə inteqrasiyası təhlükəsizlik fəaliyyətlərinin effektivliyini təmin edən əsas amillər kimi çıxış edir [1].

“Referans Medical Group” təcrübəsi göstərir ki, SƏTƏMM sisteminin mərkəzləşdirilmiş və strukturlaşdırılmış şəkildə tətbiqi çoxsaylı tibb müəssisələrində vahid təhlükəsizlik yanaşmasının formalaşmasına imkan yaradır. Aparılmış auditlər, təlim proqramları və risklərin qiymətləndirilməsi mexanizmləri nəticəsində təhlükəsizlik göstəricilərində nəzərəcərpacaq irəliləyiş əldə olunmuş, istehsalat qəzalarının qarşısı alınmış və təşkilati dayanıqlılıq güclənmişdir [2].

Eyni zamanda müəyyən olunmuşdur ki, səhiyyə müəssisələrində SƏTƏMM sisteminin uğurlu tətbiqi yalnız normativ tələblərin icrası ilə məhdudlaşmır, həm də təhlükəsizlik mədəniyyətinin formalaşdırılması ilə sıx bağlıdır. Bu kontekstdə davamlı təlim, monitoring və təkmilləşdirmə mexanizmləri xüsusi rol oynayır [3].

Nəticə etibarilə, ISO 45001 standartı əsasında qurulmuş və “Referans Medical Group” modeli ilə tətbiq olunan SƏTƏMM sistemi səhiyyə müəssisələrində təhlükəsizliyin təmin olunması, risklərin effektiv idarə olunması və uzunmüddətli təşkilati inkişafın təmin edilməsi üçün etibarlı və effektiv idarəetmə aləti kimi qiymətləndirilə bilər.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, 2018.

2. World Health Organization (WHO). Health workforce policy and management in the context of the COVID-19 pandemic response. Geneva, 2021.

3. International Labour Organization (ILO). Safety and health in the use of chemicals at work. Geneva, 2019.
4. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). Occupational safety and health in the healthcare sector. Luxembourg, 2020.
5. Azərbaycan Respublikası Nazirlər Kabineti. İş yerlərinin attestasiyasının keçirilməsi qaydaları. Bakı, 2000.
6. Azərbaycan Respublikasının Əmək Məcəlləsi. Maddə 207-209. Bakı, son redaksiya.
7. World Health Organization (WHO). Patient safety: making health care safer. Geneva, 2017.

UOT 519.87:614.8:51-74

FƏLAKƏT RİSKLƏRİNİN YAYILMA DİNAMİKASININ RİYAZİ TƏNLİKLƏR VASİTƏSİLƏ ANALİZİ

Yunusov Mir Ramin Mir Qasım oğlu

Elm və Təhsil Nazirliyi Riyaziyyat İnstitutunun doktorantı,

Bakı Mühəndislik Universitetinin müəllimi

Orcid ID: 0009-0005-8323-4279

e-mail: myunusov@beu.edu.az

Xülasə. Müasir dövrdə iqlim dəyişiklikləri, elmi və texnoloji sferada tərəqqi sənaye infrastrukturunun mürəkkəbləşməsinə, nəticə etibarilə, fəvqəladə halların zəncirvari fəlakətlərə çevrilməsinə səbəb olmuşdur. Təqdim olunan tədqiqat işinin əsas məqsədi fəlakət risklərinin yayılma dinamikasını xətti və qeyri-xətti riyazi modellər vasitəsilə analiz etməkdir. Tədqiqat metodologiyası çərçivəsində risklərin fəza-zaman xarakterli yayılması kəsilməz mühitlər üçün reaksiya-diffuziya tipli diferensial tənliklərlə modelləşdirilmişdir. Python mühitində aparılan simulyasiyalar göstərmişdir ki, ənənəvi xətti-deterministik və avtoregressiv modellər risklərin yalnız ilkin mərhələsində effektivdir. Hadisələrin mürəkkəbliyi artdıqca, xətti tənliklər sistemin kritik bifurkasiya nöqtələrini və infrastrukturun çöküş həddini müəyyən etməkdə qeyri-adekvatlıq nümayiş etdirir. Təklif olunan qeyri-xətti kaskad modeli isə fəlakətlərin yarada biləcəyi asimmetrik sıçrayışları və eksponensial risk artımını yüksək dəqiqliklə proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Açar sözlər: fəlakət riski, kaskad effekti, qeyri-xətti dinamika, reaksiya-diffuziya tənlikləri, böhran idarəetməsi.

Son illərdə global iqlim dəyişikliyi fonunda baş verən təbii və texnogen xarakterli fəvqəladə halların baş vermə tezliyi və onların əhatə etdiyi ərazilərin miqyasının genişlənməsi sürətli şəkildə artmışdır. Xüsusilə qeyd etmək vacibdir ki, müxtəlif xarakterli fəlakətlərin – meşə yanğınları, daşqınlar, seysmik aktivliklər və nəticədə baş verən digər texnogen xarakterli fəvqəladə qəzalar iqtisadi və sosial zəmində kaskad fəlakətləri ilə nəticələnə bilər [1]. Belə mürəkkəb xarakterli hadisələrin idarə edilməsi, mövcud risklərin proqnozlaşdırılması və belə hallar nəticəsində dəymiş zərərin minimuma endirilməsi həmin hadisələr zamanı qərar qəbul etmə proseslərində effektiv və dəqiq riyazi modellərin tətbiqini zəruri edir [2]. Fəlakət risklərinin proqnozlaşdırılması və idarə edilməsi ənənəvi formada və dəyişməyən sabit şərtlər baş verən xətti yanaşmalara əsaslanmışdır. Xətti riyazi modellər fəlakət risklərinin uyğun amillərlə mütənasib olaraq dəyişməsinə və məhdud əhatə dairəsinə malik kiçik miqyaslı hadisələrin analizində müəyyən dərəcədə effektivlik göstərir. Lakin belə fəlakətlərin miqyasının genişlənməsi, o cümlədən mövcud infrastrukturun sıradan çıxması ilə nəticələn mürəkkəb hadisələr zamanı xətti dinamika effekti deyildir. Təbii və texnogen fəlakətlərdə ola biləcək əlaqə hadisənin gözlənilməz, qeyri-mütənasib və eksponensial olaraq artan nəticələrə səbəb olur. Belə məhdudiyyətlərin aradan qaldırılması məqsədilə dinamik sistemlərin elementlərini özündə birləşdirən qeyri-xətti diferensial tənliklərin tətbiqi məqsədəuyğun hesab oluna bilər. Qeyri-xətti riyazi sistem fəlakətlərin dəyişmə nöqtəsini, zəncirvari effektlərin sürətlənmə mexanizmlərini və ətraf mühit daxilində qeyri-bərabər yayılma qanunauyğunluqlarını modelləşdirməyə imkan verir. Belə diferensial tənliklər sistemi sayəsində mövcud risklərin qarşılıqlı təsir proseslərinin həm ilkin, həm də sonrakı törəmə fəlakətlərin qarşısının alınmasında uyğun idarəetmə rejiminin hazırlanmasına zəmin yaradır.

Təqdim olunan elmi işin əsas məqsədi ümumi yanğın və digər təbii-texnogen mənşəli fəlakət risklərinin yayılma dinamikasını təsvir edən xətti və qeyri-xətti riyazi tənliklərin müqayisəli analizini həyata keçirməkdir.

Qeyd edildiyi kimi, təbii və texnogen xarakterli fəvqəladə halların müxtəlif səviyyələrdə inkişaf mərhələlərini müəyyən etmək məqsədilə, ənənəvi olaraq riyazi modelləşdirmədə xətti yanaşmalar geniş tətbiq olunur. Xətti modellərdə əsas istiqamət səbəb və nəticə prosesləri arasındakı proporsionallıq və superpozisiya prinsipinə əsaslanır. Yəni, fəlakətə səbəb olan mənbənin gücü iki dəfə artarsa, onun yaratdığı risk və ya zərərin miqyası da müvafiq olaraq iki dəfə artır [3].

Fəvqəladə hal risklərinin yayılma dinamikasını xətti diferensial tənliklər sistemi vasitəsilə zamanla (t) inkişaf etməkdə olan proses kimi təsvir etmək mümkündür. Belə tənliyi ümumi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək mümkündür:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) \quad (1)$$

Burada:

- $x(t)$ – fəvqəladə hal riskinin vəziyyətini zamanın t anında ifadə edən n ölçülü vektordur;
- A – fəvqəladə hal riskinin daxili dinamikasını və yayılma istiqaməti üzrə sürətini təyin edən sabit əmsal matrisidir;
- $u(t)$ – hadisəyə edilən kənar müdaxilələri ifadə edən vektordur;
- B – kənar müdaxilələrin sistemə olan təsir şiddətini müəyyən edən matrisdir.

Fəlakət risklərinin proqnozlaşdırılmasında, həmçinin stoxastik və xətti avtoregressiv və ya integrasiya edilmiş hərəkətli ortalama metodlarının bazis tənliklərindən də istifadə edilir. Bu zaman riskin hazırkı vəziyyəti əvvəlki dövrlərin xətti kombinasiyası kimi iştirak edir:

$$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Burada, Y_t proqnozlaşdırılan fəlakət riski, c sabit əmsal, ϕ müvafiq parametr əmsalları, ε_t isə təsadüfi baş verən xəta amilidir.

Xətti riyazi modellərin hesablanması baxımından sadə olması və müvafiq

şərtlər daxilində dəqiq nəticələr verə bilməsi onların üstünlüyüdür. Məsələn, küləyin sürətinin, relyefin və floranın sabit olduğu homogen mühitdə baş verən meşə yanğınının ilkin yayılma sürətini xətti tənliklərlə kifayət qədər dəqiqliklə modelləşdirmək mümkündür [4]. Eyni zamanda, belə modellərə zəncirvari effektlərə səbəb olmayan və məhdud miqyaslı texnogen xarakterli fəvqəladə hallar da aiddir.

Lakin, qeyd etmək zəruridir ki, xətti tənliklər irimiqyaslı fəlakət ssenarilərinin modelləşdirilməsində və dəqiq nəticələrin əldə olunmasında ciddi şəkildə məhdudiyyətlə üzləşir. Bunlara aşağıdakıları misal göstərmək olar:

- Zəncirvari (kaskad) effektlərin nəzərə alınma bilməməsi – xətti asılılıqlarda fəvqəladə vəziyyətə səbəb olan bir fəlakətin digər bir fəlakətə səbəb olmasını ifadə edə bilmir;
- Kritik dəyişmə düyünləri – baş verən fəvqəladə halın qəflətən dəyişməsi xətti tənliklərlə ifadə oluna bilməz. Belə qeyri-sabit amillər xətti matrisin nəticələrinin kənara çıxmasına səbəb olur.

Qeyd olunan amillər göstərir ki, xətti tənliklərə əsaslanan proqnozlaşdırma mürəkkəb təbiətə sahib olan, yüksək risk qrupuna malik ərazilərdə böhran vəziyyətlərinin idarə olunmasında natamamlıq təşkil edir. Belə fəlakət risklərinin idarə olunması qeyri-xətti riyazi modellərə ehtiyacı zəruri edir.

Mürəkkəb proseslərdə qeyri-xətti dinamikanı və zəncirvari (kaskad) effektləri modelləşdirmək üçün sistemin daxilindəki mövcud məhdudiyyətləri və sistemin mühitlə əlaqəsini nəzərə alan reaksiya-diffuziya tənliklərindən istifadə olunur [5]:

$$\frac{dR(x,t)}{dt} = D\nabla^2 R(x,t) + f(R) \quad (3)$$

Burada:

- $R(x, t)$ – t zamanında və x nöqtəsində fəlakət riskinin intensivliyidir;
- $D\nabla^2 R(x, t)$ – təhlükə mənbəyinin ətraf ərazilərə fiziki şəkildə yayılma sürətini ifadə edir;

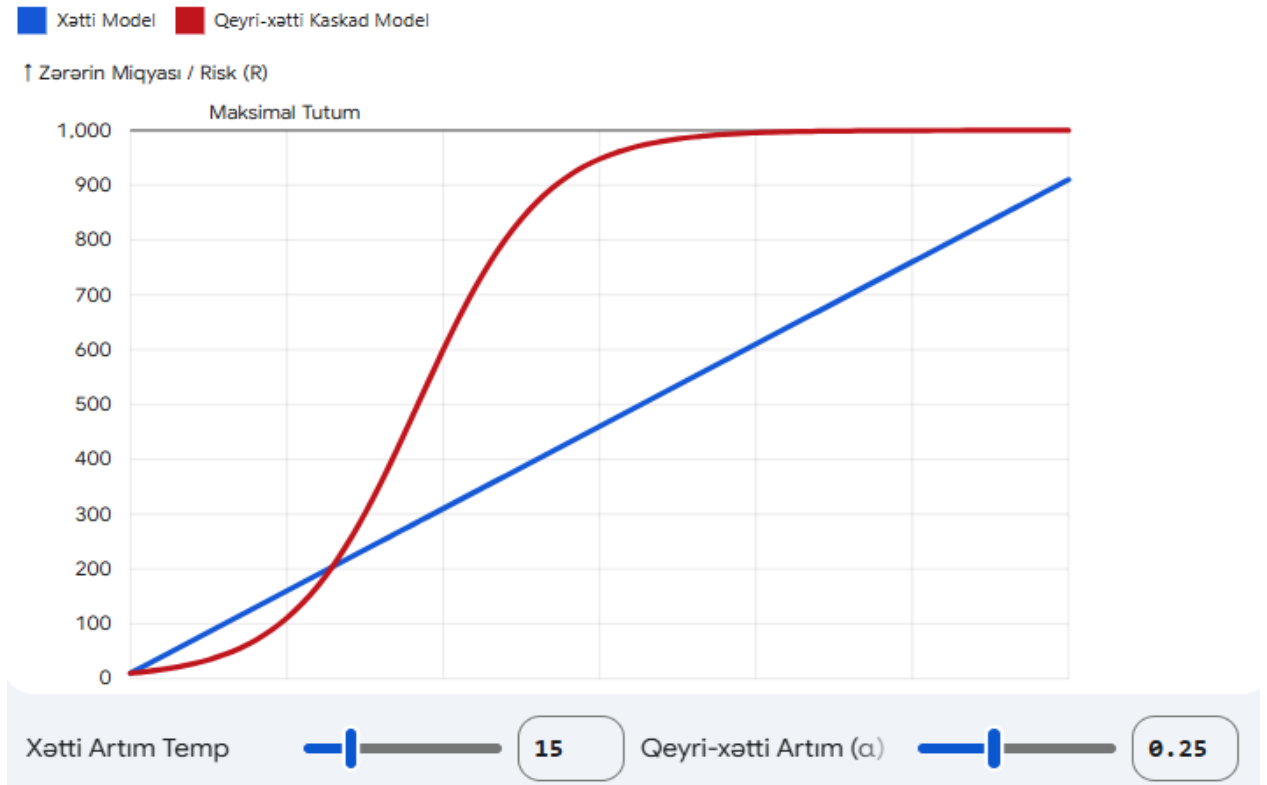
adekvatlığını qiymətləndirmək məqsədilə virtual mühitdə (Python) eksperiment həyata keçirilmişdir. Sözügedən simulyasiya hesablaması zamanı mürəkkəb infraqururura malik şəbəkələrdə baş verən fəlakətlərin ilkin fazasından dərhal sonra genişmiqyaslı və dağıdıcı təsirə çevrildiyi müşahidə olunmuşdur.

Eksperiment zamanı uyğun tənliklərin həlli üçün başlanğıc şərtlər və parametrlər təyin olunaraq, xətti avtoreqressiv və qeyri-xətti əlaqəli şəbəkə modeli ilkin olaraq eyni risk səviyyəsindən başlanılmışdır. Simulyasiyanın nəticələri cədvəl 1-də göstərilmişdir:

Cədvəl 1. Simulya hesablaması üçün baza parametrləri.

Dəyişən	Parametr	Qiymət diapazonu	Riyyazi izahı
İlkin risk	R_0	10	Fövqəladə halın başlanğıc mərhələsindəki sistemin ilkin zədələnmə səviyyəsi
Sistemin maksimal tutumu	K	1000	Sistemin maksimal davamlılıq həddi
Xətti artım tempi	r_L	15	Sabit yayılma dərəcəsi
Qeyri-xətti artım və ya yayılma tempi	α	0.25-0.45	Sistem daxilində eksponensial artım
Bifurkasiya həddi	C_i	>400	Sistemin davamlılıq həddinin ötmə nöqtəsi

Qeyd olunan baza parametrləri əsasında ilkin şərtlər daxilində xətti və qeyri-xətti modellərin fəlakət risklərinin hansı trayektoriyalarla proqnozlaşdırdığını interaktiv qrafik vasitəsilə müşahidə edilmişdir (şəkil 1):



Şəkil 1. Fəlakətin yayılmasının xətti və qeyri-xətti modellərlə proqnozlaşdırılması.

Şəkil 1-dəki qrafikdən də göründüyü kimi, prosesin başlanğıc mərhələsində qeyri-xətti model (qırmızı əyri) fəlakət riskinin asta şəkildə artmasını və baş verə biləcək zərərin nəzarət altında olduğunu əks etdirir. Xətti model isə öz növbəsində fəlakətin eyni tempə tədricən artacağını proqnoz edərək düzxətli sabit trayektoriya cızır. Lakin qeyri-xətti modelin risk səviyyəsi kritik aşma nöqtəsinə çatana qədər sistemin dayanıqlılığını saxlaya bilər. Məhz bu nöqtədə C_i (bifurkasiya həddi) aşılır və prosesin çökməsi səbəbindən baş verən zərər kəskin eksponensial artım edərək, qısa müddət ərzində sistemin maksimal tutum həddinə ($K=1000$) çataraq orada sabitləşir. Xətti riyazi model isə təhlükəli eksponensial artımı və prosesin çökmə limitini tamamilə nəzarətdən çıxarıb, fəlakətin real təhdidinin reallıqdan dəfələrlə aşağı qiymətləndirdiyini göstərir.

Nəticə. Mövzu üzrə araşdırılan tədqiqat işində təbii və texnogen xarakterli fəvqəladə halların riyazi analizlərində fəlakət risklərinin yayılması dinamikasının xətti və qeyri-xətti riyazi tənliklər əsasında müqayisəli təhlili həyata keçirilmiş və

zəncirvari böhran vəziyyətlərinin idarə edilməsində dinamik yanaşmanın zəruriliyi əsaslandırılmışdır.

Tədqiqat zamanı differensial tənliklərə və xətti avtoregressiv metodlara əsaslanan risk proqnozları qısa zaman intervalında, məhdud məkanda və homogen mühitlərdə effektiv olması aşkarlanmışdır. Belə modellər mürəkkəb və bir-birinə sıx integrasiya olunmuş əlaqəli sistemlərdə risklərin eksponensial artımını və qırılma nöqtələrini proqnozlaşdırmaq çətinlik çəkir.

Bir-birinə bağlı qeyri-xətti differensial tənliklər isə öz növbəsində təbii və texnogen xarakterli fəlakətlərin yayılma qanunauyğunluqlarını daha dəqiq əks etdirir. Belə tənliklər fəlakət zərbəsinin proses daxilində digər infrastrukturlara ötürülməsini və çökmə anını ədədi olaraq qiymətləndirməyə imkan verir.

ƏDƏBİYYAT

1. Pescaroli, G., & Alexander, D. (2015). A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the "toppling dominos" metaphor. *Planet@Risk*, 3(1), 58-67.
2. Helbing, D. (2013). Globally networked risks and how to respond. *Nature*, 497(7447), 51-59.
3. Kwasinski, A., Weaver, W.W., & Balog, R. S. (2014). Linear and non-linear dynamics and analysis of complex systems during natural hazard events. *Natural Hazards*, 73(3), 1621-1640.
4. Sullivan, A.L. (2009). Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 1: Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire*, 18(4), 349-368.
5. Bunde, A., Kropp, J., & Schellnhuber, H.J. (Eds.). (2002). *The science of disasters: Climate disruptions, heart attacks, and market crashes*. Springer Science & Business Media.

6. Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 43-60.
7. Gao, J., Barzel, B., & Barabási, A.L. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, 530(7590), 307-312.
8. Krausmann, E., Cruz, A.M., & Salzano, E. (2017). *Natech risk assessment and management: Reducing the risk of natural-hazard impact on hazardous installations*. Elsevier.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РИСКОВ БЕДСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Юнусов Мир Рамин Мир Гасым оглы

Докторант Института Математики Министерства Науки и Образования

Преподаватель Бакинского инженерного университета

Orcid ID: 0009-0005-8323-4279

e-mail: myunusov@beu.edu.az

Аннотация. В современную эпоху изменения климата и прогресс в научно-технологической сфере привели к усложнению промышленной инфраструктуры, что, в конечном итоге, способствовало превращению чрезвычайных ситуаций в цепные катастрофы. Основная цель представленной исследовательской работы заключается в анализе динамики распространения рисков бедствий с помощью линейных и нелинейных математических моделей. В рамках методологии исследования пространственно-временное распространение рисков было смоделировано с использованием дифференциальных уравнений типа реакция-диффузия для непрерывных сред. Симуляции, проведенные в среде Python, показали, что

традиционные линейно-детерминированные и авторегрессионные модели эффективны только на начальной стадии возникновения рисков. По мере усложнения событий линейные уравнения демонстрируют неадекватность в определении критических точек бифуркации системы и порога обрушения инфраструктуры. Предлагаемая нелинейная каскадная модель позволяет с высокой точностью прогнозировать асимметричные скачки и экспоненциальный рост рисков, возникающих при катастрофах.

Ключевые слова: риск катастрофы, каскадный эффект, нелинейная динамика, уравнения реакции-диффузии, кризис-менеджмент.

MATHEMATICAL ANALYSIS OF DISASTER RISK SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION DYNAMICS

Yunusov Mir Ramin Mir Gasim oglu

PhD student at the Institute of Mathematics, Ministry of Science and Education

Lecturer at Baku Engineering University

e-mail: myunusov@beu.edu.az

Orcid ID: 0009-0005-8323-4279

Annotation. In the modern era, climate change and progress in the scientific and technological spheres have led to the increasing complexity of industrial infrastructure, consequently causing emergencies to evolve into chain-reaction disasters. The primary objective of this research is to analyze the propagation dynamics of disaster risks using linear and non-linear mathematical models. Within the methodological framework, the spatio-temporal propagation of risks was modeled using reaction-diffusion differential equations for continuous environments. Simulations conducted in the Python environment demonstrated that traditional linear-deterministic and autoregressive models are effective only during

the initial stage of risk onset. As the complexity of events increases, linear equations exhibit inadequacy in determining critical systemic bifurcation points and infrastructure collapse thresholds. In contrast, the proposed non-linear cascade model enables high-precision forecasting of asymmetric leaps and exponential risk growth occurring during disasters.

Keywords: disaster risk, cascade effect, nonlinear dynamics, reaction-diffusion equations, crisis management.

UOT 614.84:614.89:544.4:66.0

TOKSİK MAYE DAĞILMALARI VƏ “B” SİNİF YANĞINLARINA QARŞI UNİVERSAL VASİTƏLƏRİN HAZIRLANMASI ÜSULLARI

¹M.E.Musayev, ²İ.F.Dadaşov

¹*Magistratura şöbəsinin böyük metodisti*

²*Professor, t.ü.f.d. Qiyabi təhsil fakültəsinin rəisi*

^{1,2}*Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası*

e-mail: Musayev95-95@mail.ru; Ilgardadashov.69@gmail.com

Xülasə. Yanar mayelərin söndürülməsi və toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün mövcud üsulların təhlili əsasında, bu məqsədlər üçün eyni zamanda yararlı olan perspektivli vasitələrin seçimi aparılmışdır. Bunun üçün həm mayelərin söndürülməsinə, həm də havada toksik mayelərin konsentrasiyasının azaldılmasına təsir edən əsas amillər nəzərdən keçirilmişdir. Mayelərin söndürülməsi və buxarlanması proseslərinə təsir edən amillər kimi müvafiq vasitələrin üzmə qabiliyyəti, izolyasiyaedici xüsusiyyətləri, soyuducu xüsusiyyətləri və davamlılığı nəzərdən keçirilmişdir. Seçilmiş amillərlə baxılmış vasitələrin ümumi effektivlik göstəricisinə təsirini qiymətləndirmək üçün qiymətləndirmə şkalası təklif edilmişdir. Şəxsi və ədəbiyyat məlumatları əsasında yanar və toksik mayelərin söndürülməsi və dağılmalarının aradan qaldırılması üçün vahid vasitə kimi hava-mexaniki və tez sərtləşən köpüklərin, həmçinin əlavə gel qatının tətbiqi ilə yüngül dənəvər materiallar əsaslı vasitələrin nəzərdən keçirilməsi məqsədəuyğun hesab edilmişdir. Yanar və zəhərli mayelərin söndürülməsi və dağılmalarının aradan qaldırılması üçün vahid odsöndürücü vasitənin son

seçiminin edilməsi məqsədilə onların yangınsöndürmə və izolyasiyaedici xüsusiyyətlərinin əlavə nəzəri və eksperimental tədqiqatlarının aparılması, həmçinin ekoloji və iqtisadi göstəricilərin nəzərə alınması zəruridir.

Abstract. Based on an analysis of existing methods for extinguishing flammable liquids and eliminating toxic liquid spills, promising agents suitable for both purposes simultaneously have been selected. For this purpose, the main factors affecting both the extinguishing of liquids and the reduction of the concentration of toxic liquids in the air were considered. Factors affecting the extinguishing and evaporation processes of liquids, such as the buoyancy, insulating properties, cooling properties, and stability of the corresponding agents, were considered. An evaluation scale was proposed to assess the influence of the selected factors on the overall effectiveness indicator of the considered agents. Based on personal and literature data, it was considered appropriate to examine air-mechanical and fast-hardening foams, as well as agents based on lightweight granular materials with the application of an additional gel layer, as unified means for extinguishing flammable and toxic liquids and eliminating their spills. In order to make the final selection of a unified extinguishing agent for suppressing flammable and toxic liquids and eliminating their spills, it is necessary to conduct additional theoretical and experimental studies of their firefighting and insulating properties, as well as to take environmental and economic indicators into account.

Аннотация. На основе анализа существующих методов тушения горючих жидкостей и ликвидации разливов токсичных жидкостей проведён выбор перспективных средств одновременно пригодных для этих целей. Для этого рассмотрены основные факторы влияющие как на тушение жидкостей, так и на снижение концентрации токсичных жидкостей в воздухе. В качестве факторов влияющих на процессы тушения и испарения жидкостей рассмотрены плавучесть, изолирующие свойства, охлаждающие свойства и стойкость соответствующих средств. Предложена оценочная шкала влияния выбранных факторов на суммарный целевой параметр эффективности

выбранного средства. На основании полученных результатов и анализа литературных данных целесообразно рассмотреть в качестве универсального средства для тушения пожаров и ликвидации разливов горючих и токсичных жидкостей воздушно-механические и быстротвердеющие пены, а также средства на основе лёгких сыпучих материалов с последующим нанесением дополнительного слоя геля. Для окончательного выбора единого средства для тушения и ликвидации разливов горючих и токсичных жидкостей необходимо проведение дополнительных теоретически и экспериментальных исследований их огнетушащих и изолирующих характеристик, а также учёт экологических и экономических параметров.

Açar sözlər: mayelərin söndürülməsi, toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması, hava-mexaniki köpüklər, tez sərtləşən köpüklər, yüngül dənəvər materiallar, gel əmələgətirən sistemlər.

Keywords: extinguishing of liquids, elimination of toxic liquid spills, air-mechanical foams, fast-hardening foams, lightweight granular materials, gel-forming systems.

Ключевые слова: тушение жидкостей, ликвидация разливов токсичных жидкостей, воздушно-механические пены, быстротвердеющие пены, лёгкие сыпучие материалы, гелеобразующие системы.

Giriş. Hazırda dövriyyədə minlərlə maye mövcuddur. Onların əksəriyyəti təhlükə xüsusiyyətlidir. Mayelərin əsas təhlükə növləri onların yanması və toksikliyi ilə bağlıdır. Onlarla mütəmadi olaraq yanğınlara və toksik mayelərin ətraf mühitə yayılmasına səbəb olan qəza vəziyyətləri baş verir [1-2]. Neft və qaz hasilatının inkişaf etdiyi, həmçinin kimya sənayesinin yüksək səviyyədə olduğu ölkəmiz üçün mayelərin təhlükəli xüsusiyyətləri ilə bağlı baş verən qəzaların yaranma ehtimalı daha yüksəkdir [3].

Əsasını yanar maddənin təşkil etdiyi mayelərin olduğu yanğınlər “B” sinif yanğınlər kimi təsnif edilir. Bu cür yanğınlərin söndürülməsi Fövqəladə Hallar

Nazirliyinin yangınsöndürmə bölmələri üçün ən mürəkkəb vəzifələrdən biridir. Onlar bir çox hallarda uzunmüddət davam etməsi, yangınsöndürmə qüvvə və vasitələrinin böyük miqdarda cəlb olunmasına ehtiyacın olması ilə xarakterizə olunur [4].

Mayələrin yanması mürəkkəb çox mərhələli bir prosesdir. Bu prosesin ilk mərhələsi mayenin maye halından qaz halına keçməsi prosesidir. Kimyəvi qəzalarda toksik mayələrin dağılması zamanı, qəzanın ilkin mərhələsində Fövqəladə Hallar Nazirliyi yangınsöndürən və xilasetmə bölmələrinin əsas vəzifəsi zəhərli hava buludunun formalaşmasının qarşısını almaq və onun atmosferdə yayılmasına yol verməməkdir [5]. Toksik buxarların ətraf mühitə yayılması toksik mayələrin buxarlanması ilə əlaqədardır.

Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, həm mayələrin yanması, həm də toksik buxar buludunun formalaşması halında həlledici mərhələ mayenin buxarlanması prosesidir. Bu isə “B” sinif yangınlar və toksik maye dağılmaları ilə mübarizə üçün müvafiq vəziyyətlərin aradan qaldırılmasına yönəlmiş vahid vasitənin yaradılmasının məqsədəuyğun olduğunu göstərir [6].

Ədəbiyyat məlumatlarının təhlili və problemin qoyuluşu. Yanar mayələrin söndürülməsi üçün çoxlu sayda üsullar mövcuddur. Onların arasında aşağıdakıları qeyd etmək olar: müxtəlif növ yangınsöndürmə köpükləri, su və qaz tərkibli məhlullar, emulsiyalar və suspenziyalar, toz halında vasitələr, aerosollar, bərk karbon qazı, durulaşdırıcı qazlar, yanmanı ləngidən qaz halında inhibitorlar. Bunlardan ən effektivləri izolyasiya mexanizminin üstünlük təşkil etdiyi hava-mexaniki köpüklərdir. Lakin yangınsöndürmə köpüklərinin bir sıra ciddi çatışmazlıqları vardır. Onların əsas çatışmazlığı mayenin səthində köpüyün aşağı davamlılığıdır.

Köpüklə yangınsöndürmə metodunun mühüm inkişafı tez sərtləşən köpüklərin hazırlanmasıdır [7-9]. Bu köpük bir-birindən ayrı saxlanılan bir neçə maye komponentin hidrodinamik qarışdırılması və daha sonra köpükləndirilməsi prosesi nəticəsində əldə olunur. Tez bərkiyən köpüklər yangınsöndürmə vasitələri üçün

unikal olan bir sıra xüsusiyyətlərə malikdir: yüksək istilik dayanıqlığı, yüksək yapışma qabiliyyəti və yüksək ekoloji təhlükəsizlik bunlara aiddir. Tez sərtləşən köpüyün toksik maye dağılmalarının lokallaşdırılması üçün izolyasiyaedici vasitə kimi istifadə olunması da təklif edilmişdir. Bu işlərin xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, belə köpüklərin əldə olunma texnologiyasının əsaslı təsviri verilməmişdir.

Qeyri-üzvi maddələr əsasında tez bərkiyən köpüklərin alınmasına dair oxşar ideya [10] işində təklif edilmişdir. Axıcılığın itirilməsini təmin etmək üçün həmmüəlliflərlə gel əmələgəlmə (gelasiya) prosesindən istifadə etməyi təklif etmişdik. Bu məqsədlə “A” sinif yanğınların söndürülməsi üçün əvvəllər təklif edilmiş bir sıra gel əmələgətirən sistemlər seçilmişdir [11]. Bu işlərdə tez bərkiyən köpüklər zəhərli maye dağılmalarının buxarlanmasının qarşısının alınması vasitəsi kimi təklif edilmişdir. Lakin belə tez bərkiyən köpüklərin yanğınsöndürmə parametrləri tədqiq edilməmişdir. Bununla belə, bu köpüklərin yüksək izolyasiyaedici xüsusiyyətləri və davamlılığı onların yanar mayələrin söndürülməsi üçün də istifadə oluna biləcəyi ehtimalına imkan verir.

Mayələrin söndürülməsi üçün yeni vasitələr arasında əlavə gel qatının tətbiqi ilə yüngül dənəvər materiallar əsasında hazırlanmış yanğınsöndürmə sistemlərini xüsusi olaraq qeyd etmək olar [12]. Dənəvər material kimi xırdalanmış və ya qranullaşdırılmış köpük şüşənin tətbiqi əsaslandırılmışdır. Xüsusilə qeyd olunur ki, köpük şüşə (KŞ) təbəqəsi zaman baxımından qeyri-məhdud davamlılığa malikdir, halbuki gel təbəqəsi bir sutkadan sonra dağılmağa başlayır. Belə sistemin izolyasiyaedici xüsusiyyətləri hava-mexaniki köpüklərin izolyasiyaedici xüsusiyyətlərindən yüksəkdir. KŞ + gel yanğınsöndürmə sistemlərinin çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, üç ayrı yanğınsöndürmə maddəsinin və onların verilməsi üçün üç ayrı vasitənin istifadəsinə ehtiyac yaranır. Yüksək izolyasiyaedici xüsusiyyətləri nəzərə alınaraq, belə sistemlərin həm yanar mayələrin söndürülməsi vasitəsi, həm də toksik maye dağılmalarının izolyasiyası vasitəsi kimi perspektivli ola biləcəyi ehtimal edilə bilər. Yuxarıda qeyd edilən mayələrin söndürülməsi üsullarından

əlavə, yanmanın dayandırılmasında üstünlük təşkil edən soyuducu mexanizmə malik vasitələrdən də istifadə etmək olar: püskürdülmüş su və bərk karbon qazı (quru buz). Mayenin soyudulması onun buxarlanma sürətini azaltdığından, bu vasitələr toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün də tətbiq oluna bilər. Belə halda su soyuducu xüsusiyyətlərini yalnız qızdırılmış mayelərin dağılması zamanı göstərə bilər. Lakin su üçün toksik mayelərin buxarlanma sürətinin azaldılmasının daha bir mexanizmi də mümkündür – maye fazanın toksik olmayan maye ilə durulaşdırılması.

Toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün çoxlu sayda üsullar təklif edilmişdir [13]: su pərdələrinin yaradılması, istilik axınları vasitəsilə buludun parçalanması, neytrallaşdırıcı məhlullardan istifadə etməklə maye pərdələrinin yaradılması, hava-qaz axınları ilə buludun dispersiyası, dağılmanın bəndlənməsi, səpələnən sahənin dənəvər sorbentlərlə örtülməsi, toksik mayelərin səthinin köpük və ya polimer plyonka ilə örtülməsi vasitəsilə buxarlanma intensivliyinin azaldılması, toksik mayelərin su ilə durulaşdırılması, maye fazaya qatılaşdırıcıların daxil edilməsi, mayenin kriogen materiallarla soyudulması, bərk sorbentlərlə örtülmə və sonradan yandırılması, toksik mayelərin qatılaşdırılması və daha sonra daşınaraq utilizasiyası.

Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, hazırda həm “B” sinif yanğınların söndürülməsi, həm də toksik mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması üçün istifadə oluna bilən bir sıra vasitələr mövcuddur. Qeyd olunan iki vəzifənin tələblərini ən yüksək dərəcədə nəzərə alan vahid vasitənin seçilməsi aktual məsələdir.

Bu üsullar arasında ən universal olanı izolyasiyaedici köpüklərin istifadəsidir. Hazırda zəhərli mayelərin səthlərinin izolyasiyası bu məqsəd üçün xüsusi hazırlanmış köpüklərlə deyil, müxtəlif növ yanğınsöndürmə köpükləri ilə həyata keçirilir.

Tapşırıqın qoyuluşu. Yanar maye yanğınlarının söndürülməsi və zəhərli maye dağılmalarının lokallaşdırılması üçün istifadə oluna bilən vasitənin

yaradılması yollarını müəyyənləşdirmək. Bunun üçün ilkin mərhələdə aşağıdakı vəzifələrin həlli zəruridir:

1. zəhərli mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması və “B” sinif yanğınların söndürülməsi üçün vahid vasitəyə olan ümumi tələbləri formalaşdırmaq;

2. zəhərli mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması və “B” sinif yanğınların söndürülməsi üçün vasitələrin funksional xüsusiyyətlərinə təsir edən əsas amilləri müəyyənləşdirmək;

3. seçilmiş amillərin seçilmiş vasitənin ümumi effektivlik göstəricisinə (hədəf parametri) verdiyi töhfəni qiymətləndirmək üçün kəmiyyət qiymətləndirmə şkalasını işləyib hazırlamaq;

4. mövcud vasitələr üçün baxılan vasitələrin effektivliyinin məqsədli göstəricisinin ədədi qiymətini hesablamaq;

5. effektivliyin məqsədli göstəricisinin ədədi qiymətinə əsaslanaraq, zəhərli mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması və yanar mayelərin söndürülməsi üçün vasitələri sonrakı tədqiqat üçün seçmək.

Təyin olunmuş vəzifənin həlli. Həm mayelərin yanması, həm də toksik buxar buludunun formalaşması halında həlledici mərhələ mayenin buxarlanma prosesinin olması nəzərə alınaraq, bu cür vəziyyətlərə qarşı vahid vasitə həmin prosesi ləngitməkdir. Buna mayenin soyudulması və ya onun səthinin izolyasiyası vasitəsilə nail olmaq mümkündür. İzolyasiyaedici vasitə yüksək üzücülük qabiliyyətinə və yüksək dayanıqlığa malik olmalıdır. Əksər hallarda toksik maye dağılması zamanı mayenin temperaturu ətraf mühitin temperaturuna yaxın olur. Buna görə belə hallarda soyutma effektinin əldə olunması üçün izolyasiyaedici vasitənin soyudulmuş vəziyyətdə tətbiqi tələb olunur ki, bu da maye dağılmalarının aradan qaldırılması prosesini əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşdirir. Yanar maye və zəhərli maye dağılmalarının söndürülməsi və aradan qaldırılması üçün vasitələrə qoyulan digər ümumi tələb onların odadavamlılığı, həmçinin termiki və kimyəvi dayanıqlığıdır.

Yanar mayelərin söndürülməsi və toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün vahid vasitənin seçilməsi zamanı onların funksional xüsusiyyətlərinə təsir edən çoxsaylı amillərin nəzərə alınması zəruridir. Yanar mayələr və toksik mayələr üçün söndürmə və buxarlanma proseslərinə təsir edən amillər kimi aşağıdakılar nəzərdən keçirilmişdir: üzücülük qabiliyyəti, izolyasiya-edici xüsusiyyətlər, soyuducu təsir, izolyasiya qatının davamlılığı, qaz fazasının durulaşdırıcı təsiri, ekoloji və iqtisadi göstəricilər. Bu xüsusiyyətlər [10-12, 14-16] işlərinin təhlili əsasında qiymətləndirilmişdir.

Seçilmiş vasitələrin effektivliyinin müqayisəli qiymətləndirilməsi üçün kəmiyyət şkalasından istifadə edilməsi təklif olunur. Belə bir şkalada hər bir amilin əhəmiyyəti onun seçilmiş vasitənin ümumi effektivlik göstəricisinə verdiyi töhfə əsasında qiymətləndirilir. Müvafiq töhfənin aşağıdakı şkala üzrə qiymətləndirilməsi təklif olunur:

- 0 – töhfənin olmaması;
- 1 – aşağı töhfə səviyyəsi;
- 2 – orta töhfə səviyyəsi;
- 3 – yüksək töhfə səviyyəsi.

Effektivliyin hədəf parametri yanar mayelərin söndürülməsi vasitələri və zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması vasitələri üçün ayrıca hesablanmışdır. İlk mərhələdə həm yanar mayelərin söndürülməsi, həm də zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün eyni vaxtda istifadə olunması mümkün olmayan vasitələr nəzərdən çıxarılmışdır. Beləliklə, yanar mayelərin söndürülməsi vasitələri arasından aşağıdakı vasitələr nəzərdən çıxarılmışdır: toz halında vasitələr, aerosollar, durulaşdırıcı qazlar və yanmanı ləngidən qaz halında inhibitorlar.

Zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizə vasitə və üsulları arasından aşağıdakılara baxılır: maye pərdələrinin yaradılması, istilik axınları vasitəsilə buludun dispersiyası, hava-qaz axınları ilə buludun dispersiyası, zəhərli maye dağılmasının səthinin polimer plyonka ilə örtülməsi, neytrallaşdırıcı məhlulla

doldurulması, bərk sorbentlərlə örtülərək sonradan yandırılması, zəhərli mayelərin qatılaşdırılması və daha sonra daşınaraq utilizasiyası.

Beləliklə, nəzərdən keçirilən vasitələr aşağıdakılardan ibarətdir: hava-mexaniki köpüklər, tez bərkiyən köpüklər, səpələnmiş su, yüngül dənəvər materialların gelə bənzər qatlarla kombinasiyası və bərk karbon qazı. Aşağıda qeyd olunan vasitələr üçün seçilmiş amillərin yanar mayelərin söndürülməsi və zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması proseslərinə təsiri nəzərdən keçiriləcəkdir.

Hava-mexaniki köpüklərin, tez bərkiyən köpüklərin və KŞ + gel sistemlərinin üzücülük qabiliyyəti və izolyasiyaedici xüsusiyyətləri həm söndürmə, həm də zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizə hallarında yüksəkdir [10, 12, 14-16]. Quru buzun üzümə qabiliyyəti aşağı qiymətləndirilmişdir, çünki əksər mayelərdə o batır, bəzi hallarda isə intensiv qaz ayrılması hesabına səthə qalxır. Söndürmə zamanı hava-mexaniki köpüklərin, tez bərkiyən köpüklərin və KŞ + gel sistemlərinin soyuducu təsiri orta səviyyədə, səpələnmiş su və quru buz üçün isə yüksək qiymətləndirilmişdir. Zəhərli maye dağılmalarının izolyasiyası halında yüksək soyuducu təsir yalnız quru buza məxsusdur, çünki zəhərli mayelərin temperaturu ətraf mühitin temperaturuna yaxın olur, quru buzun temperaturu isə -79°C təşkil edir.

Örtüyün davamlılığı baxımından tez bərkiyən köpük və KŞ + gel sistemi ədəbiyyat məlumatlarına görə hava mexaniki köpükləri üstələyir [10-12, 14-16]. Qaz fazasının durulaşdırıcı təsiri həm yanar mayelərin söndürülməsi, həm də zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizə zamanı ümumilikdə az töhfə verir. Bu parametr üzrə üstünlük maye ilə təmas zamanı intensiv qaz ayrılması səbəbindən quru buza məxsusdur.

Ekoloji göstəricilərin qiymətləndirilməsi zamanı nəzərə alınmışdır ki, tez sərtləşən köpüyün digər köpük vasitələri kimi, tərkibinə köpükəmələgətiricilər daxildir. Lakin tez sərtləşən köpüyün alınması üçün plyonka əmələgətirən köpükəmələgətiricilərdən istifadə olunmur ki, bu da onların ekoloji xüsusiyyətlərini xeyli yaxşılaşdırır. Bundan əlavə, tez sərtləşən köpüyün daha

yüksək davamlılığı qeyd olunur ki, bu da yanğınların söndürülməsi və toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması zamanı ekoloji baxımdan təhlükəli maddələrin daha az sərf olunmasını təmin edir. KŞ + gel vasitələrinin tərkibinə köpükəmələgətiricilər daxil deyil, onların tərkibində az və orta dərəcədə təhlükəli maddələr az miqdarda mövcuddur.

Tez sərtləşən köpüyün iqtisadi göstəricilərinin qiymətləndirilməsi zamanı müsbət amil kimi maddələrin kütlə sərfinin əhəmiyyətli dərəcədə az olması nəzərə alınmalıdır. Mənfi xüsusiyyət kimi isə gel əmələgəlmə prosesini təmin edən əlavə komponentlərin istifadəsi qeyd olunmalıdır. Tez sərtləşən köpüyün verilməsi üçün texniki vasitələr iki gel əmələgətirici sistem komponentinin qarışdırılması zərurəti səbəbindən daha mürəkkəbdir. Bu, həmçinin tez sərtləşən köpük generatorlarının işini çətinləşdirir, çünki qeyri-adi iş şəraitində qarışdırma kamerasında gel əmələgəlməsi mümkündür. Bu isə tez sərtləşən köpüyün iqtisadi göstəricilərinin hava-mexaniki köpüklərlə müqayisədə daha aşağı olması barədə nəticə çıxarmağa imkan verir. Lakin tez sərtləşən köpüyün iqtisadi səmərəliliyi məsələsi yanğın və ya zəhərli maye dağılmasının aradan qaldırılması zamanı sərfiyyatın dəqiqləşdirilməsindən sonra tam şəkildə həll edilə bilər. [12]-də təqdim olunan məlumatlara görə, KŞ + gel sistemində istifadə olunan maddələrin dəyəri köpüklərin xərcindən daha aşağıdır. Lakin yanğın yerinə verilmə sistemləri daha mürəkkəbdir. Quru buzun aşağı iqtisadi göstəriciləri onun saxlanması zamanı soyuducu avadanlığın daim işləməsinin zəruriliyi ilə bağlıdır.

1 və 2-ci cədvəllərdə seçilmiş amillərin yanar mayələrin söndürülməsi proseslərinə və zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizəyə təsir dərəcəsinin qiymətləndirilməsi verilmişdir.

Cədvəl 1. Yanar mayelərin söndürülməsi proseslərinə seçilmiş amillərin töhfəsi.

Amil	Tezalısan mayenin söndürmə vasitələri				
	köpüklər	Tez sərtləşən köpük	püskürdülmüş su	KŞ + gel	quru buz
üzmə qabiliyyəti	3	3	0	3	1
izolyasiya xüsusiyyəti	3	3	0	3	0
soyutma qabiliyyəti	2	2	3	2	3
davamlılığı	2	3	0	3	0
durulaşdırma xüsusiyyəti	1	1	2	1	2
ekoloji parametrləri	2	2	3	2	3
iqtisadi göstəricilər	2	2	3	2	1
ümumi səmərəlilik	15	16	11	16	10

Cədvəl 2. Zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizəyə seçilmiş amillərin töhfəsi.

Amil	Zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması vasitələri				
	köpüklər	Tez sərtləşən köpük	Püskürdülmüş su	KŞ + gel	quru buz
üzmə qabiliyyəti	3	3	0	3	1
izolyasiya xüsusiyyəti	3	3	0	3	0
soyutma qabiliyyəti	1	1	1	1	3
davamlılığı	2	3	0	3	0
durulaşdırma xüsusiyyəti	1	1	1	1	2
ekoloji parametrləri	2	2	3	2	3
iqtisadi göstəricilər	2	2	3	2	1
ümumi səmərəlilik	14	15	8	15	10

1 və 2-ci cədvəllərdə verilmiş nəticələrdən belə qənaətə gəlmək olar ki, yanar mayelərin söndürülməsi və zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün vasitələrin ümumi məqsədli qiymətləndirmə effektivlik göstəricisi hava-mexaniki köpük, tez sərtləşən köpük və KŞ + gel sistemləri üçün yüksəkdir. Quru buz və püskürdülmüş su üçün isə bu effektivlik göstəricisi həm yanar mayelərin söndürülməsi, həm də zəhərli maye dağılmaları ilə mübarizə hallarında yuxarıda qeyd olunan vasitələrdən nəzərəcarpacaq dərəcədə aşağıdır. Yanar mayelərin söndürülməsi və zəhərli maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün ən effektiv vasitənin son seçimi üçün tez sərtləşən köpük və KŞ + gel sistemləri üzrə əlavə tədqiqatların aparılması zəruridir.

Burada nəzərə almaq lazımdır ki, seçilmiş məqsədli göstərici effektivliyin subyektiv qiymətləndirilməsidir. Seçilmiş üç vasitədən biri “B” sinif yanğınların söndürülməsi üçün geniş yayılmış vasitəyə (hava-mexaniki köpüklərə) aiddir. Eyni zamanda, köpüklər zəhərli maye dağılmalarının izolyasiyası üçün vasitə kimi tövsiyə olunur. Onların qiymətləndirilməsi üçün ekspert qiymətləndirmə metodundan istifadə etmək olar. Seçilmiş digər iki vasitə isə yeni vasitələrə (TSK və əlavə gel qatının tətbiqi ilə yüngül dənəvər materiallar əsasında vasitələr) aiddir. Onlar praktiki olaraq mütəxəssislərin əksəriyyəti üçün tanış deyil. Bu isə ekspert qiymətləndirmə metodundan istifadə etməyə imkan vermir.

Nəticə.

1. Zəhərli mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması və “B” sinif yanğınların söndürülməsi üçün vahid vasitə maye səthinin soyudulmasını və (və ya) onun izolyasiyasını təmin etməli, həmçinin yüksək üzücülük qabiliyyətinə, yüksək termiki və kimyəvi dayanıqlığa malik olmalıdır.

2. Yanar mayelərin söndürülməsi və zəhərli mayelərin buxarlanma proseslərinə təsir edən amillər kimi aşağıdakılar nəzərdən keçirilmişdir: üzmə qabiliyyəti, izolyasiyaedici xüsusiyyətlər, soyuducu təsir, izolyasiya qatının davamlılığı və qaz fazasının durulaşdırıcı təsiri.

3. Seçilmiş amillərin seçilmiş vasitənin ümumi məqsədli effektivlik göstəricisinə verdiyi töhfəni qiymətləndirmək üçün dörd ballı kəmiyyət şkalası təklif edilmişdir. Bu şkalada hər bir amilin əhəmiyyəti onun ümumi effektivlik göstəricisinə verdiyi töhfə əsasında qiymətləndirilir.

4. Yanar mayelərin söndürülməsi və toksik maye dağılmalarının aradan qaldırılması üçün baxılan vasitələr üzrə məqsədli effektivlik göstəricisinin ədədi qiymətləri hesablanmışdır.

5. Məqsədli effektivlik göstəricisinin ədədi qiymətinə əsaslanaraq, zəhərli mayelərin buxarlanmasının qarşısının alınması və “B” sinif yanğınların söndürülməsi üçün sonrakı araşdırma məqsədilə aşağıdakı vasitələr seçilmişdir: hava-mexaniki köpüklər, tez sərtləşən köpüklər və yüngül dənəvər materialların gələ bənzər qatlarla kombinasiyası.

ƏDƏBİYYAT

1. Fires at outside storage tanks // Report National fire protection association: August 2014. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports>.

2. Hylton J.G. US fire department profile // Report: NFPA's. April 2017. p. 39. Режим доступа: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf>.

3. Иманов Р.Н., Мамедова С.И., Бирюк В.А.// Проблемы оценки риска возникновения аварий на резервуарных парках нефтеперерабатывающих предприятий республики Азербайджан // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. 2018. № 8. С. 152-157.

4. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: Калан, 2002. 448 с.

5. Есимсиитова З.Б., Кожамжарова А.С., Аблайханова Н.Т., Журавель И.А., Манкибаева С.А., Тлеубеккызы П, Изучение влияния токсических веществ на организм // Вестник КазНМУ, 2018. № 1. 287 с.

6. Мусаев М.Е., Дадашов И.Ф. Разработка единого средства для предотвращения испарения токсичных жидкостей и тушения пожаров класса «В» Engineering mechanics. ISSN-2710-1770, N3-4, 2021, P. 115-123.

7. Абдурагимов И.М, Куприн Г.Н. Инновационные технологии взрывопожаропредотвращения на критически важных объектах ТЭК РФ, в том числе с помощью быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезёма // Корабел.Ру. 2015. Вып. 4 (30). С. 131-136.

8. Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriyakov E., Vinogradov V.V. Silica foams for fire prevention and firefighting // ACS (American Chemical Society), Applied materials & interfaces, 13 January 2016, vol. 8 (1), pp. 294-301.

9. Абдурагимов И.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. Механизм огнетушащего действия быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезема. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. №4, с. 50-56.

10. Pietukhov R., Kireev A., Slepuzhnikov E., Chyrkina M., Savchenko A. Lifetime research of rapid-hardening foams // Problems of emergency situations, 2020. № 31. P. 226-233.

11. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.

12. Дадашов І.Ф. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами: Монографія / І.Ф.Дадашов, О.О.Кіреєв, Д.Г.Трегубов, О.В.Тарахно. Харків: НУЦЗУ, 2021. 235 с.

13. Бариев Э.Р. Чрезвычайные ситуации с химически опасными веществами/ИВЦ Минфина. Минск, 2008. 256 с.

14. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.

UOT 614.8:331.45

SƏNAYE OBYEKTlərİNDƏ FÖVQƏLADƏ HALLARIN ÇOXMEYARLI RİSK QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ STRUKTUR TƏSNİFATI

İsmayılov Rəsul Tacəddin oğlu

Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası

İdman, fiziki və qəza-xilasetmə hazırlığı kafedrasının müəllimi, doktorant

e-mail: i.resul777@gmail.com

Xülasə. Sənaye obyektləri mürəkkəb texnoloji quruluşa və yüksək enerji sıxlığına malik olduqları üçün fəvqəladə hallar baxımından yüksək riskli sistemlər hesab olunur. Yanğın, partlayış, toksik sızma və digər texnogen hadisələr insan həyatı, ətraf mühit və istehsalın davamlılığı üçün ciddi təhlükə yaradır. Məqalədə sənaye obyektlərində fəvqəladə halların struktur təsnifatı və onların qiymətləndirilməsi üçün çoxmeyarlı yanaşmaya əsaslanan ilkin model təklif olunur. Fəvqəladə hallar mənşəyi, təsir mexanizmi və nəticə miqyası üzrə sistemləşdirilmiş, riskin qiymətləndirilməsi üçün başvermə ehtimalı, təhlükəlilik səviyyəsi, nəticələrin ağırlığı, struktur həssaslıq, aşkarlama və cavab vermə gecikməsi, həmçinin müdafiə vasitələrinin effektivliyi əsas meyarlar kimi qəbul edilmişdir. Bu göstəricilərin integrasiyası əsasında formalaşdırılmış model riskin yalnız ehtimal və nəticələrə deyil, həm də obyektin texnoloji və idarəetmə xüsusiyyətlərinə əsasən daha obyektiv qiymətləndirilməsinə imkan verir. Alınmış nəticələr risklərin prioritetləşdirilməsi, kritik zonaların müəyyən edilməsi və preventiv tədbirlərin planlaşdırılması üçün metodoloji əsas kimi istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: çoxmeyarlı risk qiymətləndirilməsi, struktur təsnifat, integral risk indeksi, struktur həssaslıq, risk idarəetməsi.

Giriş. Müasir sənaye obyektləri mürəkkəb texnoloji quruluşa, yüksək enerji və material konsentrasiyasına, fasiləsiz istehsal rejiminə və çoxsaylı texniki sistemlərin qarşılıqlı fəaliyyətinə malikdir. Bu xüsusiyyətlər sənaye obyektlərində fəvqəladə halların yaranma riskini artırır. Texnoloji proseslərin intensivliyi, təhlükəli maddələrin istifadəsi, yüksək təzyiq və temperatur şəraiti, eləcə də insan amili yanğın, partlayış, toksik sızma və digər texnogen hadisələrin başvermə ehtimalını yüksəldir. Bu hadisələr insan həyatı, ətraf mühit və iqtisadi sabitlik üçün ciddi təhlükə yaradır. Sənaye obyektlərində fəvqəladə halların təhlili təhlükəsizlik elmlərinin əsas istiqamətlərindən biridir. Ənənəvi yanaşmalarda risk əsasən hadisənin başvermə ehtimalı və nəticələrinin ağırlığı əsasında qiymətləndirilir. Lakin bu yanaşma sənaye sistemlərinin mürəkkəb struktur xüsusiyyətlərini tam əhatə etmir. Təcrübə göstərir ki, eyni ehtimala malik hadisələr obyektin həssaslıq səviyyəsi, aşkarlama sürəti və müdafiə mexanizmlərinin effektivliyindən asılı olaraq fərqli risk səviyyəsi yarada bilər. Buna görə riskin daha obyektiv qiymətləndirilməsi üçün çoxmeyarlı yanaşmanın tətbiqi zəruri hesab olunur.

Bu metodlar təhlükələrin identifikasiyası və ilkin qiymətləndirilməsi baxımından effektiv olsa da, struktur həssaslıq, aşkarlama gecikməsi və müdafiə sistemlərinin effektivliyi kimi amillər bir çox hallarda kifayət qədər nəzərə alınmır. Məqalənin məqsədi sənaye obyektlərində baş verən fəvqəladə halların struktur təsnifatını aparmaq və onların qiymətləndirilməsi üçün çoxmeyarlı yanaşmaya əsaslanan ilkin risk modeli təklif etməkdir. Bu çərçivədə fəvqəladə halların əsas kateqoriyaları sistemləşdirilir və riskin formalaşmasına təsir edən əsas göstəricilər müəyyən edilir. Tədqiqatın elmi yeniliyi ondan ibarətdir ki, riskin qiymətləndirilməsi yalnız hadisənin başvermə ehtimalı və nəticələrinin ağırlığı ilə deyil, həm də obyektin struktur xüsusiyyətləri, həssaslıq səviyyəsi, aşkarlama və cavab vermə gecikməsi, eləcə də müdafiə sistemlərinin effektivliyi nəzərə alınmaqla aparılır. Bu yanaşma risklərin daha obyektiv qiymətləndirilməsi və

prioritetləşdirilməsinə imkan verir. Praktik baxımdan təklif olunan model təhlükəsizlik üzrə qərarların qəbulunda, resursların prioritet istiqamətlər üzrə bölüşdürülməsində və preventiv tədbirlərin planlaşdırılmasında istifadə oluna bilər.

Nəzəriyyə. Sənaye obyektlərində baş verən fəvqəladə hallar təhlükəsizlik elmləri və risk idarəetməsinin mühüm tədqiqat istiqamətlərindən biridir. Bu hadisələr texnoloji proseslərin pozulması, avadanlıqların nasazlığı, təhlükəli maddələrin nəzarətsiz yayılması, insan amili və xarici təsirlər nəticəsində yaranaraq insan həyatı, istehsal infrastrukturu və ətraf mühit üçün ciddi təhlükə yaradır. Sənaye mühitində fəvqəladə halların əsas xüsusiyyəti onların çox səbəbli və zəncirvari xarakter daşmasıdır. Fəvqəladə halların struktur təsnifatı onların mənşəyi, təsir mexanizmi və nəticə miqyasının sistemləşdirilməsinə imkan verən mühüm nəzəri vasitədir [3,4]. Bu yanaşma risklərin daha dəqiq qruplaşdırılması və müqayisəli təhlili üçün əsas yaradır. Mənşəyinə görə fəvqəladə hallar texnogen, antropogen və qismən təbii amillərlə əlaqələndirilir. Texnogen hallar texnoloji proseslərin pozulması və avadanlıqların nasazlığı nəticəsində yaranır. Antropogen hallar insan fəaliyyəti, operator səhvləri və idarəetmə qərarlarının qeyri-kafiliyi ilə bağlıdır. Təbii amillər isə sistemin ümumi həssaslığını artıraraq risklərin reallaşmasına şərait yarada bilər. Təsir mexanizminə görə fəvqəladə hallar yanğın, partlayış, toksik sızma, mexaniki dağıntı və enerji təchizatının pozulması kimi formalarda təzahür edir. Bu hadisələr yayılma sürəti və nəticələrinin xarakterinə görə fərqlənir. Nəticə miqyasına görə isə fəvqəladə hallar lokal, obyekt səviyyəli və regional xarakter daşıya bilər.

Risk anlayışı sənaye təhlükəsizliyi nəzəriyyəsinin əsas kateqoriyalarından biridir [1,7]. Ənənəvi yanaşmalarda risk əsasən hadisənin başvermə ehtimalı və nəticələrinin ağırlığı əsasında qiymətləndirilir. Lakin bu yanaşma sənaye obyektlərinin struktur xüsusiyyətlərini tam nəzərə almır. Buna görə çoxmeyarlı risk yanaşmasının tətbiqi zəruri hesab olunur. Bu yanaşmada risk ehtimal və nəticələrlə yanaşı struktur həssaslıq, aşkarlama sürəti, cavab vermə gecikməsi və müdafiə sistemlərinin effektivliyi kimi əlavə göstəricilər əsasında qiymətləndirilir

[1,5]. Beləliklə, sənaye obyektlərində fəvqəladə halların qiymətləndirilməsi struktur təsnifat və çoxmeyarlı təhlilin birgə tətbiqi əsasında daha obyektiv nəticələrin əldə edilməsinə imkan verir və risk idarəetməsinin effektivliyini artırır.

Metod. Tədqiqatda sənaye obyektlərində baş verən fəvqəladə halların qiymətləndirilməsi üçün struktur təsnifat, ekspert yanaşması və çoxmeyarlı riyazi modelləşdirməyə əsaslanan kompleks metod təklif olunur [1,3]. Metodun məqsədi müxtəlif xarakterli fəvqəladə halları vahid qiymətləndirmə sistemində birləşdirərək onların müqayisəli risk səviyyəsini müəyyən etməkdir. Bu məqsədlə tədqiqat ardıcıl mərhələlər əsasında qurulmuşdur.

Birinci mərhələdə sənaye obyektlərində baş verə bilən fəvqəladə hallar müəyyən edilmiş və onların struktur təsnifatı aparılmışdır [2,4]. Struktur təsnifat hadisələrin mənşəyi, təsir mexanizmi və nəticə miqyası əsasında formalaşdırılmışdır.

İkinci mərhələdə riskin formalaşmasına təsir edən əsas göstəricilər müəyyən edilmişdir. Çoxmeyarlı yanaşmaya uyğun olaraq, aşağıdakı parametrlər əsas qiymətləndirmə meyarları kimi qəbul edilmişdir:

- P – hadisənin başvermə ehtimalı;
- T – təhlükəlilik səviyyəsi;
- N – mümkün nəticələrin ağırlığı;
- V – obyektin struktur həssaslığı;
- D – aşkarlama və operativ cavab vermə gecikməsi;
- M – mövcud müdafiə və idarəetmə vasitələrinin effektivliyi.

Bu göstəricilər sənaye obyektlərində riskin yalnız hadisənin başvermə ehtimalı və nəticələri ilə deyil, həm də struktur dayanıqlığı, aşkarlanma sürəti və müdafiə sistemlərinin effektivliyi ilə müəyyən olunduğunu nəzərə almaq məqsədilə seçilmişdir. Üçüncü mərhələdə göstəricilər üzrə balla qiymətləndirmə şkalası hazırlanmışdır. Parametrlərin vahid sistemdə müqayisəsi üçün hər bir göstərici 1-dən 5-ə qədər interval üzrə qiymətləndirilmişdir [5]. Burada 1 minimal, 5 isə maksimal təsir səviyyəsini ifadə edir (cədvəl 1).

Bu şkala fəvqəladə halların müqayisəli təhlili və müxtəlif risk amillərinin vahid qiymətləndirmə sistemində inteqrasiyası üçün nəzərdə tutulmuşdur. Parametrlərin balla qiymətləndirilməsi müxtəlif təhlükə növlərinin müqayisəli təhlilinə imkan verir. Müdafiə vasitələrinin effektivliyi isə riskin azaldılmasına xidmət etdiyindən, yekun modeldə azaldıcı amil kimi nəzərə alınır.

Cədvəl 1. Sənaye obyektlərində fəvqəladə halların çoxmeyarlı risk qiymətləndirilməsi üçün göstəricilərin 5 ballıq şkalası.

Göstərici	1 bal	2 bal	3 bal	4 bal	5 bal
Başvermə ehtimalı (P)	Çox nadir hallarda, yalnız istisna hallarda	Nadir hallarda baş verə bilər	Müəyyən şəraitdə mümkündür	Tez-tez müşahidə oluna bilər	Çox yüksək ehtimalla baş verə bilər
Təhlükəlilik səviyyəsi (T)	Cüzi təhlükə yaradır	Zəif təhlükə yaradır	Orta təhlükə yaradır	Ciddi təhlükə yaradır	Son dərəcə yüksək təhlükə yaradır
Nəticələrin ağırlığı (N)	Lokal və məhdud təsir	Qismən zərər və qısa pozuntu	Nəzərəçarpan zərər və istehsal fasiləsi	Geniş zərər və ciddi pozuntu	Fəlakətli nəticə və genişmiqyaslı itki
Struktur həssaslıq (V)	Obyekt yüksək dayanıqlıdır	Obyekt nisbətən dayanıqlıdır	Orta həssaslıq mövcuddur	Obyekt həssasdır	Obyekt çox yüksək həssaslığa malikdir
Aşkarlama və cavab vermə gecikməsi (D)	Təhlükə dərhal aşkar olunur və operativ reaksiya verilir	Az gecikmə ilə aşkarlanır	Orta vaxtda aşkarlanır	Gec aşkarlanır və müdaxilə zəifləyir	Çox gec aşkarlanır və cavab vermə kritik dərəcədə ləngiyir
Müdafiə vasitələrinin effektivliyi (M)	Müdafiə sistemi çox yüksək səviyyədə etibarlıdır	Müdafiə sistemi yüksək səviyyədədir	Müdafiə sistemi qənaətbəxşdir	Müdafiə sistemi zəifdir	Müdafiə sistemi çox zəif və ya qeyri-kafidir

Dördüncü mərhələdə çoxmeyarlı inteqral risk modeli formalaşdırılmışdır. Model müxtəlif göstəricilərin vahid riyazi ifadədə birləşdirilməsi əsasında ümumi risk səviyyəsinin müəyyən edilməsinə xidmət edir (1). Tədqiqat çərçivəsində i-ci

fövqəladə hal üçün integral risk göstəricisi aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$R_i = w_1P_i + w_2T_i + w_3N_i + w_4V_i + w_5D_i - w_6M_i \quad (1)$$

Burada:

- R_i – i -ci fəvqəladə hal üzrə yekun risk indeksi;
- P_i – başvermə ehtimalı;
- T_i – təhlükəlilik səviyyəsi;
- N_i – nəticələrin ağırlığı;
- V_i – struktur həssaslıq;
- D_i – aşkarlama və cavab vermə gecikməsi;
- M_i – müdafiə vasitələrinin effektivliyi;
- $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ – uyğun çəki əmsallarıdır.

Model xətti xarakter daşıyır və parametrlər arasında qarşılıqlı təsirlər nəzərə alınmır. Müdafiə vasitələrinin effektivliyi modelə mənfi işarə ilə daxil edilmişdir ki, bu da müdafiə sistemlərinin etibarlılığı artdıqca ümumi risk səviyyəsinin azalmasını ifadə edir.

Beşinci mərhələdə göstəricilərin nisbi əhəmiyyətini nəzərə almaq üçün çəki əmsalları müəyyən edilmişdir [6]:

$$w_1=0,20, w_2=0,15, w_3=0,25, w_4=0,15, w_5=0,15, w_6=0,10$$

Bu bölgü nəticələrin ağırlığı və başvermə ehtimalının daha yüksək əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Struktur həssaslıq və operativ reaksiya gecikməsi də mühüm faktorlar kimi qiymətləndirilir. Gələcək tədqiqatlarda çəki əmsallarının ekspert qiymətləndirmələri və ya analitik iyerarxiya prosesi (AHP) əsasında dəqiqləşdirilməsi məqsədəuyğundur. Altıncı mərhələdə yekun risk indeksinin səviyyələr üzrə interpretasiyası təqdim olunmuşdur:

- $0 \leq R_i < 2,0$ – aşağı risk;
- $2,0 \leq R_i < 3,5$ – orta risk;

- $3,5 \leq R_i < 5,0$ – yüksək risk;
- $R_i \geq 5,0$ – kritik risk.

Bu təsnifat risklərin prioritetləşdirilməsinə və daha ciddi nəzarət tələb edən təhlükələrin müəyyən edilməsinə imkan verir.

Yeddinci mərhələdə metodun tətbiq ardıcılığı aşağıdakı kimi ümumiləşdirilmişdir:

1. təhlükələrin identifikasiyası;
2. struktur təsnifatın aparılması;
3. qiymətləndirmə göstəricilərinin seçilməsi;
4. göstəricilər üzrə balların verilməsi;
5. çəki əmsallarının təyini;
6. integral risk indeksinin hesablanması;
7. risklərin qruplaşdırılması və prioritetləşdirilməsi.

Beləliklə, təklif olunan metod struktur təsnifat və çoxmeyarlı riyazi qiymətləndirməni birləşdirən kompleks yanaşma kimi çıxış edir [3,5]. Model gələcəkdə real sənaye məlumatları və ekspert qiymətləndirmələri əsasında dəqiqləşdirilərək praktik tətbiq üçün uyğunlaşdırıla bilər.

Nəticə. Aparılmış nəzəri və metodoloji təhlil göstərir ki, sənaye obyektlərində baş verən fəvqəladə hallar çoxsaylı texnoloji, struktur və təşkilati amillərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində formalaşan mürəkkəb risk sistemi kimi qiymətləndirilməlidir. Texnoloji proseslərin intensivliyi, təhlükəli maddələrin istifadəsi və insan amili risklərin daha obyektiv və çoxmeyarlı yanaşma əsasında qiymətləndirilməsini zəruri edir. Tədqiqat nəticələri göstərir ki, riskin yalnız başvermə ehtimalı və nəticələrin ağırlığı əsasında qiymətləndirilməsi real təhlükə səviyyəsini tam əks etdirmir. Buna görə təhlükəlilik səviyyəsi, struktur həssaslıq, aşkarlama və cavab vermə sürəti, eləcə də müdafiə sistemlərinin effektivliyi kimi əlavə göstəricilərin nəzərə alınması vacibdir. İşlənmiş struktur təsnifat fəvqəladə halların mənşəyi, təsir mexanizmi və nəticə miqyası üzrə sistemləşdirilməsinə imkan verir və risklərin müqayisəli təhlili üçün əsas yaradır. Tədqiqat göstərir ki,

eyni kateqoriyaya aid hadisələr belə müxtəlif risk səviyyəsi yarada bilər.

Formallaşdırılmış çoxmeyarlı risk modeli müxtəlif parametrlərin integrasiyası əsasında risklərin daha əsaslandırılmış qiymətləndirilməsinə imkan verir. Model sənaye obyektlərində risk xəritələrinin hazırlanması, təhlükəsizlik tədbirlərinin optimallaşdırılması və qərar qəbul etmə proseslərinin dəstəklənməsi üçün istifadə oluna bilər. Tədqiqatın əsas elmi nəticəsi ondan ibarətdir ki, risk qiymətləndirilməsi struktur təsnifat və çoxmeyarlı modelin birgə tətbiqi əsasında daha obyektiv xarakter alır. Bununla yanaşı, təqdim olunan model ilkin nəzəri çərçivə xarakteri daşıyır və gələcəkdə real sənaye məlumatları əsasında empirik yoxlanılmalıdır. Modelin tətbiqi zamanı subyektiv qiymətləndirmə və qeyri-müəyyənlik amilləri nəzərə alınmalıdır.

Nəticə etibarilə, təklif olunan yanaşma sənaye təhlükəsizliyi sahəsində sistemli və praktik yönümlü metodoloji çərçivə kimi qiymətləndirilə bilər. Bu metod fəvqəladə hallar orqanları tərəfindən risklərin qiymətləndirilməsi, monitorinqi və idarə olunması proseslərində praktik olaraq istifadə oluna bilər. Təklif olunan model ənənəvi HIRA və FMEA metodlarından fərqli olaraq riskin struktur və operativ aspektlərini də nəzərə alır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Aven T. *Foundations of Risk Analysis*. Wiley, 2003.
2. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. 3rd ed. Wiley, 2008.
3. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for Risk Based Process Safety*. Wiley, 2009.
4. Hauptmanns U. *Process and Plant Safety*. Springer, 2016.
5. Pashman H., Rogers W. *Risk Analysis and Control for Industrial Processes: Gas, Oil and Chemicals*. Elsevier, 2014.

6. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // *International Journal of Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No. 1. P. 83-98.
7. Skorupski J. Risk analysis // *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems*. Springer, 2011. P. 75-92.
8. ISO 31000. *Risk Management – Guidelines*. ISO, 2018.
9. Stamatis D.H. *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Press, 2003.
10. Khan F., Rathnayaka S., Ahmed S. Methods and models in process safety and risk management // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015. Vol. 38. P. 17-26.

Abstract. Industrial facilities are considered high-risk systems for emergencies due to their complex technological structure and high energy density. Fires, explosions, toxic leaks, and other technogenic incidents pose serious threats to human life, the environment, and production sustainability. The article proposes a preliminary model based on a multi-criteria approach for the structural classification and assessment of emergencies at industrial facilities. Emergencies are systematized according to their origin, impact mechanism, and scale of consequences. The main assessment criteria include probability of occurrence, hazard level, severity of consequences, structural vulnerability, detection and response delay, as well as the effectiveness of protection systems. The proposed model integrates these indicators to provide a more objective risk assessment that considers not only probability and consequences but also technological and managerial characteristics of the facility. The obtained results may serve as a methodological basis for risk prioritization, identification of critical zones, and planning of preventive measures in the field of industrial safety.

Аннотация. Промышленные объекты рассматриваются как системы

повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций вследствие сложной технологической структуры и высокой концентрации энергии. Пожары, взрывы, токсические утечки и другие техногенные происшествия представляют серьёзную угрозу для жизни людей, окружающей среды и устойчивости производства. В статье предложена предварительная модель структурной классификации и оценки чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах, основанная на многокритериальном подходе. Чрезвычайные ситуации систематизированы по происхождению, механизму воздействия и масштабу последствий. В качестве основных критериев оценки риска приняты вероятность возникновения, уровень опасности, тяжесть последствий, структурная уязвимость объекта, задержка обнаружения и реагирования, а также эффективность защитных систем. Предложенная модель обеспечивает более объективную оценку риска за счёт учёта не только вероятности и последствий, но и технологических и управленческих особенностей объекта. Полученные результаты могут быть использованы в качестве методологической основы для приоритизации рисков, определения критических зон и планирования превентивных мероприятий в области промышленной безопасности.

Keywords: multi-criteria risk assessment, structural classification, integral risk index, structural vulnerability, risk management.

Ключевые слова: многокритериальная оценка риска, структурная классификация, интегральный индекс риска, структурная уязвимость, управление рисками.

UDC 614.8:35.078:005.95/.96

ORGANIZATION OF THE STATE OF EMERGENCY AND PERSONNEL SUPPORT: A REVIEW OF MODERN APPROACHES

Rzazade Rusala Amiraslan

*Doctor of Philosophy in Pedagogy, Associate Professor
the Academy of Emergency Situations*

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-3787-1957>

e-mail: vusala_55@mail.ru

Abstract. The declaration of a State of Emergency constitutes a critical instrument through which states respond to extraordinary threats that exceed the capacity of normal governance mechanisms. This article examines the institutional foundations and practical implementation of State of Emergency regimes through a structured analytical framework focusing on legal authority, organizational structure, personnel training, and civil-military coordination. Drawing on comparative experiences from selected countries and internationally recognized frameworks-including national emergency legislation, NATO civil emergency planning concepts and United Nations disaster management standards-the study identifies key determinants of effective emergency governance.

The methodological basis of the research consisted of general scientific methods of cognition, including analysis, synthesis, classification, comparative analysis, and the systematization of scientific sources and normative legal documents. The analysis demonstrates that successful State of Emergency implementation depends on the clarity of legal mandates, the existence of

centralized yet accountable organizational structures, and the preparedness of civilian and military personnel through continuous and integrated training systems. Particular emphasis is placed on civil-military coordination as a force-multiplying function that enhances national response capacity while preserving civilian control and institutional legitimacy.

The article also highlights governance models characterized by centralized executive authority, with specific reference to the Azerbaijani approach to emergency management. By synthesizing lessons learned and best practices from comparative country experiences, this study contributes to a deeper understanding of how states can institutionalize emergency preparedness as a permanent governance function. The findings offer practical insights for policymakers, defense planners, and emergency management professionals seeking to strengthen national resilience and crisis response capabilities in an increasingly complex security environment.

Keywords: state of emergency, emergency governance, civil-military coordination, personnel training, crisis management, national resilience.

Introduction. The declaration of a State of Emergency constitutes one of the most significant instruments available to a state for responding to extraordinary threats that exceed the capacity of normal governance mechanisms. Such threats may include large-scale natural disasters, armed conflict, internal instability, pandemics, or complex hybrid crises that endanger national security, public order, and the safety of the civilian population. Under these conditions, governments are authorized to activate exceptional legal powers, reorganize institutional structures, and mobilize specialized personnel to restore stability and maintain continuity of state functions [1].

From a security and defense perspective, the State of Emergency represents a transition from routine administration to crisis governance, characterized by centralized decision-making, accelerated command-and-control processes, and enhanced coordination between civilian authorities and military forces.

International legal frameworks recognize that while extraordinary measures may be necessary, they must remain bounded by legality, proportionality and temporal limitation in order to preserve democratic governance and fundamental rights. Consequently, the effectiveness of a State of Emergency depends not only on the scope of emergency powers but also on the clarity of institutional responsibilities and the professionalism of personnel executing these powers.

Modern crisis environments have demonstrated that emergency response is inherently interagency and multidimensional, requiring the synchronized employment of civil protection agencies, law enforcement bodies, armed forces, intelligence services, and emergency management institutions. NATO civil emergency planning doctrine emphasizes resilience, preparedness, and continuity of government as critical components of national security, particularly in situations where civilian systems are under stress or direct threat. In this context, civil-military coordination becomes a decisive factor in ensuring unity of effort and avoiding operational fragmentation.

Furthermore, experiences from recent global crises have underscored that personnel training and institutional preparedness are as decisive as legal authority. The United Nations disaster management framework highlights the importance of trained leadership, operational readiness, and pre-established coordination mechanisms to reduce response time and mitigate cascading effects during emergencies. States that invest in structured training systems, joint exercises, and doctrinal clarity demonstrate higher resilience and operational effectiveness when emergency regimes are activated.

This article examines the State of Emergency through four interrelated dimensions: legal authority, organizational structure, personnel training, and civil-military coordination. By analyzing comparative practices from different countries and aligning them with international standards, the study aims to identify

best practices and structural principles that enhance national preparedness and crisis response effectiveness.

Legal and Institutional Framework of State of Emergency.

The legal foundation of a State of Emergency derives from constitutional and statutory provisions that authorize the temporary concentration of state power in response to exceptional threats. In most political systems, the declaration of a State of Emergency is grounded in the constitution and further regulated by framework laws that define its scope, duration, oversight mechanisms, and the distribution of authority among state institutions. These legal instruments establish the conditions under which normal legal regimes may be partially suspended to enable rapid and decisive action by the executive branch [2].

From a governance perspective, emergency legislation typically reallocates decision-making authority toward the central executive, often empowering the head of state or government to issue decrees with immediate legal effect. However, comparative legal practice demonstrates that effective emergency regimes balance executive authority with institutional safeguards, such as parliamentary notification, judicial review, and predefined temporal limits. This balance is critical to preventing the normalization of emergency powers and maintaining the legitimacy of crisis governance.

Institutionally, the declaration of a State of Emergency activates a special crisis management architecture that operates parallel to, or supersedes, routine administrative structures. This architecture commonly includes a national crisis headquarters, emergency councils, or coordination commissions composed of senior representatives from defense, internal security, emergency services, intelligence, and key civilian ministries. The primary function of these bodies is to ensure unity of command, strategic coordination, and rapid transmission of orders across the state apparatus.

NATO civil emergency planning doctrine emphasizes that legal clarity regarding institutional roles is a prerequisite for operational effectiveness.

Ambiguity in authority during emergencies can result in delayed decision-making, duplication of effort, or interagency friction. Therefore, member and

partner states are encouraged to predefine legal responsibilities and command relationships among civilian authorities and military forces before a crisis occurs, ensuring seamless transition from peacetime governance to emergency command structures.

At the international level, United Nations frameworks underscore that emergency legal regimes must remain consistent with international obligations, particularly in relation to human rights and humanitarian principles. While certain rights may be temporarily restricted, core non-derogable rights and the principle of proportionality must guide all emergency measures. Institutional accountability mechanisms are therefore considered an integral component of lawful and sustainable emergency governance.

In comparative perspective, states with well-institutionalized emergency legal frameworks demonstrate greater resilience and adaptability under crisis conditions. Clear legal authority, coupled with predefined institutional structures, enables rapid mobilization of national resources while preserving strategic control and civilian oversight. These factors form the legal backbone upon which effective personnel deployment and civil-military coordination is built.

Organizational Structure During State of Emergency.

The organizational structure activated during a State of Emergency is designed to ensure centralized command authority, accelerated decision-making, and synchronized action across all state institutions. In contrast to routine administrative governance, emergency organizational models emphasize operational effectiveness, command unity, and interagency integration. This structural shift reflects the necessity to respond rapidly to threats that exceed the capacity of normal civil administration, in accordance with the principle of unity of command [3].

Within this framework, many states employ a centralized executive-led crisis management model, in which strategic authority is concentrated at the highest level of government. This approach is particularly evident in governance systems such

as that of the Republic of Azerbaijan, where emergency management is characterized by strong vertical control, clear institutional subordination, and centralized coordination. Upon the declaration of a State of Emergency, decision-making authority is consolidated under the executive branch, ensuring rapid transmission of directives and minimizing bureaucratic delay.

In the Azerbaijani model, the organizational core of emergency response is formed through the coordinated action of the executive leadership, the Ministry of Emergency Situations, internal security bodies, and, where required, the Armed Forces of the Republic of Azerbaijan. These institutions operate within a hierarchical command structure that enables centralized strategic control combined with regionally executed operations. Such an arrangement reflects a governance philosophy that prioritizes state cohesion, discipline, and operational clarity during crises.

At the strategic level, a national crisis coordination body or emergency headquarters functions as the principal command element. This body integrates representatives from defense, internal affairs, emergency services, intelligence, transportation, health, and critical infrastructure sectors to maintain a unified situational awareness and coordinate national resources. Subordinate regional and local emergency commissions operate under direct vertical authority, ensuring alignment with national intent and preventing fragmentation of response efforts.

A defining characteristic of the Azerbaijani-style emergency structure is the institutionalized role of civil-military integration. Military forces may be tasked with infrastructure protection, engineering support, logistics, border security, and reinforcement of internal stability measures, while remaining under civilian political control. NATO doctrine identifies such pre-defined civil-military coordination mechanisms as essential to maintaining legitimacy and operational effectiveness during domestic emergencies.

Furthermore, emergency organizational structures rely heavily on centralized information and coordination nodes, such as national situation centers and joint

operational headquarters. These entities function as hubs for intelligence fusion, operational planning, and resource allocation, enabling leadership to adapt responses dynamically as the crisis evolves. In centralized governance models like Azerbaijan's, such nodes reinforce command unity and reduce the risk of interagency competition or informational asymmetry.

Comparative analysis indicates that states employing centralized, vertically integrated emergency organizational structures-when supported by legal clarity and trained personnel-achieve high levels of responsiveness and control during States of Emergency. The Azerbaijani governance model exemplifies how strong executive coordination, disciplined institutional hierarchy, and integrated civil-military structures can translate emergency authority into effective national action.

Personnel Training and Preparedness During a State of Emergency.

Personnel training constitutes a decisive factor in the effectiveness of a State of Emergency, as extraordinary legal authority and organizational structures can only function as intended when executed by professionally prepared human resources. Emergency environments are characterized by uncertainty, time pressure, legal complexity, and high psychological stress, requiring personnel at all levels to operate beyond routine administrative or operational conditions. Consequently, states that institutionalize comprehensive emergency training systems demonstrate superior resilience and crisis response performance.

Training requirements during a State of Emergency are typically differentiated across three command echelons: strategic, operational, and tactical. At the strategic level, political leaders and senior officials must be trained in crisis decision-making, legal boundaries of emergency powers, civil-military coordination, and strategic communication. Their ability to issue timely, lawful, and coherent directives directly affects the legitimacy and effectiveness of emergency governance [4]. Deficiencies at this level often result in delayed responses, contradictory orders, or erosion of public trust.

At the operational level, commanders and senior managers from emergency

services, internal security bodies, and armed forces require specialized training in interagency coordination, joint planning, and resource prioritization. NATO civil emergency planning doctrine emphasizes that operational leaders must be capable of integrating civilian and military capabilities within a unified command framework while respecting civilian control and legal constraints. Regular joint exercises and scenario-based simulations are considered essential tools for developing such competencies.

Tactical-level personnel-including first responders, law enforcement units, military detachments, and civil protection teams-require training focused on execution under emergency conditions. This includes disaster response techniques, crowd control, infrastructure protection, search and rescue, and logistical support. Equally important is training on rules of engagement, use of force limitations, and protection of civilian populations, ensuring that emergency measures remain proportional and lawful.

In governance systems such as that of the Republic of Azerbaijan, personnel training during States of Emergency reflects a centralized and vertically integrated approach. Emergency responders, security forces, and supporting military units are trained within standardized national frameworks coordinated by state authorities, particularly through institutions responsible for civil protection and emergency management. This approach emphasizes discipline, command subordination, and interoperability among agencies, reinforcing unity of effort during crisis situations [5].

Beyond technical skills, modern emergency training increasingly incorporates psychological resilience, leadership under stress, and information management. United Nations disaster management frameworks highlight that personnel fatigue, cognitive overload, and misinformation represent significant operational risks during prolonged emergencies. Training programs that address stress management, ethical decision-making, and information discipline enhance both individual performance and institutional stability.

Comparative experience demonstrates that personnel training must be continuous, adaptive, and exercise-based rather than purely theoretical. States that invest in regular national-level drills, civil-military exercises, and after-action reviews are better positioned to translate emergency legal authority and organizational structures into effective operational outcomes. Personnel preparedness thus serves as the human foundation upon which the entire State of Emergency system rests.

Comparative Country Experiences.

Comparative analysis of civil-military coordination during a State of Emergency reveals substantial variation in governance models, command relationships, and the scope of military involvement in domestic crisis response. These differences are shaped by constitutional traditions, civil-military relations, threat perceptions, and historical experience. Despite this diversity, effective national models share common principles, including civilian political control, legal clarity, and institutionalized coordination mechanisms [6].

France represents a highly centralized emergency governance model, where civil-military coordination is directed under strong executive authority. During the declaration of an *état d'urgence*, civilian leadership retains strategic control while military forces support internal security missions, critical infrastructure protection, and public order maintenance, notably through *Opération Sentinelle*. Coordination is conducted through centralized crisis management structures linking the Ministry of the Interior, Ministry of the Armed Forces, and national-level crisis cells. This model emphasizes rapid force employment and centralized command while maintaining firm civilian oversight.

The United States applies a federal and decentralized civil-military coordination model, reflecting its constitutional division of authority between federal, state, and local governments. Emergency response is coordinated through the Federal Emergency Management Agency (FEMA), with the National Guard serving as the primary military instrument due to its dual state-federal status.

Active-duty armed forces provide support under specific legal frameworks, such as the Stafford Act, and remain restricted in domestic law enforcement roles. While legally robust, this model requires complex coordination across multiple governance levels.

Germany exemplifies a legally constrained and civilian-centric model of civil-military coordination. The Basic Law (Grundgesetz) strictly limits the domestic deployment of the Bundeswehr, permitting its use primarily for disaster relief and, under exceptional circumstances, internal security support. Military involvement is focused on logistics, engineering, and medical assistance, coordinated under civilian authority. This restrictive approach prioritizes constitutional safeguards and public legitimacy over operational flexibility.

Turkey provides an example of a security-oriented emergency governance model, particularly during periods of declared State of Emergency (*OHAL*). Historically, civil-military coordination involved extensive military and security force participation in internal stability and counterterrorism operations under strong centralized authority. Subsequent legal and institutional reforms have sought to redefine military roles and reinforce civilian oversight, illustrating the evolving nature of emergency coordination frameworks.

The Republic of Azerbaijan follows a centralized and vertically integrated civil-military coordination model, aligned with its national security environment and governance traditions. During a State of Emergency, military forces operate in support of civilian authorities under direct executive control, contributing to infrastructure protection, disaster response, logistical support, and reinforcement of internal security measures. Coordination mechanisms emphasize unity of command, disciplined subordination, and rapid execution, enabling effective national-level crisis management [7].

Across these national cases, the effectiveness of civil-military coordination during a State of Emergency depends less on the scale of military involvement and more on the clarity of legal mandates, predefined command relationships, and joint

preparedness measures. States that institutionalize coordination through legislation, doctrine, and regular exercises demonstrate higher levels of operational coherence and public trust. Conversely, ambiguous or ad hoc coordination arrangements increase the risk of inefficiency and legitimacy challenges during prolonged emergencies.

Best Practices in State of Emergency Governance.

Comparative analysis of legal frameworks, organizational structures, personnel training systems, and civil-military coordination models reveals a set of recurring lessons that define effective State of Emergency governance. While national contexts differ, successful emergency regimes consistently demonstrate alignment between legal authority, institutional design, and human capability. Failure in any one of these dimensions significantly degrades overall crisis response effectiveness.

One of the most consistent lessons is the necessity of clear, predefined legal authority governing the declaration, implementation, and termination of a State of Emergency. States that codify emergency powers within constitutional or statutory frameworks-while explicitly defining scope, oversight mechanisms, and duration-are better positioned to act decisively without undermining legitimacy. International experience demonstrates that ambiguity in emergency legislation often leads to institutional hesitation, interagency conflict, or post-crisis legal disputes. Best practice indicates that emergency laws should:

- clearly define triggering conditions;
- establish centralized but accountable executive authority;
- include sunset clauses and review mechanisms.

Such provisions enable rapid action while preserving the rule of law. Another key lesson concerns the institutionalization of emergency organizational structures prior to crisis onset. States that rely on ad hoc coordination mechanisms during emergencies frequently encounter delays and fragmentation. In contrast, governments that maintain standing crisis management bodies, predefined

command hierarchies, and permanent coordination centers achieve faster and more coherent responses. Effective structures are characterized by:

- unity of command at the strategic level;
- vertical integration between national, regional, and local authorities;
- clearly defined interagency responsibilities.

These principles are particularly important in centralized governance systems, where rapid execution depends on disciplined institutional subordination. Personnel preparedness consistently emerges as a decisive determinant of emergency performance. Legal authority and organizational design cannot compensate for inadequately trained personnel. Best-performing states invest in continuous, tiered training systems that address strategic leadership, operational coordination, and tactical execution. Lessons learned indicate that effective training programs:

- emphasize scenario-based and exercise-driven learning;
- integrate civilian and military participants;
- address legal, ethical, and psychological dimensions of emergency response.

Joint civil-military exercises are especially effective in reducing friction, clarifying roles, and reinforcing interoperability under stress conditions. Comparative country experience confirms that civil-military coordination is most effective when guided by the principles of support, subsidiarity, and proportionality. Military forces should augment-not replace-civilian authority, and their involvement should be legally grounded and mission-specific. States that predefine military support roles and establish liaison mechanisms achieve higher operational coherence and public acceptance. Best practices include:

- pre-designated military support functions;
- embedded liaison officers;
- shared situational awareness platforms.

These measures reduce coordination costs and enhance unity of effort during emergencies. An increasingly important lesson concerns the role of strategic communication. States that maintain transparent, consistent, and authoritative communication during States of Emergency are more successful in sustaining public compliance and institutional legitimacy. Poor communication, misinformation, or contradictory messaging has been identified as a force multiplier for crisis escalation [8]. Best practice integrates communication planning into emergency governance structures, ensuring alignment between political leadership, operational authorities, and public messaging.

Overall, the lessons learned from comparative practice indicate that effective State of Emergency governance is not improvised but institutionally cultivated. Legal preparedness, structured organization, trained personnel, and disciplined civil-military coordination together form a resilient national emergency system. States that internalize these lessons demonstrate greater adaptability, control, and legitimacy when confronted with extraordinary crises.

Conclusion. A State of Emergency is a special system used by governments to respond to serious threats that normal systems cannot handle. Its success does not depend only on having strong emergency powers, but on how well laws, institutions, trained staff, and civil-military cooperation work together.

Countries with clear emergency laws can respond faster and more effectively while still protecting constitutional order and public trust. Good laws clearly explain when emergencies can be declared, who is responsible, and how long measures can last. Without clear laws, governments become less effective and less trusted.

Strong emergency institutions are also important. Governments need well-organized crisis management systems that can quickly switch from normal work to emergency response. Clear command structures and coordination between agencies help ensure fast and unified action, especially when supported by proper cooperation between civilian authorities and the military.

Training and preparedness are another key factor. Countries that regularly train their leaders and emergency teams perform better during crises. Exercises and simulations help improve decision-making and reduce confusion. Joint training between civilian and military staff is especially important.

Civil-military cooperation is a central part of emergency management, not just an extra feature. When responsibilities are clearly defined and coordination is strong, both sectors can work effectively while civilian control is maintained.

Overall, a State of Emergency should not be seen as a break from normal government, but as an organized way for the state to act during crises. Countries that treat emergency preparedness as an ongoing process are better able to stay stable and maintain public trust.

Future research should focus on improving training methods, using digital tools and simulations, strengthening cooperation between agencies, and exploring the use of new technologies like artificial intelligence in emergency management.

FÖVQƏLADƏ VƏZİYYƏTİN TƏŞKİLİ VƏ KADR TƏMİNATI: MÜASİR YANAŞMALARIN İCMALI

Rzazadə Rusala Əmiraslan qızı

Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Azərbaycan Respublikası Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyası

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-3787-1957>

e-mail: vusala_55@mail.ru

Xülasə. Fövqəladə vəziyyətin elan edilməsi dövlətlərin adi idarəetmə sistemlərinin öhdəsindən gələ bilmədiyi ciddi təhdidlərə qarşı istifadə etdiyi mühüm idarəetmə vasitəsidir. Məqalədə belə sistemlərin fəaliyyəti qanunvericilik

bazası, təşkilati struktur, kadr hazırlığı, həmçinin mülki hakimiyyət orqanları ilə hərbi qurumlar arasında əməkdaşlıq baxımından araşdırılır.

Tədqiqat zamanı analiz, müqayisə və normativ-hüquqi sənədlərin, eləcə də elmi mənbələrin öyrənilməsi kimi ümumi elmi metodlardan istifadə olunmuşdur. Bundan əlavə, müxtəlif ölkələrin fəvqəladə halların idarə olunması sahəsində təcrübəsi, o cümlədən NATO və Birləşmiş Millətlər Təşkilatının beynəlxalq tövsiyələri nəzərdən keçirilmişdir.

Araşdırma göstərir ki, fəvqəladə hallara effektiv reaksiya aydın qanunvericilik bazasından, güclü və yaxşı təşkil olunmuş institutlardan, həmçinin peşəkar hazırlanmış kadrlardan asılıdır. Mülki və hərbi strukturlar arasında əməkdaşlıq və mütəmadi təlimlər sürətli və əlaqələndirilmiş fəaliyyətin təmin olunmasında, eyni zamanda mülki nəzarətin qorunmasında mühüm rol oynayır.

Məqalədə, həmçinin Azərbaycan modelini də əhatə edən mərkəzləşdirilmiş fəvqəladə idarəetmə yanaşmaları təhlil edilir. Müxtəlif ölkələrin təcrübələrinin müqayisəsi milli hazırlıq səviyyəsinin artırılmasına kömək edən uğurlu təcrübələri müəyyən etməyə imkan verir.

Tədqiqatda vurğulanır ki, fəvqəladə hallara hazırlıq dövlət fəaliyyətinin davamlı bir hissəsi olmalıdır. Əldə olunan nəticələr dövlət siyasətini formalaşdıran şəxslər və fəvqəladə halların idarə olunması üzrə mütəxəssislər üçün böhranlara cavab mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi və milli dayanıqlığın gücləndirilməsi baxımından faydalı ola bilər.

Açar sözlər: fəvqəladə vəziyyət, fəvqəladə halların idarə olunması, mülki-hərbi koordinasiya, şəxsi heyətin hazırlanması, böhranların idarə olunması, milli dayanıqlıq.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО ПОЛОЖЕНИЯ И КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ

Русала Рзазаде

Доктор философии по педагогике, доцент

Академии Министерства по чрезвычайным ситуациям

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-3787-1957>

e-mail: vusala_55@mail.ru

Аннотация. Введение режима чрезвычайного положения является инструментом, используемым государством для реагирования на серьезные угрозы, с которыми обычные системы управления не способны эффективно справиться. В данной статье рассматриваются механизмы функционирования таких систем с акцентом на законодательную базу, организационную структуру, подготовку кадров, а также взаимодействие между гражданскими органами власти и военными структурами.

В исследовании использованы общенаучные методы, такие как анализ, сравнение и изучение нормативно-правовых и научных источников. Также рассматривается опыт различных стран в области управления чрезвычайными ситуациями, включая международные рекомендации НАТО и Организации Объединенных Наций.

Исследование показывает, что эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации зависит от наличия четкой законодательной базы, сильных и хорошо организованных институтов, а также профессионально подготовленного персонала. Особое значение имеют регулярная подготовка кадров и взаимодействие между гражданским и военным секторами, обеспечивающие быстрое и скоординированное реагирование при сохранении гражданского контроля.

В статье также рассматриваются централизованные модели управления чрезвычайными ситуациями, включая подход, применяемый в Азербайджане. Сравнительный анализ различных стран позволяет выявить положительный опыт, способствующий повышению национальной готовности к кризисным ситуациям.

Исследование подчеркивает, что готовность к чрезвычайным ситуациям должна быть постоянной составляющей государственной деятельности. Полученные результаты могут быть полезны для разработчиков государственной политики и специалистов в области чрезвычайного управления с целью совершенствования механизмов реагирования на кризисы и укрепления национальной устойчивости.

Ключевые слова: чрезвычайное положение, управление в условиях чрезвычайных ситуаций, гражданско-военная координация, подготовка персонала, управление кризисами, национальная устойчивость.

УДК 004.942:621.67

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ НАСОСНО- РУКАВНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Малютин Олег Сергеевич

*к.т.н., начальник отдела информационных технологий и
компьютерного моделирования ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-
спасательная академия ГПС МЧС России
e-mail: obsidian-pb@mail.ru*

Куртов Сергей Олегович

*преподаватель кафедры пожарной тактики и аварийно-
спасательных работ ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-
спасательная академия ГПС МЧС России
e-mail: tiasr@sibpsa.ru*

Xülasə:

Açar sözlər:

Abstract:

The article examines the problem of modeling pump-hose systems (PHS) in order to optimize the firefighting process. The aim of the study is to develop a Python-based software tool for the hydraulic calculation of PHS operating parameters. The research methods include the creation of an object-oriented library implementing a graph-based model of PHS, and the application of an iterative calculation algorithm using the direct method of hydraulic analysis. The

practical significance of the work lies in the development of the `nrs.py` library, which makes it possible to model PHS of arbitrary complexity, perform a comprehensive analysis of the influence of equipment characteristics, carry out scenario modeling of various operating modes, and assess the effectiveness of PHS configurations. The main results demonstrate the possibility of more accurate calculation of pump-hose system operating parameters, compared to the methods currently adopted in Russia, including head losses, water flow rates, and flow distribution in branched sections. The developed object-oriented model takes into account various factors: elevation differences, hose characteristics, nozzle parameters, and pump equipment parameters. The practical applicability of the results lies in the development of a tool that can be used to support decision-making in firefighting operations, in the educational process at EMERCOM training institutions, in scientific research in the field of firefighting tactics, and in the development of specialized software for fire-tactical calculations. The results obtained can be used to increase the efficiency of firefighting by optimizing the operation of pump-hose systems.

Keywords: fire service, pump-hose systems, modeling, programming, Python, hydraulics.

Резюме. В статье рассматривается проблема моделирования насосно-рукавных систем (НРС) для оптимизации процесса пожаротушения. Целью исследования является разработка программного инструмента на языке Python для гидравлического расчета параметров работы НРС. Методы исследования включают создание объектно-ориентированной библиотеки, реализующей графовую модель НРС, и применение итерационного алгоритма расчета с использованием прямого метода гидравлического анализа. Практическая значимость работы заключается в разработке библиотеки `nrs.py`, позволяющей моделировать НРС произвольной сложности, проводить комплексный анализ влияния характеристик оборудования, выполнять сценарное моделирование различных режимов

работы, оценивать эффективность конфигураций НРС. Основные результаты демонстрируют возможность более точного по сравнению с принятыми в России расчета параметров работы насосно-рукавных систем, включая потери напора, расходы воды и распределение потоков в разветвленных участках. Разработанная объектно-ориентированная модель учитывает различные факторы: перепады высот, характеристики рукавов, параметры стволов и насосного оборудования. Практическая применимость результатов заключается в разработке инструмента, который может применяться при поддержке принятия решений при тушении пожаров, в образовательном процессе в учебных заведениях МЧС, научных исследованиях в области пожарной тактики, при разработке специализированного ПО для проведения пожарно-тактических расчетов. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности пожаротушения за счет оптимизации работы насосно-рукавных систем.

Ключевые слова: пожарная охрана, насосно-рукавные системы, моделирование, программирование, Python, гидравлика.

Введение. Обеспечение необходимого расхода воды является одним из обязательных условий успешного тушения пожара. Недостаточность расхода и напора воды на приборах подачи огнетушащих веществ неминуемо приводит к увеличению времени тушения пожаров [1]. Таким образом принятие управленческих решений, связанных с организацией подачи воды в требуемых объемах с требуемым напором к приборам подачи огнетушащих веществ, является одной из важнейших задач, встающих перед органами управления силами и средствами при тушении крупных пожаров.

Для решения этой задачи с технической стороны используются насосно-рукавные системы (далее – НРС), представляющие собой совокупность приборов подачи огнетушащих веществ, пожарных насосов, пожарных рукавов и рукавной арматуры (соединительные головки, рукавные разветвления и т.д.). Сложность НРС может существенно варьироваться в

зависимости от количества и характера используемых элементов.

Задачу решаемую НРС можно сформулировать следующим образом: требуется обеспечить подачу требуемого объема воды с требуемым напором к каждому из использованных приборов подачи воды с учетом их характеристик.

Сложность организации насосно-рукавных систем может быть продиктована следующими условиями их работы:

- подача воды на значительные расстояния;
- подача воды при значительных перепадах высот (как вверх, так и вниз);
- необходимость подачи значительных объемов воды;
- наличие большого количества позиций ствольщиков;
- использование в НРС пожарных рукавов и приборов подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) с различными гидравлическими характеристиками.

Ограничениями, накладываемыми на выбор той или иной НРС являются:

- доступное количество технических средств элементов НРС (пожарные рукава, приборы подачи огнетушащих веществ и т.д.);
- характеристики доступных технических средств элементов НРС (гидравлические сопротивления, пропускная способность, длина и т.д.).

Наличие перечисленных факторов может существенно усложнять задачу выбора структуры НРС, которая обеспечивала бы решение поставленной задачи по обеспечению приборов подачи огнетушащих веществ водой. Во многих случаях прокладка НРС которая решала бы эту задачу может оказаться невозможной в виду технических ограничений. В таких случаях задач трансформируется в оптимизационную – требуется выбрать такую НРС из возможных, которая могла бы обеспечить наилучшие параметры работы.

Тушение крупных пожаров требует прокладки сложных НРС

включающих множество приборов подачи огнетушащих веществ, последовательно или параллельно прокладываемых напорных пожарных рукавов и насосных установок. Составление таких НРС требует от должностных лиц на пожаре не только наличия соответствующего опыта тушения пожаров, но и глубокого понимания принципов работы сложных насосно-рукавных систем.

В результате неверного выбора конфигурации НРС может сложиться ситуация, когда не будет обеспечен необходимый расход и напор на приборах подачи огнетушащих веществ. Кроме того, возможно появление ситуаций, когда возникает угроза жизни и здоровью участников тушения пожара вследствие слишком высоких напоров на приборах подачи огнетушащих веществ.

Существуют расчетные методы определения параметров работы НРС [2-4]. Чаще всего в таких расчетах используется упрощенный тактический метод расчета, позволяющий оценивать требуемый напор на насосе пожарного автомобиля исходя из требуемого расхода на диктующем приборе подачи огнетушащих веществ.

Как показывают результаты работ [5,6] такой метод, называемый «Обратный» не позволяет точно оценивать параметры работы НРС в целом, что может быть критично для сложных НРС.

Для более полного расчета параметров работы НРС рекомендуется использовать «Прямой» метод расчета, позволяющий исходя из заданного напора на насосе пожарного автомобиля определить напоры и расходы на всех приборах подачи огнетушащих веществ.

Как показано в [6] такой метод более точен и позволяет получить более отчетливое представление о параметрах работы НРС в целом. Вместе с тем, такой метод расчета более сложен. Его проведение затруднительно без использования средств вычислительной техники.

В работе [7] приведен пример реализации прямого метода расчета с

использованием языка программирования VBA в среде Visio в автоматизированной информационно-графической системе ГраФиС-Тактик. Эта реализация позволяет проводить расчет НРС любой степени сложности, однако подразумевает, что пользователь составляет цифровую модель НРС с использованием инструментов Visio. В ряде случаев это может оказаться неудобным – например, в работе штаба пожаротушения может не оказаться ЭВМ с заранее установленным программным обеспечением Visio и АИГС ГраФиС-Тактик. Кроме того, в реалиях современной политической обстановки использование зарубежных программных продуктов может быть вообще невозможно.

В данной работе предлагается реализация прямого метода расчета НРС с использованием языка программирования Python.

Математическая модель.

Уравнение потерь напора в рукавной линии:

В основе гидравлического расчёта лежит квадратичный закон потерь напора, который для рукавной линии имеет вид:

$$h = s \cdot n \cdot q^2, \quad (1)$$

где h – потеря напора, м; s – гидравлическое сопротивление одного рукава, м/(л/с)²; n – число рукавов в линии; q – расход воды, л/с.

Уравнение расхода ствола:

Расход воды из пожарного ствола определяется формулой [8]:

$$Q_{\text{ств}} = p \cdot \sqrt{H_{\text{ств}}}, \quad (2)$$

где p – проводимость насадка ствола; $H_{\text{ств}}$ – напор перед насадком ствола, м.

Проводимость насадка вычисляется по номинальным параметрам ствола [8]:

$$p = \frac{q_{\text{ном}}}{\sqrt{H_{\text{ном}}}}. \quad (3)$$

Для стандартных ручных пожарных стволов приняты следующие номинальные параметры: ствол «Б» (насадок 13 мм) – $q_{\text{ном}} = 3,7$ л/с при $H_{\text{ном}} = 40$ м, откуда $p = 0,585$; ствол «А» (насадок 19 мм) – $q_{\text{ном}} = 7,4$ л/с при $H_{\text{ном}} = 40$ м, откуда $p = 1,170$ [8].

Уравнение баланса напоров:

Для каждого элемента системы справедливо уравнение баланса напоров:

$$H_{\text{вых}} = H_{\text{вх}} + H_{\text{доп}} - h - z, \quad (4)$$

где $H_{\text{вых}}$, $H_{\text{вх}}$ – напоры на выходе и входе элемента соответственно; $H_{\text{доп}}$ – дополнительный напор, создаваемый насосом (для пассивных элементов равен нулю); h – потеря напора в элементе; z – геодезический перепад высот между выходом и входом элемента.

Архитектура библиотеки:

Библиотека nrs.py реализует графовую гидравлическую модель НРС, в которой система представляется в виде ориентированного графа. Узлами графа являются элементы трёх типов, определяемых перечислением EType:

- PUMP (источник) – пожарный насос, задающий дополнительный напор $H_{\text{доп}}$;
- CONNECTOR (связь) – рукавная линия, разветвление или водосборник;
- NOZZLE (расход) – прибор подачи воды (ручной или лафетный ствол).

Ребра графа отражают связь элементов НРС между собой и определяются списками `elements_next` и `elements_previous`, задающими направление потока ОТВ. Ребра не имеют иных свойств кроме элементов, соединяемых этим ребром.

Основными классами библиотеки nrs.py являются: `Element`, `NRS_Model`, `NRS_Observer_E`, `NRS_Data`.

Класс Element:

Класс Element представляет отдельный элемент НРС и содержит основные атрибуты, представленные в таблице 1. Класс является основным элементом объектной модели НРС.

Таблица 1. Основные атрибуты класса Element.

Атрибут	Описание	Ед. изм.
name	Идентификатор элемента	—
type	Тип элемента (EType)	—
q	Расход через элемент	л/с
s	Гидравлическое сопротивление	м/(л/с) ²
H_in, H_out	Напор на входе/выходе	м
h	Потеря напора	м
H_add	Дополнительный напор (насос)	м
z	Перепад высот	м
p	Проводимость насадка (ствол)	л/с/м ^{0,5}
n	Число рукавов в линии	шт.
ri, ro	Число входов/выходов	шт.

Подобная реализация продиктована соображением, что любой элемент НРС имеет одинаковый набор гидравлических свойств, в полной мере описывающих его характеристики.

Класс NRS_Model:

Класс NRS_Model служит контейнером для всех элементов системы и реализует итерационный решатель. Метод build() выполняет рекурсивный обход графа от начального элемента, автоматически классифицируя элементы на источники (elmnts_in) и расходы (elmnts_out) при вызове interpretate=True.

Класс NRS_Observer_E:

Для отслеживания эволюции параметров в процессе итерационного решения реализован паттерн «Наблюдатель» [9]. Класс NRS_Observer_E позволяет фиксировать историю изменения любых параметров элемента

(расхода, напора, потери напора) по итерациям, что необходимо для анализа сходимости и переходных процессов.

Класс NRS_Revision:

Класс ревизии элементов НРС. Содержит инструментальные функции анализа элементов НРС. Реализует:

- Печать перечня элементов, подключенных к заданному элементу;
- Печать перечня элементов, к которым подключен заданный элемент;
- Печать значений всех параметров заданного элемента;
- Расчет проводимости насадка по формуле (3);
- Расчет потерь напора для заданных значений гидравлического сопротивления в одном пожарном рукаве, количества пожарных рукавов и расхода воды через сечение одного рукава;
- Печать всех элементов, содержащихся в модели НРС.

Класс NRS_Data:

Класс NRS_Data содержит табличные значения гидравлического сопротивления s для стандартных типов пожарных рукавов, включая прорезиненные напорные рукава диаметром от 38 до 150 мм, а также непрорезиненные и рукава с двухсторонним защитным покрытием [10-13].

Итерационный алгоритм расчёта.

Решение системы уравнений, определяющих гидравлический режим НРС, осуществляется методом последовательных приближений (итерационной релаксации). Алгоритм запускаемый методом calc() включает следующие шаги:

1. Прямой проход. Для каждого элемента-источника устанавливается напор $H_{вх}$, который рекурсивно распространяется по графу в сторону элементов-расходов (NOZZLE) с вычислением $H_{вых}$ для каждого элемента по формуле (4).

2. Обнуление расходов. Для каждого ствола обнуляется расход $Q_{ств}$, что рекурсивно распространяется на все входящие элементы.

3. Обратный проход. Для каждого ствола вычисляется расход по формуле (2) и рекурсивно распространяется по графу в сторону элементов-источников (PUMP). При наличии нескольких входящих ветвей расход делится поровну между ними.

4. Контроль сходимости. Вычисляется суммарный расход системы $Q_{\text{общ}} = \sum Q_{\text{ств},i}$. Итерации продолжаются до тех пор, пока изменение суммарного расхода между последовательными итерациями не станет меньше заданной точности ε :

$$\left| Q_{\text{общ}}^{(k)} - Q_{\text{общ}}^{(k-1)} \right| \leq \varepsilon. \quad (5)$$

Библиотека поддерживает два режима расчёта: с фиксированным числом итераций ($\text{iters}=\text{N}$) и адаптивный ($\text{accuracy}=\varepsilon$), автоматически определяющий момент достижения стационарного состояния системы.

Примеры применения.

Простая насосно-рукавная система:

Рассмотрим простейшую НРС, состоящую из пожарного насоса с напором $H_{\text{доп}} = 40$ м, магистральной рукавной линии из 10 рукавов диаметром 51 мм ($s = 0,13$ м/(л/с)²) и ручного пожарного ствола «Б» ($p = 0,585$).

Программный код составления данной модели приведен ниже:

```
1: from nrs import NRS_Model, Element, EType, NRS_Revision
2: from nrs import NRS_Data as nd
3: from nrs import q_out_nozzle
4:
5: p = NRS_Revision.calc_p(3.7, 40)
6: pump = Element('Насос', EType.PUMP, H_add=40)
7: hose = Element('Рукавная линия', EType.CONNECTOR, s=nd.ss["51"], n=10)
8: nozzle = Element('PC-50', EType.NOZZLE, p=p, q_out=q_out_nozzle)
9:
10: pump.append(hose).append(nozzle)
11: model = NRS_Model('Простая')
12: model.build(pump, interpretate=True)
13: model.calc(accuracy=0.05)
14:
15: print('Суммарная производительность системы:', model.summaryQ(), 'л/с')
16: print('Напор перед стволом:', nozzle1.H_in, 'м')
17: print('Потеря напора в рукавной линии:', hoseW1.h, 'м')
```

В строках 1-3 прописывается импорт необходимых объектов библиотеки prg.ru. В строке 5 вычисляется проводимость насадка p (по формуле 3), при напоре 40м и расходе из ствола 3,7 метров, характерных для стволов РС-50. В строке 6 создается элемент «Насос» с типом «расход» (PUMP). В строке 7 создается элемент «Рукавная линия» с типом «связь» (CONNECTOR), отражающая рукавную линию составленную из 10 напорных пожарных рукавов диаметром 51мм, с соответствующим гидравлическим сопротивлением s . В строке 8 создается элемент «РС-50» с типом «расход» (NOZZLE) отражающий ручной ствол РС-50 с проводимостью r .

В строке 10 определяется порядок соединения элементов между собой. В строке 11 создается модель НРС с именем «Простая». В строке 12 запускается процедура сборки модели начиная с элемента «Насос» (можно указывать любой из соединенных между собой элементов). Наконец в строке 13 происходит расчет модели.

Результат расчёта: суммарный расход системы $Q_{\text{общ}} = 3,07$ л/с (строка 15), напор перед стволом $H_{\text{ств}} = 27,8$ м (строка 16), потеря напора в рукавной линии $h = 12,2$ м (строка 17). Расход снижен по сравнению с номинальным (3,7 л/с) вследствие гидравлического сопротивления рукавной линии. Схема простой НРС приведена на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема простой насосно-рукавной системы: насос – рукавная линия – ствол.

Разветвлённая насосно-рукавная система с двумя стволами.

Моделирование системы с одним насосом ($H_{\text{доп}} = 60$ м), магистральной линией из 5 рукавов диаметром 77 мм, рукавным разветвлением ($ro=3$) и двумя рабочими линиями: линией из 10 рукавов 51 мм со стволом «Б» и линией из 5 рукавов 77 мм со стволом «А».

Суммарный расход системы составляет $Q_{\text{общ}} = 11,34$ л/с. Моделирование перепада высот (подъём первой линии на 10 м, второй – на 5 м) снижает расход до 10,71 л/с. Моделирование перекрытия ствола (обнуление проводимости p второго ствола) снижает суммарный расход до 3,4 л/с. Схема разветвлённой НРС представлена на рисунке 2.

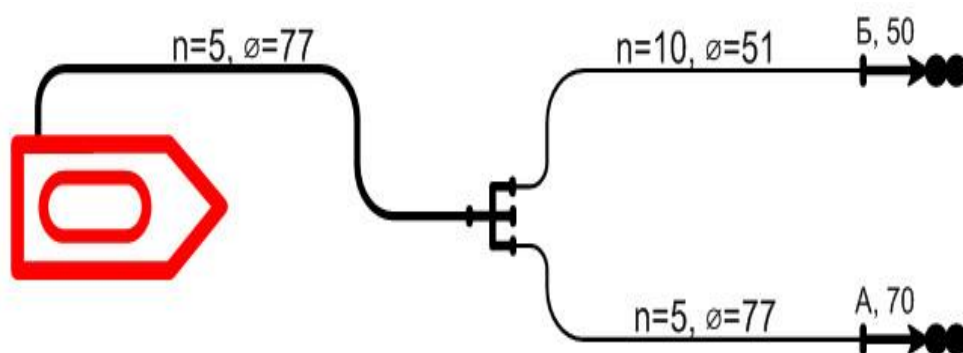


Рисунок 2. Разветвлённая НРС с двумя стволами типа А и Б.

Сложная насосно-рукавная система с рукавными разветвлениями.

Наиболее показательным примером является система из одного насоса, двух рукавных разветвлений и пяти работающих стволов (4 ствола «Б» + 1 ствол «А»). Топология системы: насос подаёт воду в магистральную линию 77 мм (3 рукава), которая питает первое разветвление. От первого разветвления отходят две рабочие линии (51 мм × 3 к стволу Р1-1 и 51 мм × 1 к стволу Р1-2) и магистральная линия ко второму разветвлению. От второго разветвления питаются ещё три рабочих линии. Схема системы показана на рисунке 3.

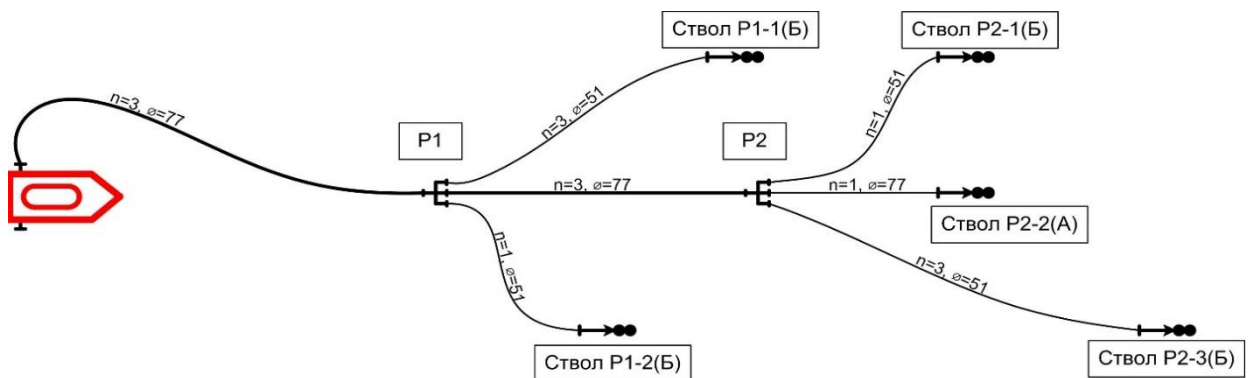


Рисунок 3. Сложная НРС: 1 насос, 2 разветвления, 5 стволов.

Исходный напор на насосе пожарного автомобиля $H_{\text{доп}} = 40\text{м}$.

Результаты расчёта (режим ассигасы=0,05 л/с): суммарный расход $Q_{\text{общ}} = 16,67$ л/с. Расходы по отдельным стволам неравномерны и составляют от 2,70 до 4,33 л/с, что обусловлено различной гидравлической удалённостью стволов от насоса.

Для анализа сходимости итерационного процесса к каждому стволу подключён наблюдатель NRS_Observer_E, фиксирующий историю расхода и напора. На рисунке 4 показана динамика расходов стволов по итерациям. Система выходит на стационарный режим в пределах заданной точности за 27 итераций.

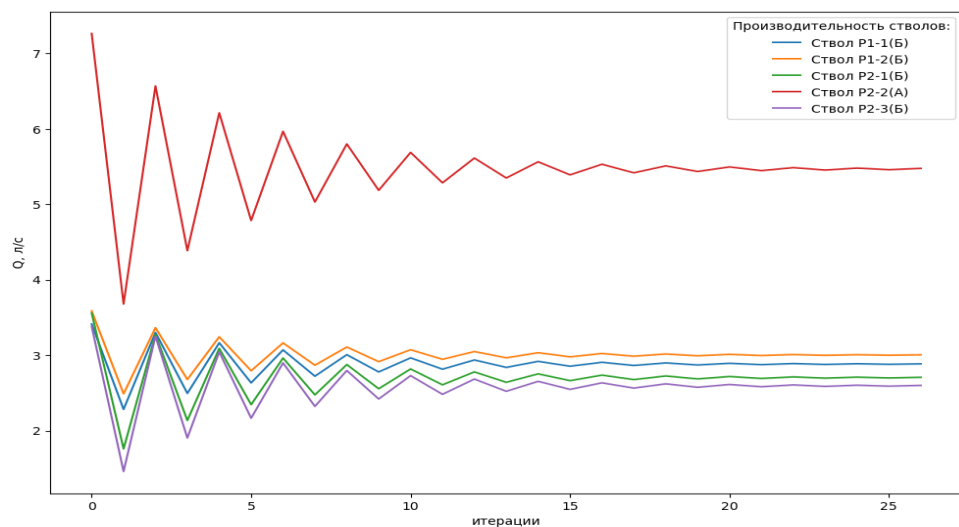


Рисунок 4. Динамика расходов стволов по итерациям.

Параметрический анализ: плавное наращивание напора.

Библиотека позволяет проводить параметрические исследования. В данном вычислительном эксперименте для той же топологии НРС (1 насос, 5 стволов) выполнялось пошаговое наращивание напора насоса от 1 до 80 м с выполнением одной итерации расчёта на каждом шаге, после чего выполнялись 20 дополнительных итераций стабилизации при напоре 80 м.

Зависимость расходов стволов от напора насоса (рисунок 5) демонстрирует нелинейный характер, обусловленный квадратичным законом потерь напора и зависимостью расхода ствола от корня квадратного из напора (формула 2). Суммарный расход возрастает от 12,3 л/с при напоре 1 м до 26,3 л/с при напоре 80 м.

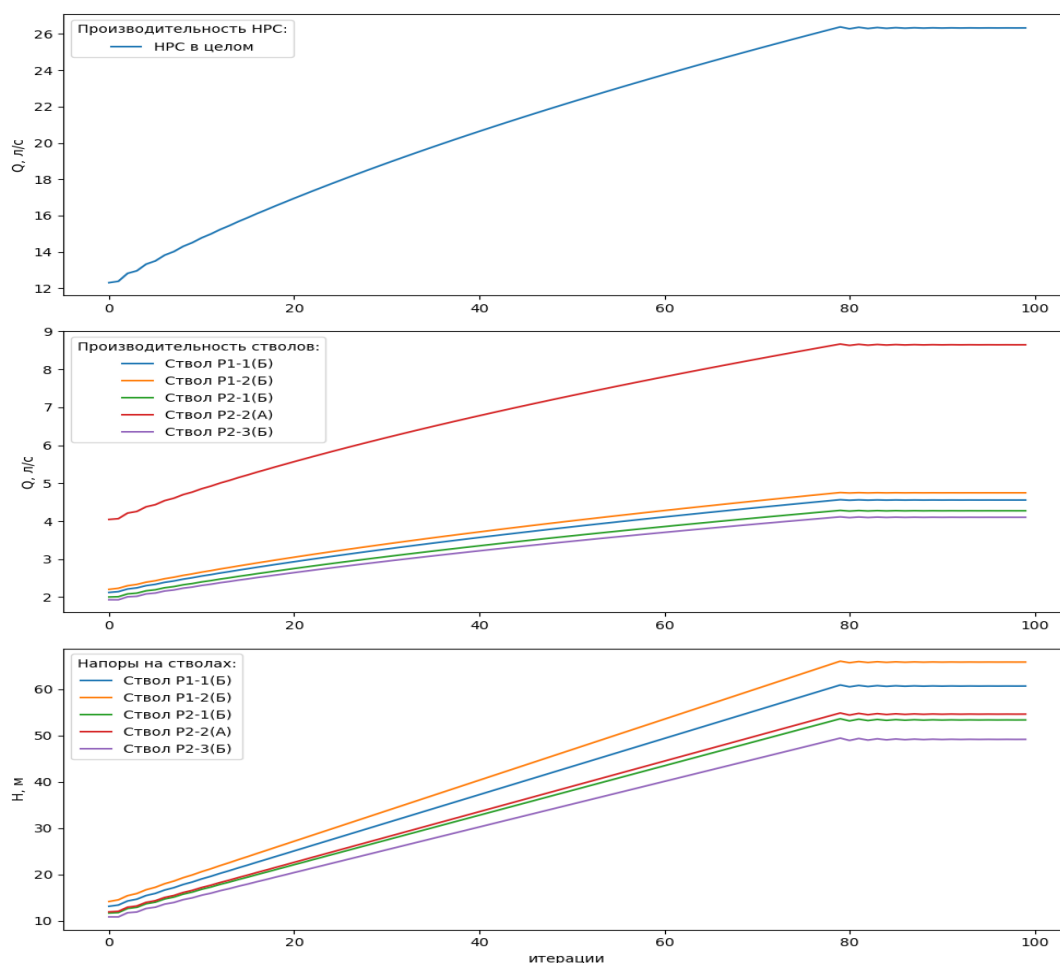


Рисунок 5. Результаты расчета параметров НРС при плавном увеличении напора на насосе пожарного автомобиля.

Параметрический анализ: увеличение напора и резкое перекрытие одного из стволов

В данном вычислительном эксперименте для той же топологии (1 насос, 5 стволов) выполнялся расчет для напора на насосе пожарного автомобиля 40 м (режим ассигасу=0,05 л/с), затем напор повышается до 80 м, расчет повторяется до той же точности, после чего имитируется перекрытие ствола «А» и выполняется расчет для той же точности.

Итоговая производительность системы составляет 17.91 л/с. Графики изменения расходов на приборах подачи ОТВ представлены на рисунке 6.

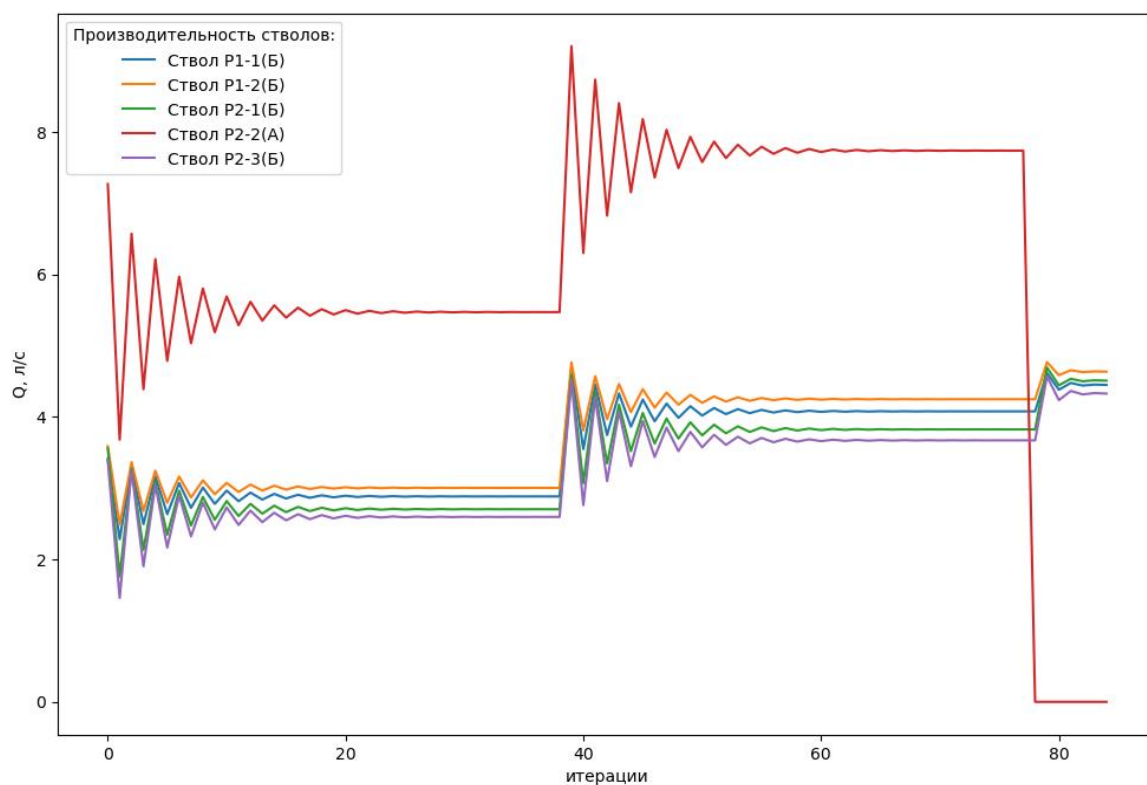


Рисунок 6. Графики изменения производительности пожарных стволов при изменении режимов работы НРС.

Обсуждение.

Представленная библиотека обеспечивает формализованное описание НРС и автоматизированный гидравлический расчёт для НРС любой степени сложности.

Библиотека реализует прямой метод расчёта НРС – определение расходов и напоров при заданных параметрах системы. Библиотека позволяет моделировать системы произвольной структуры путём простого описания графа связей.

Достоинствами подхода можно назвать:

- гибкость описания НРС за счёт объектно-ориентированного представления элементов и их связей;
- воспроизводимость расчётов на основе единого набора табличных данных и явных математических зависимостей;
- возможность сценарного анализа при изменении параметров оборудования и режимов работы.

Следует отметить ограничения модели, реализованной в библиотеке на текущий момент. Во-первых, насос моделируется как источник постоянного напора ($H_{\text{доп}} = \text{const}$), тогда как реальная насосная характеристика пожарного насоса описывается кривой $Q-H$, напор на которой снижается с ростом расхода. Во-вторых, расчёт расхода в узлах с несколькими входящими ветвями выполняется, поровну деля поток между ветвями, тогда как в действительности распределение определяется соотношением гидравлических сопротивлений ветвей.

Несмотря на указанные упрощения, библиотека обеспечивает достаточную для практических целей точность при расчёте НРС и может использоваться как в научных исследованиях, связанных с анализом эффективности различных конфигураций НРС, так и в образовательных целях при обучении слушателей образовательных учреждений основам гидравлического расчёта насосно-рукавных систем. Кроме того, она может служить основой для разработки прикладных программных комплексов поддержки принятия решений для руководителей тушения пожара, позволяющих оперативно оценивать последствия реконфигурации

НРС (изменения схемы прокладки рукавных линий и режимов работы насосов).

Заключение. Разработанная библиотека моделирования насосно-рукавных систем на языке Python реализует единый объектно-ориентированный подход к представлению структуры НРС и выполнению гидравлических расчётов. Применение библиотеки позволяет:

- сокращать трудоёмкость расчётов по сравнению с ручным использованием табличных методов;
- повышать точность и воспроизводимость результатов;
- проводить комплексный анализ влияния характеристик гидравлического оборудования на эффективность работы НРС;
- интегрировать расчётные модели с современными средствами визуализации и анализа данных.

Дальнейшее развитие библиотеки может быть связано с расширением набора типов элементов (например, использование насосов с заданными напорно-расходными характеристиками), реализацией более точных моделей распределения расходов в разветвлённых участках, интеграцией с геоинформационными системами, а также созданием пользовательских графических интерфейсов для интерактивного проектирования и оценки вариантов НРС.

Репозиторий библиотеки и примеры использования доступны по адресу:
https://github.com/Obsidian-pb/NRS_modeller

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ опыта применения насосно-рукавных систем на территории Сибирского федерального округа / А.Н. Батуро, Н.В.Мартинovich, О.С. Малютин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 3(18). С. 42-46. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.007. EDN WNNBMC.

2. Теребнев, В.В. Анализ пожарных стволов нового поколения / В.В. Теребнев, С.Г.Казанцев, М.В.Богомолов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20, № 3. С. 52-56. EDN OFXCGJ.

3. Брусаянин, Д.В. Формирование обобщенного комплексного показателя ручных пожарных стволов, применяемых для тушения пожаров на территории Российской Федерации / Д.В.Брусаянин, В.Р.Новиков, М.С. Бесков // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4(64). С. 139-146. EDN BVNVNE.

4. Поддержка принятия управленческих решений выбора оптимального расхода огнетушащих веществ на месте пожара / А.В.Ермилов, С.Н. Никишов, А.В.Кузнецов, Д.А.Тарасова // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3(52). С. 122-129. EDN CKFKUU.

5. Малютин, О.С. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике / О.С.Малютин, С.А.Васильев // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2018. № 4(11). С. 67-72. EDN YRSCPJ.

6. Малютин, О.С. Прямой и обратный методы расчёта насосно-рукавных систем / О.С.Малютин, С.А.Васильев, П.А.Осавелюк // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 3(14). С. 54-60. EDN ABAOHY.

7. Малютин, О.С. Компьютерное моделирование сложных насосно-рукавных систем / О.С.Малютин // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : Сборник статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 26 октября 2018 года. Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2018. С. 68-75. EDN YZTLAT.

8. Малютин, О.С. Определение расчетных значений расхода воды из современных универсальных ручных пожарных стволов с кольцевыми распыляющими насадками / О.С.Малютин // Техносферная безопасность. 2017. № 3(16). С. 42-56. EDN ZIBHSP.

9. Гамма Э., Хелм R, Джонсон Р., Влссидес Дж. Паттерны объектно-ориентированного проектирования // СПб.: Питер, 2020. 448 с.: ил. (Серия «Библиотека программиста»).

10. Куртов, С.О. Результаты экспериментальных исследований максимальной пропускной способности напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов / С.О.Куртов // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Материалы научно-практической конференции, Красноярск, 24-26 октября 2024 года. Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2025. С. 314-316.

11. Ольховский, И.А. Технология применения рукавных систем с пропускной способностью более 100 л/с для тушения пожаров на объектах энергетики: специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ольховский Иван Александрович. Москва, 2014.

12. Выявление фактической пропускной способности пожарных рукавов эмпирическим методом / П.В.Арканов, О.И.Степанов, В.Л.Лемеш, А.Н. Савушкин // Техносферная безопасность. 2014. № 2(3). С. 2-7.

13. Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов / О.Д. Навроцкий, Р.Н.Михалев, А.В.Грачулин [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6, № 1. С. 74-83. DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.74.

UDC 631.6.626.001.2

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE STABILITY OF RETAINING WALLS

M.R.Babayev

Azerbaijan University of Architecture and Construction

ORCID: 0009.0006.6892.9942

e-mail: meybulla.babayev@gmail.com

Abstract. Retaining walls are important retaining structures constructed to prevent soil failures that may be caused by sudden slope changes. Today, reinforced concrete cantilever walls, soil-reinforced walls with geogrid or metal strip reinforcement, and economical stone walls up to certain heights are commonly used. Since soil-wall interaction is complex, the correct design of retaining walls is of great importance. Static soil pressures acting on walls are examined in quiescent, active, and passive states, depending on the wall's movement, soil properties, and deformation behavior. Certain displacements are necessary for active and passive soil pressures to occur, and these values vary depending on the soil type. Coulomb and Rankine theories are fundamental approaches in calculating static soil pressures, with Rankine theory, in particular, determining active and passive soil pressure coefficients with homogeneous, isotropic, and planar surface soil assumptions. Developed for cohesive and cohesive soils, this theory allows for the calculation of lateral soil pressures by considering parameters such as the effect of the slope behind the wall, friction

angle, cohesion, and soil unit weight. This study explains in detail the static soil pressures acting on retaining walls, the conditions under which active and passive states occur, and the fundamental principles of Rankine's theory.

Keywords: retaining walls, acting force, sliding surface.

Introduction. Retaining walls are structures built to prevent the collapse of soils with sudden slope changes. Retaining walls have many applications today. The wide range of uses makes the correct selection and design of retaining walls even more important. While there are many types of retaining walls, the most preferred today are reinforced concrete cantilever retaining walls and, especially in recent years, reinforced and earth-reinforced retaining walls created using geogrid/metal strips, which have rapidly increased in use. Another commonly used type of retaining wall is stone walls. The inability of stone walls to provide economical and feasible solutions beyond a certain height has led to the widespread use of reinforced concrete cantilever and reinforced concrete ribbed retaining walls. With the development of the textile industry and the use of woven/non-woven materials from the textile industry in the construction sector, geosynthetic reinforced retaining walls have rapidly become widespread. This article describes the properties of retaining walls in detail.

Static Pressures Acting on Retaining Walls in Non-Earthquake Conditions.

The static soil pressures acting on the wall are affected by the movements of the wall and the soil. When the wall moves slightly outwards due to soil thrust, a stress reduction will begin in the soil stresses at rest. After this reduction exceeds a certain limit, the soil equilibrium will be disrupted, and a slip surface will form. A soil wedge will emerge, attempting to move outwards along the slip surface. In this case, the pressure exerted by the wedge on the wall is called the active soil pressure. A very small movement of the wall is sufficient for this pressure to occur; rotational and shear movements in the wall create lateral strain in the form of

elongation in the soil. Therefore, retaining walls are generally designed according to the minimum active soil pressure (figure 1. a-b).

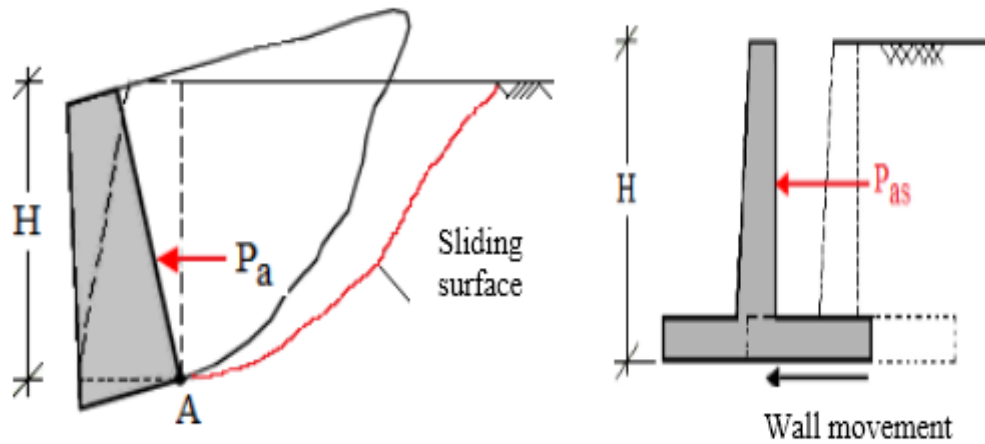


Figure 1. Wall movements caused by active soil pressure.

a) Wall movement occurring in the form of rotation. b) Wall movement occurring in the form of sliding.

When the wall moves slightly towards the ground, an increase in resting soil stresses occurs. After this increase exceeds a certain limit, heaving and subsequent disruption of soil stability lead to the formation of slip surfaces. The pressure exerted by the wedge on the wall when it moves towards the ground behind it is called passive soil pressure. Passive soil pressures developing as the retaining wall moves towards the ground cause lateral strain in the soil in the form of compression. If the wall movement is sufficient, it acts upon maximum passive soil pressures.

For active and passive pressures to occur, a certain displacement must be exceeded. The relationship between the required displacement amount and wall height (H) for cohesive and non-cohesive soils is given in table 1.

Table 1. Displacement ratios required for active and passive states to occur (Coduto, D, P., 200)

Required displacements		
Ground	Type Active state	Passive state
Compact sand	0,001 H	0,020 H
Loose sand	0,004 H	0,060 H
Hard clay	0,010 H	0,020 H
Soft clay	0,020 H	0,040 H

The value of passive soil pressure (K_p) is greater than the value of active soil pressure. Accordingly, the inequality $K_a < K_0 < K_p$ is valid for soil pressure coefficients [2]. The formation of active and passive pressure according to wall movement is shown in figure 2.

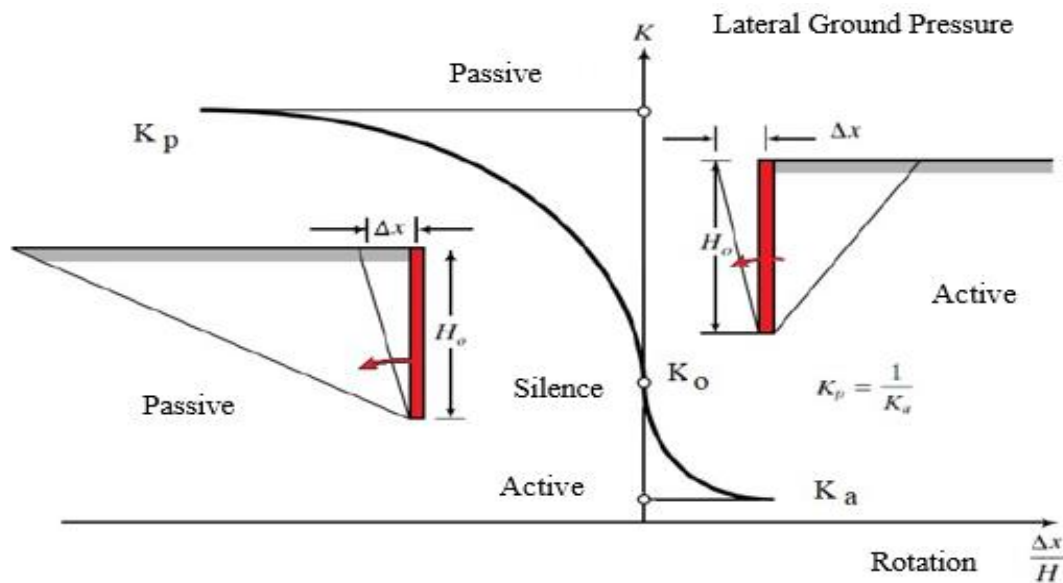


Figure 2. Active and passive thrust according to wall movement.

The forces and displacements acting on retaining walls create a complex soil-structure interaction problem. Displacements are often not used directly in design. Generally, the forces acting on the retaining wall are calculated, and the wall is designed to resist these calculated forces with a safety factor, provided that the displacements remain within allowable limits. Studies on the calculation of static soil pressures were conducted by Coulomb (1776) and Rankine (1857).

These two theories are valid methods for calculating static pressures acting on retaining walls.

Rankine's Theory.

In Rankine's Theory, when plastic equilibrium is reached, the soil pressure problem is solved with the following assumptions:

1. The soil is homogeneous and isotropic.
2. The shear surface is assumed to be planar.
3. The ground surface is assumed to be planar.
4. The wall is of infinite length and the problem can be solved planarly.
5. The wall moves enough for active and passive stresses to occur.

6. The resultant force consisting of normal and shear stresses acting on the wall acts parallel to the slope of the fill.

- Except for assumption 4, it is assumed that the other 5 assumptions do not conform to reality. It is accepted for the general solution because it does not cause large errors in terms of facilitating calculations.

- Even if the soil is homogeneous, it is not isotropic. Since the fill placed behind the retaining wall is often compacted, it exhibits anisotropic properties. This anisotropy is a natural property of the fill.

- The planar nature of the shear surface is not valid for many soils. Because the slip surface is close to a parabola. The planarity of the ground surface is created by two or more fractures for architectural reasons, so the Rankine solution is usually invalid.

- The assumption that there is no friction between the wall and the ground ($\delta=0$) is the weakest aspect of the Rankine theory. For example, if the back of a concrete wall with an inclined ridge is filled with sand, the friction angle between the wall and the ground reaches significant values [3].

Rankine's theory was developed for cohesionless soils and has been generalized to cohesive soils, layered soils, groundwater, uniformly distributed

loads, etc. In a semi-infinite medium, under two-dimensional conditions, shear stresses are zero in an element of depth z under horizontal and vertical loads, and principal stresses act on the element (figure 3).

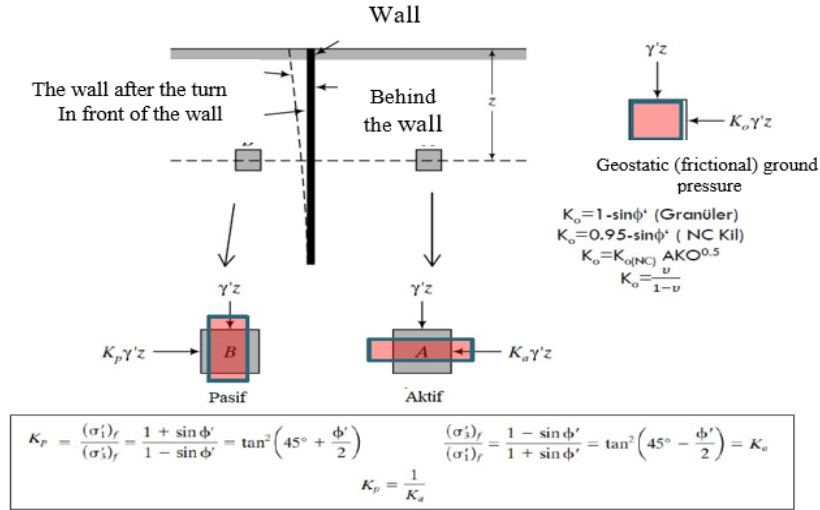


Figure 3. An element of depth z in two-dimensional conditions [4].

According to Rankine's Theory, in a semi-infinite medium, considering the horizontal displacements of soils, a state of rest (elastic equilibrium) and a state of plastic equilibrium (active and passive states) occur.

The state of rest (elastic equilibrium) is the lateral pressure acting on a retaining wall when there is no displacement in the soil medium. This pressure is called the soil pressure at rest, and the state of rest is calculated using Equation 1.

$$\sigma_0 = \sigma_y = K_0 \times \sigma_d \quad (1)$$

Here;

- σ_0 : Horizontal soil pressure at rest;
- σ_d : Vertical stress;
- K_0 : Coefficient of soil pressure at rest.

Commonly used relationships in practice are given in table 2. Some K_0 values depending on the soil type are given in table 2.

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \text{ or } K_0 = \nu / (1 - \nu) \quad (2)$$

- K_0 : Coefficient of soil pressure at rest;
- ϕ' : Effective shear resistance angle;
- ν : Poisson ratio of the soil.

Table 2. Typical K_0 values according to soil type (Uzuner, 2007)

Soil Type	K_0
Loose sand	0,4
Compact sand	0,6
Soft clay	0,6
Hard clay	0,5

Plastic Equilibrium State: In a soil environment, a plastic state occurs when the soil undergoes lateral deformation (compression or expansion).

Rankine Theory in Cohesionless Soils.

Active Rankine State: If the soil is subjected to lateral expansion, the lateral pressures acting on the retaining structure are called active pressures; this state is called the active state. An active state occurs behind the wall when the wall is rotated or moved forward, and active lateral soil pressure acts on the wall (figure 4).

The distribution of active lateral soil pressure increases linearly with depth. In Rankine theory, it is assumed that there is no friction between the wall back and the soil, and that the wall back surface is smooth. While this assumption greatly simplifies the calculation of lateral soil pressures, it should not be overlooked that some friction actually occurs.

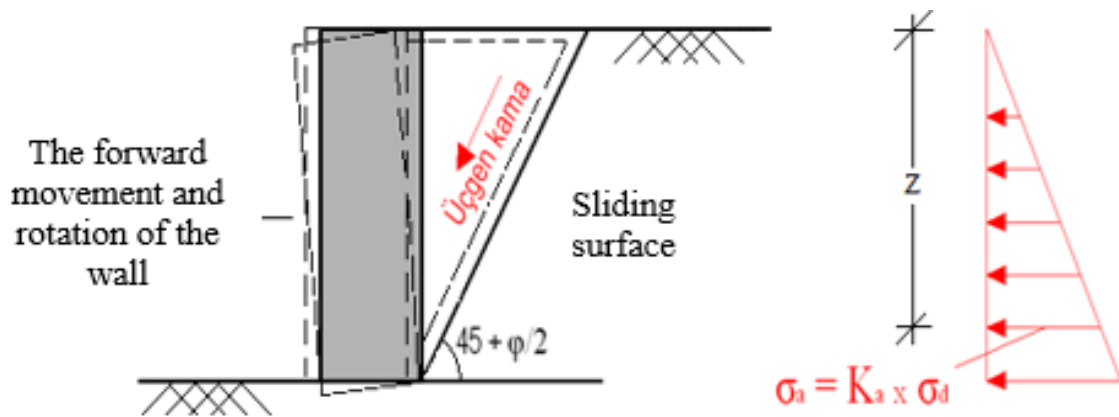


Figure 4. Active state behind retaining wall in cohesionless soil.

In the active state, the following relationships exist between horizontal and vertical stresses:

$$\sigma_a = K_a \times \sigma_d = K_a \times \gamma_n \times z \quad (3)$$

$$K_a = \tan^2 [45 - (\phi/2)] \quad (4)$$

- K_a : Active ground pressure coefficient;
- σ_a : Active lateral ground pressure;
- σ_d : Vertical stress;
- ϕ : Internal friction angle.

Passive condition (passive Rankine condition): If the soil is subjected to lateral compression towards the backfill, the lateral pressures acting on the retaining structures are called passive pressures, and this condition is called the passive condition.

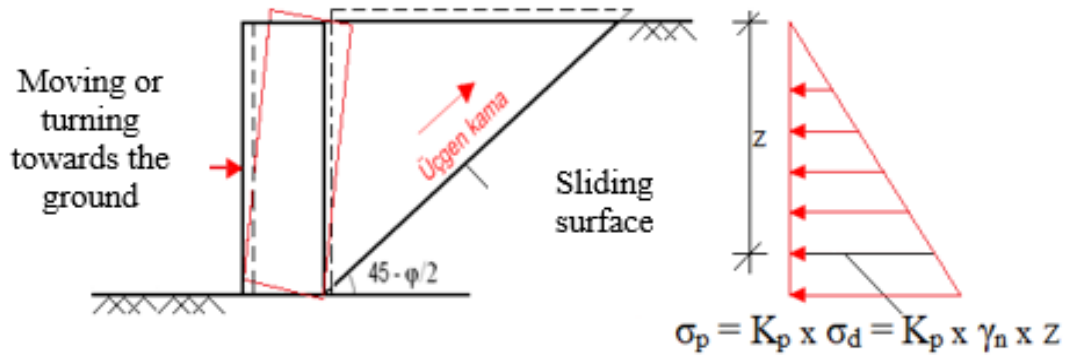


Figure 5. Passive condition behind a retaining wall in cohesionless soil.

When the retaining wall moves or rotates towards the backfill, a passive condition is created behind the wall, and passive lateral soil pressure acts on the wall. The distribution of passive lateral soil pressure increases linearly with depth. In the passive condition, the following relationships exist between horizontal and vertical stresses.

$$\sigma_p = K_p \times \sigma_d = K_p \times \gamma_n \times z \quad (3.5)$$

$$K_p = \tan^2 [45 + (\phi/2)] \quad (3.6)$$

- K_p : Passive ground pressure coefficient;
- σ_p : Passive lateral ground pressure.

According to Rankine theory, the active lateral soil pressure acting on a retaining wall in a general soil, i.e., a cohesive soil ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$), is given in figure 6.

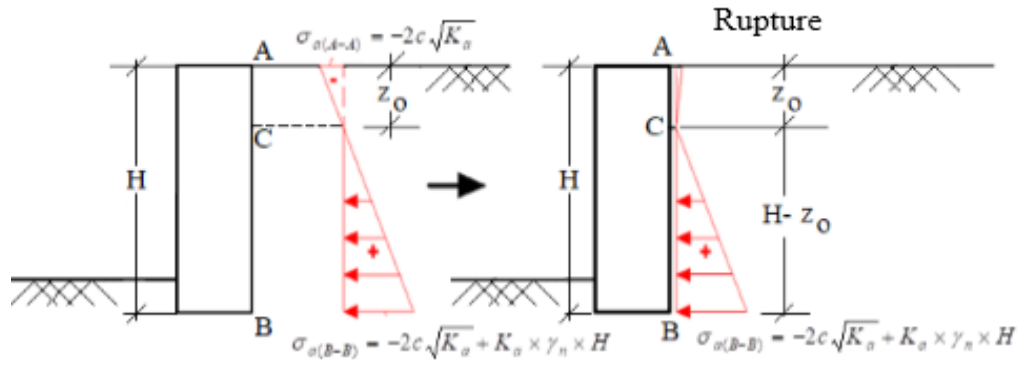


Figure 6. Active condition behind retaining wall in cohesive soil.

In Figure 6, tensile stress (-) occurs in the soil at depth AC. In practice, since the soil does not experience tensile stress, no lateral soil pressure occurs behind the wall along the AC depth.

$$\sigma_{a(A-A)} = -2c\sqrt{K_a} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{a(B-B)} = -2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma_n \times H \quad (3.8)$$

$$-2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma_n \times z_0 = 0 \Rightarrow z_0 = \frac{2c\sqrt{K_a}}{K_a \times \gamma_n} \quad (3.9)$$

In a general soil type, i.e., a cohesive soil ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$), the passive lateral soil pressure acting on a retaining wall according to Rankine theory is shown in figure 7.

$$\sigma_{P(A-A)} = 2c\sqrt{K_p} \quad (10)$$

$$\sigma_{P(B-B)} = 2c\sqrt{K_p} + K_p \times \gamma_n \times H \quad (11)$$

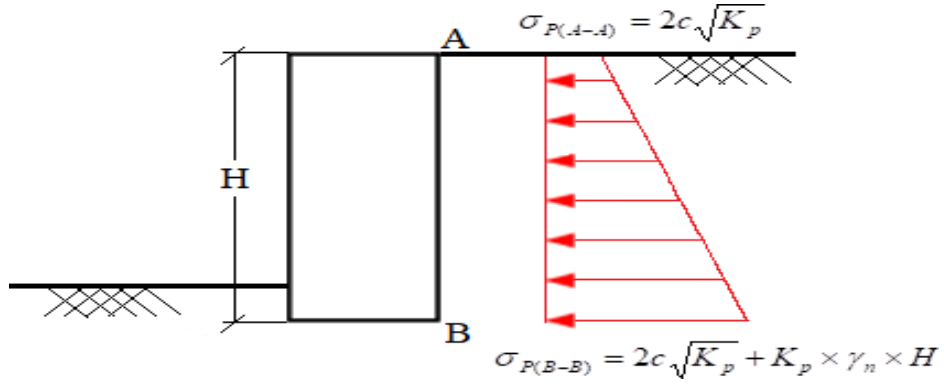


Figure 7. Passive condition behind a retaining wall in cohesive soil.

The equation (4) giving the active lateral soil pressure coefficient K_a and the equation (6) giving the passive lateral soil pressure coefficient K_p , as defined in Rankine's Theory, are valid when the backfill of the retaining wall is horizontal. If the fill makes an angle β with the horizontal, K_a and K_p are calculated using the following equations (12 and 13) (figure 8).

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (12)$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \quad (13)$$

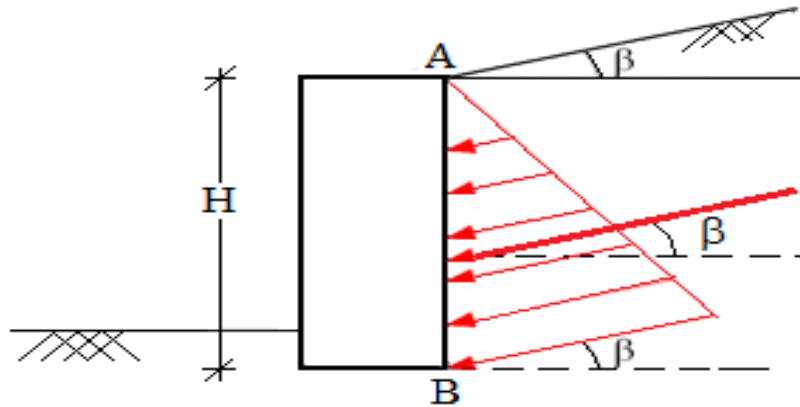


Figure 8. Case of backfill making an angle with the horizontal in cohesive soil.

The minimum shear and rotation amounts required for active pressure to occur in retaining walls are given in table 3.

Table 3. Minimum shear and rotation amounts creating active pressure in retaining walls [5].

Soil Type	Sliding	Rotation
Sand	(0,001-0,002)H	0,001
Hard clay	(0,01-0,02)H	0,004
Soft clay	(0,02-0,05)H	0,004

Conclusion. The risk-free development of retaining walls depends on the correct assessment of the soil-wall interaction. As a result of the movement of the wall, calm, active and passive states arise in the ground, and depending on the soil type, the changes in the soil necessary for the formation of these states occur. It changes. Although Rankine's theory is based on simplified assumptions, it is widely applied in the calculation of active and passive soil pressures for both cohesive and non-cohesive soils.

As a result, the correct determination of soil parameters, consideration of the effect of wall movement and the selection of an appropriate soil pressure theory ensure the durability of retaining walls. These are the main conditions.

REFERENCES

1. Aydoğdu, İ., 2017, Comparison of metaheuristics on multi objective (cost&c0 2) optimization of rc cantilever retaining walls, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 23 (3)
2. Das, M.R., Purohit, S. ve Das, S.K., 2016, Multi-objective optimization of reinforced cement concrete retaining wall, Indian Geotechnical Journal, 46 (4), 354-368

3. Gandomi, A., Kashani, A. ve Zeighami, F., 2017, Retaining wall optimization using interior search algorithm with different bound constraint handling, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 41 (11), 1304-1331

4. Kaveh, A., Kalateh-Ahani, M. ve Fahimi-Farzam, M., 2013, Constructability optimal design of reinforced concrete retaining walls using a multi-objective genetic algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 47 (2), 227-245.

5. Siddharthan, R., Ara, S. ve Norris, G.M., 1992, Simple rigid plastic model for seismic tilting of rigid walls, *Journal of Structural Engineering*, 118 (2), 469-487

6. Mammadov K.M, Musayev Z.S, Mahmudov T.M, Mursalov A.A Study of slope stability issues Baku 2006

7. Kaveh A., Biabani Hamedani K., Bakhshpoori T. Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls Utilizing Eleven Meta-Heuristic Algorithms: A Comparative Study// *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2020. Vol. 64, № 1. P. 156-168. <https://doi.org/10.3311/PPci.15217>

8. Jivankar H., Mahule N., Jichkar R., Dahiwal V., Dabhekar K., Khedikar I., Agrawa R. Comparative Analysis of Cantilever Retaining Wall and Retaining Wall with Relieving Platform // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 822. Art.012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/822/1/012027>

9. Kaveh A., Akbari H., Hosseini S.M. Plasma Generation Optimization for Optimal Design of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall Structures // *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction of Civil Engineering*. 2022. Vol. 46. P. 1177-1200. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00566-87>

10. Results of complex geotechnical research of soil samples taken from the area between I.Gutgashinli Street and H.Seyidbeyli Street in Baku in 2005. *Intepe MTK* 17.03.2005 No. 48 and 28.03.2005 No. 51 Baku city

11. Qiang Liu, Bin Zhang, Aiping Tang., Landslide risk of regional roads: Consider the road mileage of expected losses. Transportation Research Part D: Transport and Environment. sciencedirect.com., Vol. 120, July 2023, 103771. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103771>

12. Gasanov E.E., Babayev M.R., Calculation of gabion-type retaining walls used in hydraulic engineering and road construction // Ecology and water management, ISSN 2518.1513, No. 5 2025, pp. 43-47. Baku, <https://doi.org/10.58225.2-102-111>.

13. Gasanov E.E., Akperov A.Kh., Verification of stability conditions of a free-standing pile support and a drill pipe under wave action in a marine environment // Ecology and water management, ISSN 2518.1513, No. 1 2026, pp. 102-109. Baku, <https://doi.org/10.58225.2-102-111>

UDC 519.87:504.4:622.692.4:620.193

MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF ECOLOGICAL RISKS ARISING IN WATER AS A RESULT OF CORROSION OF OIL PIPELINES IN THE ABSHERON PENINSULA.

Abdullayeva Nuriyye Zilimkhan daughter, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azerbaijan Technical University, Associate Professor of the Department of Chemical Technology, Recycling and Ecology, abdullayevanuriyye@aztu.edu.az

Gunay Aliyeva Safi daughter, PhD student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Lecturer of the Department of Emergency Situations and Life Safety, gunayabbaszade5@gmail.com

AÇAR SÖZLƏR: adveksiya, axın sürəti, diffuziya, radiasiya, reqresiya

KEYWORDS: advection, flow velocity, diffusion, radiation, regression

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: адвекция, скорость потока, диффузия, излучение, регрессия

SUMMARY

The article considers the issue of mathematical modeling of water pollution risks during oil production on the Absheron Peninsula. During oil production in the Absheron region, the water flow rate directly affects the spread of the risk of poisoning. As a result of the study, it was found that a fast flow can cause pollution over a wider area, but the decomposition process can reduce this effect. Models of

this type are important for environmental control and forecasting. Regression equations are presented that can be used to assess the impact of advection and diffusion processes on the spread of poisoning in water. These equations are empirically and analytically constructed based on simulation results. The simulation showed that the flow rate is one of the main factors in the spread of poisoning in water. A multi-component regression model can be used as an effective tool to predict this relationship. A multi-component regression model allows us to quantitatively explain how the process of poisoning in water depends on various parameters and to make predictions with these models in the future. The model shows that solar radiation plays an important role in increasing the level of environmental toxicity. This effect can be stronger, especially at noon and in open air conditions. This model can be used for ecological forecasts and risk assessment.

Introduction

The Absheron Peninsula, along with its rich oil reserves, is one of the areas exposed to high anthropogenic impact. During the oil production process, oil leakage into the aquatic environment causes damage to flora and fauna, deterioration of water quality, and environmental pollution with toxic substances. Therefore, the use of mathematical models for the preliminary assessment and prediction of ecological risks is of great importance.

The process of spreading oil in a water basin during an oil spill mainly depends on the following factors:

- Physical properties of oil (viscosity, density, etc.)
- Water flow velocity
- Diffusion and advection process
- Temperature and wind direction

Taking into account these parameters, mathematical expressions modeling the

spread of oil in water are established.

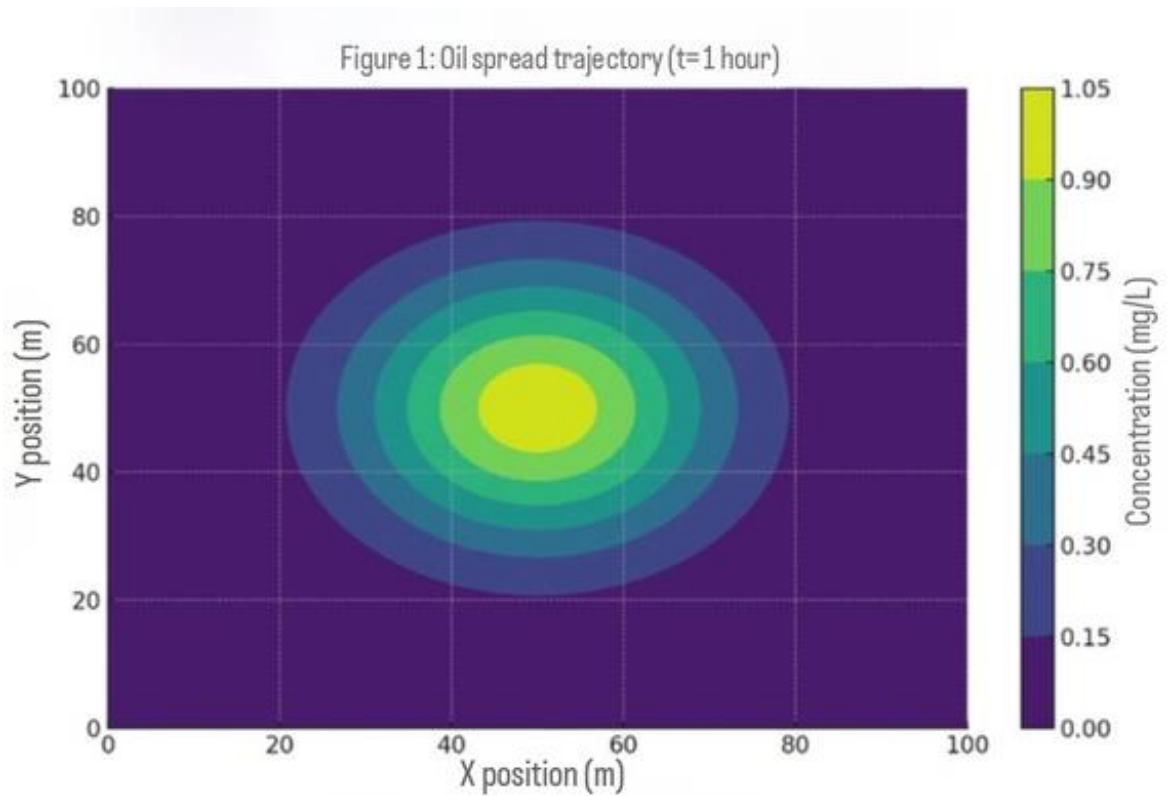
The two-dimensional advection-diffusion equation is used to describe the dispersion of oil in the aquatic environment:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \lambda C \quad (1)$$

where:

- $C(x, y, t)$ – concentration of oil in space over time (mg/L),
- u, v – velocities of water in the corresponding x and y directions (m/s),
- D_x, D_y – diffusion coefficients (m²/s),
- λ – oil degradation coefficient

Analysis shows that as the water flow rate increases, oil spreads faster, but its concentration decreases. In cases where the diffusion coefficient is large, the oil slick spreads over a wider area. When the degradation coefficient increases, the amount of oil remaining in the water begins to decrease over time. Mathematical modeling and simulation are effective tools for assessing environmental risks arising in the aquatic environment during oil production on the Absheron Peninsula. The model can be applied for predicting and monitoring harmful impacts on nature.)



Oil and other pollutants leaking into water bodies during oil production on the Absheron Peninsula pose a serious threat to the ecosystem. The aim of this study is to investigate the effect of water flow velocity on the spread and decomposition of toxic substances and to present this process with a mathematical model and simulation.

The model is based on the advection-diffusion-decomposition differential equation:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - kC$$

(2)Where:

$C(x,t)$ – concentration,

v – water flow velocity (m/s),

D – diffusion coefficient (m²/s),

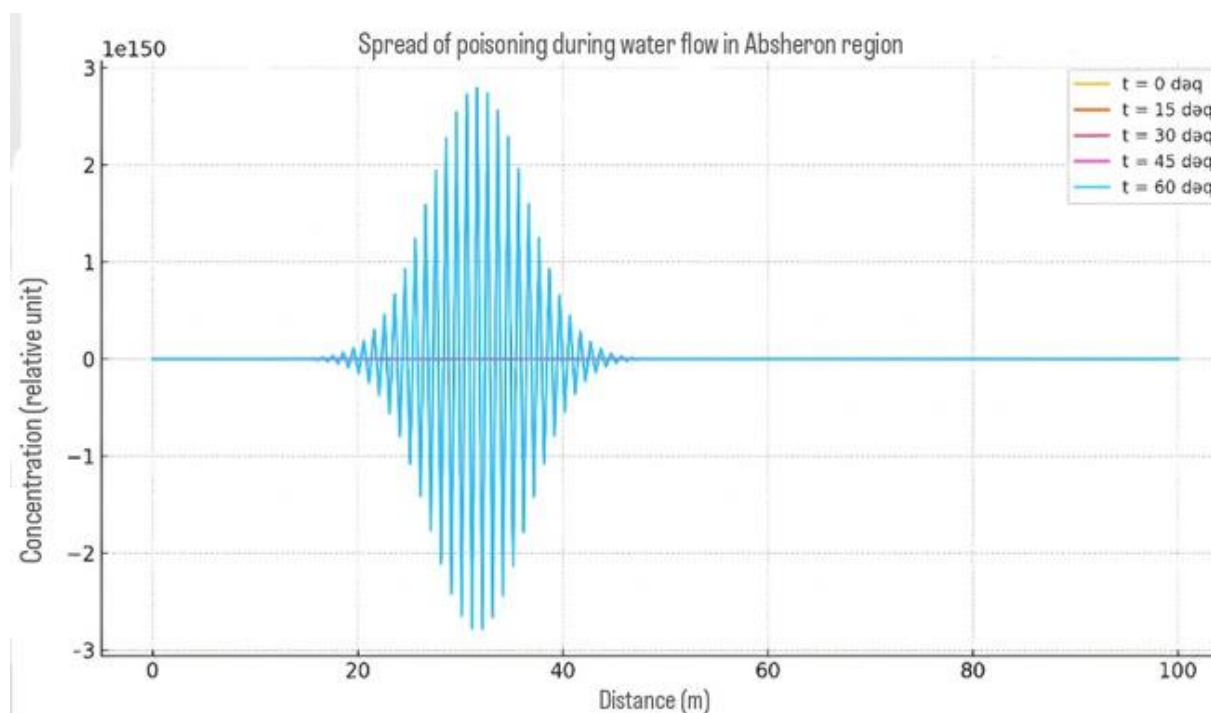
k – decomposition coefficient (1/s)

The model was simulated with the following parameters:

- Flow velocity (v): 0.05 m/s
- Diffusion coefficient (D): 0.01 m²/s
- Disintegration coefficient (k): 0.02 1/s
- Distance: 100 m
- Simulation time: 1 hour (3600 s)

The graph below depicts the spatial concentration level of the toxic substance at different time points (0, 15, 30, 45, 60 minutes). It is shown that although the flow carries the substance far, the decomposition process gradually reduces its amount.

FIGURE 2. Spread of poisoning during water flow in the Absheron region



Model and simulation show that the water flow rate during oil production in the Absheron region directly affects the spread of the risk of poisoning. Fast flow can cause pollution over a wider area, but the decomposition process can reduce this

effect. Models of this type are important for environmental monitoring and forecasting. [1]

This section presents regression equations that can be used to assess the impact of advection and diffusion processes on the spread of poisoning in water. These equations are established empirically and analytically based on simulation results. The presented regression equations can be used to assess the impact of diffusion and advection processes on the spread of toxic substances and to build simplified forecast models. Each equation should be calibrated according to specific site conditions.

In this section, a simulation of the concentration of poisoning in water depending on distance and water flow rate was carried out based on a multi-component regression model. The model was built based on the following parameters.

Regression Equation

$$C = 1.2 - 3.1 \cdot v + 2.8 \cdot D - 4.5 \cdot k - 0.0003 \cdot t - 0.02 \cdot x \quad (3)$$

Where:

- v – water flow velocity (m/s)
- D – diffusion coefficient (m²/s)
- k – partition coefficient (1/s)
- t – time (s)
- x – distance (m)

Simulation Parameters

- $D = 0.015$ m²/s
- $k = 0.02$ 1/s
- $t = 1800$ s (30 minutes)
- $v = [0.02, 0.04, 0.06]$ m/s (three different cases)
- $x \in [0, 100]$

Simulation Graph

The graph below shows the variation of concentration with distance for different flow velocities. As speed increases, the concentration of the toxic substance decreases, although it is transported over a greater distance. [2]

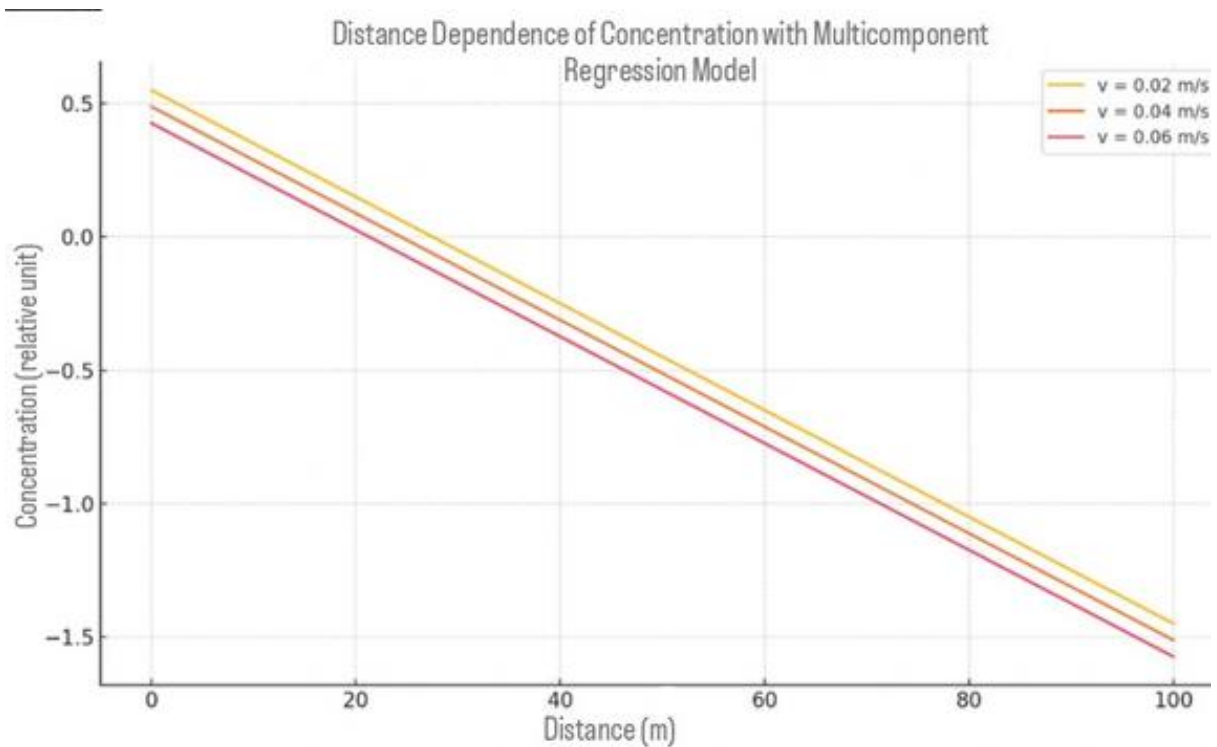


FIGURE 3. Dispersion concentration of oil in water.

The simulation showed that flow velocity is one of the main factors in the spread of waterborne contamination. A multi-component regression model can be used as an effective tool to predict this relationship. Multi-Component Regression Model: Toxic Concentration in Water

This model describes the dependence of the toxic concentration in water on factors such as water flow, diffusion, decomposition, time and distance using the Multiple Linear Regression method

The general regression equation is as follows:

$$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot v + \beta_2 \cdot D + \beta_3 \cdot k + \beta_4 \cdot t + \beta_5 \cdot x + \varepsilon \quad (4)$$

Where:

- C – Concentration
- v – Flow velocity (m/s)

- D – Diffusion coefficient (m²/s)
- k – Disintegration coefficient (1/s)
- t – Time (s)
- x – Distance (m)
- ε – Error (model residual)

Exemplary regression equation based on simulation and analysis results:

$$C = 1.2 - 3.1 \cdot v + 2.8 \cdot D - 4.5 \cdot k - 0.0003 \cdot t - 0.02 \cdot x \quad (5)$$

Example of Use

For example, if:

- $v = 0.05$
- $D = 0.01$
- $k = 0.02$
- $t = 1800 \text{ s}$
- $x = 40 \text{ m}$

Then:

$$C \approx 1.2 - 3.1 \cdot 0.05 + 2.8 \cdot 0.01 - 4.5 \cdot 0.02 - 0.0003 \cdot 1800 - 0.02 \cdot 40 \approx 0.088$$

The multi-component regression model allows us to quantitatively explain how the process of poisoning in water depends on various parameters and to make predictions with these models in the future.

Modeling and simulation of the effect of solar radiation on the concentration of poisoning is one of the important factors. An increase in radiation energy accelerates the evaporation and diffusion of toxic substances. This effect was evaluated together with temperature and wind. [3]

Mathematical Model

$$C = a \cdot T + b \cdot W + c \cdot R + d \quad (5)$$

Where:

- C – Concentration (relative unit)
- T – Temperature (°C)
- W – Wind speed (m/s)
- R – Solar radiation (W/m²)
- a = 0.01, b = -0.05, c = 0.0004, d = 0.4

Simulation Parameters

- Temperature: 30°C (fixed)
- Wind speed: 2.0 m/s (fixed)
- Solar radiation: 100 – 1000 W/m²

Simulation Graph

The graph below shows the effect of solar radiation on concentration. The graph shows that as radiation increases, the evaporation and presence of toxic substances in the air increases.

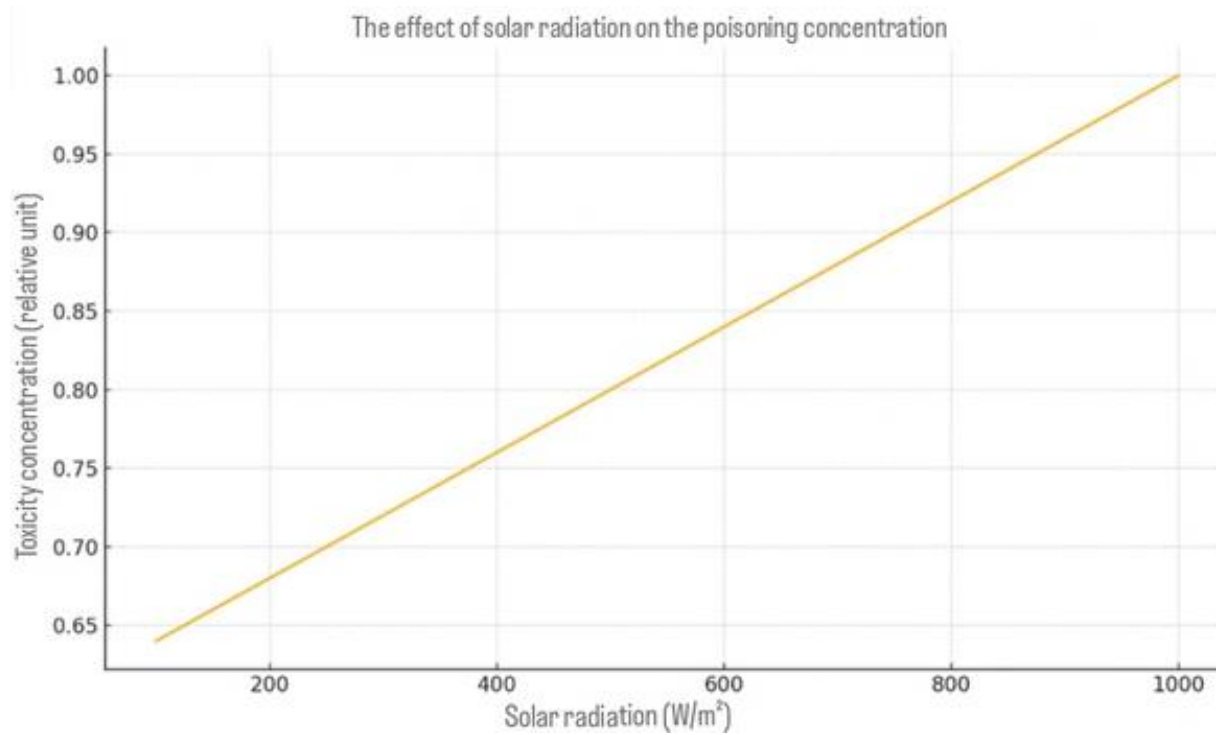


Figure 4. Effect of solar radiation on poisoning concentration

The model shows that solar radiation plays a significant role in increasing the level of toxicity in the environment. This effect may be particularly strong during the midday hours and in open weather conditions. This model can be used for ecological predictions and risk assessment. [4]

H (%)	v (m/s)	D (m ² /s)	C (nisbi)
49.96	0.0567	0.0068	0.0115
96.06	0.0284	0.0124	-0.0457
78.56	0.0375	0.0055	-0.0463
67.89	0.0420	0.0186	0.0460
32.48	0.0474	0.0089	0.0506
32.48	0.0671	0.0149	0.0841
24.65	0.0320	0.0097	0.0554
89.29	0.0509	0.0128	-0.0163
68.09	0.0555	0.0132	0.0194
76.65	0.0228	0.0078	-0.0371
21.65	0.0565	0.0195	0.1299

97.59	0.0302	0.0166	-0.0174
86.60	0.0239	0.0191	-0.0019
36.99	0.0769	0.0184	0.1089
34.55	0.0779	0.0140	0.0942
34.67	0.0685	0.0188	0.1150
44.34	0.0383	0.0063	0.0095
61.98	0.0259	0.0079	-0.0161
54.56	0.0611	0.0057	0.0038
43.30	0.0464	0.0099	0.0310

Calibrated Regression Model with Artificial Real Data

Calibrated Regression Equation

$$C = 0.0216 + -0.0016 \cdot H + +0.5920 \cdot v + +5.4437 \cdot D \quad (6)$$

The model built based on the above artificial real data reflects the effect of humidity, flow rate and diffusion coefficient on water toxicity. [5]

Component	Concentration (%)	Function
Cationic surfactant (amine-oxide based)	3–5%	Turns oil droplets into microemulsions
Oxidizing complex (potassium peroxymonosulfate + Fe^{3+})	5–7%	Breaks down the C-H bonds of oil
Silica-nanocomposite adsorbent	5–10%	It captures oil particles in the form of emulsion and separates them from water.
Ascorbate buffer	1–2%	Reaction control and protection of aquatic microflora
Chitosan micronized	1–2%	Flocculation and sedimentation of biologically incompatible substances
Citrus bioenzyme blend	0.5–1%	Bioactive transformation of fractionated petroleum components
Distilled water	Residue	Carrier phase of matter

Mechanism of Action [6]

- Surfactant transforms oil droplets dispersed in water into a micron-sized emulsion.
- Oxidizing complex neutralizes toxins by breaking down the carbon-hydrogen bonds of oil.
- Silica adsorbent separates oil fragments from water by attracting them.
- Chitosan and ascorbate together stabilize water biologically and physically.
- Citrus enzymes degrade the broken molecules to carbon dioxide and water.

4. Economic Efficiency (per 1 m³ of water)

Component	Quantity (approximate)	Price (AZN)
Surfactant	30 ml	2.5
Oxidizing complex	50 q	3.0
Silica adsorbent	100 q	2.5
Chitosan	10 q	1.0
Ascorbate buffer	5 q	0.5
Enzymes	2 ml	0.7
Operation and carrier water	—	1.5

TOTAL: ~11.7 AZN / 1 m³ water

5. Advantages

- 90–95% removal of 100–300 ppm oil in 1000 liters (1 m³) of water.
- Biologically compatible and maintains the pH balance of the water.
- Multi-component system provides both physical, chemical and biological treatment. [7]

40–60% more efficient than traditional coagulants and filtration systems

AQUA-PETRO-CLEAN X7 Preparation Costs

This document presents the components, quantities and approximate costs required to prepare 1 liter of AQUA-PETRO-CLEAN X7 chemical. This quantity is sufficient to treat 1 m³ (1000 liters) of oil-contaminated water. [8]

1. Preparation Costs Table [9], [10]

Component	Quantity	Price (AZN)	Note
Cationic surfactant (amine-oxide based)	30 ml	2.50	For microemulsion and dispersion
Oxidizing complex (KHSO ₅ + Fe ³⁺)	50 q	3.00	For the breakdown of oil molecules
Silica-nanocomposite adsorbent	100 q	2.50	Capture of emulsion particles
Chitosan (micronized)	10 q	1.00	Flocculation and sedimentation

Ascorbate buffer	5 q	0.50	Redox balancing
Citrus bioenzyme blend	2 ml	0.70	Enzymatic bio-degradation
Distilled water	900 ml	0.50	Carrier medium
Ultrasonic Dispersion and Packaging	1 doza	1.50	Energy and container costs

Results

1. During oil production in the Absheron region, the water flow rate directly affects the spread of the risk of poisoning. Fast flow can cause pollution over a wider area, but the decomposition process can reduce this effect. Models of this type are important for environmental monitoring and forecasting.
2. Regression equations are presented that can be used to assess the impact of advection and diffusion processes on the spread of poisoning in water. These equations are empirically and analytically constructed based on simulation results.
3. A multi-component regression model has been developed to quantitatively explain how the process of poisoning in water depends on various parameters.
4. Solar radiation plays an important role in increasing the level of poisoning in the environment. This effect can be stronger, especially at noon and in open air conditions. This model can be used for ecological forecasts and risk assessment.

Literature

1. Analysis of pollution by aerospace methods [1]

Explanation: Assessment of oil-polluted areas on the Absheron Peninsula using satellite images.

Link: <https://aem.az/uploads/posts/2025/06/Elmi%20T%C9%99dqiqa%205.5.5-193-199.pdf>

2. Oil residues and their impact on water quality (BIO Web of Conferences, 2025)
[2]

Explanation: Analysis of PAH and heavy metals in water and soil in the Bibiheybat, Balakhani and Surakhani areas.

Link: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2025/02/bioconf_mblc2024_01014.pdf

3. TPH and heavy metal research by soil and water microbiology

Explanation: Results of TPH and microbiological analysis in the Absheron area.

Link: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejss/issue/85002/1531959>

4. Monitoring with SENTINEL-2 and LANDSAT-8

Description: Monitoring the level of water and soil pollution with satellite images.

Link: https://www.elibrary.az/docs/qazet/qzt2024_3873.pdf

5. Ecological and geodesic related field observations

Description: Analysis of field deformations and pollution during oil production.

Link: <https://www.ekosu.az/uploads/2024/10/n-4-2024.pdf>

6. Hydrogeological pollution of soil-solution products

Description: Pollution of produced waters and oil waters through artificial ponds.

Link: https://www.elibrary.az/docs/qazet/qzt2024_3873.pdf

7. Ecological status of Lake Boyukshor

Explanation: Pollution of the lake with phenol and hydrocarbons and its impact on water quality.

Link: https://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Boyukshor

8. Ecological monitoring and reclamation methods

Explanation: Methods for cleaning soil and water in oil-polluted areas.

Link: https://aak.gov.az/upload/dissertasion/tex/tex_n_mnt_17_04_14.pdf

9. Ecological restoration and management strategies

Explanation: Measures for the protection and restoration of water resources from pollution.

Link: https://unec.edu.az/application/uploads/2016/07/Rovs_n-dissertasiya.pdf

10. Analysis of the general ecological status

Explanation: Impact of 150 years of oil production on water and soil ecosystems.

Link: <https://unec.edu.az/application/uploads/2018/11/M-MM-DXANLI-R-F-T-HL-MAN.pdf>

UDC 519.87:504.53:622.276:504.054

DETERMINATION, MATHEMATICAL MODELING AND SIMULATION OF ECOLOGICAL RISKS THAT WILL OCCUR IN THE SOIL DURING OIL PRODUCTION IN THE ABSHERON PENINSULA.

Gunay Aliyeva Safi daughter, PhD student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Lecturer of the Department of Emergency Situations and Life Safety, gunayabbaszade5@gmail.com

Abdullayeva Nuriyye Zilimkhan daughter, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Azerbaijan Technical University, Associate Professor of the Department of Chemical Technology, Recycling and Ecology, abdullayevanuriyye@aztu.edu.az

AÇAR SÖZLƏR: neft, ekoloji risk, simulyasiya, modelləşmə, neft konsentrasiyası, diffuziya, adveksiya

KEYWORDS: oil, environmental risk, simulation, modeling, oil concentration, diffusion, advection

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефть, экологический риск, моделирование, концентрация нефти, диффузия, адвекция

SUMMARY

The article considers the issue of mathematical modeling and simulation of environmental risks arising in the soil during oil production on the Absheron Peninsula. As a result of modeling, the trajectory of oil impact on the soil and risk zones can be determined in advance. It is calibrated with field data. The results obtained from the simulations can be used for land reclamation and preventive measures. Mathematical modeling of the process of changing the impact of oil on

the soil depending on the advection diffusion process is given. The spread of oil in the soil layers is described by the following differential equation:

At the same time, the change in the rate of evaporation of oil from the soil depending on meteorological conditions is given. Mathematical modeling of the impact of oil on the soil depending on the degradation coefficient is given. The issue of mathematical modeling and simulation of the impact of oil on the soil depending on meteorological parameters is also one of the decisive factors.

Introduction

The Absheron Peninsula is the most intensive region of Azerbaijan in terms of oil production. Oil production causes soil pollution, ecosystem damage and health risks. It is important to assess, model and simulate these risks.

The main sources of soil pollution are accidental oil spills, equipment wear and tear and man-made leaks, pipeline corrosion, and leakage of residual oil products into the soil. Let's look at the ecological risk factors

- Spread of oil in the soil profile (depth, radius)
- Soil type and structure
- Reaction of microorganisms in the soil
- Toxic components in the oil (BTEX, PAH)
- Precipitation and water movement in the soil

Oil Spread Model in Soil

To investigate the ecological risks posed by oil in soil, let us first give the advection-diffusion equation

$$\partial C / \partial t = D \partial^2 C / \partial x^2 - v \partial C / \partial x - \lambda C C - \text{Oil}$$

concentration (mg/kg)

D - Diffusion coefficient (m²/s)

v - Flow velocity (m/s)

λ - Degradation coefficient (1/s)

Risk Assessment Model (Toxicity Based)

$$R = \iint C(x,t) * S(x) dx dt R - \text{General ecological risk}$$

S(x) - Soil sensitivity function

A - Contamination area

T - Time range

Safety and Management Recommendations

- Application of soil monitoring systems (sensors, geodetectors)
- Ecological barriers and absorption layers
- Bio-remediation (use of microorganisms that will break down oil)

As a result of modeling, the trajectory of oil impact on the soil and risk zones can be determined in advance. Calibration with field data is important. The results obtained from simulations can be used for land reclamation and preventive measures.

Mathematical modeling of the process of changing the impact of oil on the soil depending on the advection diffusion process is one of the main factors. The spread of oil in soil layers is described by the following differential equation:

$$\partial C / \partial t = D \partial^2 C / \partial x^2 - v \partial C / \partial x - \lambda C$$
Where:

$C(x,t)$ – oil concentration in soil (mg/kg)

D – diffusion coefficient (m²/s)

v – advection velocity (m/s)

λ – decomposition coefficient (1/s)

Based on the physical model results, the following regression equation was constructed:

$$C = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot v + \beta_3 \cdot D^2 + \beta_4 \cdot v^2 + \beta_5 \cdot D \cdot v$$
Where:

C – average oil concentration in soil (mg/kg)

D, v – diffusion and advection coefficients

β_i – statistical coefficients

Sample Regression Equation

$$C = 85.3 + 1.2 \cdot D \times 10^6 - 3.5 \cdot v \times 10^4 - 0.8 \cdot D^2 \times 10^{12} + 1.1 \cdot v^2 \times 10^8 - 2.4 \cdot D \cdot v \times 10^{10}$$

Model Application Areas

- Prediction of ecological risk levels
- Analysis of oil spillage in different soil conditions
- Optimization of soil protection and restoration plans

Mathematical modeling of the evaporation process in oil-contaminated soil is a relevant issue.

The evaporation of oil from the soil surface occurs when volatile components of the oil (e.g. BTEX, gasoline) are released into the air. This process depends on factors such as soil temperature, moisture, wind speed, and oil concentration.

1st order kinetic approach

$$dM/dt = -k \cdot M(t) \text{ Solution:}$$

$$M(t) = M_0 \cdot e^{(-k \cdot t)}$$

Where:

$M(t)$ – amount of oil remaining in the soil at time t

M_0 – initial amount of oil

k – evaporation rate constant (1/s)

t – time

Dependence of Evaporation Rate on Meteorological Conditions

$$k = \alpha \cdot T \cdot V \cdot (1 - W) \cdot e^{(-\beta \cdot H)} \text{ Where:}$$

T – Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

V – Wind speed (m/s)

W – Soil moisture content (%)

H – Oil thickness or depth (mm)

α, β – experimentally based constants

Alternative Model – Diffusion Approach

$$J = -D \cdot (\partial C / \partial x) \text{ Where:}$$

J – evaporation flux ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)

D – diffusion coefficient (m^2/s)

$\partial C / \partial x$ – concentration gradient (at the soil–air interface)

The model gives the following results

- Warm air and dry soil increase evaporation
- Wet soil and high oil concentration reduce evaporation
- Evaporation is fast at the initial stage and then slows down

With this model, the following issues can be solved

- Ventilation and restoration measures in oil-contaminated areas
- Ecological risk assessment
- Optimization of soil ventilation projects

Simulation of evaporation process in oil-contaminated soil

$$\text{Model: } M(t) = M_0 \cdot e^{(-k \cdot t)}$$

Initial oil amount $M_0 = 100 \text{ mg}$

Evaporation constant $k = 0.05 \text{ 1/h}$

Time interval: 0–72 h

Simulation Graph

Here:

J – evaporation flux ($\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)

D – diffusion coefficient (m^2/s)

$\partial C / \partial x$ – concentration gradient (at the soil–air boundary)

The model gives the following results

- Warm air and dry soil increase evaporation
- Wet soil and high oil concentration reduce evaporation
- Evaporation is fast at the initial stage and then slows down

With this model, the following issues can be solved

- Ventilation and restoration measures in oil-contaminated areas
- Ecological risk assessment
- Optimization of soil ventilation projects

Simulation of the evaporation process in oil-contaminated soil

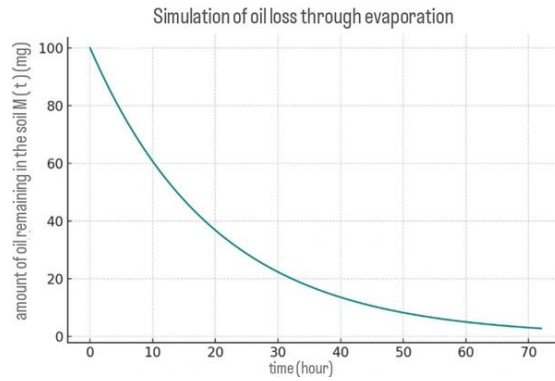
$$\text{Model: } M(t) = M_0 \cdot e^{(-k \cdot t)}$$

Initial oil amount $M_0 = 100 \text{ mg}$

Evaporation constant $k = 0.05 \text{ 1/h}$

Time interval: 0–72 h

Simulation Graph



The graph below shows the amount of oil remaining in the soil over time.

Image 1: Exponential decrease in oil volume due to evaporation

Real Observation Data

Oil quantity observed in the soil for 3 days (synthetic, similar to real):

t = 0.0 hours, M = 100.96 mg

t = 3.8 hours, M = 84.59 mg

t = 7.6 hours, M = 69.72 mg

t = 11.4 hours, M = 58.42 mg

t = 15.2 hours, M = 46.27 mg

t = 18.9 hours, M = 38.60 mg

t = 22.7 hours, M = 33.02 mg

t = 26.5 hours, M = 27.07 mg

t = 30.3 hours, M = 23.76 mg

t = 34.1 hours, M = 18.56 mg

t = 37.9 hours, M = 15.90 mg

t = 41.7 hours, M = 11.44 mg

t = 45.5 hours, M = 10.76 mg

t = 49.3 hours, M = 8.27 mg

t = 53.1 hours, M = 6.99 mg

t = 56.8 hours, M = 7.12 mg

t = 60.6 hours, M = 5.24 mg

t = 64.4 hours, M = 3.93 mg

$t = 68.2$ hours, $M = 3.48$ mg

$t = 72.0$ hours, $M = 2.18$ mg

Regression Equation

Model: $M(t) = M_0 \cdot e^{(-k \cdot t)}$

Calibration Results

M_0 (initial oil amount) = 101.39 mg

k (evaporation rate constant) = 0.0498 1/h

Graph 1

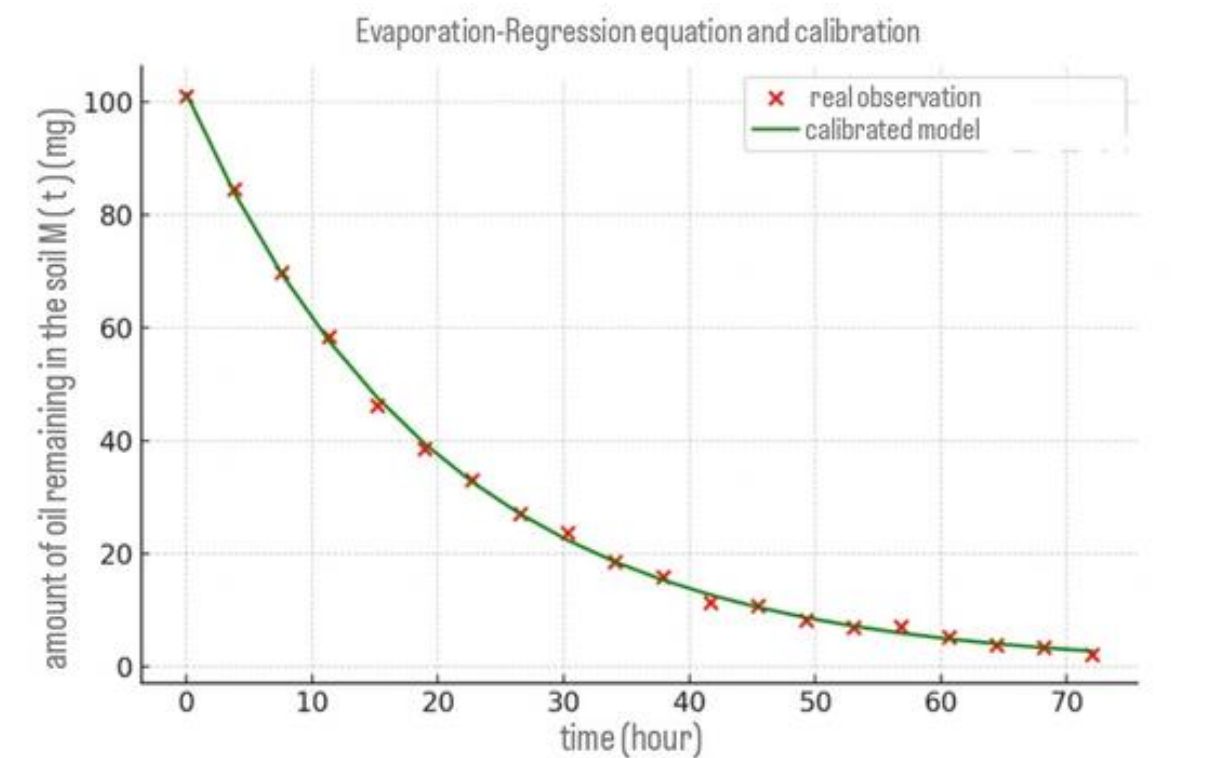


Image: Model calibrated based on observational data

Let's look at the issue of mathematical modeling and simulation of the impact of oil on soil depending on the degradation coefficient.

The distribution and decomposition of oil within the soil is expressed by the following equation:

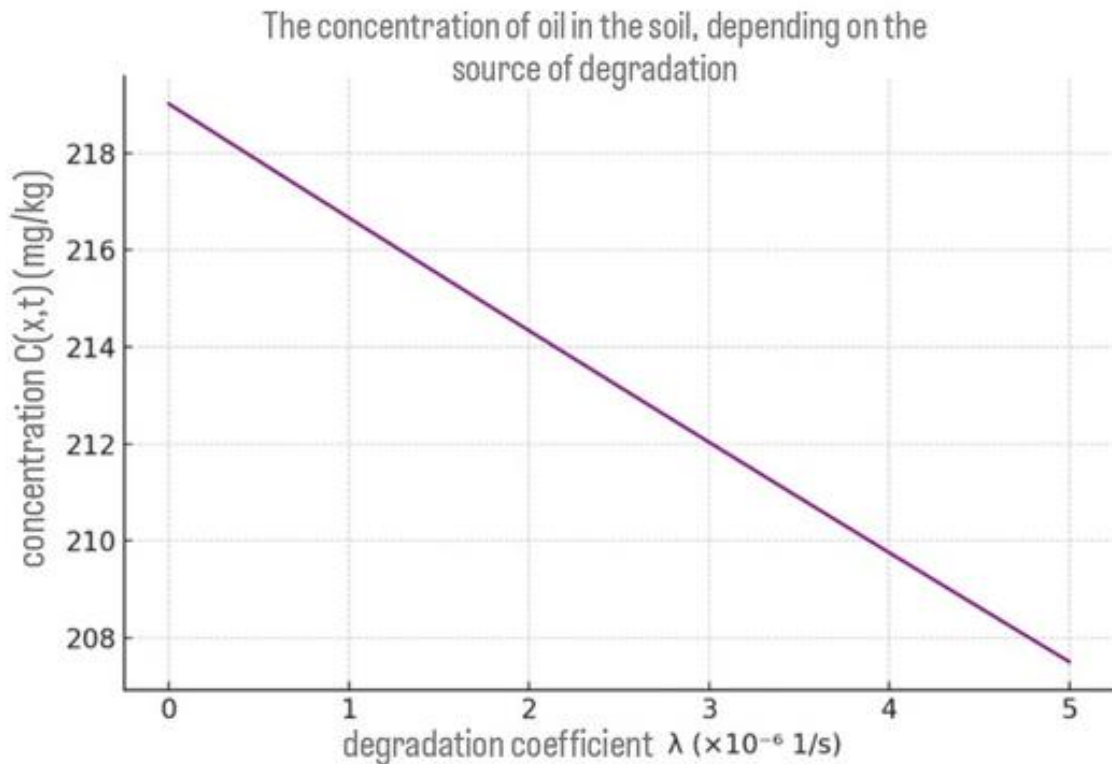
$$C(x,t) = (C_0 / \sqrt{4\pi Dt}) \cdot \exp(-(x - vt)^2 / 4Dt) \cdot \exp(-\lambda t)$$

$C_0 = 100$ mg/kg $D = 1.2 \cdot 10^{-6}$ m²/sv = $1.0 \cdot 10^{-4}$ m/sx = 1.0 mt = 3.0 saat

Simulation Result

The graph below shows how increasing the degradation coefficient reduces the concentration of oil within the soil.

Graph 2



The issue of mathematical modeling and simulation of the impact of oil on the soil, depending on meteorological parameters, is also one of the decisive factors.

This simulation was developed to assess the impact of meteorological factors - precipitation and wind - on the spread of oil in the soil.

Parameters

Precipitation (mm/day): 0–50

Wind speed (m/s): 0–10

Initial concentration: $C_0 = 100$ mg/kg

diffusion: $D_0 = 1.5 \times 10^{-6}$ m²/s

advection: $v_0 = 1.0 \times 10^{-4}$ m/s

Modified diffusion and advection:

$$D = D_0 (1 + 0.05 \cdot \text{rain})$$
$$v = v_0 (1 + 0.1 \cdot \text{wind})$$

Concentration:

$$C = C_0 \cdot \exp(-a \cdot D) \cdot \exp(-b \cdot v)$$

Simulation Result

The graph below shows the change in the concentration of oil in the soil due to changes in rainfall and wind.

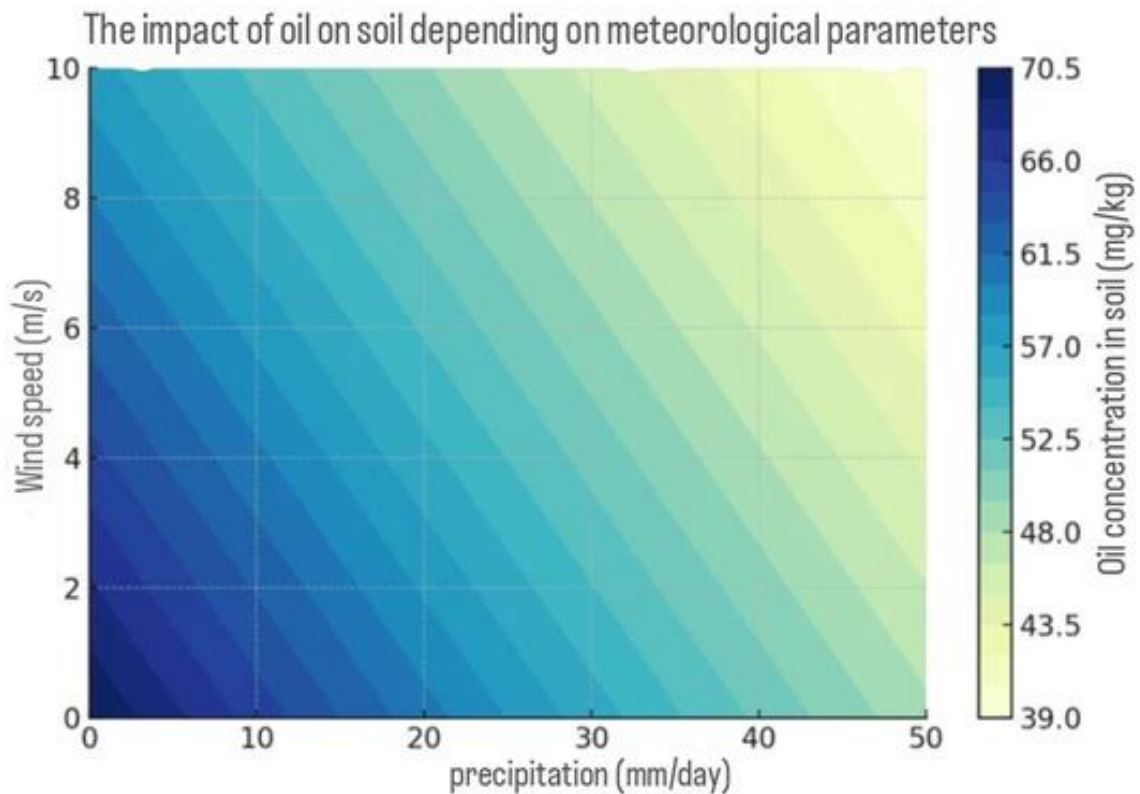


Image 2: Simulation result based on meteorological factors.

Calibration data based on real samples for meteorological parameters:

Rainfall (mm/day): 0, 10, 20, 30, 40, 50

Wind speed (m/s): 0, 2, 4, 6, 8, 10

Calibration Model

$$C = C_0 \cdot \exp(-a \cdot D) \cdot \exp(-b \cdot v)$$

$$D = D_0 (1 + 0.05 \cdot \text{rain})$$

$$v = v_0 (1 + 0.1 \cdot \text{wind})$$

Calibration Results

a (precipitation impact factor) = 9.93×10^4

b (wind impact factor) = 2008.44

Simulation Graph

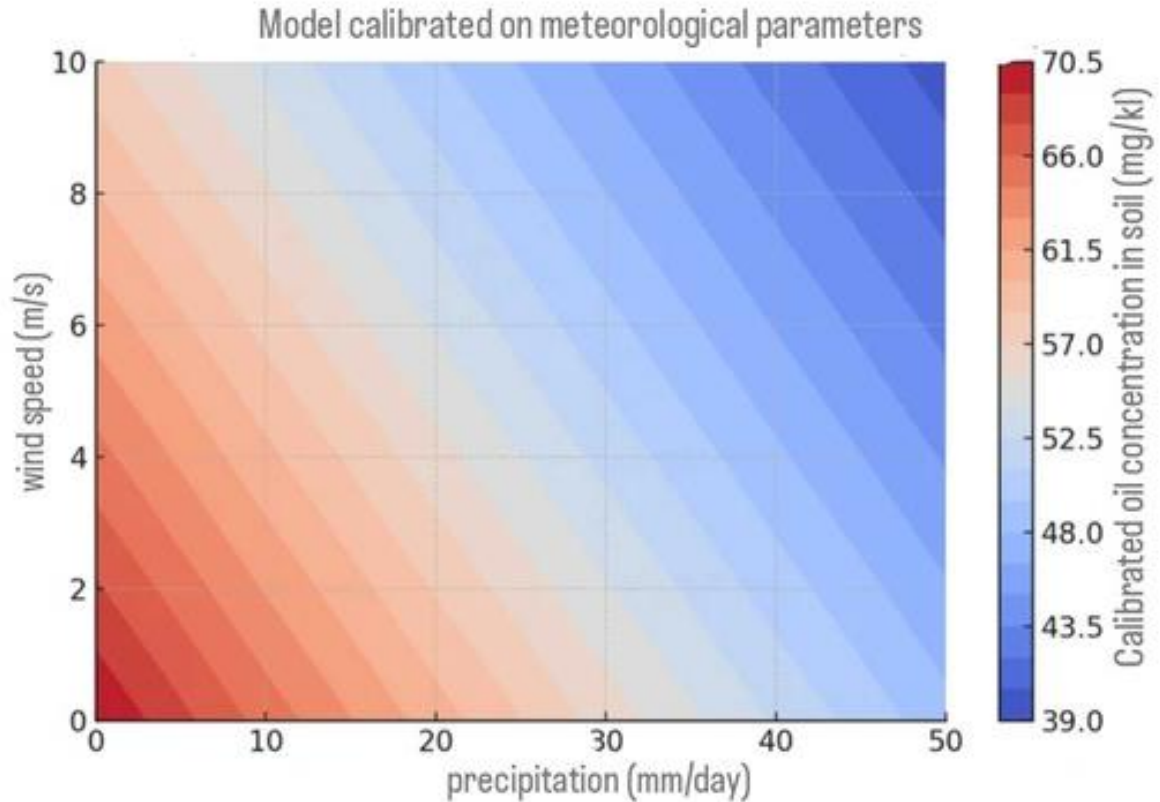


Image 3 : Meteorological parameters according to the calibrated model

Mathematical modeling and simulation of the radius of spread of oil in the area

The radius of spread of oil in the soil or on the surface is modeled by the processes of biodegradation and decrease in concentration over time, along with diffusion and advection effects.

$$C(r,t) \approx (C_0 / \sqrt{(4\pi Dt)}) \cdot \exp(-(r - vt)^2 / 4Dt) \cdot \exp(-\lambda t)$$
 From this model, the radius function for the threshold concentration is obtained:

$$r(t) \approx vt + \sqrt{[-4Dt \cdot \ln(C_{\text{thresh}} \cdot \sqrt{(4\pi Dt)/C_0}) - 4Dt \cdot \lambda t]}$$

Parameters

$$C_0 = 100 \text{ mg/kg}$$

$$C_{\text{threshold}} = 1 \text{ mg/kg}$$

$$D = 1.5\text{e-}06 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$v = 1.0\text{e-}04 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 1.0\text{e-}06 \text{ 1/s}$$

Simulation Result

The graph below shows the change in the oil spread radius as time increases:

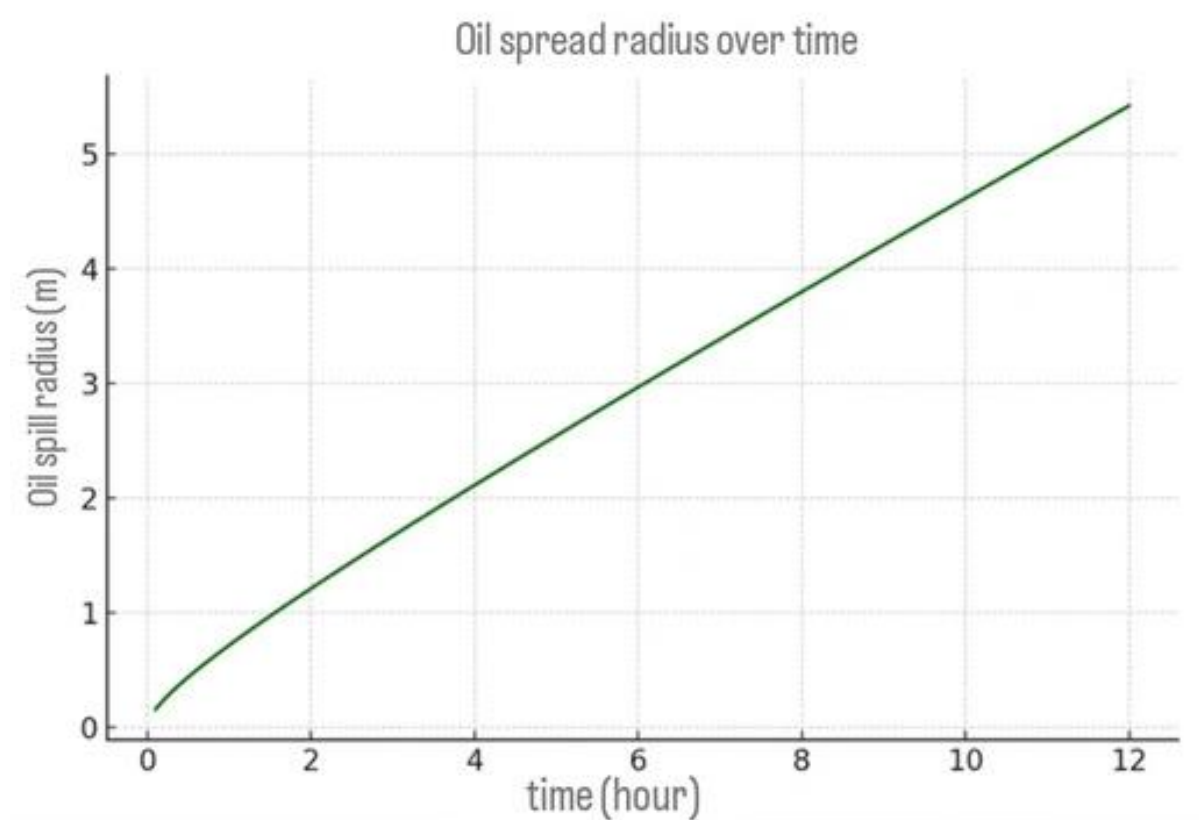


Image 4 : Growth of the radius of influence of oil over time.

A New Chemical Compound That Breaks Down Oil from the Soil: “OXI-BIO-KAT-7”

Consists of the following substances

1. Composition (at the molecular level)

Component	Function
Hydrophobic catalyst (Alkyl-siloxane based)	Recognizes and attaches to oil molecules
Mikroemulsiya formalaşdırıcı (Noniyonik surfaktantlar)	Microemulsion former (Nonionic surfactants)
Oxidizing agent (Peroxymaleate ions)	It breaks down the C-H bonds of oil by oxidizing them.
Biostimulating amino acids (glycine, serine)	Increases the activity of microorganisms
Mineral carrier (zeolite powder)	Stabilizes the reaction on the soil surface

In general, the change in environmental risks arising during oil production depending on various parameters is a very important and urgent issue.

Results

1. Based on the obtained model, the trajectory of oil impact on the soil and risk zones can be determined in advance.
2. The results obtained from the simulations can be used for land reclamation and preventive measures.
3. Mathematical modeling of the process of changing the impact of oil on the soil depending on the advection diffusion process is given, depending on factors such

as the spread of oil in the soil profile (depth, radius), soil type and structure, the reaction of microorganisms in the soil, and toxic components in the oil composition (BTEX, PAH).

4. A description of the spread of oil in soil layers is given by a differential equation.

5. Dependence of evaporation rate on meteorological conditions

6. Mathematical models of the impact of oil on soil, depending on the degradation coefficient and meteorological parameters, allow determining the ecological risks arising in the soil.

Literature

1. Mammadov A., Huseynov A. (2021). Oil pollution of soils on the Absheron Peninsula and ways of their rehabilitation. Ecology Publishing House, Baku.
2. Aliyev S.Sh. (2019). Physicochemical mechanisms of oil pollution of soils. ANAS Publishing House.
3. Zeynalova L.R., Sadigov R.T. (2020). Microbiological and phytotoxic effects of oil pollution. Azerbaijan Scientific Ecology Journal, No. 2, pp. 34–41.
4. Rahimov R.R. (2022). Changes in microorganisms during oil pollution of soils on the Absheron Peninsula. Ecology and Nature Conservation, No. 1, pp. 19–26.
5. Guliyev V.H. (2021). Plant selection for phytoremediation of oil-polluted soils: Absheron example. Ecobiography Journal, No. 4.
6. Hasanova M.A. (2023). Bioremediation methods and effectiveness indicators in oil-polluted soils of Absheron. Azerbaijan Journal of Agricultural Sciences, No. 2, pp. 55–62.
7. Kazimov T.A., Aliyeva G.A. (2020). Distribution of heavy metal compounds with oil in Absheron soils. Azerbaijan Soil Science Journal, No. 3.
8. Askerov K.R. (2018). pH, structural and compositional changes in oil-polluted soils: Absheron example. Proceedings of the National Soil and Water Resources Conference, pp. 91–98.
9. Guliyev, I., & Gurbanov, S. (2019). Soil contamination with petroleum hydrocarbons in the Absheron Peninsula: Sources and mitigation. Environmental Monitoring and Assessment, 191(7), Article 421 (Springer).

10. Isayev, S., & Khalilov, R. (2022). Environmental impact of oil contamination on arid soils in Absheron region. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), Article 107684 (Elsevier).

MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBAT QAYDALARI

1. Baxılmaq üçün jurnalın elmi istiqamətinə uyğun aktual elmi problemlərə aid tədqiqatların ilk dəfə dərc oluna bilən materialları qəbul olunur.
2. Məqalə Azərbaycan, ingilis və ya rus dillərindən birində redaksiyanın e-mail ünvanına (editor.academy@fhn.gov.az) bir faylda təqdim olunmalıdır.
3. Məqalənin ilk səhifəsində məqalənin adı, müəllif(lər)i, müəllif(lər)in elmi dərəcəsi, vəzifələri, ad və soyadları, çalışdıqları qurum və elektron poçt (e-poçt) ünvanları göstərilməlidir.
4. Məqalədə açar söz (Azərbaycan, İngilis və Rus dillərində, 8-10 söz), xülasə (Azərbaycan, İngilis və Rus dillərində), giriş, əsas hissə, nəticə, mənbələr, əlavələr, şəkil və cədvəllər daxil olmaqla 10 səhifədən artıq olmamalıdır.
5. Məqalənin xülasəsi 200-250 sözdən çox olmamalı, tədqiqatın məqsədini, əhəmiyyətini və elmi döviyyədəki yerini, istifadə edilən və ya formalaşdırılan metodları, hansı suallara cavab verildiyini və tətbiq dairəsini göstərməli, giriş və nəticə hissəsi kimi yazılmamalıdır.
6. Məqalə A4 formatında, 1,5 (bir tam onda beş) intervalla, Times New Roman 14 şrifti ilə yazılmalı, kənarlarından (soldan 30 mm, sağdan 15 mm, yuxardan 25 mm və aşağıdan 20 mm) boşluq buraxılmalıdır.
7. Düsturlar "Equation of WinWord"də yığılmalıdır. Mətnə ancaq istinad olunan düsturlar nömrələnir. Düsturların nömrəsi mötərizədə, sətirin sağ sərhədində yazılır. Riyazi simvol və indekslər ancaq latın və yunan hərfləri ilə meyli şriftlə yazılmalıdır. Abreviaturalar izah olunmalıdır.
8. Cədvəllər və şəkillər nömrələnəlməlidir: cədvəllər yuxarıdan (mərkəzə düzlənmiş) (məs. Cədvəl 1), şəkillər altıdan (mərkəzə

düzlənmiş) (Şəkil 1). Cədvəllərin adı cədvəlin yuxarısında, şəkilin adı onun altında yazılır.

9. Məqalədə elmi mənbələrə istinadlar olmalıdır. Məqalənin sonunda verilən ədəbiyyat siyahısı əlifba ardıcılığı ilə deyil, istinad olunan ədəbiyyatların mətnində rast gəlinədiyi ardıcılıqla nömrələnəməli və məsələn, [1] və ya [1, s. 119] kimi işarə olunmalıdır. Eyni ədəbiyyata mətnində başqa bir yerdə təkrar istinad olunarsa, onda istinad olunan həmin ədəbiyyat əvvəlki nömrə ilə göstərilməlidir.

10. Ədəbiyyat siyahısında son 5-10 ilin elmi məqalələrinə, monoqrafiyalarına və s. istinadlara üstünlük verilməlidir.

11. Məqalələr orijinal olmalı və əvvəllər başqa milli və ya beynəlxalq jurnallara və konfranslara təqdim edilməməlidir.

12. Məqalənin xülasəsi məqalənin məzmununa uyğun olmalıdır. Xülasə elmi və qrammatik baxımdan ciddi redaktə olunmalıdır.

13. Müəlliflər məqaləyə rəy vermək üçün 4 rəyçi tövsiyə edə bilər

14. Alınmış rəylər və Redaksiya Heyətinin tövsiyəsini nəzərə alaraq, Baş Redaktor məqalənin çapa qəbul edilməsi, çapa qəbul edilməməsi və ya redaktə edilmək üçün müəllifə qaytarılması haqqında yekun qərar verir.

15. Məqalənin qəbulu və rədd edilməsi Redaksiya Heyətinin müzakirəsindən sonra elan ediləcəkdir.

FORMATTING RULES OF ARTICLES

1. Materials that can be published for the first time on the researches in relation to the actual scientific problems in accordance with the scientific direction of the journal are accepted in order to review.
2. The article must be in one of the Azerbaijani, Russian and English languages and submitted in one file to the e-mail address (editor.academy@fhn.gov.az) of the editorial office.
3. The first page of the article should contain the name of the article, the author (s), the scientific degree of the author (s), their titles, names and surnames, e-mail addresses and the institution they work for.
4. The article should not exceed 10 pages, including key words (8-10 words in Azerbaijani, English and Russian), summary (in Azerbaijani, English and Russian), introduction, main part, conclusion, sources, appendices, figures and tables.
5. The summary of the article should not exceed 200250 words, should indicate the purpose, importance and place of the research in the scientific community, the methods used or formed, what questions are answered and the scope, and shouldn't be written as an introduction and conclusion.
6. The article should be written in A4 format, 1.5 (one-tenth to five) spacing, Times New Roman 14 font, space (30mm from left, 15mm from right, 25mm from top and 20mm from bottom).
7. Formulas must be written in "Equation of WinWord". Only referenced formulas are numbered in the text. The number of the formula is written in bracket, on the right border of the line. The mathematical symbol and indexes should be written only in inclined fonts in Latin and Greek letters. Abbreviations should be explained.
8. Tables and figures should be numbered: tables from above (centered) (eg Table 1.), images from bottom (centered) (Figure 1). The names of the tables are written at the top of the table, and the name of the figures is written below it.
9. Scientific sources should be referred in the article. The list of literature at the end of the article should be numbered in the order of sequence of references in the article, not in alphabetical order, and should be marked, as [1] or [1, p.119]. If the same literature is referenced elsewhere in the text, then the literature referred to should be indicated by the previous number.
10. Scientific articles, monographs, etc. references of the last 5-10 years in the list of literature should be preferred.
11. The articles should be original and should not be previously submitted to other national or international journals and conferences.
12. The summary of the article should be relevant to the content of the article. The summary must be seriously edited from a scientific and grammatical point of view.
13. The authors can recommend 4 reviewers to give opinion on the article.
14. Taking into account the received opinions and the recommendation of the editorial staff, Editor-in-chief makes the final decision on whether to accept the article for publication, not to accept it for publication, or to return it to the author for editing.
15. Acceptance and rejection of the article will be announced after discussion by the editorial board.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. К рассмотрению принимаются материалы, содержащие результаты оригинальных исследований по актуальным научным проблемам, соответствующим научным направлениям журнала, и ранее не опубликованные.
2. Статья должна быть отправлена одним файлом на адрес электронной почты (editor.academy@fhn.gov.az) редакции на одном из трех языков – азербайджанском, английском или русском.
3. На первой странице статьи должны быть указаны название статьи, автор(ы) (имя и фамилия, ученая степень и научное звание, должность, организация) и адрес электронной почты.
4. Статья должна быть написана в формате A4 с интервалом 1,5, шрифтом *Times New Roman 14*, с полями 30 мм слева, 15 мм справа, 25 мм сверху и 20 мм снизу.
5. Статья не должна превышать 10 страниц, включая ключевые слова (на азербайджанском, английском и русском языках, 8-10 слов), резюме (на азербайджанском, английском и русском языках), введение, основную часть, заключение, источники, приложения, рисунки и таблицы.
6. Резюме статьи не должно превышать 200-250 слов, указывать цель, важность и место исследования в научном сообществе, используемые или сформированные методы, на какие вопросы даны ответы и объем, не должно быть написано, как часть введения и заключения.
7. Формулы должны выполняться в “Equation of WinWord”. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки. Номер формулы указывается в скобках с правого края строки. Математические символы и индексы следует писать только латинскими или греческими буквами. Сокращения должны расшифровываться.
8. Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы: таблицы – сверху по центру строки (например, Таблица 1), изображения – снизу по центру строки (Рисунок 1). Названия таблиц указываются сверху, а название рисунка - под ним.
9. В статье должны быть ссылки на научные источники. Список литературы приводится в конце и должен быть пронумерован в порядке ссылки. Если на тот же источник есть ссылка в другом месте текста, то она указывается по ранее назначенному номеру.
10. В статье должны быть ссылки на научные источники. Список использованной литературы в конце статьи должен быть пронумерован не в алфавитном порядке, а в том порядке, в котором ссылки находятся в тексте, например, [1] или [1, с. 119]. Если на ту же литературу есть ссылки в другом месте в тексте, то ссылка на литературу должна быть обозначена предыдущим номером.
11. Научные статьи, монографии и др. ссылки последних 5-10 лет в списке литературы предпочтительны.
12. Статьи должны быть оригинальными и не представленные ранее в другие национальные или международные журналы и конференции.
13. Аннотация статьи должна соответствовать содержанию статьи. Аннотацию следует серьезно отредактировать с научной и грамматической точки зрения.
14. Авторы могут порекомендовать 4 рецензента прокомментировать статью.
15. Принятие и отклонение статьи будет объявлено после обсуждения редакционной коллегией.

QEYD ÜÇÜN

QEYD ÜÇÜN

QEYD ÜÇÜN

Tərtibatçı – korrektor:
Designer – corrector:
Дизайнер – корректор:

S.M.Kələntərli
S.M.Kalantarli
С.М.Калантарли

Cild 6. №1
Vol. 6. №1
Том 6. №1

Çapa imzalanıb:
30.06.2026
Elektron çap tarixi:
06.07.2026
Format:
Sifariş:
№ Tiraj: