

АЗАМАТТЫҚ ҚОРҒАУДАҒЫ ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМ

**SCIENCE AND EDUCATION
IN CIVIL PROTECTION**

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ
В ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЕ**

№ 1 (61) / 2026

2011 жылдан бастап шығады

Founded in 2011

Издается с 2011 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

«Азаматтық қорғаудағы ғылым мен білім» ғылыми журналы № 1 (61), 2026 ж., наурыз.
2011 жылдың наурызынан бастап шығарылады. 2011-2020 жылдары «Көкшетау техникалық институтының хабаршысы» атауымен шығарылған.

Меншік иесі: Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы.

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінде 2021 жылғы 25 маусымда тіркелген. Куәлік № KZ37VPY00037096. Бастапқы есепке қою күні мен нөмірі № 11190-Ж, 14.10.2010 ж.

2023 жылдан бастап ғылыми қызметтің негізгі нәтижелерін жариялау үшін Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынатын басылымдар тізбесіне кіреді (08.09.2025 ж. № 1531 бұйрық).

Қазақстандық ғылыми дәйексөз индексіне (КазҒДИ) енгізілген.

Бас редактор: Хасенов Ж.Х., қауым. профессор (доцент)

Бас редактордың орынбасары: Әлменбаев М.М., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент)

Редакциялық кеңестің құрамы:

Шәріпханов С.Д., техника ғылымдарының докторы, қауым. профессор (доцент) (ҚР, Астана)

Алешков М.В., техника ғылымдарының докторы, профессор (РФ, Мәскеу)

Байшагиров Х.Ж., техника ғылымдарының докторы (ҚР, Көкшетау)

Кошумбаев М.Б., техника ғылымдарының докторы (ҚР, Астана)

Мансуров З.А., химия ғылымдарының докторы, профессор (ҚР, Алматы)

Сивенков А.Б., техника ғылымдарының докторы, профессор (РФ, Мәскеу)

Тарахно Е.В., техника ғылымдарының докторы, доцент (Украина, Харьков)

Әкімбаев Е.Ж., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент) (ҚР, Астана)

Арифджанов С.Б., техника ғылымдарының кандидаты (ҚР, Астана)

Батуро А.Н., техника ғылымдарының кандидаты, доцент (РФ, Железногорск)

Джумағалиев Р.М., техника ғылымдарының кандидаты, профессор (ҚР, Алматы)

Жаулыбаев А.А., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент) (ҚР, Астана)

Камлюк А.Н., физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент (Беларусь Республикасы, Минск)

Раимбеков К.Ж., физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент) (ҚР, Көкшетау)

Редакциялық алқаның құрамы:

Құсайынов А.Б., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент);

Мақышев Ж.Қ., техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент); **Захаров И.А.,**

техника ғылымдарының кандидаты, қауым. профессор (доцент); **Абдрахманов А.А.,** әскери

ғылымдарының кандидаты; **Қайырбеков К.Қ.,** әскери ғылымдарының кандидаты;

Мұсайбеков А.Ғ., техника ғылымдарының кандидаты; **Шуматов Э.Ғ.,** философия ғылымдарының

кандидаты; **Касымова С.К.,** филология ғылымдарының кандидаты.

«Азаматтық қорғаудағы ғылым мен білім» ғылыми журналы – өрт және өнеркәсіптік қауіпсіздік, азаматтық қорғаныс, табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайлардың алдын алу мен жою саласындағы зерттеулерге, арналған мерзімді басылым.

© Қазақстан Республикасы ТЖМ
Мәлік Ғабдуллин атындағы
Азаматтық қорғау академиясы, 2026

Scientific journal “Science and education in civil protection” No. 1 (61), 2026, March.

First published since March 2011. In 2011-2020 it was published under the title “Bulletin of the Kokshetau Technical Institute”.

Proprietor: Academy of Civil Protection named after Malik Gabdullin of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan.

The journal was registered in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan on June 25, 2021. Certificate No. KZ37VPY00037096. Date and number of initial registration No. 11190-Zh, 10/14/2010.

Since 2023, it has been included in the List of publications recommended by the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for publishing the main results of scientific activities (Order No. 1531 dated 09/08/2025).

It is included in the Kazakhstan Science Citation Index (KazINC).

Chief Editor: Khasenov J.H., Associate Professor (docent)

Deputy Chief Editor: Almenbayev M.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent)

Members of the editorial board:

Shariphanov S.D., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (docent) (RK, Astana)

Aleshkov M.V., Doctor of Technical Sciences, Professor (RF, Moscow)

Baishagirov Kh.Zh., Doctor of Technical Sciences (RK, Kokshetau)

Koshumbaev M.B., Doctor of Technical Sciences (RK, Astana)

Mansurov Z.A., Doctor of Chemical Sciences, Professor (RK, Almaty)

Sivenkov A.B., Doctor of Technical Sciences, Professor (RF, Moscow)

Tarakhno E.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Ukraine, Kharkov)

Akimbaev E.Zh., Candidate of technical sciences, Associate Professor (docent) (RK, Astana)

Arifjanov S.B., Candidate of Technical Sciences (RK, Astana)

Baturo A.N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (RF, Zheleznogorsk)

Dzhumagaliev R.M., Candidate of Technical Sciences, professor (RK, Almaty)

Zhaulibayev A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (RK, Astana)

Kamlyuk A.N., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor (Republic of Belarus, Minsk)

Raimbekov K.Zh., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, (associate professor) (RK, Kokshetau)

Members of the editorial board:

Kusainov A.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent); Makishev Zh.K., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent); Zakharov I.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent); Abdrakhmanov A.A., Candidate of Military Sciences; Kairbekov K.K., Candidate of Military Sciences; Musaibekov A.G., Candidate of Technical Sciences; Shumatov E.G., Candidate of Philosophical Sciences; Kasymova S.K., Candidate of Philological Sciences.

The scientific journal “Science and Education in Civil Protection” is a periodical publication devoted to research in the field of fire and industrial safety, civil defense, prevention and response to natural and man-made emergencies.

Научный журнал «Наука и образование в гражданской защите» № 1 (61), 2026 г., март.
Издается с марта 2011 года. В 2011-2020 годах выходил под названием «Вестник Кокшетауского технического института».

Собственник: Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан 25 июня 2021 г. Свидетельство № KZ37VPY00037096. Дата и номер первичной постановки на учет № 11190-Ж, 14.10.2010 г.

С 2023 года включен в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности (Приказ № 1531 от 08.09.2025 г.).

Включен в Казахстанский индекс научного цитирования (КазИНЦ).

Главный редактор: Хасенов Ж.Х., асс. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора: Альменбаев М.М., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент)

Состав редакционного совета:

Шарипханов С.Д., доктор технических наук, асс. профессор (доцент) (РК, Астана)

Алешков М.В., доктор технических наук, профессор (РФ, Москва)

Байшагиров Х.Ж., доктор технических наук (РК, Кокшетау)

Кошумбаев М.Б., доктор технических наук (РК, Астана)

Мансуров З.А., доктор химических наук, профессор (РК, Алматы)

Сивенков А.Б., доктор технических наук, профессор (РФ, Москва)

Тарахно Е.В., доктор технических наук, доцент (Украина, Харьков)

Акимбаев Е.Ж., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент) (РК, Астана)

Арифджанов С.Б., кандидат технических наук (РК, Астана)

Батуро А.Н., кандидат технических наук, доцент (РФ, Железнодорожск)

Джумагалиев Р.М., кандидат технических наук, профессор (РК, Алматы)

Жаулыбаев А.А., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент) (РК, Астана)

Камлюк А.Н., кандидат физико-математических наук, доцент (Республика Беларусь, Минск)

Раимбеков К.Ж., кандидат физико-математических наук, асс. профессор (доцент) (РК, Кокшетау)

Состав редакционной коллегии:

Кусаинов А.Б., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент); Макишев Ж.К., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент); Захаров И.А., кандидат технических наук, асс. профессор (доцент); Абдрахманов А.А., кандидат военных наук; Каирбеков К.К., кандидат военных наук; Мусайбеков А.Г., кандидат технических наук; Шуматов Э.Г., кандидат философских наук; Касымова С.К., кандидат филологических наук.

Научный журнал «Наука и образование в гражданской защите» – периодическое издание, посвящённое исследованиям в области пожарной и промышленной безопасности, гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

МАЗМУНЫ – CONTENTS –СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

<i>Huseynov H.A., Rasulov1 S.R., Mustafayeva G.R.</i> Hydrodynamic accidents: causes of occurrence and potential hazards for the Mingachevir reservoir dam	6
<i>Шарипханов С.Д., Абдрахманов А.А., Жаулыбаев А.А., Бекболатова М.Б.</i> Методика формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ на опасных производственных объектах	16
<i>Жагунаров Ж.Е., Калиев А.З., Куанышбаев М.С., Каирбеков К.К., Агажаева Л.О.</i> Төтенше жағдайлар жағдайында ұйымдардың жұмыс істеу орнықтылығын арттыру іс-шараларының тиімділігін бағалау мәселесіне байланысты	25
<i>Шарипханов С.Д.</i> Разработка риск-ориентированного алгоритма оценки угроз при возможных радиационных чрезвычайных ситуациях	39
<i>Макаев Т.З., Ескибаев Е.Т., Тумышев Н.М.</i> К вопросу исследования тепловых деформаций стеклопластиков	47

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<i>Альменбаев М.М., Рахметулин Б.Ж., Сивенков А.Б., Захаров И.А.</i> Снижение токсичности продуктов горения древесины с помощью огнезащиты	54
<i>Кусаинов А.Б., Агажаева Л.О., Раимбеков К.Ж., Джумагалиев Р.М., Қайыргелді Н.Қ.</i> Математическое моделирование тушения лесного пожара с учётом постепенного прибытия сил и средств	62
<i>Кинжикеев С.Ж., Карбаев Т.Б., Хамитов Р.С.</i> Разработка противопожарной автоматизированной роботизированной платформы	70
<i>Кусаинов А.Б., Альменбаев М.М., Макишев Ж.К., Захаров И.А., Максимов П.В.</i> Формирование и анализ базы данных пожарных гидрантов как основы для Аг-ориентированных систем поиска источников противопожарного водоснабжения	82
<i>Байжиенов Н.Ж., Раимбеков К.Ж., Саменов Е.К., Мусайбеков А.Г.</i> Прогнозирование динамики пожаров в Северо-Казахстанской области с применением метода тройного экспоненциального сглаживания Хольта-Винтерса	90

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ, ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

UDC 627.8:614.8:556.16
IRSTI 81.93.21

Н. А. Huseynov^{1,2}, S. R. Rasulov¹, G. R. Mustafayeva¹

¹*Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan*

²*The Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan*

HYDRODYNAMIC ACCIDENTS: CAUSES OF OCCURRENCE AND POTENTIAL HAZARDS FOR THE MINGACHEVIR RESERVOIR DAM

Abstract. Hydrodynamic accidents are emergency events caused by the failure of hydraulic structures, leading to flooding and inundation of extensive areas as well as large-scale socio-economic consequences. This article provides a systematic analysis of the factors contributing to the occurrence of hydrodynamic accidents, particularly disasters resulting from the failure of reservoir dams. Based on real events that have occurred worldwide, the consequences of such accidents and their underlying causes are examined in detail. The possible causes of similar potential hydrodynamic accidents in the context of our country are analyzed. As the object of the study, the potential failure of the Mingachevir reservoir dam due to possible hazards is assessed. The research results indicate that the interaction of technical, natural, and anthropogenic factors significantly increases the scale and impact intensity of hydrodynamic accidents.

Keywords: hydrodynamic accident, inundation, hydraulic structures, emergency situation, reservoir, flood, dam failure, Mingachevir reservoir dam.

In recent decades, due to the growing demand for water, many countries have increased activities related to the construction of hydraulic structures and the storage of water resources. Although such activities play an important role in water resources management, the intensification of extreme hydrological events has, in some cases, caused hydrodynamic accidents to become a globally relevant problem. Hydrodynamic accidents mainly occur as a result of sudden or progressive failure of dams, reservoirs, and other hydraulic structures. As a consequence, a large volume of water is released and begins to move uncontrollably within a short period of time, leading to severe consequences. Such emergency events pose serious threats to human life and activities, critical infrastructure facilities, as well as the environment.

International experience shows that the consequences of hydrodynamic accidents may manifest not only at the local level but also on a regional scale. Therefore, the study of the mechanisms underlying the occurrence of such accidents and the scientific assessment of their hazard levels are of great importance for effective emergency management [1].

The occurrence of hydrodynamic accidents is not associated with a single cause but results from the combined influence of various factors. Technical and structural deficiencies are considered among the main risk factors. Inaccurate assessment of hydraulic loads during the design of hydraulic structures, failure to account for the long-term durability of construction materials, and the lack of timely technical inspections significantly increase the probability of accidents. In particular, sudden failures caused by internal erosion processes within the dam body may occur.

Natural factors can also contribute to the occurrence of hydrodynamic accidents. Intense and prolonged precipitation, emergency events such as floods and flash floods in river basins, as well as seismic impacts during earthquakes, can generate excessive loads on hydraulic structures. In many cases, excessively high-water levels in reservoirs reduce the discharge capacity of spillway structures, ultimately leading to a deterioration of dam safety.

Anthropogenic and management-related factors may further exacerbate the scale of hydrodynamic accidents in the event of a failure of hydraulic structures. During climatic extremes, the opening of spillway gates to protect dam structures may increase flooding and losses in downstream areas. At the same time, improper selection of reservoir operating regimes, the absence of emergency preparedness plans, and the ineffective functioning of early warning systems result in greater losses when accidents occur. Global experience demonstrates that the human factor can play a decisive role in preventing or mitigating the consequences of such accidents [2].

Although failures of reservoir dams occur relatively rarely, it is expected that their probability will increase in the modern era due to the intensification of climate change. As a result, this influence may lead to more frequent and more intense flood events [3]. The collapse of the 14 de Julho Dam in Brazil is a clear example demonstrating the significant impact of climate change on dam safety [4].

As noted earlier, there are various factors contributing to dam failures. One of these factors is the aging of dams. As hydraulic structures age, sediments gradually accumulate over time, which affects water flow and reservoir storage capacity, thereby reducing the operational efficiency of the structure during periods of intense precipitation. In addition, aging dams become structurally weakened and require frequent technical maintenance, which in many cases is not adequately provided [5].

Aging dams are typically characterized by design solutions that do not meet modern engineering requirements. In particular, approximately one-third of dam accidents worldwide are associated with spillway structures designed using outdated formulas that do not account for the long-term effects of intense weather conditions [6]. Furthermore, snow and glacier melt are considered another form of flooding that can lead to overtopping of dams; this phenomenon was also observed during the Kyzyl-Agash dam disaster in Kazakhstan [7-9]. The Situ Gintung Dam in Indonesia was recorded as having failed as a result of internal erosion processes [10-12].

The Taum Sauk Pumped Storage Power Plant, located in Reynolds County, Missouri, USA, was constructed between 1960 and 1963. The facility consists of a lower reservoir and an upper reservoir. On December 14, 2005, a series of deficiencies introduced during the design and construction phases, errors in the programming of monitoring and control equipment, and human factors led to the catastrophic failure of the upper reservoir. During the failure, although one of the two pumps was shut down, the other continued to operate, and shortly thereafter water began to overtop the parapet wall and spill. Malfunctioning

sensors that were improperly programmed and/or incorrectly installed failed to indicate in time that the reservoir had reached its full capacity [13-15].

Following the Tohoku earthquake of March 11, 2011, with a magnitude of 9.0, the Japanese authorities inspected more than 400 reservoir dams. According to official reports, nearly all of these dams withstood the ground shaking, maintained reservoir integrity, and continued operation with only minor to moderate damage. The notable exception was the Fujinuma Dam. Prior to the earthquake, the Fujinuma Dam retained a small reservoir known as Fujinuma Ike, which was used for irrigation and recreational purposes and had a maximum storage capacity of approximately 1.5 million cubic meters. This earthfill dam, located in the southern part of Fukushima Prefecture, failed shortly after the earthquake. As a result of the dam failure, the entire volume of water stored in the reservoir was released uncontrollably, and the flow was directed toward a small downstream village. The resulting flood completely destroyed 19 houses, caused severe damage to other buildings, washed away a bridge, blocked roads with debris, and led to the loss of eight human lives [16-18].

In 2018, the failure of the Xe Pian–Xe Namnoy Dam in southern Laos generated a powerful flood wave, resulting in more than 70 fatalities and leaving thousands of people homeless. Although it is clearly established that the disaster was caused by geological and engineering problems, the gradual degradation process of the dam and the potential hazards posed by other dams in the area have not yet been fully clarified [19]. The primary cause of the accident was the development of erosion due to the proximity of groundwater to the surface in vegetated foundation areas, which led over time to localized collapses and the formation of voids. When erosion and softening of the foundation reached a critical level, the static stability of the dam was compromised, resulting in a deep circular slide at the highest section of the dam. Finally, when the thin upstream section of the dam crest ruptured, a water wave overtopped the dam, causing an uncontrolled and catastrophic release of water. As a result of this accident, the central section of Saddle Dam D and its foundation were completely washed away [20, 21].

On May 19, 2020, during several days of intense rainfall, the earthen embankment section of the Edenville Dam failed. This failure subsequently led to the collapse of the downstream Sanford Dam, as well as damage to two additional dams. As a result of these accidents, material losses amounted to approximately 100 million US dollars, and during the COVID-19 pandemic period, about 11,000 people were evacuated, while approximately 2,500 structures sustained severe damage [22, 23].

On April 5, 2024, flooding along the Ural River in Russia resulted in the failure of the Orsk Dam. In the city of Orsk, flooding intensified following the breach of the dam, leading to the evacuation of thousands of residents, 15 fatalities, and injuries to at least six people. The estimated economic damage amounted to approximately 1.2 billion rubles. The accident was caused by a dangerous rise in water levels due to ice melting in the Ural River [24, 25].

On August 25, 2024, the Arba'at Dam, located in Sudan's Red Sea State, approximately 38 km northwest of Port Sudan, suffered severe damage as a result of heavy rainfall. According to analyses, a breach occurred in the dam, leading to the complete drainage of the reservoir. As a result of the accident, significant damage to people and property was reported in approximately 20 downstream villages. Based on the analyzed data, up to 50,000 people living in the western part of the dam area were severely affected by this event. In addition, the Arba'at Dam is considered a strategically important hydraulic structure for Port Sudan, as it represents one of the city's main sources of drinking water.

Consequently, the damage caused by the accident had a serious impact on the water supply of Port Sudan [26-28].

Table 1 – Selected emergency accidents related to reservoir dam failures during 2005–2025

№	Country	Reservoir dam name	Date of the accident	Storage capacity/Dam age classification	Year of operation start	Cause of failure (natural, technical, human, combined)	Specific cause of occurrence
1.	USA	Taum Sauk Upper Reservoir Dam (Missouri)	14.12.2005	Capacity: ~5 mln m ³ (upper dam); non-aging	1963	human	Lack of proper inspections Overtopping – Failure of level control, management error
2.	Indonesia	Situ Gintung Dam	27.03.2009	Capacity: ~2 mln m ³ ; aging	1933	technical	Heavy rains → overtopping, Poor maintenance, internal erosion, hidden cracks
3.	Kazakhstan	Kyzyl-Agash Dam	11.03.2010	Capacity: - Age: -	-	combined	Sudden dam breach due to poor management, structural and operational deficiencies and caused by torrential rains, early snowmelt
4.	Japan	Fujinuma Dam (Fukushima)	11.03.2011	Capacity: ~1,5 mln m ³ ; aging	1937-1949	natural	Earthquake effects (2011 Tohoku), Seismic instability
5.	Lao PDR	Xe-Pian Xe-Namnoy – Saddle Dam D	23.07.2018	Capacity: >5 mlrd m ³ ; non-aging	2017–2018	combined	Seepage and cracking, high water level → failure of the auxiliary dam
6.	USA	Edenville Dam (Michigan)	19.05.2020	Capacity: ~49 mln m ³ ; aging	1925	technical	Technical defects and extreme rainfall → overtopping and breaching
7.	Ukraine	Kaxovka HES dam	06.06.2023	Capacity: ~18 mlrd m ³ ; aging	1956	human	Explosion / military sabotage (wartime conditions)
8.	Russia	Orsk city dam (Ural river)	05.04.2024	Capacity: - non-aging	2010	human	Very high-water level → flood loading, operational problems
9.	Sudan	Arba'at Dam (Port Sudan)	24.08.2024	Capacity: - non-aging	app. 1990s	combined	Breach, heavy rains and structural deficiencies
10.	Brazil	14 de Julho	02.05.2024	Capacity: 55.18mln m ³ ; non-aging	2008	natural	Torrential rainfall

On June 6, 2023, during the Russia–Ukraine war, the Nova Kakhovka Dam, located in southern Ukraine, was destroyed by an explosion. As a result, a massive volume of water flowed uncontrollably downstream along the Dnieper (Dnipro) River, inundating dozens of settlements [29]. The dam's destruction directly affected more than 100,000 people and led to the flooding of over 620 square kilometers of land [30].

Hydrodynamic accidents occurring worldwide and their consequences vary in severity depending on their causes. Statistics on several hydrodynamic accidents that have occurred over the past 20 years are presented in Table 1. This table clearly demonstrates the level of danger posed by such emergency events.

The list of accidents presented in Table 1 can be further expanded, as such hydrodynamic accidents have occurred frequently worldwide and are likely to occur in the future as well.

Based on the analyses above, the dam failures that have occurred can be grouped in Figure 1 - the form of a diagram according to the age of the dam, the cause of failure, and the reservoir volume [1].

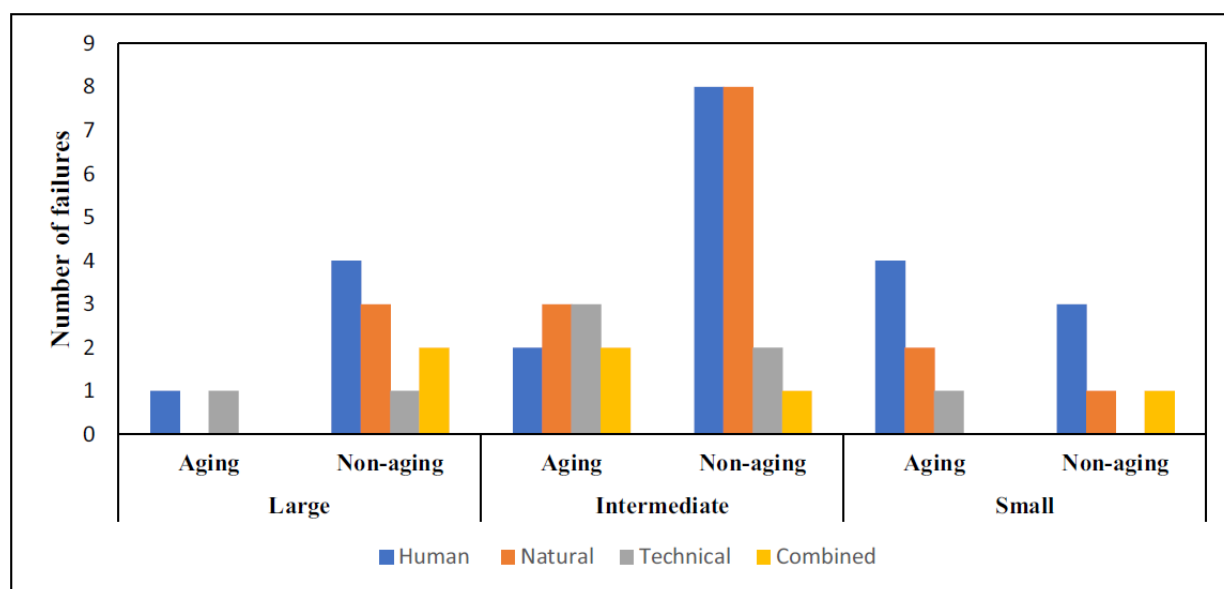


Figure 1 – Classification of hydrodynamic accidents that occurred in the 21st century

There are numerous reservoirs in our country as well. These reservoirs have been constructed for various purposes, including river regulation, water storage, electricity generation, and others. Within the study area—the Yevlakh–Neftchala zone of the Kura River basin—any potential accident that may occur at the dam of the Mingachevir Reservoir, which is considered the largest reservoir in the Caucasus and is capable of causing severe inundation consequences, could lead to an extremely dangerous emergency situation for the country. In particular, in the event of such an accident, all settlements located along the Kura River downstream from the Mingachevir Reservoir dam (especially those situated close to the river) could be exposed to flooding. Figure 2 presents a risk map of areas vulnerable to flooding and inundation. In the case of a possible dam failure, there is a high probability that the flood wave would propagate in this direction [31].

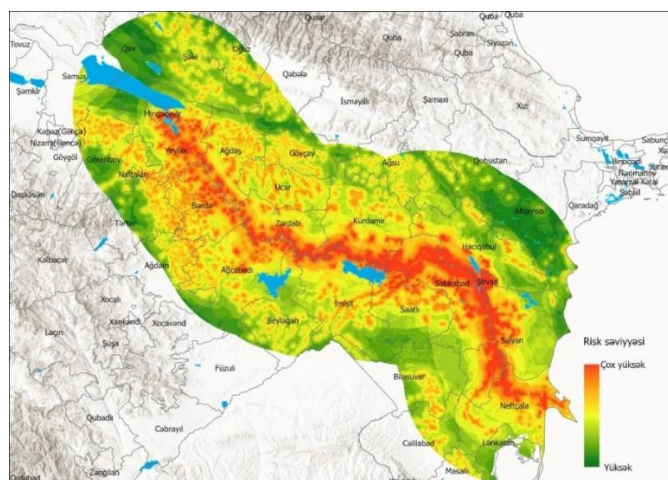


Figure 2 – Risk map of areas prone to flooding and inundation

The factors that may lead to such an accident should be derived from the global experience reviewed above. These experiences demonstrate that reservoir dams may fail due to natural, technical, and human factors, as well as intentional destruction by an enemy under wartime conditions.

Based on the results of the conducted analyses, all of the aforementioned potential factors can be considered relevant for Azerbaijan. The country's territory is frequently exposed to seismic activity, and in particular, the area where the Mingachevir Reservoir is located is classified as an 8-intensity seismic zone [32]. At the same time, during high-water periods (spring–summer months), increased precipitation and snowmelt further raise the likelihood of such hydrodynamic events.

In addition, the military-political risk factor should also be regarded as relevant for Azerbaijan. Experience gained during the Second Karabakh War indicates that rockets deliberately launched by the enemy fell in areas surrounding the Mingachevir Hydropower Plant (Figure 3). Due to the protection provided by air defense forces and the neutralization of the rockets in midair, no actual damage was recorded. Nevertheless, in such circumstances, the potential risk of damage to reservoir dams cannot be entirely ruled out [33].



Figure 3 – Missiles launched by the Armenian armed forces in October 2020

Conclusion. The conducted analyses show that reducing the risk of real hydrodynamic accidents worldwide requires the implementation of scientifically grounded monitoring systems, the improvement of early warning mechanisms, timely dissemination of information to the population, effective management measures, and the availability of risk maps by zones. Considering the large number of hydraulic structures in our country, improving the measures mentioned above will help minimize losses in the event of such emergencies.

Furthermore, when assessing the probability of such an accident occurring at the dam of the Mingachevir Reservoir – the largest reservoir in the Caucasus – and its potential consequences if it were to occur, a catastrophic emergency scenario emerges. In addition, during hazard level assessment, the integrated analysis of hydraulic and hydrological parameters is of great importance. Risk assessment enables the identification of risk zones, the prediction of possible losses, and the planning of preventive measures aimed at preventing such events and mitigating their severity.

References

1. Reem Nasser, Dimitris Tzioutzios, Yiliu Liu. Statistical Analysis of Global Dam Accidents in the 21st Century: A Focus on Common Features and Causes. *Water Resources Management* – 2025, 39:6493–6516, <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04259-7>
2. Anna Kalinina, Matteo Spada, Peter Burgherr. Application of a Bayesian hierarchical modeling for risk assessment of accidents at hydropower dams. *Safety Science* 110 – 2018, 164–177, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.006>
3. Andrea Maranzoni, Marco D’Oria, Carmine Rizzo. Probabilistic mapping of life loss due to dam-break flooding. *Natural Hazards* – 2023, 20:2433–2460, <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06285-3>
4. South Asia Network on Dams, Rivers and People (SANDRP) – 2024. <https://sandrp.in/2024/05/06/may-2024-brazil-dam-collapse-leads-to-death-destruction/>
5. Paulina Concha Larrauri, Upmanu Lall, M. Amin Hariri-Ardebili. Needs for Portfolio Risk Assessment of Aging Dams in the United States. *Journal of Water Resources Planning and Management* 149:04022083. - 2022, DOI: 10.1061/JWRMD5.WRENG-5673
6. Aristotelis Koskinas, Aristoteles Tegos, Penelope Tsira, Panayiotis Dimitriadis, Theano Iliopoulou, Panos Papanicolaou, Demetris Koutsoyiannis, Tracey Williamson (2019) Insights into the Oroville Dam 2017 Spillway Incident. *Geosciences* 2019, 9(1), 37; <https://doi.org/10.3390/geosciences9010037>
7. Reliefweb – 2010. Available at: <https://reliefweb.int/report/kazakhstan/kazak-authorities-probe-flood-tragedy>
8. Azertac – 2010. Available at: https://azertag.az/en/xeber/kazakhstan_president_demands_answers_over_deadly_flooding-589242
9. Asia-Plus New Agency – 2010. 35 villagers die in Kazakhstan flood. Available at: <https://www.asiaplustj.info/en/news/centralasia/20100315/35-villagers-die-kazakhstan-flood>
10. R.A. Nabilah, Dwita Sutjiningsih, Evi Anggraheni, S.Murniningsih. Dam break analysis of Situ Gintung Dam collapse reconstruction. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* – 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/599/1/012064
11. Joko Sujono. Hydrological Analysis of the Situ Gintung Dam Failure. *JDR* – 2012, Vol.7 No.5 pp. 590-594, doi: 10.20965/jdr.2012.p0590, <https://www.fujipress.jp/jdr/dr/dsstr000700050590/>

12. Reliefweb WHO emergency situation report no. 2: Collapsed dam of Situ Gintung, Tangerang, Banten Province, Republic of Indonesia - 30 Mar 2009. Available at: <https://reliefweb.int/report/indonesia/who-emergency-situation-report-no-2-collapsed-dam-situ-gintung-tangerang-banten>
13. J. David Rogers, Conor M. Watkins, Jaewon Chung. The 2005 upper Taum Sauk Dam failure: A case history. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XVI, No. 3, August 2010, pp. 257–289. DOI: 10.2113/gsegeosci.16.3.257
14. Practical Engineering – 2024. The Wild Story of the Taum Sauk Dam Failure <https://practical.engineering/blog/2024/10/15/the-wild-story-of-the-taum-sauk-dam-failure>
15. Abree A. Peterson, Karen E. DeMatteo, Roger J. Michaelides, Stanton Braude, Alan R. Templeton. Time Series Analysis of Vegetation Recovery After the Taum Sauk Dam Failure. *Remote Sens.* 2025, 17(9), 1605; <https://doi.org/10.3390/rs17091605>
16. Leslie F. Harder, Jr., Keith I. Kelson, Tadahiro Kishida, and Robert Kayen. Preliminary Observations of the Fujinuma Dam Failure Following the March 11, 2011 Tohoku Offshore Earthquake, Japan. *Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER)* https://damfailures.org/sites/default/files/wp-pdf/QR5_Preliminary-Observations-of-Fujinuma-Dam-Failure_06-06-11.pdf
17. Daniel Pradel, Joseph Wartman, and Binod Tiwari. Failure of Fujinuma dam during the 2011 Tohoku Earthquake. *Joint Conference Proceedings 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering* March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan. DOI: 10.1061/9780784412787.156
18. Bhuddarak Charatpangoon, Junji Kiyono, Aiko Furukawa, Chayanon Hansapinyo. Dynamic analysis of earth dam damaged by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* Volume 64, - September 2014, Pages 50-62. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267726114001006>
19. Ahmed F. Chraibi, Anton J. Schleiss, and Jean-Pierre Tournier. Failure of Saddle Dam, Xe-Pian Xe-Namnoy Project: Executive Summary. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering* – 2020, DOI: 10.1007/978-3-030-46351-9_2
20. Lei Xie, Wenbin Xu, Xiaoli Ding. Recursory motion and deformation mechanism of the 2018 Xe Pian-Xe Namnoy dam Collapse, Laos: Insights from satellite radar interferometry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Volume 109, May 2022, 102797. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102797>
21. International Rivers – 2018. The Xe Pian-Xe Namnoy Dam Disaster: Situation Update Two Years On. Available at: https://www.internationalrivers.org/wp-content/uploads/sites/86/2020/08/ir-factsheet-2_year_xe_pian_dam_collapse_1_0.pdf
22. Department of Environment, Great Lakes, and Energy – 2020/ Edenville/Sanford dams' failure. Available at: <https://www.michigan.gov/egle/about/organization/water-resources/dam-safety/edenville-sanford>
23. Daniel Pradel, Adam Lobbstaël, Colin N. Brooks, Richard Dobson, Nicholas Marion, Thomas Oommen, Alan J. Esser, P.E., Adda Athanasopoulos-Zekkos, Dimitrios Zekkos, Marin Clark, Kirk Townsend, Nathan Niemi, Nik Midttun, Madeline Hille. The May 19, 2020, Failure of Edenville Dam near Midland, Michigan. *Geo-Extreme* – 2021, <https://doi.org/10.1061/9780784483688.026>
24. BBC – 2024. Available at: <https://www.bbc.com/news/world-europe-68746276>
25. ALJAZEERA News – 2024. <https://www.aljazeera.com/news/2024/4/6/russia-evacuates-4000-people-after-floods-dam-burst-near-kazakh-border>
26. Reliefweb – 2024. <https://reliefweb.int/report/sudan/sudan-collapse-arbaat-dam-port-sudan-red-sea-state-flash-update-no-02-29-august-2024-enar>

27. United Nations News – 2024. Available at: <https://news.un.org/en/story/2024/08/1153651>
28. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) – 2024. Available at: <https://www.unocha.org/publications/report/sudan/sudan-collapse-arbaat-dam-port-sudan-red-sea-state-26-august-2024-enar>
29. European Union Civil Protection and Humanitarian Aid – 2025. Available at: https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/news-stories/stories/disaster-photos-nova-kakhovka-dam-breach-ukraine_en
30. United Nations News – 2025. Available at: <https://ukraine.un.org/en/295829-flooding-was-%E2%80%98just-beginning%E2%80%99-kakhovka-dam-disaster-two-years>
31. Habil Huseynov, Surxay Safarov. Assessment of potential flood risk along the Kura River in the Yevlakh–Neftchala zone, The Seventh Eurasian Conference RISK-2025 “RISK-ORIENTED DESIGN AND OPERATION OF INFRASTRUCTURE SYSTEMS: SUSTAINABILITY PARADIGM”, Abstract Book – 2025, pp. 117-118 www.eurasianrisk2025.com
32. Habil Huseynov. Asian Disaster Reduction Center (ADRC) Visiting Researcher FY23 Country Report Azerbaijan – 2023, pp. 21, Japan. Available at: https://www.adrc.asia/aboutus/vrdata/CR/FY2023_Azerbaijan_CountryReport.pdf
33. Habil Huseynov, Aprel Babayev, Maharram Abdullayev. Flood disaster risk management during military conflicts, International Conference on “Environmental impact of military conflicts” dedicated to the “Year of Constitution and Sovereignty” – 2025, Baku, Azerbaijan, pp. 243-244.

Х. А. Гусейнов^{1,2}, С. Р. Расулов¹, Г. Р. Мустафаева¹

¹Әзербайжан мемлекеттік мұнай және өнеркәсіп университеті, Баку, Әзербайжан

²Әзербайжан Республикасының Төтенше жағдайлар министрлігі академиясы,
Баку, Әзербайжан

ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ АПАТТАР: ПАЙДА БОЛУ СЕБЕПТЕРІ ЖӘНЕ МИНГЯЧЕВИР СУ ҚОЙМАСЫ БӨГЕТІ ҮШІН ЫҚТИМАЛ ҚАУІПТЕР

Аңдатпа. Гидродинамикалық апаттар гидротехникалық құрылыстардың істен шығуы салдарынан туындайтын, кең аумақтардың су басуына және ауқымды әлеуметтік-экономикалық зардаптарға әкелетін Төтенше жағдайлар болып табылады. Мақалада гидродинамикалық апаттардың, әсіресе су қоймалары бөгеттерінің бұзылуынан туындайтын апаттардың пайда болуына әсер ететін факторлар жүйелі түрде талданған. Әлемде орын алған нақты оқиғалар негізінде олардың келтірген салдары, сондай-ақ апаттардың туындау себептері жан-жақты зерттеліп. Еліміз жағдайында осындай гидродинамикалық апаттардың ықтимал пайда болу себептері талданған. Зерттеу нысаны ретінде алынған Мингячевир су қоймасы бөгетінің мүмкін апаттар салдарынан бұзылу қаупі бағаланған. Зерттеу нәтижелері техникалық, табиғи және антропогендік факторлардың өзара ықпалы гидродинамикалық апаттардың ауқымы мен әсер ету күшін едәуір арттыратынын көрсетеді.

Түйінді сөздер: гидродинамикалық апат, су басу, гидротехникалық құрылыстар, төтенше жағдай, су қоймасы, тасқын, бөгеттің бұзылуы, Мингячевир су қоймасы бөгеті.

Х. А. Гусейнов^{1,2}, С. Р. Расулов¹, Г. Р. Мустафаева¹

¹*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Баку, Азербайджан*

²*Академия Министерства по чрезвычайным ситуациям Азербайджанской Республики,
Баку, Азербайджан*

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АВАРИИ: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ УГРОЗЫ ДЛЯ ПЛОТИНЫ МИНГЯЧЕВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Аннотация. Гидродинамические аварии являются чрезвычайными ситуациями, возникающими в результате выхода из строя гидротехнических сооружений и приводящими к затоплению и подтоплению обширных территорий, а также к крупномасштабным социально-экономическим последствиям. В статье системно проанализированы факторы, обуславливающие возникновение гидродинамических аварий, в частности катастроф, возникающих вследствие разрушения плотин водохранилищ. На основе реально произошедших в мире событий детально исследованы вызываемые ими последствия, а также причины возникновения аварий. Проанализированы возможные причины потенциального возникновения подобных гидродинамических аварий в условиях нашей страны. В качестве объекта исследования проведена оценка риска вероятного разрушения плотины Мингячевирского водохранилища в результате возможных аварий. Результаты исследования показывают, что взаимное воздействие технических, природных и антропогенных факторов в значительной степени увеличивает масштабы и силу воздействия гидродинамических аварий.

Ключевые слова: гидродинамическая авария, подтопление, гидротехнические сооружения, чрезвычайная ситуация, водохранилище, наводнение, разрушение плотины, плотина Мингячевирского водохранилища.

Information about the authors / Сведения об авторах / Авторлар туралы мәлімет

Habil Akram Huseynov – Lecturer of the Military Department of the Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan and PhD student at Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan. E-mail: habil.huseynov.98@gmail.com

Sakit Rauf Rasulov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Industrial Safety and Labor Protection Department at Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan. E-mail: rasulovsakit@gmail.com

Gulshan Rasul Mustafayeva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Industrial Safety and Labor Protection Department at Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan. E-mail: Gulsen190777@gmail.com

Хабил Акрам Гусейнов – преподаватель Военного отдела Академии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Азербайджан, аспирант Азербайджанского государственного нефтяного университета, Баку, Азербайджан. E-mail: habil.huseynov.98@gmail.com

Сакит Рауф Расулов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной безопасности и охраны труда Азербайджанского государственного нефтяного университета, Баку, Азербайджан. E-mail: rasulovsakit@gmail.com

Гюльшан Расул Мустафаева – доктор технических наук, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны труда Азербайджанского государственного нефтяного университета, Баку, Азербайджан. E-mail: Gulsen190777@gmail.com

УДК 614.8:355.58
МРНТИ 81.93.21

С. Д. Шарипханов¹, А. А. Абдрахманов², А. А. Жаулыбаев³, М. Б. Бекболатова¹

¹*Казахстанский научно-исследовательский, обучающий центр в области
гражданской защиты и охраны труда, Астана, Казахстан*

²*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

³*Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПЕРСОНАЛА И СИЛ РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ АВАРИЯХ С ВЫБРОСОМ СИЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ЯДОВИТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Аннотация. В статье рассматривается методика формирования практической готовности персонала и сил реагирования к действиям при авариях с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ на опасных производственных объектах. Показано, что традиционные подходы к подготовке не в полной мере обеспечивают формирование устойчивых практических навыков, необходимых для эффективного реагирования в условиях химической опасности. Представлена структура и содержание методики, основанной на поэтапной организации подготовки, интеграции действий персонала объектов и аварийно-спасательных подразделений, использовании специализированных учебно-тренировочных средств и объективной оценке уровня готовности. Приведены результаты апробации методики, подтверждающие её эффективность в части повышения качества действий, сокращения времени реагирования и улучшения взаимодействия участников реагирования. Практическая значимость методики заключается в возможности её использования в системе подготовки персонала опасных производственных объектов и сил реагирования без замены действующих форм обучения и учений.

Ключевые слова: химически опасный объект, авария техногенного характера, практическая готовность персонала, силы реагирования, моделирование аварийных ситуаций, практико-ориентированное обучение, учебно-тренировочный комплекс, оценка уровня готовности, промышленная безопасность, система подготовки.

Введение. Аварии с выбросом сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) на опасных производственных объектах относятся к числу наиболее опасных чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера, способных привести к массовым поражениям персонала и населения, нарушению устойчивого функционирования объектов экономики и значительному экономическому и экологическому ущербу. Химически опасные объекты, на которых осуществляется хранение, переработка или транспортировка СДЯВ, требуют особого внимания в части предупреждения аварий и готовности к реагированию на их возможные последствия [1].

Практика ликвидации химически опасных аварий показывает, что эффективность реагирования в значительной степени определяется уровнем практической готовности персонала объектов и привлекаемых сил реагирования. При

этом традиционные формы подготовки, основанные преимущественно на теоретическом обучении и формализованных учениях, не в полной мере обеспечивают формирование устойчивых навыков действий в условиях, приближённых к реальным аварийным ситуациям.

В этих условиях возрастает необходимость разработки и применения методических подходов, ориентированных на формирование практической готовности персонала и сил реагирования, основанных на поэтапной организации подготовки, моделировании типовых аварий с СДЯВ и объективной оценке достигнутого уровня готовности. Международная практика также подчёркивает значимость компетентностного и практико-ориентированного подхода к подготовке подразделений реагирования при химических авариях [2].

Целью настоящей статьи является представление структуры и содержания методики формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с СДЯВ на опасных производственных объектах, а также обобщение результатов её апробации в рамках научно-исследовательской работы.

Анализ существующих подходов к подготовке при авариях с СДЯВ. Подготовка персонала опасных производственных объектов и сил реагирования к действиям при авариях с выбросом СДЯВ традиционно основывается на сочетании теоретического обучения, инструктажей и периодических учений. Данный подход позволяет сформировать общее представление о характере опасности и порядке действий, однако не всегда обеспечивает выработку устойчивых практических навыков, необходимых для работы в условиях высокой динамики, неопределённости и дефицита времени, характерных для реальных аварий с СДЯВ.

Одной из ключевых проблем существующих систем подготовки является ограниченность практической составляющей. Учения часто проводятся по заранее известным сценариям, в упрощённых условиях и без моделирования реальных поражающих факторов, что снижает их обучающую ценность и не позволяет объективно оценить уровень готовности персонала и подразделений реагирования. Кроме того, в ряде случаев подготовка персонала объекта и аварийно-спасательных подразделений осуществляется разрозненно, без отработки совместных действий и взаимодействия [3].

Международный опыт подготовки подразделений реагирования при инцидентах с опасными химическими веществами указывает на необходимость перехода к компетентностному и практико-ориентированному подходу, предполагающему формирование конкретных умений и навыков, а также их регулярную проверку в условиях, максимально приближённых к реальным [4]. В то же время прямое заимствование зарубежных стандартов без адаптации к национальным условиям, нормативной базе и специфике опасных производственных объектов является недостаточно эффективным.

Таким образом, анализ существующих подходов показывает необходимость разработки методики подготовки, ориентированной на системное формирование практической готовности персонала и сил реагирования, основанной на поэтапной организации подготовки, моделировании типовых аварий с СДЯВ и использовании объективных критериев оценки уровня готовности.

Структура и содержание методики формирования практической готовности. Разрабатываемая методика формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях ориентирована на системное формирование устойчивых практических навыков действий в условиях, приближённых к реальным аварийным ситуациям. Методика основана на поэтапной логике организации подготовки и предусматривает последовательный переход от оценки исходного уровня готовности к практической отработке действий и последующей корректировке подготовки.

Целью методики является повышение эффективности действий персонала опасных производственных объектов и сил реагирования при авариях с СДЯВ за счёт целенаправленного формирования практических умений, сокращения времени принятия решений и повышения слаженности взаимодействия участников реагирования. В качестве основных задач методики рассматриваются: выявление уязвимых элементов подготовки, организация практической отработки действий в условиях, моделирующих реальные аварии, а также объективная оценка достигнутого уровня готовности.

Структурно методика включает взаимосвязанные и последовательно реализуемые этапы: анализ исходного уровня практической готовности; постановку целей и задач подготовки с учётом специфики объекта и возможных аварийных сценариев; проектирование структуры практической подготовки; реализацию практической подготовки; оценку уровня практической готовности и корректировку содержания подготовки [5]. Логика и последовательность указанных этапов образуют замкнутый цикл и наглядно представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема методики формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с СДЯВ

Содержательная часть методики ориентирована на интеграцию подготовки персонала опасных производственных объектов и сил реагирования, что позволяет отрабатывать не только индивидуальные действия, но и вопросы взаимодействия при ликвидации последствий аварий с СДЯВ. При этом методика не подменяет собой нормативно установленные формы обучения и учений, а дополняет их, обеспечивая переход от формального усвоения знаний к формированию устойчивых практических навыков действий в условиях химической опасности [6].

Инструментальное обеспечение реализации методики. Реализация методики формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с СДЯВ требует применения специализированных учебно-тренировочных средств, обеспечивающих моделирование условий, максимально приближённых к реальным аварийным ситуациям. Инструментальное обеспечение методики направлено на создание контролируемой и безопасной среды для отработки практических действий в условиях химической опасности.

В качестве основных средств инструментального обеспечения используются учебно-тренировочные комплексы и элементы учебных мест, позволяющие воспроизводить типовые сценарии аварий с выбросом СДЯВ, характерные для опасных производственных объектов. Применение таких средств обеспечивает визуализацию аварийной обстановки, формирование навыков ориентирования в условиях ограниченной видимости, а также отработку действий в средствах индивидуальной защиты.

Важным элементом инструментального обеспечения является возможность вариативного изменения условий подготовки, включая масштабы аварии, характер распространения опасных веществ и временные параметры реагирования. Это позволяет исключить адаптацию обучаемых к заранее известным сценариям и повышает устойчивость формируемых навыков к изменению обстановки.

Инструментальное обеспечение методики ориентировано не на имитацию отдельных приёмов, а на комплексную отработку действий персонала и сил реагирования, включая взаимодействие, распределение функций и принятие решений в условиях дефицита времени. При этом используемые средства не заменяют реальные учения, а дополняют их, обеспечивая более высокий уровень практической подготовки при соблюдении требований промышленной безопасности.

Критерии и показатели оценки уровня практической готовности. Оценка уровня практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с СДЯВ является обязательным элементом реализуемой методики и направлена на получение объективной информации о качестве подготовки и устойчивости действий в условиях, приближённых к реальным. В отличие от формализованных проверок знаний, оценка в рамках методики ориентирована на анализ практических результатов и поведенческих характеристик участников реагирования.

В качестве основных критериев оценки уровня практической готовности используются: время реагирования на возникновение аварийной ситуации; полнота и правильность выполнения установленных действий; устойчивость принятия решений в условиях дефицита времени и внешних воздействий; а также слаженность взаимодействия между персоналом объекта и подразделениями реагирования.

Указанные критерии позволяют комплексно оценить как индивидуальные действия, так и групповую эффективность реагирования [6].

Показатели оценки формируются на основе наблюдения за действиями обучаемых в процессе практической отработки аварийных сценариев и фиксируются по завершении каждого этапа подготовки. При этом особое внимание уделяется выявлению типовых ошибок, задержек в принятии решений и нарушений взаимодействия, оказывающих наибольшее влияние на эффективность реагирования при авариях с СДЯВ.

Результаты оценки используются не только для определения текущего уровня готовности, но и для корректировки содержания и организации подготовки на последующих этапах. Такой подход обеспечивает обратную связь и позволяет адаптировать методику к специфике конкретных опасных производственных объектов и составу привлекаемых сил реагирования.

Результаты апробации методики. Апробация методики формирования практической готовности персонала и сил реагирования при авариях с СДЯВ проводилась в рамках учебно-тренировочных мероприятий, ориентированных на отработку типовых аварийных сценариев, характерных для опасных производственных объектов химического профиля. В ходе апробации оценивалась динамика изменения уровня практической готовности участников подготовки по совокупности установленных критериев.

Результаты апробации показали устойчивую положительную динамику по основным показателям практической готовности. Отмечено сокращение времени реагирования на возникновение аварийной ситуации, повышение полноты и правильности выполняемых действий, а также улучшение слаженности взаимодействия между персоналом объекта и подразделениями реагирования. В сравнении с исходным уровнем подготовки зафиксировано снижение количества типовых ошибок, связанных с нарушением последовательности действий и несвоевременным принятием решений.

По результатам сравнительной оценки установлено, что применение методики позволило сократить среднее время реагирования на аварийную ситуацию на 20–25%, а количество типовых ошибок, связанных с нарушением последовательности действий и взаимодействия, снизилось в среднем на 25–30 % по сравнению с исходным уровнем подготовки.

Практическая отработка действий в условиях, приближенных к реальным, позволила повысить устойчивость навыков персонала и сил реагирования к изменению обстановки и внешним воздействиям. Участники подготовки демонстрировали более уверенное ориентирование в аварийной среде и способность адаптировать свои действия при изменении сценария развития аварии.

Полученные результаты подтверждают целесообразность применения разработанной методики в системе подготовки персонала опасных производственных объектов и аварийно-спасательных подразделений. Апробация показала, что методика может рассматриваться как эффективный инструмент повышения практической готовности к действиям при авариях с СДЯВ и использоваться для совершенствования существующих форм подготовки и учений.

Заключение. В статье представлена структура и содержание методики формирования практической готовности персонала и сил реагирования к действиям при авариях с СДЯВ на опасных производственных объектах. Показано, что существующие подходы к подготовке не в полной мере обеспечивают формирование устойчивых практических навыков действий в условиях, приближённых к реальным аварийным ситуациям, что обуславливает необходимость применения системного и практико-ориентированного методического подхода.

Разработанная методика основана на поэтапной логике организации подготовки, интеграции действий персонала объектов и сил реагирования, использовании специализированных учебно-тренировочных средств и объективной оценке уровня практической готовности. Апробация методики показала её эффективность в части повышения качества действий, сокращения времени реагирования и улучшения взаимодействия участников реагирования при авариях с СДЯВ.

Практическая значимость методики заключается в возможности её использования в системе подготовки персонала опасных производственных объектов и аварийно-спасательных подразделений без замены действующих форм обучения и учений, а в качестве их методического дополнения. Представленные в статье результаты получены в рамках грантовой научно-исследовательской работы ИРН AP23488650 (2024–2026 гг.) «Методика обоснования рационального варианта технического оснащения учебных мест специального военного образовательного учреждения, предназначенных для подготовки специалистов в области РХБ защиты», финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего развития методики и её внедрения в практику подготовки сил реагирования с учётом специфики потенциально опасных объектов и условий их функционирования.

Список литературы

1. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов химической отрасли промышленности: Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 30 декабря 2014 года № 345 (в ред. Приказа Министра по чрезвычайным ситуациям РК от 14 июля 2023 года № 382). – Астана: ИПС «Әділет», действующая редакция.
2. OECD. Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. 3rd Edition. Paris, OECD Publishing, 2019. URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/guiding-principles-for-chemical-accident-prevention-preparedness-and-response.htm>
3. Абдрахманов А.А., Кабашев Б.М., Дауренов Д.А. Анализ существующей системы подготовки специалистов в области радиационной, химической и биологической защиты в специальных, военных образовательных учреждениях // Наука и образование в гражданской защите. – 2024. – № 4 (56). – С. 78–84.
4. NFPA 1072. Standard for Competence of Responders to Hazardous Materials / Weapons of Mass Destruction Incidents. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022. URL:

<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1072>

5. Абдрахманов А.А., Фрайденберг А.Г., Даулетов К.С. Анализ научно-методического аппарата для обоснования рационального варианта технического оснащения учебных мест, предназначенных для специальной подготовки // Наука и образование в гражданской защите. – 2024. – № 3 (55). – С. 94-101.

6. Абдрахманов А.А., Даулетов К.С. Определение рационального варианта распределения времени на каждом учебном месте и оценки уровня подготовки специалистов в области радиационной, химической и биологической защиты // Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции «Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития государственной системы ГЗ». – Кокшетау: АГЗ им. М. Габдуллина МЧС РК, 2023. – С. 41–47.

References

1. Pravila obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti dlya opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov himicheskoy otrasli promyshlennosti: Prikaz Ministra po investiciyam i razvitiyu Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrya 2014 goda № 345 (v red. Prikaza Ministra po chrezvychajnym situacijam RK ot 14 iyulya 2023 goda № 382). – Astana: IPS «Әdilet», dejstvuyushchaya redakciya.

2. OECD. Guiding Principles for Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. 3rd Edition. – Paris: OECD Publishing, 2019. URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/guiding-principles-for-chemical-accident-prevention-preparedness-and-response.htm>.

3. Abdrahmanov A.A., Kabashev B.M., Daurenov D.A. Analiz sushchestvuyushchej sistemy podgotovki specialistov v oblasti radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity v special'nyh, voennyh obrazovatel'nyh uchrezhdeniyah // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashchite. – 2024. – № 4 (56). – S. 78-84.

4. NFPA 1072. Standard for Competence of Responders to Hazardous Materials / Weapons of Mass Destruction Incidents. – Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2022. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1072>

5. Abdrahmanov A.A., Frajdenberg A.G., Dauletov K.S. Analiz nauchno-metodicheskogo apparata dlya obosnovaniya racional'nogo varianta tekhnicheskogo osnashcheniya uchebnyh mest, prednaznachennyh dlya special'noj podgotovki // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashchite. – 2024. – № 3(55). – S. 94-101.

6. Abdrahmanov A.A., Dauletov K.S. Opredelenie racional'nogo varianta raspredeleniya vremeni na kazhdom uchebnom meste i ochenki urovnya podgotovki specialistov v oblasti radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity // Sbornik materialov XIII Nauchno-prakticheskoy konferencii «Istoricheskie aspekty, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya Gosudarstvennoj sistemy GZ». – Kokshetau: AGZ im. M. Gabdullina MCHS RK, 2023. – S. 41-47.

С. Д. Шәріпханов¹, А. А. Абдрахманов², А. А. Жауылыбаев³, М. Б. Бекболатова¹

¹*Азаматтық қорғау және еңбек қауіпсіздігі саласындағы Қазақстандық ғылыми-оқыту орталығы, Астана, Қазақстан*

²*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы, Көкшетау, Қазақстан*

³*Қазақстан Республикасы Ұлттық қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан*

ҚАУІПТІ ӨНДІРІСТІК ОБЪЕКТІЛЕРДЕ КҮШТІ ӘСЕР ЕТЕТІН УЛЫ ЗАТТАРДЫ ШЫҒАРУМЕН АВАРИЯЛАР КЕЗІНДЕ ПЕРСОНАЛДЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ ДАЙЫНДЫҒЫН ЖӘНЕ ДЕН ҚОЮ КҮШТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа. Мақалада қауіпті өндірістік объектілерде күшті әсер ететін улы заттардымен болған авариялар кезінде персоналдың және әрекет ету күштерінің іс жүзіндегі дайындығын қалыптастыру әдістемесі қарастырылады. Дәстүрлі дайындық тәсілдері химиялық қауіп жағдайында тиімді әрекет ету үшін қажетті тұрақты практикалық дағдыларды қалыптастыруды толық қамтамасыз етпейтіні көрсетілген. Дайындықты кезең-кезеңмен ұйымдастыруға, объектілер мен авариялық-құтқару бөлімшелері персоналының іс-қимылдарын интеграциялауға, мамандандырылған оқу-жаттығу құралдарын пайдалануға және дайындық деңгейін объективті бағалауға негізделген Әдістеменің құрылымы мен мазмұны ұсынылған. Іс-қимыл сапасын арттыру, әрекет ету уақытын қысқарту және әрекет етуге қатысушылардың өзара іс-қимылын жақсарту бөлігінде оның тиімділігін растайтын әдістемені сынақтан өткізу нәтижелері келтірілген. Әдістеменің практикалық маңыздылығы оны қауіпті өндірістік объектілердің персоналын даярлау жүйесінде және қолданыстағы оқыту мен оқу-жаттығу нысандарын алмастырмай әрекет ету күштерін пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Түйінді сөздер: химиялық қауіпті объект, техногендік сипаттағы авария, персоналдың практикалық дайындығы, әрекет ету күштері, авариялық жағдайларды модельдеу, тәжірибеге бағытталған оқыту, оқу-жаттығу кешендері, дайындық деңгейін бағалау, өнеркәсіптік қауіпсіздік, дайындық жүйесі.

S. D. Sharipkhanov¹, A. A. Abdrakhmanov², A. A. Zhaulybaev³, M. B. Bekbolatova¹

¹*Kazakhstan Scientific Research and Training Center for Civil Protection and Labor Protection, Astana, Kazakhstan*

²*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan*

³*National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

METHODOLOGY FOR THE FORMATION OF PRACTICAL READINESS OF PERSONNEL AND RESPONSE FORCES IN CASE OF ACCIDENTS INVOLVING THE RELEASE OF HIGHLY TOXIC SUBSTANCES AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

Abstract. The article discusses the methodology of forming the practical readiness of personnel and response forces to act in case of accidents involving nuclear power plants at hazardous production facilities. It is shown that traditional approaches to training do not fully ensure the formation of sustainable practical skills necessary for effective response in conditions of chemical danger. The structure and content of the methodology based on the step-by-step organization of training, integration of the actions of personnel of facilities and rescue units, the use

of specialized training equipment and an objective assessment of the level of readiness are presented. The results of the methodology testing are presented, confirming its effectiveness in terms of improving the quality of actions, reducing response time and improving the interaction of responders. The practical significance of the methodology lies in the possibility of its use in the training system for personnel of hazardous production facilities and response forces without replacing existing forms of training and exercises.

Keywords: chemically hazardous facility, man-made accident, practical readiness of personnel, response forces, emergency modeling, practice-oriented training; training complex, assessment of readiness, industrial safety, training system.

Сведения об авторах / Information about the authors

Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич – доктор технических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник Казахстанского научно-исследовательского, обучающего центра в области гражданской защиты и охраны труда, Астана, Казахстан. E-mail: info@kaznioc.kz

Абдрахманов Арман Айтмухаметович – кандидат военных наук, начальник кафедры гражданской обороны и военной подготовки Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: arman201079@gmail.com

Жаулыбаев Асан Аблаевич – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), профессор кафедры гражданской защиты Национального университета обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан. E-mail: zhaulybaev.aa@emer.kz

Бекболатова Меруерт Болатовна – кандидат технических наук, научный сотрудник Казахстанского научно-исследовательского, обучающего центра в области гражданской защиты и охраны труда, Астана, Казахстан. E-mail: tickets@1143gmail.com

Syrym D. Sharipkhanov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher at the Kazakhstan Research and Training Center in the field of civil protection and labor protection, Astana, Kazakhstan. E-mail: info@kaznioc.kz

Arman A. Abdrakhmanov – Candidate of Military Sciences, head of department Civil Defense and Military Training of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman201079@gmail.com

Assan A. Zhaulybayev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Civil Protection of the National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: zhaulybaev.aa@emer.kz

Meruert B. Bekbolatova – Candidate of Technical Sciences, researcher at the Kazakhstan Research and Training Center in the field of civil protection and labor protection, Astana, Kazakhstan. E-mail: tickets@1143gmail.com

ӨОЖ 355.5851
ХҒТАР 78.19.11

**Ж. Е. Жагупаров¹, А. З. Калиев², М. С. Куанышбаев³,
К. К. Каирбеков¹, Л. О. Агажаева⁴**

¹*Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің М. Ғабдуллин
атындағы Азаматтық қорғау академиясы, Көкшетау, Қазақстан*

²*Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Азаматтық қорғаныс
және әскери бөлімдер комитеті, Астана, Қазақстан*

³*Қазақстан Республикасының Ұлттық қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан*

⁴*Қазақстан Республикасының Мемлекеттік күзет қызметі, Астана, Қазақстан*

ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР ЖАҒДАЙЫНДА ҰЙЫМДАРДЫҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ ІС-ШАРАЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ МӘСЕЛЕСІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ

Аңдатпа. Мақалада табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайлар жағдайында ұйымдардың қызмет ету орнықтылығын арттыру жөніндегі іс-шаралардың тиімділігін бағалаудың ғылыми-әдістемелік тәсілі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі төтенше жағдайлардың жиілігі мен ауқымының артуымен, сондай-ақ ұйымдардың қызметінің үздіксіздігін қамтамасыз етуге және зақымдаушы факторлардың салдарын төмендетуге бағытталған қорғаныш, ұйымдастырушылық және инженерлік-техникалық іс-шараларды негізді таңдау мен басымдықтаудың қажеттілігімен айқындалады. Қызмет ету орнықтылығы ұйымның жұмысқа қабілеттілігін сақтау, аса маңызды функцияларды орындау және төтенше жағдайлар салдарынан туындаған бұзушылықтардан кейін жедел қалпына келу қабілеті ретінде түсіндіріледі. Ұсынылған әдістеме инфрақұрылымның, инженерлік жүйелердің жай-күйін, персоналдың даярлығын, қорғалу және басқарылу деңгейін қамтитын орнықтылықтың негізгі элементтерін сипаттайтын жекелеген көрсеткіштер жүйесіне негізделген. Көрсеткіштердің салыстырмалы маңыздылығын анықтау үшін Кендаллдың конкордация коэффициенті арқылы сарапшылар пікірлерінің келісімділігін тексерумен бірге сараптамалық ранжирлеу қолданылады. Бастапқы деректер Харрингтон шкаласы бойынша нормаланады, бұл әртүрлі көрсеткіштерді бірыңғай өлшемсіз түрге келтіруге мүмкіндік береді. Қорытынды бағалау орнықтылықтың интегралдық көрсеткіші түрінде қалыптастырылады. Зерттеу барысында ұйымның орнықтылығының ағымдағы деңгейі есептеліп, басым осал бағыттар айқындалды және түзетуші іс-шараларды іске асырудың қажеттілігі негізделді. Ұсынылған тәсіл азаматтық қорғау органдарының практикасында қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: төтенше жағдайлар, қызмет ету орнықтылығы, іс-шаралардың тиімділігін бағалау, интегралдық көрсеткіш, сараптамалық бағалаулар, Кендаллдың конкордация коэффициенті, Харрингтон шкаласы.

Кіріспе. Қазіргі заманғы әлемнің серпінді дамуы табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайлардың (ТЖ) жиілігі мен ауқымының артуымен сипатталады. Қазақстан Республикасында 2025 жылдың тоғыз айының ішінде 10738 ТЖ тіркелді, бұл 2024 жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 19,6 %-ға жоғары. Салдары ретінде адам шығыны (1409 адам зардап шекті, +17 %) және елеулі материалдық залал (5915,7 млн. теңге) орын алды. Бұл ретте техногендік оқиғалардың

үлесі басым болып қала береді (89,8 %), ал ең жоғары өсім қарқынын табиғи сипаттағы ТЖ көрсетіп отыр [1].

Зерттеудің өзектілігі ТЖ саны мен ауқымы өскен жағдайда ұйымдардың орнықтылығын арттыру қажеттілігімен айқындалады, бұл персонал мен халықты қорғау, аса маңызды процестердің үздіксіздігін қамтамасыз ету және қауіпті факторлардың әсерінен кейін қалпына келтіру мерзімдерін қысқарту үшін практикалық мәнге ие. Сонымен бірге ұлттық нормативтік база азаматтық қорғаныс іс-шараларын, оның ішінде инженерлік-техникалық іс-шараларды (ИТИ) алдын ала жоспарлау және іске асыру талабын бекітеді, бұл олардың нәтижелілігін салыстырмалы, объективті және дәлелді бағалау қажеттілігін қалыптастырады. Алайда азаматтық қорғаныс іс-шараларына қойылатын талаптардың нормативтік тұрғыда бекітілуіне қарамастан, тәжірибеде шаралар кешенінің нәтижелілігін бағалауға және олардың ұйымның интегралдық орнықтылығына қосатын үлесі бойынша саралап (ранжирлеуге) мүмкіндік беретін салыстырмалы сандық рәсімдердің әдістемелік тапшылығы сақталуда.

Осы зерттеудің мақсаты ТЖ жағдайында ұйымдардың орнықтылығын арттыруға бағытталған іс-шаралардың тиімділігін өлшенетін критерийлер мен көрсеткіштер негізінде бағалау тәсілін негіздеу болып табылады және бұл шешімдердің баламаларын салыстыруға және қол жеткізілген шешімді растауға мүмкіндік береді.

Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін ғылыми мақаланың шеңберінде төмендегідей зерттеу міндеттері шешілді:

- орнықтылықтың критерийлері мен жекелеген (жеке) көрсеткіштері жүйесін бөліп көрсету және құрылымдау;
- орнықтылықты бағалаудың есептік рәсімін (алгоритмін) қалыптастыру;
- жеке көрсеткіштердің салмақтарын сараптаамалық ранжирлеу негізінде айқындау және сарапшылар пікірлерінің келісімділігін Кендаллдың конкордация коэффициенті арқылы тексеру;
- көрсеткіштердің мәндерін нормалау және Харрингтон шкаласын қолдана отырып ұйым орнықтылығының интегралдық есебін жүргізу, алынған нәтижені нысаналы диапазонға қатысты интерпретациялау.
- басым осал бағыттарды айқындау және орнықтылықтың нысаналы деңгейіне қол жеткізу үшін түзетуші іс-шаралар қажеттілігі туралы қорытынды тұжырымдау.

Жұмыста қарастырылып отырған сала бойынша ғылыми әдебиет материалдары, оның ішінде ғылыми мақалалар пайдаланылды.

Зерттеу барысында төмендегі әдістер қолданылды:

- нормативтік-құқықтық дереккөздерді талдау және қорытындылау;
- ТЖ кезіндегі ұйымдардың орнықтылығы және тиісті іс-шаралардың тиімділігін бағалау тәсілдері мәселелері бойынша ғылыми әдебиеттерге контент-талдау және теориялық талдау жүргізу;
- сараптаамалық бағалау әдістері, оның ішінде баламалардың артықшылықтарын айқындау және орнықтылық көрсеткіштерінің маңыздылығын белгілеу үшін сарапшылар пікірлерін ранжирлеу және өңдеу;

- сараптамалық деректерді математикалық-статистикалық өңдеу, оның ішінде сараптамалық пайымдаулардың келісімділігін бағалау үшін Кендаллдың конкордация коэффициентін есептеу;
- формалданған алгоритм негізіндегі көпкритерийлі интегралдық бағалау (интегралдық есептеу) және көрсеткіштерді қорытынды орнықтылық көрсеткішіне келтіру тұқыртпа рәсімі;
- әртүрлі мәндерді біріздендірілген өлшемсіз интервалға көшіру және орнықтылық деңгейлерін жіктеу мақсатында көрсеткіштерді Харрингтон шкаласы бойынша нормалау.

Зерттеудің материалдары. Негізгі дереккөз базасын ғылыми және арнайы әдебиеттер, интернет желісіндегі материалдар құрады.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.

Осы мақалада ұйымның орнықтылығы ТЖ әсері жағдайында жұмысқа қабілеттілікті сақтап, қойылған функцияларды үздіксіз орындау қабілеті ретінде түсіндіріледі. Орнықтылық сондай-ақ қалпына келу дайындығы мен қабілетін қамтиды, яғни зақымдану, жүйелер жұмысының бұзылуы немесе ресурстардың бір бөлігін жоғалту жағдайында қызмет етудің талап етілетін параметрлеріне жедел қайта оралу мүмкіндігін білдіреді. Демек, қарастырылып отырған орнықтылық ТЖ кезінде сыни іркілістердің алдын алуды да, зақымдаушы факторлардың әсерінен кейін қызмет етуді тиімді қалпына келтіруді де қамтиды [2].

ТЖ жағдайында ұйымдардың орнықтылығын арттыруға бағытталған іс-шаралардың тиімділігін нәтижелердің салыстырмалылығын және қорытындылардың объективтілігін қамтамасыз ететін есептеудің формалданған алгоритмі негізінде жүзеге асыру қажет. Есептік рәсімді қолдану бағалау тәсілдерін біріздендіруге, нәтижелерді таңдалған критерийлер мен орнықтылық көрсеткіштерімен байланыстыруға, сондай-ақ ұйымдардың орнықтылығын арттыруға бағытталған ұйымдастырушылық және ИТІ үлесін сандық тұрғыда негіздеуге мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл басым іс-шараларды таңдауға және орнықтылықты арттыру жоспарларын кейіннен түзетуге дәлелді негіз қалыптастырады [3].

Ғылыми әдебиеттерде ТЖ кезіндегі ұйымның орнықтылығы басқарылушылықтың сақталуын, жұмысқа қабілеттілікті және қалпына келу мүмкіндігін көрсететін көрсеткіштер жүйесі арқылы ашып көрсетіледі. Атап айтқанда, [3, 72 б.] дереккөзіне сәйкес орнықтылықтың негізгі көрсеткіштеріне энергиямен жабдықтау, сумен жабдықтау және байланыс жүйелерінің сенімділігі, персонал мен материалдық құндылықтардың қорғалуы, сондай-ақ салдарды жедел жою қабілеті жатқызылған. Аталған көрсеткіштер зақымдаушы факторлардың әсері кезінде қызметтің үздіксіздігін және шығындар деңгейін айқындайтын тіршілікті қамтамасыз ету мен басқарудың сыни элементтерін сипаттайды.

Сонымен қатар, орнықтылық көрсетілген тізіммен шектелмейді және практикалық тұрғыдан ұйымның функцияларды сақтау әрі қалпына келтіру қабілетіне ықпал ететін өзге де көрсеткіштермен толықтырылады. Мұндай көрсеткіштерге (регламенттерді, жауапкершілік пен өкілеттіктерді бөлуді қоса алғанда) басқару жүйесінің ұйымдастырушылық дайындығы мен орнықтылығы, ресурстар мен өндірістік қуаттардың резервтелуі, технологиялық процестер мен жеткізу тізбектерінің орнықтылығы, персоналдың ТЖ кезіндегі іс-қимылдарға даярлығы және

оқытылу деңгейі, мониторинг пен хабарлау тиімділігі, сондай-ақ негізгі инфрақұрылымдық элементтердің қалпына келтіру қабілеті жатуы мүмкін. Бұл сипаттамалардың жиынтығы ұйымның нақты орнықтылығы туралы кешенді түсінік қалыптастырып, оны неғұрлым объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Қызмет етудің орнықтылығын арттыру алдын алу және қалпына келтіру сипатындағы ұйымдастырушылық, инженерлік-техникалық және өзге де шараларды қамтитын іс-шаралар кешенін іске асыру арқылы қамтамасыз етіледі. Ұйымдастырушылық іс-шаралар әрекеттерді жоспарлауды, персоналды даярлауды, резервтер құруды, құжаттаманы жүргізуді және өзара іс-қимыл тетіктерін қолдауды, сондай-ақ басқарушылық алгоритмдер мен коммуникацияларды пысықтауды қамтиды. ИТІ істен шығу ықтималдығын және зақымдану ауқымын азайтуға, аса маңызды жүйелер мен құрылыстарды қорғауға, резервтеу мен автономдылықты қамтамасыз етуге, сондай-ақ жедел қалпына келтіру үшін жағдай жасауға бағытталады. ИТІ тізбесі мен мазмұны [4], құжатымен айқындалған, бұл оларды орнықтылықты арттыру іс-шараларын жоспарлау және олардың тиімділігін бағалау кезінде нормативтік тұрғыдан бекітілген негіз ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Осылайша, басым шараларды негізді таңдауды және олардың нәтижелілігін растауды қамтамасыз ету үшін іс-шараларды сипаттамалық тізбектеуден ТЖ қауіпті факторларының әсеріне ұйымның орнықтылығын есептеудің формалданған алгоритміне сүйенетін сандық бағалауға көшу қажет.

Осы тәсілді іске асыру мақсатында төменде көрсеткіштерді нормалау және оларды кейіннен орнықтылықтың қорытынды интегралдық көрсеткішіне біріктіріп агрегаттау, сондай-ақ сараптамалық бағалау әдістеріне негізделген кезең-кезеңімен орындалатын есептік рәсім ұсынылады.

1-қадам. Әрбір сарапшының пікіріне сәйкес баламалардың жалпыланған артықшылықтарын есептеу. Әрбір сарапшының пікіріне сәйкес баламалардың жалпыланған артықшылықтарын есептеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Баламаларды ранжирлеу ТЖ жағдайында ұйымдардың қызмет ету орнықтылығының негізгі аспектілерін көрсететін критерийлер жүйесі негізінде жүзеге асырылды. Баламалар ретінде азаматтық қорғау саласындағы қолданыстағы нормативтік-құқықтық актілердің талаптары, сондай-ақ төтенше жағдайлар жағдайында экономика объектілері мен инфрақұрылымның орнықтылығы мәселелеріне арналған ғылыми жарияланымдарды талдау негізінде қалыптастырылған орнықтылықтың жекелеген көрсеткіштері қарастырылды.

Әрбір сарапшыға баламалардың бірыңғай тізбесі ұсынылды, ол ғимараттар мен құрылыстардың, технологиялық жабдықтардың жай-күйін, тіршілікті қамтамасыз ету инженерлік жүйелерін (электрмен, сумен және газбен жабдықтау), қорғаныс құралдарымен және қорғаныш құрылыстарымен қамтамасыз етілуін, персоналдың хабарлау сигналдары бойынша іс-қимыл жасауға даярлық деңгейін, хабарлау және басқару жүйелерінің тиімділігін, өртке қарсы және антитеррористік қорғалу деңгейін, сондай-ақ ұйымның киберорнықтылығын сипаттайтын көрсеткіштерді қамтыды. Көрсеткіштердің тұжырымдамалары екіұшты түсіндіруге жол бермейтін және сарапшыларға олардың ұйымның қызмет ету орнықтылығын қамтамасыз етудегі салыстырмалы маңыздылығын бағалауға мүмкіндік беретін сипаттамалық түрде ұсынылды.

Азаматтық қорғау және төтенше жағдайлар кезіндегі басқару саласында практикалық және ғылыми тәжірибесі бар 7 сарапшыға баламаларды төтенше жағдайлар жағдайында ұйымның қызмет ету орнықтылығына қосатын үлесіне қарай жеке тәртіппен ранжирлеу ұсынылды. Ранжирлеу абсолюттік мәндер берілмей, реттік шкала бойынша жүргізілді, бұл сараптамалық ранжирлеу әдістерінің талаптарына сәйкес келеді.

Зерттеудің қайта өндірілуін арттыру мақсатында сараптамалық сауалнаманың стандартталған нысаны қолданылды, оған мыналар кірді:

– әрбір көрсеткіштің мазмұны қысқаша түсіндірілген баламалар тізбесі (K_1 - K_{16});

- ранжирлеуді орындау жөніндегі нұсқаулық;
- рұқсат етілген мәндері көрсетілген рангтер шкаласы;
- сарапшының ескертпелері мен түсіндірмелеріне арналған өріс.

Сарапшылар бағаларының келісімділігі Кендаллдың конкордация коэффициентін қолдану арқылы тексерілді, бұл сарапшылар пікірлері арасындағы келісімнің қабылдауға болатын деңгейін және алынған нәтижелерді одан әрі агрегаттаудың негізділігін сандық түрде растауға мүмкіндік берді. Сауалнама құрылымы мен сараптамалық сұрау логикасын мақаланың мәтінінде немесе қосымшада ұсыну әдістеменің қайта өндірілуін арттыратыны ескеріліп, жұмыстың толықтырылған нұсқасында назарға алынады.

1-кесте – Әрбір сарапшының пікірі бойынша баламалардың жинақталған артықшылықтары

Белгіленуі	Сарапшы 1	Сарапшы 2	Сарапшы 3	Сарапшы 4	Сарапшы 5	Сарапшы 6	Сарапшы 7
S_1	9,7	7,6	11,1	10,8	10,6	10,5	9,7
S_2	9,4	7,3	10,4	10,3	10	9,9	9,4
S_3	8,1	7,2	8	8,2	8,3	8,3	8
S_5	7,6	9,1	7,4	7,5	7,7	7,6	7,6
S_6	7	6,5	6,7	6,8	3,4	7	7
S_7	3,6	6,5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,7
S_8	6,2	9,3	9,5	9,5	9,5	9,8	9,8
S_{10}	6,2	5,8	6	6	6	6	6,2
S_{11}	8,4	7,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,4
S_{12}	6,1	6,2	5,9	5,9	5,9	5,9	6,1
S_{13}	5,6	5,3	5,4	5,4	5,4	5,4	5,6
S_{14}	3,9	5	3,7	3,7	3,7	3,7	3,9
S_{15}	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4
S_{16}	2,2	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2

Баламалар артықшылықтарының жинақталған бағасын өңдеу нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – Баламалар артықшылықтарының жинақталған бағалары

C_1	C_2	C_3	C_5	C_6	C_7	C_8	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C
70	66,7	56,1	54,5	44,4	27,4	63,6	42,2	56,4	42	38,1	27,6	23,4	15,1	627,5
25,1	21,8	11,2	9,6	-0,42	-17,4	18,7	-2,6	11,5	-2,82	-6,72	-17,2	-21,4	-29,7	
634,0	478,7	127,2	93,7	0,2	303,5	352,7	6,9	134,1	8,0	45,2	296,5	458,8	883,3	3822,7
Кендаллдың конкордация коэффициенті – $W_{\text{кон}} = \frac{12 \times 3822,7}{14^2(7^3 - 7)} = 0,69$														

Баламалар салмақтарын есептеу нәтижелері 3-кестеде көрсетілген.

3-кесте – Баламалар салмақтары

V ₁	V ₂	V ₃	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₁₀	V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₁₄	V ₁₅	V ₁₆
0,112	0,106	0,089	0,087	0,071	0,044	0,101	0,101	0,090	0,067	0,061	0,044	0,037	0,024

Көрсеткіштердің маңыздылық деңгейлерін есептеу нәтижелері 4-кестеде берілген.

4-кесте – Көрсеткіштердің маңыздылық деңгейлері

K ₁	K ₂	K ₃	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₆
0,112	0,106	0,089	0,087	0,071	0,044	0,101	0,101	0,090	0,067	0,061	0,044	0,037	0,024

2-қадам. ТЖ жағдайында ұйымның жұмыс істеу орнықтылығы көрсеткіштерін жұптық салыстыру матрицасын толтыру.

Көрсеткіштерді салыстыру үшін сараптамалық бағалаудың математикалық әдісі қолданылады. ТЖ жағдайында ұйымның орнықтылық көрсеткіштері, олардың негізінде тиімділік бағаланатын көрсеткіштер, 5-кестеде келтірілген.

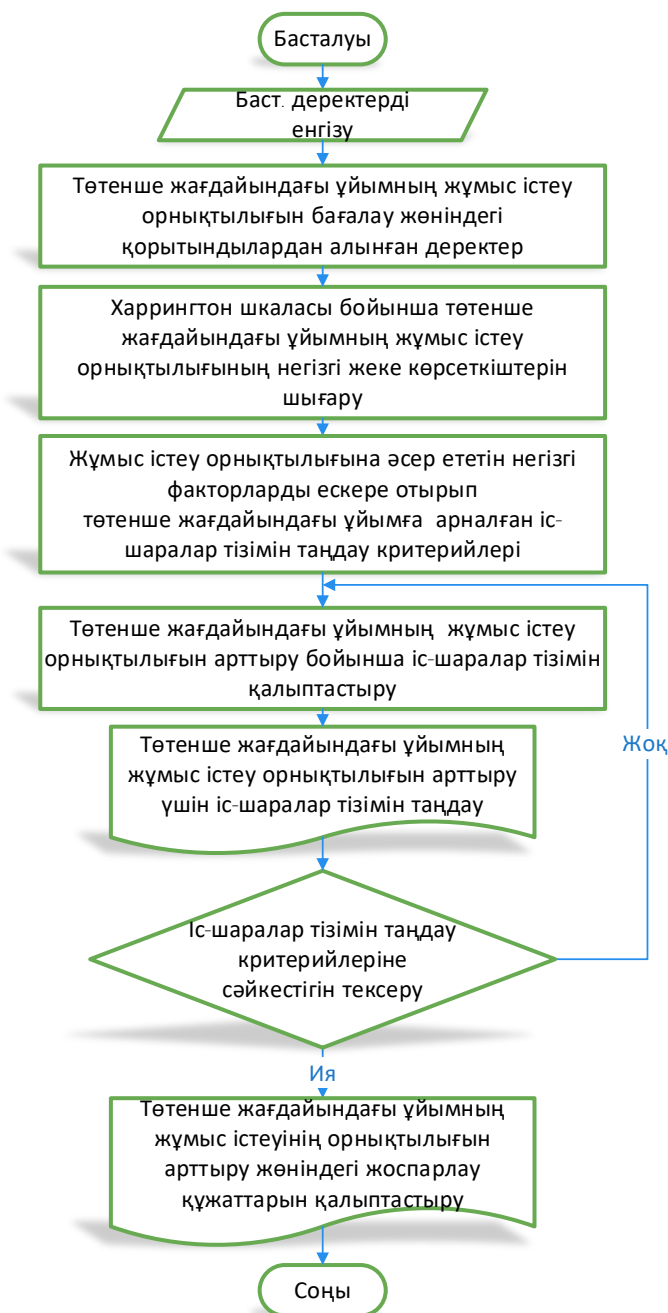
5-кесте – ТЖ жағдайында ұйымның жұмыс істеу орнықтылығының көрсеткіштері [5]

Жекелеген көрсеткіштердің атаулары	Белгіленуі
Ғимараттар мен құрылыстардың болжамды жағдайын сипаттайтын көрсеткіш	K ₁
Технологиялық жабдықтардың болжамды жағдайын сипаттайтын көрсеткіш	K ₂
Объектіге рұқсатсыз кіруден антитеррористік және антидиверсиялық қорғалу деңгейін сипаттайтын көрсеткіш	K ₃
Азаматтық қорғаныстың қорғаныш құрылыстарымен қамтамасыз етілуін сипаттайтын көрсеткіш	K ₄
Жеке қорғану құралдарымен қамтамасыз етілуін сипаттайтын көрсеткіш	K ₅
«Баршаңыздың назарыңызға!» белгіленген дабылдары бойынша іс-қимыл жасауға персоналдың даярлық деңгейін сипаттайтын көрсеткіш	K ₆
Объектінің электрмен жабдыкталуын сипаттайтын көрсеткіш	K ₇
Объектінің сумен жабдыкталуын сипаттайтын көрсеткіш	K ₈
Газбен жабдыкталуын сипаттайтын көрсеткіш	K ₉
Объект персоналын және зақымдану (жұқтыру) аймағына түсетін халықты қамту мүмкіндігі бар жергілікті құлақтандыру жүйесімен қамтамасыз етілуін сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₀
Объектіде авариялық-құтқару және кезек күттірмейтін жұмыстарды жүргізу үшін қажетті азаматтық қорғаныс мүлкімен қамтамасыз етілуін сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₁
Азаматтық қорғаныс бойынша жоспарлау құжаттарының бар-жоғын сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₂
Әсер ету жағдайларында өрттің таралу ықтималдығын сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₃
Ұйым объектісінің орналасуын сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₄
Ұйымның өрт қауіпсіздігін сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₅
Ұйымның киберқауіпсіздікке төзімділігін (киберорнықтылығын) сипаттайтын көрсеткіш	K ₁₆

Нақты ұйым үшін жекелеген көрсеткіштердің бастапқы мәндерін бағалау азаматтық қорғау және қауіпсіздік саласындағы қолданыстағы нормативтік

құжаттардың талаптарын ескере отырып қалыптастырылған стандартталған чек-парақ негізіндегі сараптамалық баллдық бағалау арқылы жүзеге асырылды. Әрбір көрсеткіш бойынша белгіленген талаптардың орындалу дәрежесін (толық болмауынан бастап толық сәйкестігіне дейін) сипаттайтын реттелген бағалау шкаласы қолданылды. Алынған сараптамалық балдар кейіннен Харрингтон шкаласы бойынша нормаланды, бұл сапалық бағаларды 0-ден 1-ге дейінгі аралықтағы өлшемсіз сандық мәндерге түрлендіруге мүмкіндік берді.

Орнықтылықты бағалау алгоритмін (1-сурет) пайдалана отырып, алынған барлық параметрлер агрегатталды.



Сурет 1– Орнықтылықты бағалау алгоритмі

Көрсеткіштердің мәндерін сандық және сараптамалық бағаларды біріздендірілген өлшемсіз индикаторға түрлендіру арқылы түсіндіруге мүмкіндік беретін Харрингтон шкаласы (6-кесте) негізінде беру ұсынылады. Аталған шкаланы қолдану әртекті көрсеткіштерді нормалауға, оларды бірыңғай өлшемдік кеңістікте өзара салыстыруға және алынған мәндерді белгіленген сапалық градациялар бойынша (*төмен деңгейден жоғары деңгейге дейін*) жіктеуге мүмкіндік береді. Бұл нәтижелердің салыстырмалылығын арттырады, бағалаудың субъективтілігін төмендетеді және орнықтылық дәрежесін есептеу кезінде көрсеткіштерді кейінгі интегралдық агрегациялаудың дұрыстығын қамтамасыз етеді.

Көрсеткіштер құрамын таңдау қатаң түрде бекітілмеген және бейімделгіш сипатқа ие. Жекленген көрсеткіштерінің жиынтығы ТЖ жағдайында ұйымның қызмет ету орнықтылығының негізгі аспектілерін (инфрақұрылым, инженерлік жүйелер, қауіпсіздік, персонал, басқару және цифрлық орнықтылық) қамтуды қамтамасыз ететін базалық, ең төменгі жеткілікті бағалау контуры ретінде қалыптастырылған және [5, 3 б.] дереккөзінде келтірілген әдістемеге негізделеді. Сонымен қатар ұсынылған тәсіл көрсеткіштер санын шектемейді: бағалау объектісінің түріне, оның салалық ерекшеліктеріне, сындылық деңгейіне және деректердің қолжетімділігіне байланысты көрсеткіштер тізбесі алгоритмнің логикасы мен интегралдық бағалау рәсімін бұзбай кеңейтілуі, қысқартылуы немесе нақтылануы мүмкін. Осылайша, әдістеме әртүрлі санаттағы ұйымдарға қатысты әмбебаптығын және қолданбалылығын сақтайды.

6-кесте – Ұйымның ТЖ жағдайындағы орнықтылық дәрежелері

Орнықтылық жағдайы	Орнықтылық деңгейлері
Ұйым өте жоғары орнықтылық деңгейімен жұмыс істейді	0,8-1,0
Ұйым жоғары орнықтылық деңгейімен жұмыс істейді	0,63-0,79
Ұйым орташа орнықтылық деңгейімен жұмыс істейді	0,37-0,62
Ұйым төмен орнықтылық деңгейімен жұмыс істейді	0,2-0,36
Ұйым орнықсыз	0-0,19
Орнықтылық көрсеткішінің мақсатты мәні 0,63-тен 1,0-ге дейінгі аралықта болуы тиіс	

Ұйымның орнықтылық дәрежесін 1-суретте келтірілген алгоритм бойынша есептеу нәтижелері 7-кестеде көрсетілген.

Зерттеліп отырған мысал ретіндегі ұйым үшін K_9 көрсеткіші газбен жабдықтаудың болмауына байланысты релевантты емес, ал K_4 инфрақұрылым класы ретінде жоқ болғандықтан, қолданылмады.

Осылайша, жүргізілген есептеулер ұйымның орнықтылығының ағымдағы дәрежесі 0,46-ға тең екенін көрсетті, бұл қорғалудың жеткіліксіз деңгейін айғақтайды. Әдістемеге сәйкес [5, 2 б., 6], орнықтылық дәрежесінің нысаналы мәні 0,63-тен 1,0-ге дейінгі диапазонда болуы тиіс.

Ұйымдардың орнықтылығын бағалауға арналған бұл тәсіл – тұтас әрі ғылыми негізделген құрал болып табылады және ол қазіргі заманғы ТЖ туындауы жағдайында ұйымдардың орнықтылығын жалпы арттыру мақсатында қосымша пысықтауды талап ететін ең осал көрсеткіштерді айқындауға мүмкіндік береді.

Ұсынылған әдістеме киберорнықтылық көрсеткішін енгізу және сараптамалық бағалаулардың келісімділігін тексеру рәсімдерін қолдану арқылы дәстүрлі тәсілдерді кеңейтеді.

7-кесте – Жекелеген көрсеткіштердің маңыздылығы

n	Көрсеткіштер	Рангі $r_1 — r_{14}$	$K_{уФЭ}$	$K_{уФР}$	$K_{уФ}$	$K_1 — K_{16}$
1.	K_1	0,143	0,314	0,145	0,46	0
2.	K_2	0,132				0
3.	K_7	0,121				0,6
4.	K_8	0,110				0,5
5.	K_3	0,099				0,6
6.	K_5	0,088				0,57
7.	K_{10}	0,077				0,7
8.	K_{11}	0,066				0,6
9.	K_6	0,055				0,7
10.	K_{12}	0,044				0,2
11.	K_{13}	0,033				0,5
12.	K_{14}	0,022				0,7
13.	K_{15}	0,011				1
14.	K_{16}	0,001				0,65
Ұйымның орнықтылық деңгейі					0,46	

Сандық және сапалық критерийлерді интеграциялау, сараптамалық бағалаулар мен математикалық әдістерді пайдалану ұйым қауіпсіздігінің ағымдағы жай-күйі жөнінде объективті көрініс қалыптастыруға мүмкіндік береді. Интегралдық көрсеткішті есептеу әртүрлі ұйымдарды салыстыруға және өзгерістер динамикасын бақылауға жағдай жасайды. Харрингтон шкаласын қолдану бағалау үдерісін ашық әрі қайта өндіруге болатын етеді. Әдістеменің практикалық маңыздылығы ұйымдардың құрылымы мен басқаруындағы әлсіз тұстарды анықтаудан, орнықтылықты арттыру бойынша негізделген ұсынымдар әзірлеуден, сондай-ақ қорғаныс іс-шараларын іске асыру шығындарын оңтайландырудан көрінеді. Әдістеме азаматтық қорғау және дағдарысқа қарсы басқару жүйелеріне тиімді интеграциялануы, сондай-ақ әртүрлі салалардағы ұйымдардың қауіпсіздігіне қойылатын нормативтік талаптарды әзірлеу үшін негіз ретінде қолданылуы мүмкін.

Осылайша, ұсынылған тәсіл ұйымдардың орнықтылығын жүйелі әрі бейімделгіш түрде бағалауды қамтамасыз етеді, бұл ТЖ жағдайында олардың орнықтылығын арттырудың қажетті шарты болып табылады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу Харрингтон шкаласы бойынша нормалау және сараптамалық салмақтау қолданылатын көпкритерийлі бағалаудың формалданған алгоритмін пайдалану ұйымның орнықтылық деңгейін және оны арттыруға бағытталған іс-шаралардың нәтижелілігін объективті әрі салыстырмалы сандық түрде айқындауды қамтамасыз ететінін растайды.

Аталған зерттеу төмендегілерге мүмкіндік берді:

- орнықтылық пен іс-шаралардың тиімділігін бағалауға арналған салыстырмалы және қайта өндіруге болатын есептік рәсімді қалыптастыруға;
- ұйымның орнықтылығының ағымдағы деңгейін сандық түрде айқындап, оны нысаналы диапазонмен салыстыруға;
- ең осал көрсеткіштерді анықтап, басым түзетуші шаралардың қажеттілігін негіздеуге;
- ұйымдастырушылық және ИТІ таңдау мен ранжирлеу үшін дәлелді негіз қалыптастыруға.

Осы мақаланың айрықша ерекшелігі – нормативтік түрде айқындалған және ғылыми негізделген орнықтылық көрсеткіштерін төмендегілерді қамтитын көпкритерийлі бағалаудың формалданған алгоритмімен интеграциялауы:

- келісімділікті тексерумен қатар жүретін сараптамалық ранжирлеу;
- Харрингтон шкаласы бойынша нормалау;
- орнықтылықтың интегралдық көрсеткішін есептеу.

Кейінгі зерттеулердің негізгі бағыттары:

– әдістемені әртүрлі салалардағы және сындылық деңгейі әрқилы ұйымдардың кеңейтілген таңдамада апробациялау, соның ішінде нақты ТЖ деректерімен салыстыру;

– ТЖ әртүрлі түрлері үшін (өрттер, су тасқындары, техногендік авариялар, сейсмикалық әсерлер) көрсеткіш салмақтарының салалық профильдерін және критерийлердің сценарийлік жиынтықтарын әзірлеу;

– агрегирлеу модельдерін нақтылау: көмескілік бағалауларға, интервалдық деректерге және «сараптамалық деректер мен статистика» біріктірілген схемаларына көшу;

– динамикалық (уақыт бойынша) бағалауды енгізу: орнықтылықтың өзгеруін мониторингтеу және іс-шараларды енгізгенге дейін және енгізгеннен кейін әсерін бағалау;

– алгоритмді шешім қабылдауды қолдаудың цифрлық жүйелеріне (оның ішінде ГАЗ-модульдер мен мониторинг панельдеріне) интеграциялау.

Ғылыми мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2024-2026 жылдарға арналған ЖТН АР23489347 «Қазіргі заманғы қару-жарақтардың зақымдаушы факторларынан объектілердің жұмыс істеу тұрақтылығын арттыру моделін әзірлеу» гранттық қаржыландыруы шеңберіндегі ғылыми-зерттеу жұмысы аясында жарияланды.

Әдебиеттер тізімі

1. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Өртке қарсы қызмет комитетінің ресми сайты. [Электрондық ресурс]. – Қолжетімділік режимі: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kps/activities/1751> (қаралған күні: 03.01.2026).

2. Юртушкин В.И. Чрезвычайные ситуации: защита населения и территорий: оку құралы / 2-ші бас., өңделген және толықтырылған. – М.: КОНКУРС, 2011. – 299 б.

3. Жагупаров Ж.Е., Куанышбаев М.С. Оценка степени устойчивости функционирования объекта экономики в условиях кризисных ситуаций // Теория и практика

повышения устойчивости урбанизированных территорий в чрезвычайных ситуациях: сборник материалов международного круглого стола (XV Халықаралық қауіпсіздікті қамтамасыз ету құралдарының салоны «Комплексная безопасность – 2024» шеңберінде), 2024 жылғы 30 мамыр. – Мәскеу: ВНИИ ГОиЧС. – Б. 61-74.

4. Қазақстан Республикасы Ішкі істер министрінің 2014 жылғы 24 қазандағы № 732 бұйрығы «Азаматтық қорғаныстың инженерлік-техникалық іс-шараларының мазмұны мен көлемі жөніндегі нұсқаулықты бекіту туралы». [Электрондық ресурс]. // Қазақстан Республикасының нормативтік құқықтық актілерінің ақпараттық-құқықтық жүйесі «Әділет» [сайт]. Қолжетімділік режимі: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14C0009922> (қаралған күні: 03.01.2026).

5. Ұйымның жұмыс істеу орнықтылығын арттыру мақсатында оның осалдығын бағалау әдістемесі: № 59035: өтінім берілген күні – 2025 жылғы 2 маусым; жарияланған күні – 2025 жылғы 29 мамыр / Куанышбаев М.С., Абдыкалыков А.А., Жағұпаров Ж.Е. Қолжетімділік режимі: <https://newcab.kazpatent.kz/?!.iD=5tQf> (қаралған күні: 03.01.2026).

6. Ильин Ю.В., Шарипханов С.Д., Кусаинов А.Б., Жаулыбаев А.А. Бейбіт және соғыс уақытындағы төтенше жағдайлар кезіндегі экономика объектісінің өндірісіндегі қауіптерді сәйкестендіру тәртібі // Азаматтық қорғаудағы ғылым мен білім. – Көкшетау, 2024. – № 3 (55). – Б. 37-45.

References

1. Oficial'nyj sajt Komiteta protivopozharnoj sluzhby Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kps/activities/1751> (data obrashcheniya: 03.01.2026).

2. Yurtushkin V.I. Chrezvychajnye situacii: zashchita naseleniya i territorij: uchebnoe posobie / 2-e izd., pererab. i dop. – M.: KONKURS, 2011. – S. 299.

3. Zhaguparov Zh.E., Kuanyshbaev M.S. Ocenka stepeni ustojchivosti funkcionirovaniya ob"ekta ekonomiki v usloviyah krizisnyh situacij // Sbornik materialov Mezhdunarodnogo kruglogo stola «Teoriya i praktika povysheniya ustojchivosti urbanizirovannyh territorij v chrezvychajnyh situacijah» (v ramkah provedeniya XV Mezhdunarodnogo salona sredstv obespecheniya bezopasnosti «Kompleksnaya bezopasnost' - 2024»), 30 maya 2024 g. – Moskva: VNII GOiCHS. – S. 61-74.

4. Prikaz Ministra vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 24 oktyabrya 2014 goda № 732 «Ob utverzhdenii Instrukcii po sodержaniyu i ob"emam inzhenerno-tekhnicheskikh meropriyatij grazhdanskoj oborony». [Elektronnyj resurs]. // Informacionno-pravovaya sistema normativnyh aktov Respubliki Kazahstan «Adilet» [sajt]. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14C0009922> (data obrashcheniya: 03.01.2026).

5. Metodika ocenki uyazvimosti organizacii dlya povysheniya ih ustojchivosti funkcionirovaniya: № 59035: zayavl. 2 iyunya 2025 g.: opubl. 29 maya 2025 g. / Kuanyshbaev M.S., Abdykalykov A.A., Zhaguparov Zh.E. Rezhim dostupa: <https://newcab.kazpatent.kz/?!.iD=5tQf> (data obrashcheniya: 03.01.2026).

6. Il'in Yu.V., Shariphanov S.D., Kusainov A.B., Zhaulybaev A.A. Bejbit zhane sogys uakytyndagy to tenshe zhagdajlar kezindegi ekonomika ob"ektisinin ondirisindegi kauipterdi sajkestendiru tartibi // Azamattyk korgaudagy gylym men bilim. – Kokshetau, 2024. – № 3 (55) – B. 37-45.

Ж. Е. Жагупаров¹, А. З. Калиев², М. С. Куанышбаев³, К. К. Каирбеков¹, Л. О. Агажаева⁴

¹*Академия гражданской защиты имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан,
Кокшетау, Казахстан*

²*Комитет по гражданской обороне и воинским частям МЧС Республики Казахстан,
Астана, Казахстан*

³*Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

⁴*Служба государственной охраны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аннотация. В статье рассматривается научно-методический подход к оценке эффективности мероприятий по повышению устойчивости функционирования организаций в условиях чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Актуальность исследования обусловлена ростом частоты и масштабов чрезвычайных ситуаций, а также необходимостью обоснованного выбора и приоритизации защитных, организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на обеспечение непрерывности деятельности организаций и снижение последствий воздействия поражающих факторов. Устойчивость функционирования трактуется, как способность организации сохранять работоспособность, выполнять критически важные функции и оперативно восстанавливаться после нарушений, вызванных чрезвычайными ситуациями. Предложенная методика основана на системе частных показателей, характеризующих ключевые элементы устойчивости, включая состояние инфраструктуры, инженерных систем, готовность персонала, уровень защищённости и управляемости. Для определения относительной значимости показателей применяется экспертное ранжирование с проверкой согласованности мнений на основе коэффициента конкордации Кендалла. Нормирование исходных данных осуществляется с использованием шкалы Харрингтона, что позволяет привести разнородные показатели к единому безразмерному виду. Итоговая оценка формируется в виде интегрального показателя устойчивости, обеспечивающего объективную и сопоставимую количественную интерпретацию. В рамках исследования выполнен расчёт текущего уровня устойчивости организации, выявлены приоритетные уязвимые направления и обоснована необходимость реализации корректирующих мероприятий. Предложенный подход может быть использован в практике органов гражданской.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, устойчивость функционирования, оценка эффективности мероприятий, интегральный показатель, экспертная оценка, коэффициент конкордации Кендалла, шкала Харрингтона.

Zh. E. Zhaguparov¹, A. Z. Kaliev², M.S. Kuanyshbayev³, K. K. Kairbekov¹, L. O. Agazhaeva⁴

¹*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Republic of Kazakhstan*

²*Committee for Civil Defense and Military Units of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Astana, Republic of Kazakhstan*

³*National Defence University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Republic of Kazakhstan*

⁴*State Security Service of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

ON ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF MEASURES TO ENHANCE THE RESILIENCE OF ORGANIZATIONAL OPERATIONS UNDER EMERGENCY CONDITIONS

Abstract. The article examines a scientific and methodological approach to assessing the effectiveness of measures aimed at improving the sustainability of organizational functioning under natural and man-made emergency conditions. The relevance of the study is обусловлена by the increasing frequency and scale of emergencies, as well as by the need for a justified selection and prioritization of protective, organizational, and engineering measures designed to ensure business continuity and reduce the impact of damaging factors. Functional sustainability is interpreted as the organization's ability to maintain operational capacity, perform critical functions, and promptly recover from disruptions caused by emergency situations. The proposed methodology is based on a system of individual indicators that characterize key elements of sustainability, including the condition of infrastructure and engineering systems, personnel preparedness, as well as the level of protection and manageability. To determine the relative importance of the indicators, expert ranking is applied with verification of opinion consistency using Kendall's coefficient of concordance. The normalization of initial data is carried out using the Harrington scale, which allows heterogeneous indicators to be converted into a unified dimensionless form. The final assessment is presented in the form of an integral sustainability index, providing an objective and comparable quantitative interpretation. As part of the study, the current level of organizational sustainability was calculated, priority vulnerabilities were identified, and the need for implementing corrective measures was substantiated. The proposed approach can be applied in the practical activities of civil protection authorities.

Keywords: emergencies, operational resilience, effectiveness assessment of measures, integral indicator, expert assessments, Kendall's coefficient of concordance, Harrington scale.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Жақсылық Ериқұлы Жағұпаров – философия докторы (PhD), Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясының Төтенше жағдайларда қорғау кафедрасының профессоры, Көкшетау, Қазақстан. E-mail: zhak_87_87@mail.kz

Арман Зарлықұлы Қалиев – Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Азаматтық қорғаныс және әскери бөлімдер комитетінің төрағасы, Астана, Қазақстан. E-mail: muratkuanyshbaev@gmail.com

Мұрат Сапарғалиұлы Қуанышбаев – философия докторы (PhD), Қазақстан Республикасы Ұлттық университетінің Азаматтық қорғау кафедрасының бастығы, Астана, Қазақстан. E-mail: muratkuanyshbaev@gmail.com

Кенесары Қалиасқарұлы Қайырбеков – Әскери ғылымдар кандидаты (PhD), Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясының Төтенше жағдайларда қорғау кафедрасының бастығы, Көкшетау, Қазақстан. E-mail: kenesar25.07@mail.ru

Лилия Өнерханқызы Агажаева – психология ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасының Мемлекеттік күзет қызметі, Астана, Қазақстан

Zhakslyk E. Zhaguparov – Doctor of Philosophy (PhD) (specialization: Weapons and Military Equipment), Professor, Department of Protection in Emergency Situations, Malik Gabdullin Civil Protection Academy of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: zhak_87_87@mail.ru

Arman Z. Kaliev – Chairman of the Committee for Civil Defense and Military Units of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: muratkuanysbbaev@gmail.com

Murat S. Kuanysbbaev – Doctor of Philosophy (PhD), Head of the Civil Protection Department, National University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: muratkuanysbbaev@gmail.com

Kenessary K. Kairbekov – Candidate of Military Sciences (PhD), Head of the Department of Protection in Emergency Situations, Malik Gabdullin Civil Protection Academy of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kenesar25.07@mail.ru

Lilia O. Agazhayeva – Candidate of Psychological Sciences, State Security Service of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

УДК 614.876:355.58
МРНТИ 81.93.15

С. Д. Шарипханов

*ТОО «Казахстанский научно-исследовательский, обучающий центр гражданской
защиты и охраны труда», Астана, Казахстан*

РАЗРАБОТКА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УГРОЗ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. В статье разработан прикладной риск-ориентированный подход к оценке радиационных рисков при возможных авариях на атомных электростанциях, ориентированный на задачи системы гражданской защиты. Предложен алгоритм оценки радиационной обстановки, обеспечивающий переход от исходных данных мониторинга к формализованной классификации уровней радиационного риска. Разработана авторская шкала уровней радиационного риска, увязанная с типовыми мерами реагирования органов гражданской защиты. Методика предназначена для поддержки управленческих решений на этапах предварительного прогнозирования и оперативного реагирования при радиационных чрезвычайных ситуациях и может применяться при ограниченном объёме исходных данных.

Ключевые слова: радиационная чрезвычайная ситуация, оценка радиационных рисков, гражданская защита, атомная электростанция, алгоритм оценки риска, шкала уровней риска, управленческое решение, реагирование на чрезвычайные ситуации.

Обеспечение устойчивости функционирования системы гражданской защиты основывается на анализе последствий возможных внешних воздействий на объекты критической инфраструктуры. К таким факторам относятся природные и техногенные чрезвычайные ситуации, а также иные факторы, способные привести к нарушению штатных условий эксплуатации потенциально опасных объектов. В случае реализации подобных воздействий на атомные электростанции возможны аварийные ситуации с радиационными последствиями, требующие своевременной оценки обстановки и принятия управленческих решений в целях защиты населения и территорий [1].

Существующие нормативные и методические подходы в области радиационной безопасности преимущественно сосредоточены на контроле уровней облучения и соблюдении предельных доз, что ограничивает их применимость для оперативного управления в условиях динамично развивающейся радиационной обстановки. Для системы гражданской защиты ключевое значение имеют не только количественные показатели воздействия, но и своевременная классификация степени угрозы, зонирование территорий и выбор адекватных мер реагирования.

Целью настоящей статьи является разработка прикладного алгоритма оценки радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях, ориентированного на задачи системы гражданской защиты. В рамках исследования предлагается риск-ориентированный подход, обеспечивающий формализацию результатов оценки радиационной обстановки и их интерпретацию в виде управленческих решений, применимых на этапах прогнозирования и оперативного реагирования.

Место оценки радиационных рисков в системе гражданской защиты. Оценка радиационных рисков является ключевым элементом обеспечения готовности системы гражданской защиты к реагированию на радиационные ЧС. В отличие от задач радиационной безопасности, ориентированных на контроль дозовых нагрузок, система гражданской защиты использует результаты оценки радиационной обстановки для обоснования управленческих решений, связанных с защитой населения, обеспечением безопасности персонала и координацией действий сил реагирования.

Для органов управления гражданской защитой принципиальное значение имеет оперативная интерпретация данных радиационного мониторинга в форме, позволяющей своевременно определить степень угрозы, масштабы возможного воздействия и приоритеты реагирования. В этом контексте оценка радиационных рисков выступает не самостоятельной аналитической процедурой, а инструментом поддержки принятия решений, обеспечивающим переход от измеряемых параметров радиационной обстановки к практическим мерам реагирования [2].

Отсутствие унифицированных прикладных моделей оценки радиационных рисков, ориентированных на задачи гражданской защиты, приводит к разрыву между результатами мониторинга и процессом управления в условиях ЧС. Устранение данного разрыва требует применения риск-ориентированных подходов, обеспечивающих классификацию уровней угрозы и формирование согласованных алгоритмов реагирования органов и сил гражданской защиты.

Методологическая основа оценки радиационных рисков. Методологическая основа оценки радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях базируется на риск-ориентированном подходе, предполагающем интеграцию вероятностных характеристик аварийных сценариев и возможных последствий радиационного воздействия. Такой подход обеспечивает формирование комплексной оценки угрозы, релевантной для задач гражданской защиты.

В международной практике ключевые принципы оценки радиационных рисков сформированы в рекомендациях ICRP и стандартах IAEA, где особое внимание уделяется этапности реагирования, зонированию территорий и увязке уровней воздействия с защитными мерами [3]. Методология вероятностного анализа безопасности (PRA), применяемая в ядерной энергетике, обеспечивает формализацию сценариев аварий и их ранжирование с учётом неопределённости исходных данных [4].

В обобщённом виде радиационный риск (1) R в рамках настоящего исследования рассматривается как функция вероятности реализации аварийного сценария P и тяжести последствий радиационного воздействия D [5]:

$$R = f(P, D)$$

При этом конкретные зависимости параметров не задаются, поскольку методика ориентирована на классификацию уровня угрозы и поддержку управленческих решений в системе гражданской защиты.

В рамках настоящего исследования указанные подходы используются как методическая база и адаптируются к задачам системы гражданской защиты. Акцент делается на прикладную интерпретацию результатов оценки радиационной

обстановки, позволяющую классифицировать уровни радиационного риска и формировать согласованные меры реагирования.

Предлагаемая методология ориентирована на использование данных радиационного мониторинга и не требует применения специализированных расчётных комплексов. Это обеспечивает возможность её применения как на этапе предварительного прогнозирования радиационных последствий, так и в ходе оперативного реагирования.

Алгоритм оценки радиационных рисков при радиационных чрезвычайных ситуациях. Алгоритм оценки радиационных рисков при радиационных ЧС предназначен для поэтапной обработки информации о радиационной обстановке и формирования управленческих решений в системе гражданской защиты. Алгоритм ориентирован на практическое применение в условиях ограниченного объёма исходных данных и динамичного развития радиационной обстановки.

Общая логика предлагаемого алгоритма оценки радиационных рисков представлена на рисунке 1.

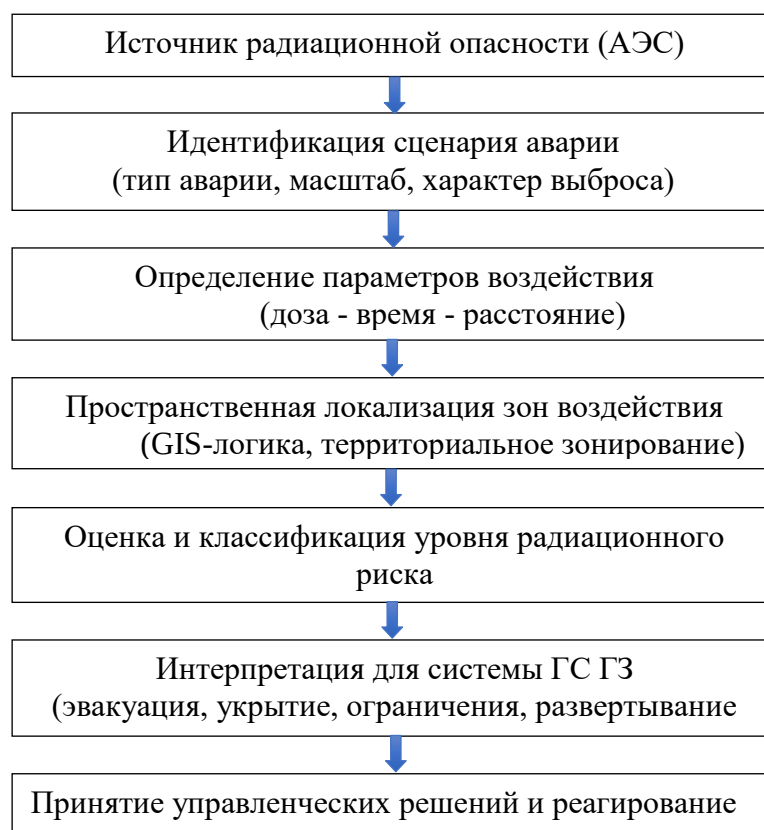


Рисунок 1 - Алгоритм оценки радиационных рисков ЧС при авариях на атомных электростанциях для системы гражданской защиты

На первом этапе осуществляется идентификация сценария радиационной ЧС на основе данных радиационного мониторинга, информации о состоянии объекта и метеорологических условий. Цель этапа заключается в предварительной классификации типа аварийной ситуации и определении потенциального характера радиационного воздействия.

На втором этапе выполняется оценка исходных параметров радиационной обстановки, включая пространственные и временные характеристики распространения радионуклидов. Полученные данные используются для предварительного зонирования территории по степени потенциального воздействия.

Третий этап предусматривает оценку уровня радиационного риска путём сопоставления вероятности реализации аварийного сценария и тяжести возможных последствий. Результаты данного этапа формируют основу для классификации уровня угрозы в соответствии с предлагаемой моделью.

На четвёртом этапе осуществляется интерпретация результатов оценки радиационного риска в интересах органов управления гражданской защитой. Определяются приоритеты реагирования, допустимые режимы работы аварийно-спасательных подразделений и необходимость применения защитных мер для населения и персонала.

Заключительный этап алгоритма направлен на корректировку управленческих решений по мере уточнения информации о радиационной обстановке. Это обеспечивает адаптацию мер реагирования к изменяющимся условиям и повышает устойчивость управления при развитии радиационной чрезвычайной ситуации.

Предварительная модель классификации уровней радиационного риска. Предварительная модель классификации уровней радиационного риска предназначена для формализации результатов оценки радиационной обстановки и их унифицированной интерпретации в системе гражданской защиты. Модель ориентирована на практическое применение и обеспечивает переход от количественных параметров радиационного воздействия к качественной оценке степени угрозы, понятной для органов управления и сил реагирования на ЧС.

Предлагаемая шкала уровней радиационного риска, таблица 1, разработана на основе синтеза международных принципов радиационной безопасности и риск-ориентированного подхода, изложенных в рекомендациях ICRP, стандартах IAEA и методологии PRA [6]. В отличие от нормативных классификаций, ориентированных преимущественно на дозиметрические показатели, данная шкала имеет прикладную направленность и предназначена для поддержки управленческих решений в системе гражданской защиты. Авторская новизна модели заключается в формировании уровней риска и их прямой увязке с типовыми мерами реагирования, адаптированными к условиям Республики Казахстан.

Таблица 1 – Шкала уровней радиационного риска и типовые меры реагирования системы гражданской защиты

Уровень риска	Характеристика радиационной обстановки	Потенциальные последствия	Типовые меры ГС ГЗ
1	2	3	4
Низкий	Фоновое или незначительное превышение, локальный характер	Отсутствие значимых последствий	Мониторинг, информирование
Умеренный	Ограниченное превышение, кратковременное воздействие	Возможное воздействие на чувствительные группы	Усиленный контроль, готовность сил

продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Повышенный	Устойчивое превышение, расширение зоны воздействия	Риск для населения и персонала	Ограничение доступа, укрытие
Высокий	Значительное превышение, неблагоприятные условия	Угроза здоровью, необходимость защиты	Частичная эвакуация, развертывание сил
Критический	Масштабное загрязнение, длительное воздействие	Тяжёлые последствия, системный ущерб	Полная эвакуация, режим ЧС

Шкала уровней радиационного риска и соответствующие типовые меры реагирования разработаны на основе (рисунок 2) международных научных и нормативных подходов, адаптированных к задачам системы гражданской защиты Республики Казахстан. Методическую основу модели составляют рекомендации ICRP (публикации 109 и 111), стандарты и руководства IAEA, риск-ориентированный подход NRC (PRA), а также анализ национальной практики органов гражданской защиты.



Рисунок 2 - Формирование авторской шкалы уровней радиационного риска для системы гражданской защиты

Каждому уровню радиационного риска в модели сопоставляется типовой набор управленческих и защитных мер, реализуемых в системе гражданской защиты. Это обеспечивает функциональную связь между результатами оценки радиационной обстановки и практическими действиями органов управления, включая зонирование территорий, выбор режимов защиты населения, порядок привлечения сил и средств, а также требования к безопасности персонала и аварийно-спасательных подразделений. В результате классификация уровней риска приобретает прикладной характер и используется как инструмент поддержки принятия управленческих решений.

Предлагаемая модель классификации отличается возможностью применения при ограниченном объёме исходных данных и не требует использования сложных специализированных расчётных комплексов. Это позволяет применять её как на этапе предварительного прогнозирования радиационных последствий, так и в ходе оперативного реагирования на радиационные ЧС, обеспечивая устойчивость управленческих решений в условиях неопределённости и динамичного развития радиационной обстановки.

Возможности практического применения методики. Предлагаемая методика оценки радиационных рисков ориентирована на практическое применение в системе

гражданской защиты и может использоваться при планировании и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации радиационных ЧС. Методика обеспечивает поддержку управленческих решений на различных этапах реагирования, включая предварительное прогнозирование, оперативное управление и корректировку мер защиты по мере уточнения радиационной обстановки.

Результаты оценки радиационного риска могут использоваться для обоснования зонирования территорий, выбора режимов защиты населения, определения допустимых условий работы аварийно-спасательных подразделений и планирования привлечения сил и средств. Это позволяет обеспечить согласованность действий органов управления и повысить эффективность реагирования при развитии радиационной ЧС.

В качестве демонстрационного примера применения методики рассматривается развитие радиационной ЧС, при которой на ранней стадии фиксируется превышение фоновых показателей при неопределённости масштабов воздействия. Органы управления гражданской защитой на основе данных радиационного мониторинга и метеорологической обстановки осуществляют первичную классификацию уровня радиационного риска и зонирование территории. По мере уточнения информации выполняется корректировка уровня риска и принимаются управленческие решения по ограничению доступа, защите населения и определению режимов работы аварийно-спасательных подразделений [7].

Методика может применяться в процессе подготовки планов реагирования, проведения учений и обучения персонала органов и сил гражданской защиты. Простота применения и ориентация на использование доступных данных обеспечивают возможность её внедрения в практику органов управления без существенных организационных и технических затрат.

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшее развитие предлагаемой методики оценки радиационных рисков связано с расширением её прикладных возможностей и углублением научной проработки отдельных элементов. Одним из перспективных направлений является интеграция методики с геоинформационными системами и моделями распространения радионуклидов, что позволит повысить точность пространственной интерпретации уровней радиационного риска.

Важным направлением дальнейших исследований является верификация и уточнение модели классификации уровней радиационного риска на основе сценарного анализа и результатов учений, а также её адаптация к различным типам радиационно-опасных объектов. Это позволит расширить область применения методики и повысить её универсальность.

Отдельное направление исследований связано с разработкой инструментов автоматизации оценки радиационных рисков и поддержки принятия решений для органов управления гражданской защитой. Реализация указанных направлений создаёт основу для формирования более комплексных научно-технических решений в области предупреждения и ликвидации радиационных ЧС [8].

Выводы. В статье разработан прикладной риск-ориентированный подход к оценке радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях, ориентированный на задачи системы гражданской защиты. Предложены алгоритм оценки радиационных рисков и предварительная модель классификации уровней

риска, обеспечивающие формализацию результатов оценки радиационной обстановки и их интерпретацию в виде управленческих решений.

Научная новизна работы заключается в трансформации международных принципов радиационной безопасности и методологии вероятностного анализа в инструмент поддержки принятия решений, адаптированный к условиям и практике Республики Казахстан. Разработанная шкала уровней радиационного риска обеспечивает прямую увязку результатов оценки с типовыми мерами реагирования органов гражданской защиты.

Практическая значимость результатов заключается в возможности применения методики на этапах предварительного прогнозирования и оперативного реагирования при радиационных ЧС. Предложенный подход может использоваться при планировании мероприятий гражданской защиты, проведении учений и обучении персонала, а также служить методической основой для дальнейших исследований и разработок в области обеспечения радиационной безопасности и защиты населения.

Статья подготовлена в рамках инициативной НИР № 0126РКИ0011, зарегистрированной в ИС АО «НЦГНТЭ», финансируемой ТОО «КазНИОЦ ГЗиОТ».

References

1. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. Vienna, IAEA, 2014. Available at: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>
2. OECD Nuclear Energy Agency. Risk-informed decision making for nuclear emergency preparedness // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – Vol. 273. – P. 1–10. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2014.02.019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2014.02.019>
3. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 111: Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident, *Annals of the ICRP*, 2009, Vol. 39, No. 3. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20111>
4. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Probabilistic Risk Assessment (PRA) in Nuclear Power Plant Safety. – Washington, DC: NRC. Available at: <https://www.nrc.gov/about-nrc/regulatory/risk-informed/pr.html>
5. Kaplan S., Garrick B. J. On the quantitative definition of risk. *Reliability Engineering & System Safety*, 1981, Vol. 1, No. 1, P. 11–27. DOI: 10.1016/0143-8174(81)90005-0.
6. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 109: Application of the Commission's Recommendations to Emergency Exposure Situations. *Annals of the ICRP*. 2009, Vol. 39, No. 1. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20109>
7. Shariphanov S. D., Kusainov A. B., Al'menbaev M. M., Zaharov I. A., Kasym K. Zh. Algoritmicheskij podhod k primeneniyu robototekhnicheskikh sredstv v sisteme grazhdanskoj zashchity pri avariyah na ob'ektah atomnoj energetiki. *Razvitie gosudarstvennoj sistemy grazhdanskoj zashchity v usloviyah sovremennyh vyzovov i ugroz*: sb. mater. Mezhdunar. nauch. konf. Astana: Nacional'nyj universitet oborony, 2025, S. 17–21.
8. International Atomic Energy Agency. Use of Mobile Robots for Radiological Hazard Assessment and Monitoring: IAEA-TECDOC-1806. Vienna, IAEA, 2016. Available at: <https://www.iaea.org/publications/11073/use-of-mobile-robots-for-radiological-hazard-assessment-and-monitoring>

С. Д. Шәріпханов

*«Азаматтық қорғау және еңбекті қорғау саласындағы Қазақстандық ғылыми-зерттеу,
оқыту орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан*

МҮМКІН БОЛАТЫН РАДИАЦИЯЛЫҚ СИПАТТАҒЫ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР КЕЗІНДЕ ҚАУІП-ҚАТЕРЛЕРДІ БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ТӘУЕКЕЛГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АЛГОРИТМДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Мақалада атом электр станцияларындағы ықтимал авариялар кезінде радиациялық тәуекелдерді бағалаудың азаматтық қорғау жүйесінің міндеттеріне бағытталған қолданбалы, тәуекелге негізделген тәсілі әзірленді. Радиациялық жағдайды бағалау алгоритмі ұсынылып, ол мониторингтің бастапқы деректерінен радиациялық тәуекел деңгейлерін формалдандырылған жіктеуге көшуге мүмкіндік береді. Азаматтық қорғау органдарының типтік әрекет ету шараларымен үйлестірілген радиациялық тәуекел деңгейлерінің авторлық шкаласы әзірленді. Әдістеме радиациялық сипаттағы төтенше жағдайлар кезінде алдын ала болжау және жедел әрекет ету кезеңдерінде басқарушылық шешімдерді қолдауға арналған және бастапқы деректер көлемі шектеулі жағдайларда қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: радиациялық сипаттағы төтенше жағдай, радиациялық тәуекелдерді бағалау, азаматтық қорғау, атом электр станциясы, тәуекелді бағалау алгоритмі, тәуекел деңгейлерінің шкаласы, басқарушылық шешімдер, төтенше жағдайларға әрекет ету.

S. D. Sharipkhanov

LLP «Kazakhstan Scientific research and training Center in the field of civil Defense and labor protection», Astana, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A RISK-ORIENTED ALGORITHM FOR THREAT ASSESSMENT IN POTENTIAL RADIOLOGICAL EMERGENCIES

Abstract. The article develops an applied risk-oriented approach to assessing radiation risks associated with possible accidents at nuclear power plants, oriented toward the tasks of the civil protection system. An algorithm for assessing the radiological situation is proposed, providing a transition from initial monitoring data to a formalized classification of radiation risk levels. An original scale of radiation risk levels has been developed and linked to standard response measures of civil protection authorities. The methodology is intended to support managerial decision-making at the stages of preliminary forecasting and operational response to radiological emergencies and can be applied under conditions of limited initial data availability.

Keywords: radiological emergency; radiation risk assessment; civil protection; nuclear power plant; risk assessment algorithm; risk level scale; managerial decision-making; emergency response.

Сведения об авторах / Information about the authors

Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич – доктор технических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник ТОО «Казахстанский научно-исследовательский, обучающий центр в области гражданской защиты и охраны труда», Астана, Казахстан. E-mail: shsyrym@rambler.ru

Syrym D. Sharipkhanov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher of the Kazakhstan Scientific Research and Training Center in the field of Civil Protection and Labor Protection LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: shsyrym@rambler.ru

УДК 623.74
МРНТИ 05.07.00

Т. З. Макаев, Е. Т. Ескибаев, Н. М. Тумышев

*Военный институт Сил воздушной обороны имени Т. Я. Бегельдинова,
Актобе, Казахстан*

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Аннотация. Сложность физико-химических процессов, протекающих в стеклопластиках в условиях высокоинтенсивных температурных воздействий, затрудняет аналитическое исследование тепловых деформаций и напряжений в конструкциях и приводит к необходимости их изучения экспериментальным путем. Авторы статьи проводят исследование тепловых деформаций стеклопластиков при одностороннем нагреве. И для исследования была создана установка, конструктивная схема которой показана на рисунке 1. Исследование деформативности выполнялось на прямоугольных образцах из стеклопластика на основе стеклоткани и фенолформальдегидной смолы. Испытания проводились при одностороннем воздействии переменных температур. Нагрев осуществлялся по линейным законам, затем происходило естественное охлаждение. С увеличением скорости нагрева температура термодеструкции распространяется на меньшую глубину, и тепловая деформация будет определяться температурным расширением зон, не подверженных деструкции.

Ключевые слова: тепловая деформация, проволоочный тензодатчик, усилитель тензометрических измерений ТА-5, миллиамперметр КСУ-4, хромель-алюмелевый термопар, многоточечный потенциометр КСП-4, нагревательный элемент, электронный потенциометр ЭПП-09, электронное программное устройство РУ5-02М, электронное регулирующее устройство РУ4-16М.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) начали разрабатываться в первой половине 20-го века для военных, а впоследствии и гражданских целей. Развитие технологий привело к уменьшению массогабаритных параметров и повышению маневренности БПЛА и способствует росту потребности в создании новых материалов, в частности композиционных. Благодаря таким материалам возможно создание более прочных и легких элементов конструкции аппарата, что повышает его летно-технические характеристики [1-4].

Сложность физико-химических процессов, протекающих в стеклопластиках в условиях высокоинтенсивных температурных воздействий, затрудняет аналитическое исследование тепловых деформаций и напряжений в конструкциях и приводит к необходимости их изучения экспериментальным путем.

Целью исследования является изучение зависимости тепловых деформаций стеклопластиков при одностороннем нагреве в авиационных конструкциях.

Задачи исследования.

1. Зависимости тепловой деформации от температуры на нагреваемой поверхности для различных скоростей нагрева.

2. Влияние теплопроводности композитного материала в зависимости от времени в характерных для них тепловых режимах.

Метод исследования

Для исследования создана установка, конструктивная схема которой показана на рисунке 1. Для имитации реальных условий эксплуатации образец 1, защемленный на основании 4 с помощью планки 5, размещается на подложке 17. Для уменьшения трения и теплопередачи между образцом и подложкой помещается слюдяная прокладка 16. Для исключения краевых эффектов боковые поверхности образца теплоизолируются базальтовым волокном.

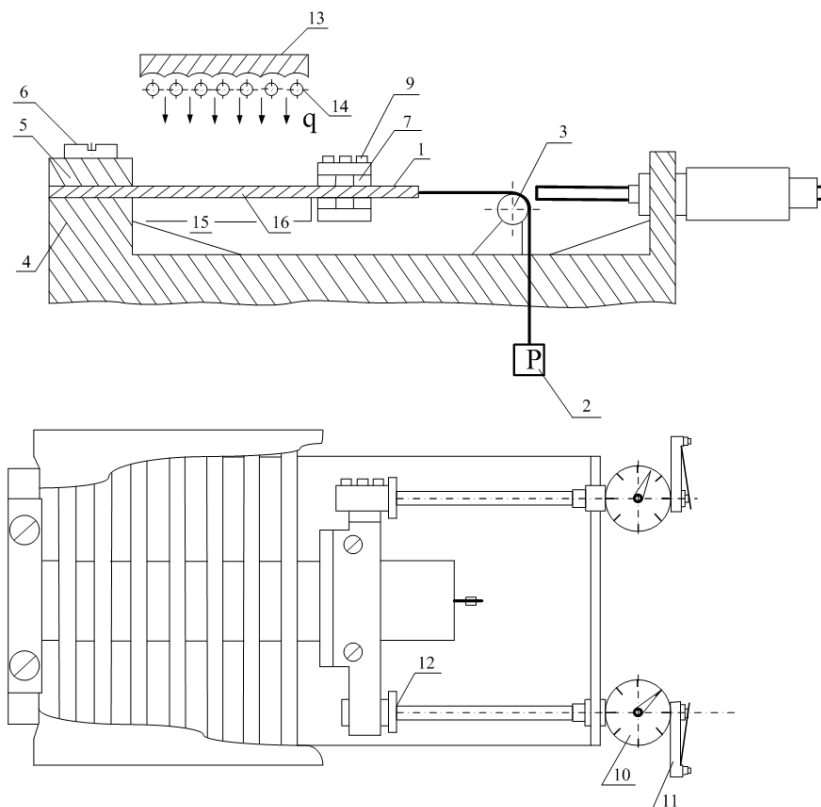


Рисунок 1 – Конструктивная схема установки

Предварительное нагружение при необходимости осуществляется грузом 2. Замер деформаций осуществляется с помощью специального приспособления, состоящего из ножей 7, 8, закрепленных на базе образца с помощью винтов 9. Запись деформаций ведется автоматически посредством тензометрической приставки 11. Проволочные тензодатчики, наклеенные на упругие элементы, преобразуют линейные перемещения штоков в электрический сигнал, который после усилителя тензометрических измерений ТА-5 регистрируется миллиамперметром КСУ-4. Для визуальной настройки системы записи деформаций и контроля замеров в ходе испытания предусмотрены два индикатора часового типа.

Температура на поверхностях образца замеряется хромель-алюмелевыми термопарами 15, 16 и регистрируется многоточечным потенциометром КСП-4.

Для одностороннего высокотемпературного нагрева применяется малоинерционная печь лучистого нагрева. Характерная особенность этой печи – способность обеспечивать нагрев как на воздухе и в вакууме, так и в специальных средах. Печь оказывается удобной и в тех случаях, когда источник нагрева не должен загрязнять нагреваемый объект. Нагревательный элемент выполнен из кварцевых ламп 14, расположенных в фокусах параболических поверхностей экрана 13. Необходимая однородность температурного поля по длине образца достигается равномерным расположением по площади рабочей зоны нагревателя большого количества ламп одного типа.

Программное регулирование температуры осуществляется с помощью следящей системы [5], в которую входят электронный потенциометр ЭПП-09, электронное программное устройство РУ5-02М и электронное регулирующее устройство РУ4-16М.

Исследование деформативности выполнялось на прямоугольных образцах 6х15х300 мм из стеклопластика на основе стеклоткани и фенолформальдегидной смолы. Испытания проводились при одностороннем воздействии переменных температур в диапазоне скоростей нагрева от 3 до 7 град/сек. Нагрев осуществляется по линейным законам до 800°C, затем происходило естественное охлаждение.

Зависимости тепловой деформации от температуры на нагреваемой поверхности для различных скоростей нагрева представлены на рисунке 2. Развитие деформации до температуры 400°C в зависимости от скорости нагрева показано на рисунке 3. На рисунке 4 изображены графики изменения температур во времени в различных точках по толщине образца для скорости нагрева 5,5 град/сек.

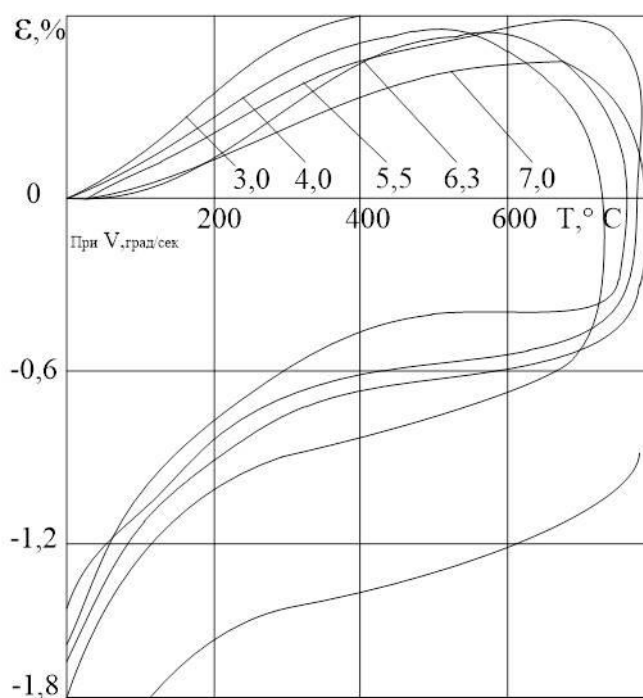


Рисунок 2 – Зависимости тепловой деформации от температуры

Результаты и обсуждения

Анализ полученных зависимостей показывает, что при температуре поверхности до 400°C с увеличением скорости нагрева тепловая деформация уменьшается. В то же время с увеличением интенсивности теплового потока максимальная положительная деформация несколько уменьшается и смещается в сторону более высоких температур. Это объясняется тем, что тепловое деформирование определяется соотношением зон материала, где температура достигла значений, при которых начинается деструкция связующего и зон, не подверженных структурным превращениям. Температура начала деструкции находится для данного материала в пределах 350-400°C, то есть начиная с этих температур начинается «усадка».

Зоны материала, не подверженные термодеструкции, расширяются за счет коэффициента линейного расширения, зависящего от температуры. Распределение по сечению этих зон определяется полем температур по толщине образца (рисунок 4).

С увеличением скорости нагрева температура термодеструкции распространяется на меньшую глубину, и тепловая деформация будет определяться температурным расширением зон, не подверженных деструкции.

Так как композитный материал обладает малой теплопроводностью и большой теплоемкостью, тепловое деформирование будет, кроме того, зависеть от времени, в течение которого соответствующие зоны пребывают в характерных для них тепловых режимах.

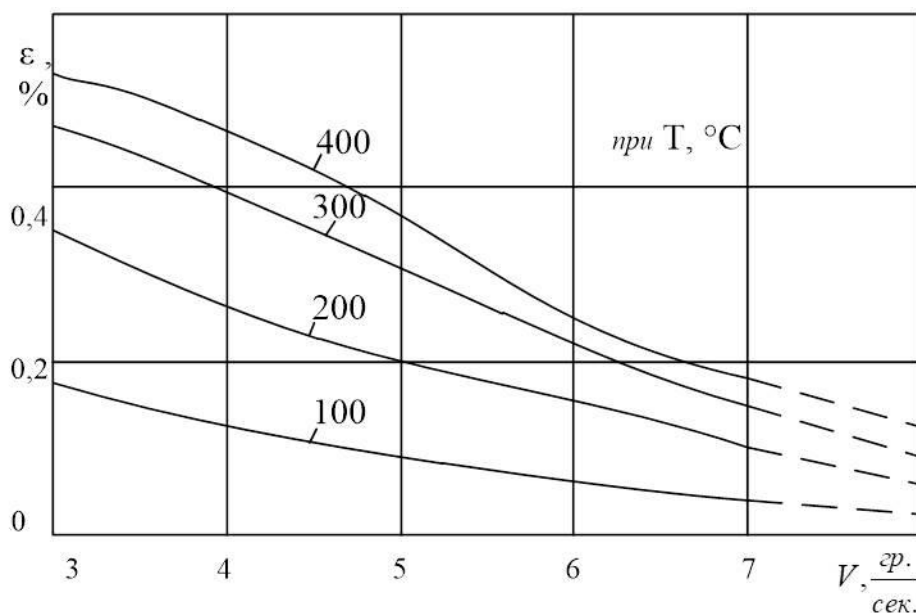


Рисунок 3 – Зависимости тепловой деформации от скорости нагрева

Интенсивность процесса усадки превосходит интенсивность теплового расширения. Этим и можно объяснить уменьшение деформаций в тот период, когда усадка в меньшем по сечению объеме доминирует над температурным расширением большего по толщине слоя (рисунок 2, 4).

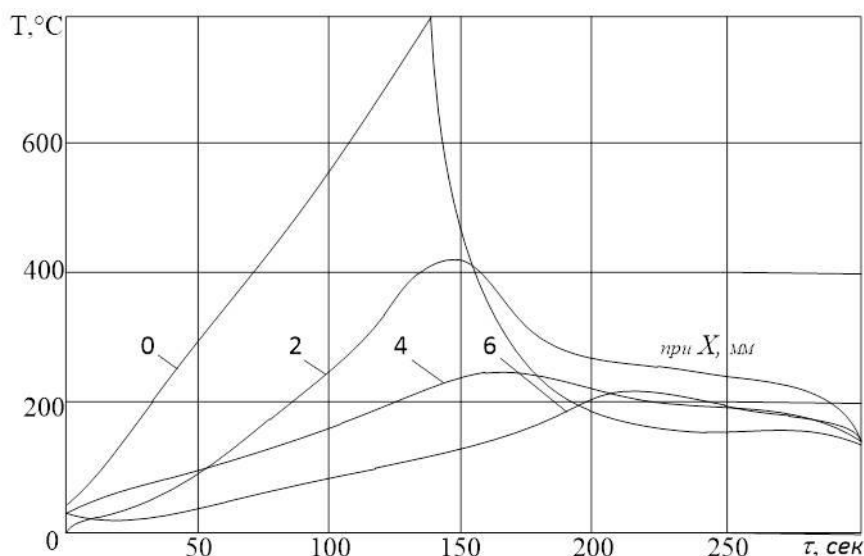


Рисунок 4 – Графики изменения температуры

В условиях естественного охлаждения деформации в первом приближении развивается адекватно. Это объясняется тем, что охлаждение нагреваемой поверхности приближенно можно считать одинаковым во всем диапазоне скоростей нагрева.

При естественном охлаждении деформации охлаждающихся слоев и продолжающееся расширение более глубоких слоев вызывает значительные термические напряжения, являющиеся одной из причин появления трещин на поверхности образца.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы: развитие тепловых деформаций при одностороннем нагреве определяется интенсивностью теплового потока и температурным полем по сечению образца; с увеличением скорости нагрева максимум положительной тепловой деформации смещается в сторону более высоких температур.

«Усадка» оказывает существенное влияние на общую тепловую деформацию и при высоких температурах является определяющей; охлаждение (естественное) вызывает дальнейшее увеличение отрицательной деформации, что приводит к появлению трещин на поверхности образца.

Список литературы

1. Keane J.F., Carr S.S. A Brief History of Early Unmanned Aircraft // Johns Hopkins APL Technical Digest. – 2013. – Vol. 32, No. 3. – P. 558–571.
2. Borchardt J.K. Unmanned aerial vehicles spur composites use // Reinforced Plastics. – 2004. – Vol. 48, Issue 4. – P. 28–31. – DOI: 10.1016/S0034-3617(04)00194-8.
3. Rekatsinas C.S., Dimitriou D.K., Chrysochoidis N.A. A Road Map to the Structural Optimization of a Type-C Composite UAV // Aerospace. – 2024. – Vol. 11, No. 3. – Article 211. – DOI: 10.3390/aerospace11030211.

4. Yilmaz M.A., Hasirci K., Gündüz B., Irez A.B. Advanced composite wing design for next-generation military UAVs: A progressive numerical optimization framework // Defence Technology. – 2025. – (Article in press). – DOI: 10.1016/j.dt.2025.02.020.

5. Первушин Ю.С., Зайнуллин В.В. Автоматическое устройство для исследования композитных материалов по заданной программе // Труды УАИ, Уфа. – 1973. – вып. 49.

References

1. Keane J.F., Carr S.S. A Brief History of Early Unmanned Aircraft // Johns Hopkins APL Technical Digest. – 2013. – Vol. 32, No. 3. – P. 558–571.

2. Borchardt J.K. Unmanned aerial vehicles spur composites use // Reinforced Plastics. – 2004. – Vol. 48, Issue 4. – P. 28–31. – DOI: 10.1016/S0034-3617(04)00194-8.

3. Rekatsinas C.S., Dimitriou D.K., Chrysochoidis N.A. A Road Map to the Structural Optimization of a Type-C Composite UAV // Aerospace. – 2024. – Vol. 11, No. 3. – Article 211. – DOI: 10.3390/aerospace11030211.

4. Yilmaz M.A., Hasirci K., Gündüz B., Irez A.B. Advanced composite wing design for next-generation military UAVs: A progressive numerical optimization framework // Defence Technology. – 2025. – (Article in press). – DOI: 10.1016/j.dt.2025.02.020.

5. Pervushin Yu.S., Zajnullin V.V. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya issledovaniya kompozitnyh materialov po zadannoј programme. Trudy UAI, vyp. 49, Ufa, 1973.

Т. З. Мақаев, Е. Т. Ескібаев, Н. М. Тұмышев

*Т. Ж. Бигелдинов атындағы Әуе қорғаныс күштері Әскери институты
Ақтөбе, Қазақстан*

ШЫНЫ ПЛАСТИКТЕРДІҢ ЖЫЛУЛЫҚ ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫН ЗЕРТТЕУ МӘСЕЛЕСІ

Аңдатпа. Жоғары қарқынды температуралық әсерлер жағдайында пластикалық пластмассаларда болатын физика-химиялық процестердің күрделілігі құрылымдардағы жылулық деформациялар мен кернеулерді аналитикалық зерттеуді қиындатады және оларды эксперименталды түрде зерттеу қажеттілігіне әкеледі.

Мақала авторлар бір жақты қыздару кезінде шыны талшықты пластмассалардың термиялық деформацияларын зерттеуді жүргізеді. Ал зерттеу үшін конструкторлық схемасы 1-суретте көрсетілген қондырғы жасалды. Деформацияланғыштығын зерттеу шыны талшық пен фенолформальдегидті шайыр негізіндегі шыны талшықтан жасалған тәкбұрышты үлгілерде жүргізілді. Сынақтар орындалды айнымалы температуралардың тәуелсіз әсері. Жылыту сызықтық заңдарға сәйкес жүргізілді, содан кейін табиғи салқындату пайда болды. Қыздыру жылдамдығын жоғарылауымен термиялық бұзылу температурасы таяз тереңдікке таралады, ал термиялық деформация жойлуға жатпайтын аймақтардың термиялық кеңеюімен анықталады.

Түйінді сөздер: термиялық деформациялар, сым тензометрлер, ТА-5 тензометрді өлшеу күшейткіші, миллиамперметр КСУ-4, хромель-алюмельді терможұптар, көп нүктелі потенциометр КСП-4, қыздыру элементі, электронды потенциометр ЭПП-09, элетрондық бағдарламалық құрылғы РУ5-02М, элетронды басқару құрылғысы РУ4-16М.

T. Z. Makaev, E. T. Eskibaev, N. M. Tumyshev

*Military Institute of Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov,
Aktobe, Kazakhstan*

ON THE INVESTIGATION OF THERMAL DEFORMATIONS OF FIBERGLASS

Abstract. The complexity of physical and chemical processes occurring in fiberglass under conditions of high-intensity temperature effects complicates. The analytical study of thermal deformations and stresses in structures and leads to the need to study them experimentally.

The authors of the article conduct a study of thermal deformations of fiberglass with one-sided heating. And for the study, an installation was created, the design scheme of which is shown in Figure 1. The study of deformability was carried out on rectangular samples of fiberglass based on glass fabric and phenol-formaldehyde resin. The tests were carried out with one-sided exposure to variable temperatures. Heating was carried out according to linear laws, then natural cooling occurred. With an increase in the heating rate, the temperature of thermal destruction spreads to a smaller depth, and thermal deformation will be determined by the temperature expansion of zones not subject to destruction.

Keywords: thermal deformation, wire strain gauges, strain gauge measurement amplifier TA-5, milliammeter KSU-4, chromel-alumel thermocouples, multipoint potentiometer KSP-04, heating element, electronic potentiometer EPP-09, electronic programming device RU5-02M, electronic control device RU4-16M.

Сведения об авторах / Information about the authors

Макаев Тимур Зинурович – заместитель начальника кафедры общинженерных дисциплин Учебно-методического управления Военного института Сил воздушной обороны имени Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан. E-mail: mtz-78@mail.ru

Ескибаев Ербол Токтамысович – кандидат технических наук, первый заместитель начальника Военного института Сил воздушной обороны имени Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан

Тумышев Нурлан Маденбаевич – начальник учебного отдела Учебно-методического управления Военного института Сил воздушной обороны имени Т.Я. Бегельдинова, Актобе, Казахстан

Timur Z. Makaev – Deputy Head of the Department of General Engineering Disciplines of the Educational and Methodological Department of the Military Institute of the Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan. E-mail: mtz-78@mail.ru

Yerbol T. Yesskibaev – Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering), First Deputy Head of the Military Institute of the Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan

Nurlan M. Tumyshev – Head of the Educational Department of the Educational and Methodological Directorate of the Military Institute of the Air Defense Forces named after T.Ya. Begeldinov, Aktobe, Kazakhstan

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 699.8:667
МРНТИ 81.92.31

М. М. Альменбаев¹, Б. Ж. Рахметулин¹, А. Б. Сивенков², И. А. Захаров¹

¹*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

²*ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт
противопожарной обороны» МЧС России, Балашиха, Россия*

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ С ПОМОЩЬЮ ОГНЕЗАЩИТЫ

Аннотация. В работе авторами представлены экспериментальные исследования снижения токсичности продуктов горения образцов древесины с нанесением разработанного огнезащитного состава на основе фосфор и азот содержащих антипиренов с добавлением полиакрилата калия (SAP), при влиянии различных температурных режимов. Полученные результаты свидетельствуют, что разработанный авторами огнезащитный состав не только снижает уровень выделения СО и СО₂ при горении древесины, но имеет выраженный эффект при использовании составов с фосфорсодержащими и азотсодержащими антипиренами обугленный защитный слой, препятствующий проникновению кислорода и снижению интенсивности горения.

Ключевые слова: древесина, пожарная опасность, огнезащитный состав, токсичность, продукты горения.

Древесина на протяжении столетий остаётся одним из ключевых материалов, применяемых в строительной отрасли, что обусловлено её возобновляемостью, экологической безопасностью, относительно низкой энергоёмкостью производства, а также благоприятным соотношением прочностных характеристик и массы. В условиях современной концепции устойчивого развития древесина всё чаще рассматривается в качестве полноценной альтернативы традиционным минеральным и полимерным строительным материалам.

Несмотря на указанные преимущества, одной из фундаментальных проблем, существенно ограничивающих масштабное использование древесины в зданиях с повышенными требованиями к пожарной безопасности, является её высокая воспламеняемость, а также значительная токсичность продуктов термического разложения и горения. При сгорании древесины в окружающую среду выделяется широкий спектр химических соединений, в том числе угарный газ, альдегиды, органические кислоты и ряд других токсикантов, оказывающих серьёзное

воздействие на здоровье человека и ухудшающих условия проведения аварийно-спасательных работ.

В целях повышения огнестойкости конструкций и снижения токсикологической опасности продуктов горения применяются различные огнезащитные составы, принцип действия которых заключается как в замедлении процессов пиролиза и воспламенения, так и в модификации химического состава выделяющихся газов. В современных исследованиях особое внимание уделяется комплексной оценке эффективности таких составов, включающей не только снижение скорости распространения пламени и теплоотдачи, но и изучение изменения токсикологического профиля продуктов горения обработанной древесины.

При горении древесины образуются не только тепло и дым, но и широкий спектр опасных химических соединений, включая угарный газ (CO), диоксид углерода (CO₂), формальдегид, акролеин, фенолы, полиароматические углеводороды (ПАУ), а также мелкодисперсные твердые частицы. Эти вещества оказывают острое и хроническое токсическое воздействие на человека, особенно в условиях закрытых помещений при пожаре. Согласно результатам проведённых исследований, свыше 60 % случаев гибели людей при пожарах обусловлены не воздействием высоких температур и термическими ожогами, а отравлением токсичными продуктами горения.

Химический состав продуктов термического разложения зависит от многих факторов: температуры горения, наличия кислорода, породы древесины, влажности, а также наличия защитных покрытий и пропиток. Ранее проведённые исследования показали, что обработка древесины огнезащитными составами может не только снизить воспламеняемость, но и повлиять на токсикологический профиль продуктов горения [1, 2]. Например, антипирены на основе соединений фосфора и азота уменьшают выделение угарного газа и замедляют процесс пиролиза. Однако некоторые антипирены, особенно на основе галогенов, при высоких температурах могут образовывать ещё более опасные соединения, такие как диоксины и фураны [3]. Современные исследования направлены на создание нетоксичных или малотоксичных огнебиозащитных составов, способных эффективно препятствовать горению и одновременной генерации опасных веществ. Особый интерес вызывают биоразлагаемые составы и покрытия на основе наноцеллюлозы, кремнийорганических соединений и фосфолипидов, которые, согласно недавним данным [4], демонстрируют не только хорошую огнестойкость, но и существенно снижают токсичность выделяемых продуктов при термическом разложении.

Таким образом, проблема токсичности при горении древесины остаётся актуальной и требует всестороннего научного подхода.

Целью настоящего исследования является определение эффективности огнезащитных азот содержащих составов с добавлением полиакрилата калия (SAP) в снижении токсичности продуктов горения древесины при различных температурных режимах.

В качестве образцов для исследования использовалась древесина сосны, широко применяемая в строительстве (рисунок 1). Образцы имели размеры 40×40×10 мм и предварительно выдерживались в стандартных условиях (температура 20±2 °С, относительная влажность 50±5 %) в течение двух недель.

На поверхность образцов наносились огнезащитные составы различной химической природы с учетом норм расхода. Для оценки токсичности применялись методики, регламентированные ГОСТ 12.1.044-89*, в частности пункт 4.20 [5]. Испытания проводились в условиях беспламенного (тлеющего) горения, так как данный режим характеризуется наибольшим выходом токсичных продуктов горения [7].



Рисунок 1 - Образец древесины сосны обработанный огнезащитным составом

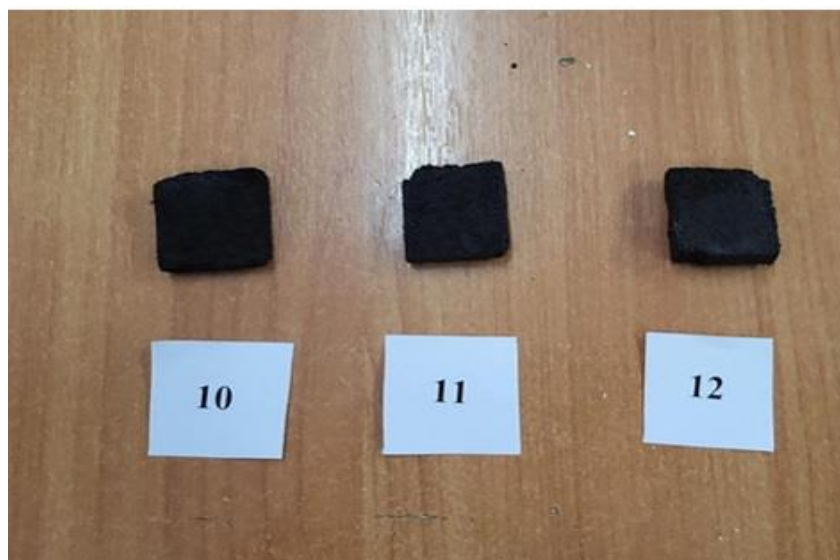


Рисунок 2 - Образцы после огневых испытаний

В ходе экспериментов определялись концентрации монооксида углерода (CO) и диоксида углерода (CO₂), являющихся основными индикаторами токсичности продуктов горения органических материалов [8].

Результаты эксперимента были зарегистрированы с помощью газоанализатора.



Рисунок 3 - Показатели экспериментальных образцов на газоанализаторе

Анализ полученных данных показал, что применение огнезащитных составов приводит к снижению уровней выделения CO и CO₂ при горении древесины. Особенно выраженный эффект наблюдается при использовании составов с фосфорсодержащими и азотсодержащими антипиренами, которые формируют на поверхности древесины обугленный защитный слой, препятствующий проникновению кислорода и снижению интенсивности горения [6, 9].

Таблица 1 – Токсичность продуктов горения

Режим	Серия	CO, мг/л	CO ₂ , мг/л	Класс токсичности
Тление 450 °C	Без обработки	3,2	42	T3
	SAP-обработка	1,9	27	T2
Пламя 700 °C	Без обработки	6,7	58	T3
	SAP-обработка	3,8	34	T2

Антипирены фосфор- и азотного ряда формируют на поверхности вспученный углеродный защитный слой, а SAP обеспечивает эндотермическое охлаждение, что совместно уменьшает образование CO и CO₂ на 30-45 %.

На рисунке 4 представлены зависимости показателя токсичности продуктов горения древесины с огнезащитой на основе полиакрилата калия (SAP) при огневых испытаниях.

Графическая интерпретация зависимости показателя токсичности от температуры выявила экстремальный характер изменения при переходе из режима тления в режим пламенного горения (диапазон температур 550-750 °C). Это связано с изменением механизма термического разложения материала и состава выделяемых продуктов [7, 8].

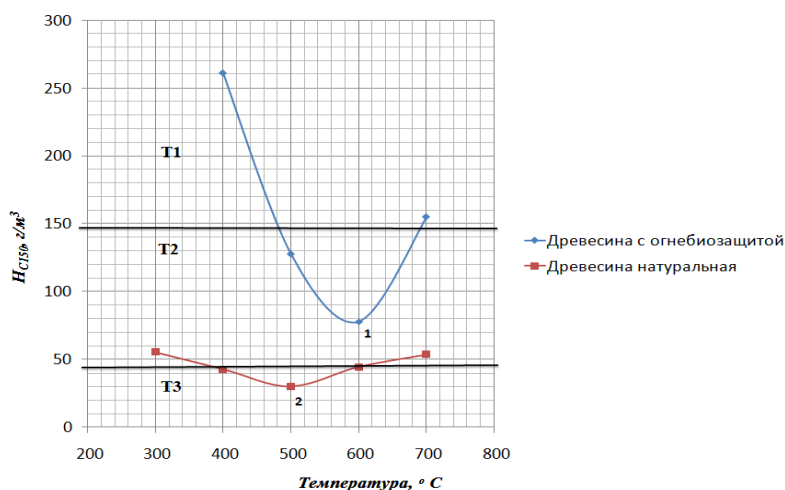


Рисунок 4 – Зависимость показателя токсичности продуктов горения древесины с огнезащитой на основе полиакрилата калия (SAP) при огневых испытаниях

Образцы древесины, обработанные огнезащитными составами, отнесены к категории Т2 (умеренно опасные по токсичности продуктов горения), в то время как необработанная древесина соответствует группе Т3 (высокоопасные по токсичности продуктов горения) [9]. Это подтверждает эффективность применяемых составов в обеспечении пожарной безопасности.

Также установлено, что на итоговые показатели токсичности влияет не только химическая природа состава, но и глубина его проникновения в древесину, а также плотность и равномерность нанесения [10].

Проведенное исследование убедительно продемонстрировало, что применение огнезащитных азотсодержащих составов с добавлением полиакрилата калия (SAP) способствует существенному снижению токсичности газообразных продуктов горения древесины. Установлено, что использование подобных составов не только уменьшает выделение наиболее опасных компонентов дыма, таких как монооксид углерода и диоксид углерода, но и способствует формированию на поверхности древесины термоустойчивого обугленного слоя, препятствующего интенсивному протеканию процессов пиролиза и воспламенения.

Полученные результаты подтверждают перспективность выбранного направления в контексте повышения пожарной безопасности строительных конструкций из древесины, а также указывают на необходимость дальнейшего углублённого изучения влияния различных огнезащитных композиций на комплексный токсикологический профиль выделяющихся при горении газов. В частности, целесообразным представляется расширение исследований за счёт оценки содержания и динамики образования других токсичных соединений – например, альдегидов, фенолов и полиароматических углеводородов, а также анализа влияния режимов горения и условий эксплуатации на эффективность огнезащитных покрытий [11, 12].

Кроме того, результаты работы имеют значимую практическую ценность для разработки и совершенствования технологий производства экологически безопасных и эффективных огнебиозащитных составов, что, в конечном итоге, может

способствовать снижению уровня пожарного риска и повышению безопасности зданий и сооружений, выполненных с применением древесины. Таким образом, полученные данные представляют как теоретический интерес для дальнейших научных исследований, так и важное прикладное значение для сферы пожарной профилактики и материаловедения.

Данные исследования выполнены в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту AP23488530 на тему: «Инновационные подходы в области обеспечения пожарной безопасности древесных конструкционных материалов».

Список литературы

1. Liang Y. et al. Research and application of biomass-based wood flame retardants: a review. *Polymers*, 2023, T. 15, № 4, p. 950.
2. Дягилева А. Б., Смирнова А. И. Новые композиционные материалы для целевой экологически безопасной модификации древесины // Актуальная биотехнология. – 2020. – № 3. – С. 429-431.
3. Van der Veen I., de Boer J. Phosphorus flame retardants: properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 2012, T. 88, № 10, pp. 1119-1153.
4. Chen Y. et al. Recent progress on nanocellulose aerogels: preparation, modification, composite fabrication, applications. *Advanced Materials*, 2021, T. 33, № 11, С. 34.
5. ГОСТ 12.1.044-89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
6. Альменбаев М.М., Карменов К.К., Ельчугин А.В., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Влияние огнезащитных составов на горючесть древесины // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 10. – С. 54-55.
7. Баранов П.А., Власов С.Ю. Токсичность продуктов горения строительных материалов // Безопасность в техносфере. – 2017. – № 2(42). – С. 31–36.
8. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B.Zh. Monograph (2023), Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures, *Springer Nature*, 269 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24074-4>
9. Шеин А.И., Герасимова Н.М. Оценка токсичности газов, выделяющихся при тлении древесины // Пожарная безопасность. – 2018. – № 3. – С. 18–22.
10. Кленов Г.С., Журавлев В.А. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 2010. – 224 с.
11. Almenbaev M.M., Kussainov A.B., Maksimov P.V., Sivenkov A.B. Study on the flammability of wood-based building materials // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 1 (57). – С.16-20.
12. Альменбаев М.М., Сивенков А.Б., Кусаинов А.Б., Захаров И.А. Способ снижения дымообразующей способности древесины с огнезащитным составом на основе полиакрилата калия (SAP) // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 3 (59). – С.59-63.

References

1. Liang Y. et al. Research and application of biomass-based wood flame retardants: a review, *Polymers*, 2023, T. 15, № 4, S. 950.

2. Djagileva A.B., Smirnova A.I. Novye kompozicionnye materialy dlja celevoj jekologicheski bezopasnoj modifikacii drevesiny // Aktual'naja biotehnologija. – 2020. – № 3. – S. 429-431.
3. Van der Veen I., de Boer J. Phosphorus flame retardants: properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 2012, T. 88, № 10, pp. 1119-1153.
4. Chen Y. et al. Recent progress on nanocellulose aerogels: preparation, modification, composite fabrication, applications. *Advanced Materials*, 2021, T. 33, № 11, p. 34.
5. GOST 12.1.044-89*. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshhestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredelenija.
6. Al'menbaev M.M., Karmenov K.K., El'chugin A.V., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Vlijanie ognезashhitnyh sostavov na gorjuchest' drevesiny // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – № 10. – S. 54-55.
7. Baranov P.A., Vlasov S.Ju. Toksichnost' produktov gorenija stroitel'nyh materialov // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2017. – № 2(42). – S. 31–36.
8. Sivenkov A.B., Berlin A.A., Mukhamedgaliev B.A., Almenbayev M.M., Makishev Zh.K., Rakhmetulin B. Zh. Monograph (2023), *Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures*, Springer Nature, 269 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24074-4>
9. Shein A.I., Gerasimova N.M. Ocenka toksichnosti gazov, vydelyajushhihsja pri tlenii drevesiny // Pozharnaja bezopasnost'. – 2018. – № 3. – S. 18–22.
10. Klénov G.S., Zhuravlév V.A. Pozharnaja opasnost' stroitel'nyh materialov. – M.: Strojizdat, 2010. – 224 s.
11. Almenbaev M.M., Kussainov A.V., Maksimov R.V., Sivenkov A.V. Study on the flammability of wood-based building materials // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 1 (57). – S.16-20.
12. Al'menbaev M.M., Sivenkov A.B., Kusainov A.B., Zaharov I.A. Sposob snizhenija dymoobrazujushhej sposobnosti drevesiny s ognезashhitnym sostavom na osnove poliakrilata kalija (SAP) // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 3 (59). – S.59-63.

М. М. Әлменбаев¹, Б. Ж. Рахметулин¹, А. Б. Сивенков², И. А. Захаров¹

¹Қазақстан Республикасы ТЖМ М. Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы, Көкшетау, Қазақстан

²«Бүкілресейлік «Құрмет Белгісі» ордені өртке қарсы қорғаныс ғылыми-зерттеу институты» ФМБМ, Балашиха, Ресей

ӨРТТЕН ҚОРҒАУ АРҚЫЛЫ АҒАШТЫҢ ЖАНУ ӨНІМДЕРІНІҢ УЫТТЫЛЫҒЫН ТӨМЕНДЕТУ

Аңдатпа. Авторлармен бұл жұмыста фосфор және полиакрилат калий (SAP) қосылған азот антиперендері бар негізінде әзірленген оттан қорғау құрамын жағумен түрлі температуралық режимдері ықпалы кезінде ағаша үлгілерінің жану өнімдерінің уыттылығын төмендету бойынша эксперименттік зерттеулер ұсынылған. Алынған нәтижелер бойынша авторлармен әзірлеген оттан қорғау құрам ағаштың жану кезіндегі СО және СО₂ бөліну деңгейін төмендетіп ғана қоймай, фосфорқосындысы және азотқосындылары бар антиперендерімен құрам күйген қорғау қабатқа айқын әсер етеді, оттектің енуін және жану қарқындылығын азайтады.

Түйінді сөздер: ағаш, өрт қауіпі, оттан қорғау, улылығы, жану өнімдері.

M. M. Almenbaev¹, B. Zh. Rakhmetulin¹, A. B. Sivenkov², I. A. Zakharov¹

¹*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan*

²*All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Russia*

REDUCTION OF TOXICITY OF WOOD COMBUSTION PRODUCTS USING FIRE PROTECTION

Abstract. The authors present experimental studies of reducing the toxicity of combustion products of wood samples by applying a developed flame retardant based on phosphorus and nitrogen-containing flame retardants with the addition of potassium polyacrylate (SAP), under the influence of various temperature conditions. The results obtained indicate that the flame retardant developed by the authors not only reduces the level of CO and CO₂ emissions during wood combustion, but also has a pronounced effect when using formulations with phosphorus-containing and nitrogen-containing flame retardants, a charred protective layer that prevents oxygen penetration and reduces the intensity of combustion.

Keywords: wood, fire hazard, flame retardant, toxicity, combustion products.

Information about the authors / Авторлар туралы мәлімет

Альменбаев Миржан Маратович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан по научной работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Рахметулин Берик Жамбулович – ассоциированный профессор (доцент), начальник кафедры пожарной профилактики Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: b.rahmetulin@mail.ru

Сивенков Андрей Борисович – доктор технических наук, профессор, ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны», Московская область, Балашиха, Российская Федерация

Захаров Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: emercom.87@mail.ru

Mirzhan M. Almenbayev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), Deputy Head of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan for scientific work, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Berik Zh. Rakhmetulin – Associate Professor (docent), Head of the Department of Fire Prevention of the M. Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: b.rahmetulin@mail.ru

Andrey B. Sivenkov – Doctor of Technical Sciences, Professor, All-Russian Order of the Badge of Honor Research Institute of Fire Defense, Moscow region, Balashikha, Russian Federation

Igor A. Zakharov – Candidate of Technical Sciences, associate professor (docent), head of the research center of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: emercom.87@mail.ru

УДК 004, 614.8
МРНТИ 81.92.17

**А. Б. Кусайнов¹, Л. О. Агажаева², К. Ж. Раимбеков¹,
Р. М. Джумагалиев³, Н. Қ. Қайыргелді¹**

¹*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

²*Служба государственной охраны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

³*ТОО «GFP Science», Алматы, Казахстан*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУШЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА С УЧЁТОМ ПОСТЕПЕННОГО ПРИБЫТИЯ СИЛ И СРЕДСТВ

Аннотация. В статье представлена динамическая математическая модель тушения лесного пожара с учётом: поэтапного прибытия сил и средств, распределения ресурсов по фронту, флангам и тылу, а также различной интенсивности распространения огня. Разработан алгоритм и показано, как определить оптимальное количество пожарных, автоцистерн и тракторов для локализации и полного тушения. Эффективная организация тушения лесных пожаров требует учета распределения периметра на участки различной опасности, а также своевременного прибытия сил и средств. Классические модели часто предполагают одномоментное прибытия ресурсов, что не отражает реальной оперативной обстановки. Настоящая работа предлагает динамическую модель с постепенным развертыванием сил и распределением ресурсов по фронту, флангам и тылу.

Ключевые слова: лесной пожар, динамическое моделирование, силы и средства.

Введение. Лесная экосистема является одной из важнейших компонентов биосферы, имеющий глобальное экологическое, социальное и экономическое значение для Республики Казахстан. Данное обстоятельство связано с тем, что территория Республики Казахстан составляет более 272500,0 тыс. га, из них на лесной фонд приходится всего 5 % [1].

Несмотря на то, что леса покрывают незначительную часть территории, они ежегодно подвергаются пожарам. Проведенный анализ показал, что в период с 2018 по 2025 гг. в Республике Казахстан произошло более 4,9 тыс. лесных пожаров (рисунок 1). Площадь, пройденная огнем, составила более 623,6 тыс. га [1].

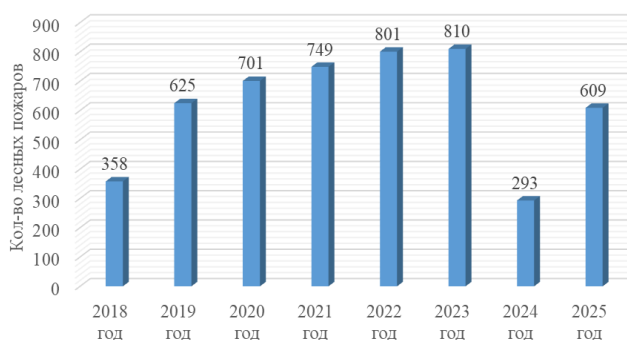


Рисунок 1 – Динамика лесных пожаров по годам

Анализ подверженности лесных экосистем предопределяет необходимость поиска оптимальных методов обеспечения пожарной безопасности, в том числе при управлении силами и средствами на пожаре [2].

Основная часть. При проведении работ по локализации природного пожара руководителю тушения лесного пожара (РТП) требуется из множества допустимых решений выбрать одно, наиболее рациональное решение по оптимальному распределению сил и средств для локализации пожара в кратчайшие сроки [3]. Количество возможных вариантов распределения сил и средств может быть достаточно большим, и выбрать наилучший из них, представляет затруднительную задачу [4].

Для поиска наиболее оптимального решения используются научно-обоснованные методы, в том числе математические. В целях применения подобных моделей процесс распределения сил и средств для тушения лесного пожара должен быть представлен в виде математической модели, т.е. математической задачи, которая количественно описывает основные закономерности процесса и его цель (критерий оптимизации). Задачи нахождения наилучшего решения называются оптимизационными. Очень часто цель оптимизации описывается в виде функции многих переменных, а допустимое множество решений задается системой функциональных равенств и/или неравенств [5].

Одним из методов принятия оптимального решения распределения сил и средств на пожаре является линейное программирование, позволяющее определять наибольшие или наименьшие значения искомой функции F при наличии ограничений [6, 7].

При распределении сил и средств на тушение лесного пожара, целевой функцией является минимизация ресурсов при их различной эффективности тушения за соответствующий интервал времени [5]:

$$F = x + y + z + t \rightarrow \min \quad (1)$$

где z – трактора (ед.), y – пожарные автоцистерны (ед.), x – личный состав (чел.), t – время (мин.).

В целях автоматизации процесса принятия управленческого решения РТП по оптимальному распределению сил и средств при локализации лесного пожара с учетом скорости распространения огня по фронту, флангам и тылу, разработан соответствующий алгоритм (рисунок 2).

Представленный алгоритм реализуется в несколько этапов.

На первоначальном этапе, вводятся данные - скорость ветра $v_{\text{вет}}$, м/с, влажность воздуха, крутизна склона, время свободного развития пожара t , мин., время прибытия сил и средств Δt , мин., коэффициенты распределения сил и средств по фронту, флангам и тылу пожара $\beta_f, \beta_{fl}, \beta_t$.

После ввода соответствующих значений рассчитываются скорость распространения огня по фронту (v_1), флангам (v_2) и тылу (v_3) пожара [4]:

$$v_1 = v_{\text{вет}} \cdot K_W \cdot K_Q \quad (2)$$

$$v_2 = 0,35 \cdot v_1 + 0,17 \quad (3)$$

$$v_3 = 0,10 \cdot v_1 + 0,20 \quad (4)$$

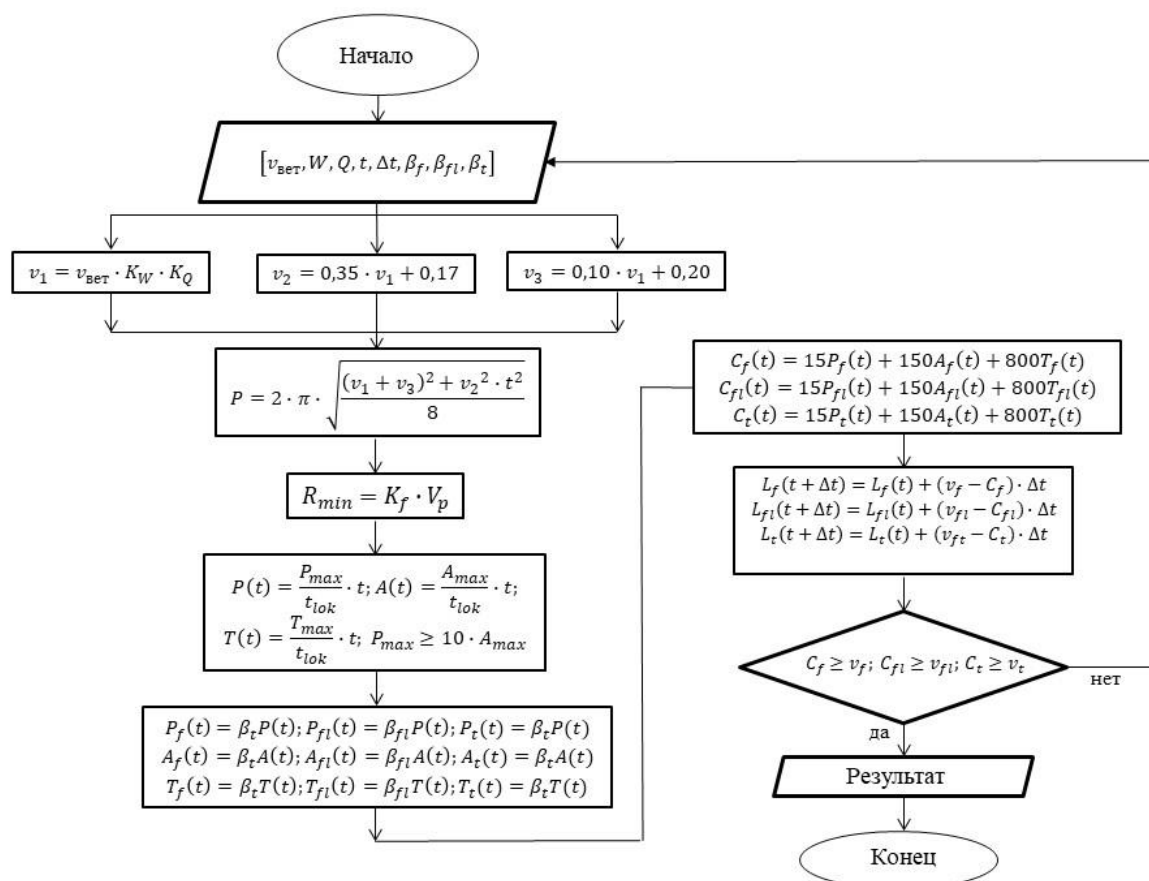


Рисунок 2 - Алгоритм оптимального распределения сил и средств на тушение лесного пожара

По полученным значениям скорости распространения огня v_1 - v_3 прогнозируется периметр кромки пожара на заданный интервал времени [4]:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(v_1 + v_3)^2 + v_2^2 \cdot t^2}{8}} \quad (5)$$

Затем определяется увеличение периметра пожара:

$$R_{min} = K_f \cdot V_p, \text{ м/час} \quad (6)$$

где V_p – скорость ежечасного прироста пожара, K_f – коэффициент тактического снижения прироста при атаке на фронт равный 0,7.

Далее проводится расчет постепенного прибытия сил и средств:

$$P(t) = \frac{P_{max}}{t_{lok}} \cdot t; A(t) = \frac{A_{max}}{t_{lok}} \cdot t; T(t) = \frac{T_{max}}{t_{lok}} \cdot t; P_{max} \geq 10 \cdot A_{max} \quad (7)$$

С учетом коэффициентов проводится расчет распределения $P(t)$ – пожарных, $A(t)$ – автоцистерн, $T(t)$ – тракторов по фронту, флангам и тылу пожара:

$$P_f(t) = \beta_t P(t); P_{fi}(t) = \beta_{fi} P(t); P_t(t) = \beta_t P(t) \quad (8)$$

$$A_f(t) = \beta_t A(t); A_{fl}(t) = \beta_{fl} A(t); A_t(t) = \beta_t A(t) \quad (9)$$

$$T_f(t) = \beta_t T(t); T_{fl}(t) = \beta_{fl} T(t); T_t(t) = \beta_t T(t) \quad (10)$$

Оптимизация сил и средств осуществляется с помощью обобщенного градиентного метода, предназначенного для нелинейных задач, так как целевая функция зависит от переменных не линейно.

Производительность выполнения работ в течении одного часа составляет для пожарного - 15 м/ч, пожарной автоцистерны - 150 м/ч, трактора - 800 м/ч. [4]. Тогда интенсивность тушения лесного пожара по фронту, флангам и тылу имеет вид:

$$C_f(t) = 15P_f(t) + 150A_f(t) + 800T_f(t) \quad (11)$$

$$C_{fl}(t) = 15P_{fl}(t) + 150A_{fl}(t) + 800T_{fl}(t) \quad (12)$$

$$C_t(t) = 15P_t(t) + 150A_t(t) + 800T_t(t) \quad (13)$$

Затем проводится расчет увеличения периметра пожара P , м/час. Общий периметр пожара $L(t)$ разделяется на три зоны с применением нелинейного программирования [8]:

$$L(t) = L_f(t) + L_{fl}(t) + L_t(t) \quad (14)$$

где $L_f(t)$ – фронт, $L_{fl}(t)$ – фланги, $L_t(t)$ – тыл пожара.

Прирост периметра различен:

$$v_f = a_f \bar{v}, v_{fl} = a_{fl} \bar{v}, v_t = a_t \bar{v} \quad (15)$$

где $a_f + a_{fl} + a_t = 1$

Для численных расчетов принято: $a_f = 0,45$; $a_{fl} = 0,35$; $a_t = 0,2$.

Система дифференциальных уравнений описывает динамику периметра [9]:

$$\frac{dL_f}{dt} = v_f - C_f(t); \frac{dL_{fl}}{dt} = v_{fl} - C_{fl}(t); \frac{dL_t}{dt} = v_t - C_t(t) \quad (16)$$

Динамика увеличения периметра (дискретный шаг) пожара по фронту, флангам и тылу имеет вид [8]:

$$L_f(t + \Delta t) = L_f(t) + (v_f - C_f) \cdot \Delta t \quad (17)$$

$$L_{fl}(t + \Delta t) = L_{fl}(t) + (v_{fl} - C_{fl}) \cdot \Delta t \quad (18)$$

$$L_t(t + \Delta t) = L_t(t) + (v_t - C_t) \cdot \Delta t \quad (19)$$

Локализация лесного пожара достигается при следующих условиях:

$$C_f \geq v_f; C_{fl} \geq v_{fl}; C_t \geq v_t \quad (20)$$

В завершении РТП получает данные по оптимальному распределению сил и средств по фронту, флангам и тылу для локализации очага пожара, с учетом прогнозных значений распространения лесного пожара.

Рассмотрим пример оптимального распределения сил и средств для тушения лесного пожара с учетом периметра распространения.

Для моделирования примем следующие условия: скорость ветра 10 м/с, влажность воздуха 20 %, крутизна склона 15°, время свободного развития составляет $t = 60$ мин, время прибытия сил и средств $\Delta t = 10$ мин. (0,1667 часа), $\beta_f = 0,5$; $\beta_{fl} = 0,35$; $\beta_t = 0,15$.

Проведенные расчеты показали, что скорость фронта $v_1 = 57$ м/мин, скорость фланга $v_2 = 20,12$ м/мин и скорость тыла $v_3 = 5,9$ м/мин.

В условиях сильного ветра контур пожара принимает форму вытянутого эллипса. Тогда периметр пожара будет равен $P = 8802$ м. Ежечасный прирост пожара составит $R_{min} = 6161$ м/час.

Результаты математического моделирования оптимального распределения сил и средств с учетом параметров развития пожара представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты математического моделирования оптимального распределения сил и средств с учетом параметров развития пожара

t, мин.	0	10	20	30	40	50
P(t)	0	96	192	287	287	287
A(t)	0	9	19	28	28	28
T(t)	0	6	13	20	20	20
P _f (t)	0	48	96	144	144	144
P _{fl} (t)	0	34	67	100	100	100
P _t (t)	0	14	29	43	43	43
A _f (t)	0	5	9	14	14	14
A _{fl} (t)	0	3	7	10	10	10
A _t (t)	0	1	3	4	4	4
T _f (t)	0	3	7	10	10	10
T _{fl} (t)	0	2	4	7	7	7
T _t (t)	0	1	2	3	3	3
L _f (t)	3961	3738	2831	1239	-351	-1943
L _{fl} (t)	3081	2961	2362	1284	206	-872
L _t (t)	1760	1760	-293	-4401	-8507	-12614

Из таблицы 1 видно, что по $L_f(t)$, $L_{fl}(t)$ и $L_t(t)$ отрицательные значения достигаются при $t=50$ мин, то есть локализация пожара происходит через 0,833 ч. (50 мин.) после начала тушения пожара. При этом для локализации лесного пожара требуется следующее количество сил и средств:

- пожарных $P(t) = 287$, из них 144 на фронт пожара, 100 на фланги и 43 на тыл;
- пожарные автоцистерны $A(t) = 28$, из них 14 на фронт пожара, 10 на фланги и 4 на тыл;
- тракторов $T(t) = 20$, из них 10 на фронт пожара, 7 на фланги и 3 на тыл.

Выводы. Разработанный алгоритм оптимального распределения сил и средств позволяет в динамике учитывать постепенное прибытие сил и средств, а также интенсивность распространения огня по фронту, флангам и тылу. На основании чего проводится оптимальное распределение ресурсов по фронту, флангам и тылу для эффективной локализации и полного тушения лесного пожара с наименьшими социальными, экономическими и экологическими последствиями.

Алгоритм позволяет автоматизировать процесс принятия решения РТП, планирования, оценки времени локализации и количества сил и средств, требуемых для локализации и ликвидации лесного пожара.

Список литературы

1. Официальный сайт Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest?lang=ru> (дата обращения: 28.12.2025 г.).
2. Лесные пожары и борьба с ними [Текст] : сборник научных трудов / Ленинградский НИИ лесн. хоз-ва; [ред.кол.: Е. С. Арцыбашев (отв. ред.) и др.]. – Ленинград : ЛенНИИЛХ, 1986. – 152 с.
3. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан. Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах: утв. 23.10.2015 г. №18-02/942 [Электронный ресурс] // Информационный портал ПАРАГРАФ [сайт]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012351> (дата обращения: 08.11.20253).
4. Кусаинов А.Б. Управление лесопожарным риском: монография – Кокшетау: Академия гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС РК, 2024. – 138 с.
5. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели. – М.: «КДУ», 2009. – 440 с.
6. Садовничий Ю.В. ЕГЭ. Математика. Решение задач и уравнений в целых числах. – М.: «Экзамен», 2015. – 126 с.
7. Юдин, Д.Б. Линейное программирование. Теория, методы и приложения / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Красанд, 2012. – 428 с.
8. Решение задач линейного программирования в Microsoft Excel. – Методические указания. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.

References

1. Oficial'nyj sajт Komiteta lesnogo hozjajstva i zhivotnogo mira Ministerstva jekologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest?lang=ru> (data obrashhenija: 28.12.2025 g.).
2. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi [Tekst] : sbornik nauchnih trudov / Leningradskij NII lesn. hoz-va; [red.kol.: E. S. Arcybashev (otv. red.) i dr.]. – Leningrad : LenNIILH, 1986. – 152 s.
3. Prikaz Ministra sel'skogo hozjajstva Respubliki Kazahstan «Ob utverzhdenii Pravil pozharnoj bezopasnosti v lesah» ot 23.10.2015g. №18-02/942 [Jelektronnyj resurs] // Informacionnyj portal PARAGRAF [sajt]. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012351> (data obrashhenija 08.11.20253).
4. Kusainov A.B. Upravlenie lesopozharnym riskom: monografija – Kokshetau: Akademija grazhdanskoj zashhity im. M. Gabdullina MChS RK, 2024. – 138 s.
5. Shikin E.V., Chhartishvili A. G. Matematicheskie metody i modeli. – M.: «KDU», 2009. – 440 s.
6. Sadovnichij Ju.V. EGJe. Matematika. Reshenie zadach i uravnenij v celyh chislah. – M.: «Jekzamen», 2015. – 126 s.
7. Judin, D.B. Linejnoe programmirovanie. Teorija, metody i prilozhenija / D.B. Judin, E.G. Gol'shtejn. – M.: Krasand, 2012. – 428 s.
8. Reshenie zadach linejnogo programmirovaniya v Microsoft Excel. – Metodicheskie ukazaniya. – M.: MGTU im. N. Je. Baumana, 2023.

А. Б. Құсайынов¹, Л. О. Агажаева², К. Ж. Раимбеков¹, Р. М. Джумағалиев³, Н. Қ. Қайыргелді¹

¹Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан

²Қазақстан Республикасының Мемлекеттік күзет қызметі, Астана, Қазақстан

³ЖШС «GFP Science», Алматы, Қазақстан

КҮШТЕР МЕН ҚҰРАЛДАРДЫҢ БІРТІНДЕП КЕЛУІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ОРМАН ӨРТІН СӨНДІРУДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Мақалада орман өртін сөндірудің динамикалық математикалық моделі келтірілген: күштер мен құралдардың кезең-кезеңімен келуі, ресурстарды майданға, қапталға және тылға бөлу, сондай-ақ өрттің таралуының әртүрлі қарқындылығы. Алгоритм әзірленді және оқшаулау және толық сөндіру үшін өрт сөндірушілердің, автоцистерналар мен тракторлардың оңтайлы санын қалай анықтау керектігі көрсетілген. Орман өрттерін сөндіруді тиімді ұйымдастыру периметрдің әртүрлі қауіпті жерлерге бөлінуін, сондай-ақ күштер мен құралдардың уақтылы келуін ескеруді талап етеді. Классикалық модельдер көбінесе нақты операциялық жағдайды көрсетпейтін ресурстардың бір уақытта келуін болжайды. Бұл жұмыс күштерді біртіндеп орналастырумен және ресурстарды майданға, қапталға және тылға бөлумен динамикалық модельді ұсынады.

Түйінді сөздер: дала өрті, динамикалық модельдеу, күштер мен құралдар.

A. B. Kusainov¹, L. O. Agazhaeva², K. Zh. Raimbekov¹, R. M. Dzhumagaliev³, N. K. Kairgeldi¹

¹Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republik of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan

²State Security Service of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

³«GFP Science» LLP, Almaty, Kazakhstan

MATHEMATICAL MODELING OF FOREST FIRE EXTINGUISHING, TAKING INTO ACCOUNT THE GRADUAL ARRIVAL OF FORCES AND MEANS

Abstract. The article presents a dynamic mathematical model of forest fire extinguishing, taking into account: the phased arrival of forces and means, the distribution of resources along the front, flanks and rear, and the varying intensity of fire spread. There has been developed an algorithm and it is shown how to determine the optimal number of firefighters, tank trucks and tractors for localization and complete extinguishing. Effective organization of forest fire extinguishing requires consideration of the distribution of the perimeter to areas of varying danger, as well as the timely arrival of forces and means. Classical models often assume a simultaneous flow of resources, which does not reflect the actual operational situation. This paper proposes a dynamic model with a gradual deployment of forces and the distribution of resources along the front, flanks and rear.

Keywords: forest fire, dynamic modeling, forces and means.

Сведения об авторах / Information about the authors

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: arman_1703@mail.ru

Агажасева Лилия Онерхановна – кандидат психологических наук, Служба государственной охраны Республики Казахстан, Астана, Казахстан

Раимбеков Кендебай Жанабилевич – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент), Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Джумагалиев Руслан Маркленович – кандидат технических наук, профессор, ТОО "GFP Science", Алматы, Казахстан. E-mail: ruslan_djum@mail.ru, r_djum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-9218>

Каиргельды Нурислам Куанышевич – старший преподаватель-методист факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: nurislam.kayyrgeldin@bk.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Lilia O. Agazhayeva – Candidate of Psychological Sciences, State Security Service of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

Kendebay Zh. Raimbekov – candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan. Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Ruslan M. Dzhumagaliev – Candidate of Technical Sciences, Professor, "GFP Science" LLP, Almaty, Kazakhstan. E-mail: ruslan_djum@mail.ru, r_djum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-9218>

Nurislam K. Kaiyrgeldy - Senior lecturer and methodologist at the Faculty of Distance Learning at the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: nurislam.kayyrgeldin@bk.ru

УДК 614.8:62
МРНТИ 81.92.15

С. Ж. Кинжикеев¹, Т. Б. Карбаев², Р. С. Хамитов¹

¹ТОО «Astana IT University», Астана, Казахстан

²ТОО «Центр технических проектов», Астана, Казахстан

РАЗРАБОТКА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы разработки противопожарной автоматизированной роботизированной платформы, предназначенной для применения в условиях повышенной опасности и ограниченной доступности для человека. Проанализированы требования к конструкции, аппаратно-программной архитектуре и функциональным возможностям платформы, включая системы управления, навигации и дистанционного взаимодействия. Описаны подходы к моделированию, выбору программной среды и интеграции модулей тушения и мониторинга. Показано, что использование роботизированных решений позволяет повысить эффективность противопожарных мероприятий и снизить риск для личного состава при ликвидации чрезвычайных ситуаций. При выполнении боевых задач при тушении пожара на личный состав пожарно-спасательных подразделений могут воздействовать опасные факторы, угрожающие их жизни, в связи с чем разработка противопожарной автоматизированной роботизированной платформы является актуальной задачей.

Ключевые слова: робот, автоматизированная платформа, классификация, движитель, чрезвычайные ситуации, пожар, автономность, мобильность, пожаротушение.

Введение. В Казахстане в среднем ежегодно регистрируется более 18 тысяч чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, наиболее опасными из них являются пожары [1]. Так, согласно статистическим данным, только за 2024 год в республике было зарегистрировано 11 549 пожаров, в результате пожаров погибло 326 и травмировано 332 человека [2].

На сегодняшний день противопожарную защиту территории страны осуществляют 445 пожарных подразделений [3].

Трагический опыт ликвидации техногенных катастроф определил необходимость разработки пожарных робототехнических комплексов. Тяжелые противопожарные комплексы применяются при тушении лесных пожаров, складов боеприпасов, при чрезвычайных ситуациях на опасных производствах, объектах нефтегазового сектора и т.д. Пожарные роботы более легкого класса, как правило, на гусеничном шасси, довольно маневренны и компактны по размерам, что дает им возможность проезжать в дверные проемы и двигаться по наклонным лестничным пролетам зданий. Имея на борту лафетный ствол с подключением через рукава к внешним источникам воды, а также устройства орошения водой («капельное облако» для собственной защиты от высокой температуры), они способны направлять струю воды или воздушно-механической пены в очаги возгораний на дальность в десятки метров. Их использование оправдано в условиях возникновения чрезмерного риска для пожарных расчетов, из недавних случаев работу пожарных роботов можно было

наблюдать, в частности, при тушении пожара в парижском соборе Нотр-Дам (использовались французские пожарные роботы Colossus).

В связи с чем для эффективного тушения пожаров на категорированных объектах повышенной опасности предлагается использование малогабаритных роботизированных автоматизированных платформ, которые призваны заменить человека в случаях, когда выполнение задачи находится за пределами человеческих возможностей либо сопряжено с чрезмерной угрозой здоровью и жизни человека, а также при недостатке профессионально подготовленного персонала для выполнения трудоемких и циклически повторяющихся задач.

Для защиты пожарно-спасательных подразделений и проведения аварийно-спасательных работ в зоне чрезвычайных ситуаций, представляющих опасность для жизни и здоровья пожарных-спасателей, в настоящее время применяются различные робототехнические комплексы.

В настоящее время применению специальной робототехники уделяется всё большее внимание, как во всём мире, так и в Казахстане. Поэтапное развитие робототехники и ее внедрение для использования при проведении поисково-спасательных работ и пожаротушения предопределяет необходимость решения ряда технологических проблем при разработке новых специальных робототехнических комплексов.

Методы исследования. Методы исследования базируются на принципах и методах системного анализа, объектно-ориентированного анализа, теории математического моделирования, термогазодинамики пожара, теории автоматического управления, теории наведения.

Научная новизна. Научная новизна и принципиальные отличия идей проекта заключены в технических решениях при проектировании конструкции робота и системе управления мобильными роботами, предназначенными для ведения технической разведки пожара: технологии проектирования и изготовления малогабаритных, высокоэффективных программно-аппаратных комплексов для решения задач гражданской защиты, методиках расчета, обработки и интерпретации данных, визуального радиоэлектронного и другого зондирования предполагаемых опасных участков.

Актуальность. Учитывая большие социально-экономические и экологические последствия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, вопросы оперативной локализации и ликвидации аварий и катастроф в настоящее время являются актуальными для Республики Казахстан.

Технические решения, полученные в результате реализации проекта, позволят создать готовый продукт и перейти к производству робототехнических комплексов, которые войдут во все сферы социальной жизни страны и будут соответствовать целям и задачам индустриального развития страны.

Исследования в сфере роботостроения

Современные пожарно-спасательные робототехнические комплексы являются прототипами боевых роботов (а точнее, дистанционно управляемые устройства) воплощающих идеи, сложившиеся еще в первой половине XX века. Первое подобное устройство продемонстрировал Никола Тесла в 1898 году, это была миниатюрная модель судна, управляемая по радио [4].

Работы по созданию роботизированных комплексов, способных автономно либо на дистанционном управлении работать в жестких условиях эксплуатации, активизировались в СССР в связи со всплеском техногенных катастроф в 1980-х гг. и,

прежде всего, после Чернобыльских событий. Принимая во внимание необходимость ликвидации аварий на радиоактивно зараженной местности, на предприятиях химической промышленности, складах взрывчатых веществ и материалов в условиях сильного задымления и загазованности атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами, впервые в отечественной и международной практике в 1986-1988 гг. был создан самоходный лафетный ствол СЛС-100-54 «Сойка» [5-9].

Анализ тенденций развития пожарных и спасательных роботов свидетельствует о широких аспектах охвата проблем проектирования подобных систем, среди которых:

- вопросы создания теплостойких конструкций промышленных роботов-водометов [10-11] и имитационное моделирование охлаждения строительных конструкций пожарными роботами [12];

- проекты автономных роботов, на основе искусственного интеллекта, на основе машинного зрения, на основе Wi-Fi, на основе IoT с автономными транспортно-эвакуационными роботами, с использованием мультисенсорной технологии в промышленности с линейным приводом с флюс-модулированным постоянным магнитом, беспилотный робот для тушения крупных пожаров в промышленном зале с опасными веществами [13-16];

- разработка методов обнаружения дыма и идентификации пламени и пожара в режиме реального времени, принципы обработки изображений пожарными роботами, повышения точности распознавания изображений, с применением различных датчиков пламени [17, 18];

- вопросы проектирования и создания автоматической системы управления домашних пожарных и промышленных роботов для тушения высотных зданий, с пожарным роботом на подъемном механизме, с колесной ногой, с рулевым механизмом, проектирование человеко-машинного интерфейса для телеуправляемых пожарных роботов, по схеме взаимодействия человека и робота в городских пожарах [19];

- разработка алгоритмов и методов поиска пути и патрулирования на основе реализации нечеткой логики с автономным предотвращением столкновений, применение метода численного моделирования для изучения влияния различных скоростей выхода и углов тангажа на огнетушащий эффект [20];

- проектирование наземной станции для пожарного робота [21] и схем подачи противопожарных сред [22].

Обсуждение результатов исследований

Роботизированные автоматизированные платформы можно классифицировать по:

- 1) сфере применения - промышленные, военные, исследовательские, медицинские;
- 2) среде эксплуатации - наземные, подземные, надводные, подводные, воздушные, космические;
- 3) степени подвижности - стационарные, мобильные;
- 4) типу системы управления - программные, адаптивные, интеллектуальные;
- 5) функциональному назначению - манипуляционные, транспортные, информационные, комбинированные;
- 6) уровню универсальности - специальные, специализированные, универсальные;
- 7) конструктивным признакам.

При этом, критический анализ существующих роботизированных решений показывает следующие их недостатки:

- необходимость использования дополнительной техники: грузоподъемного крана, манипуляторов и т.д.;
- высокий расход воды или огнетушащих веществ;
- громоздкость конструкции и большая масса,
- сложность точного определения визуальным путем границ очага возгорания, бесполезные затраты на ложное тушение областей и др.

Требования, предъявляемые к противопожарным роботизированным платформам:

- высокая подвижность и проходимость в городских условиях, внутри зданий и сооружений, в зонах разрушений, на пересеченной местности, как на твердых гладких покрытиях, так и на деформируемых грунтовых основаниях;
- надежность т.е. возможность действовать как в неподготовленных естественных условиях, так и в среде, специально приспособленной для обитания человека (внутри домов, в транспортных коммуникациях), вписываться в городские транспортные потоки или двигаться в составе транспортных колонн;
- оперативность и мобильность.

Облик наземного мобильного робота в первую очередь определяется типом и конструкцией движителя, выбор его является сложной задачей.

Практически невозможно создать универсальную конструкцию движителя, дающего возможность одинаково уверенно передвигаться в разнообразных условиях окружающей среды: множество видов и свойств оснований, сложные пересечения рельефа местности, необходимость перемещения по элементам сооружений и внутри зданий являются причиной создания большого числа компоновочных схем роботов с различными типами движителей.

Роботизированная платформа может быть представлена в виде совокупности трех основных систем - транспортной, специальной и управления (рисунок 1).

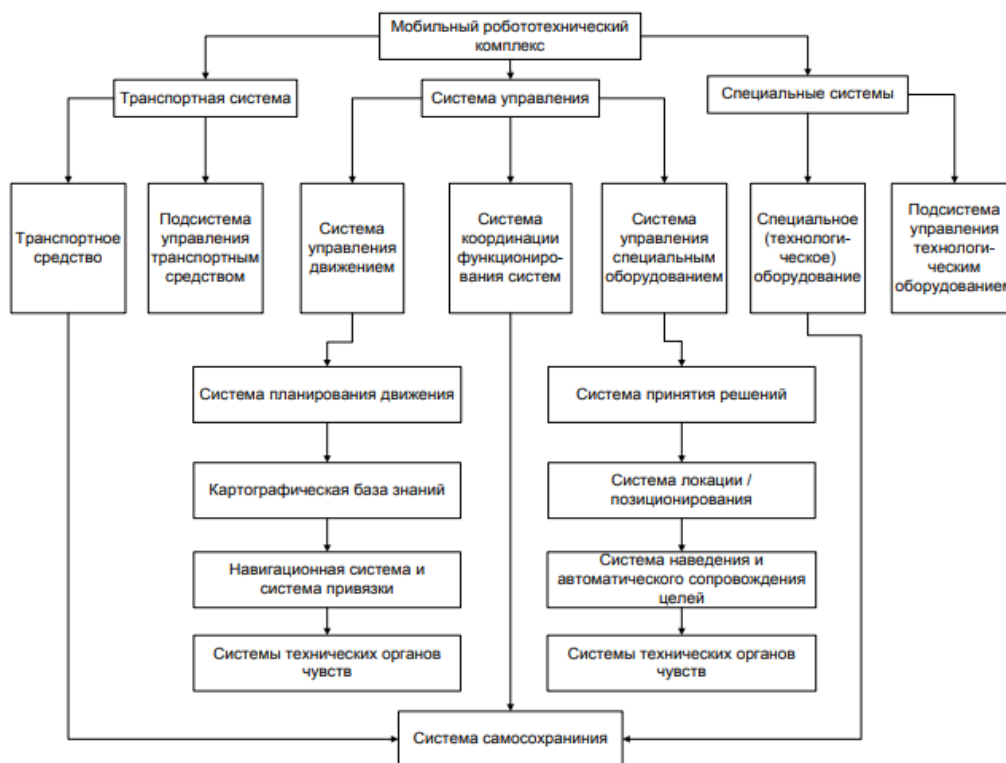


Рисунок 1 - Обобщенная структура автоматизированной роботизированной платформы

Для каждого типа движителя существует своя область применения. Так, в качестве движителя многофункционального мобильного робота, предназначенного для использования на труднопроходимой местности, выбран гусеничный движитель как наиболее универсальный (рисунок 2).

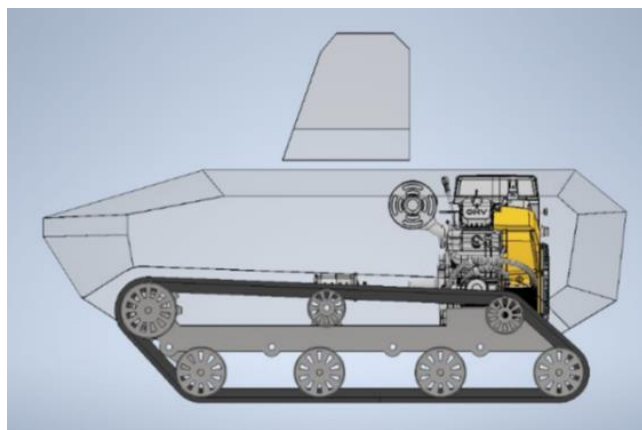


Рисунок 2 – Гусеничный движитель многофункционального мобильного противопожарного робота

Процесс моделирования проектировании многофункционального мобильного противопожарного робота показаны на рисунке 3.



Рисунок 3 – Процедура проектирования робота

Реализация данных этапов носило итерационный характер: при необходимости допускался возврат к предыдущим стадиям для уточнения модели робота, корректировки постановки задачи или повторного синтеза системы управления с учётом результатов проведённого анализа. Каждая из стадий являлась обязательной, однако в конкретных условиях значимость отдельных этапов могла превалировать над остальными.

На начальном этапе построения модели, когда происходил качественный анализ робота, были созданы описательные модели, отражающие основные качественные и структурные закономерности.

На рисунке 4 показан второй этап моделирования автоматизированной роботизированной платформы.

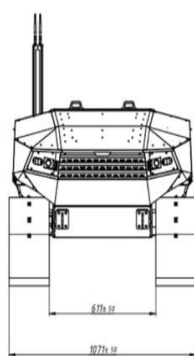
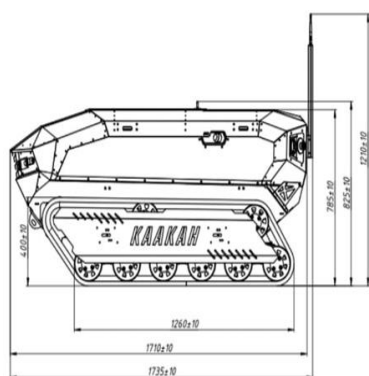


Рисунок 4 - Этап моделирования автоматизированной роботизированной платформы

В последнее время, в области робототехники особое внимание уделяется платформам. Программная платформа для роботов включает в себя набор инструментов, которые используются для разработки программного обеспечения роботов (таблица 1).

Таблица 1 - Набор инструментов используемых для разработки программного обеспечения роботов

MSRDS10	Microsoft Robotics Developer Studio, Microsoft - U.S
ERSP11	Evolution Robotics Software Platform, Evolution Robotics - Europe
ROS	Robot Operating System, Open Robotics12 - U.S
OpenRTM	National Institute of Adv. Industrial Science and Technology (AIST) - Japan
OROCOS	Open Robot Control Software project - Europe
OPRoS	ETRI, KIST, KITECH, Kangwon National University - South Korea

Важно подчеркнуть, что аппаратные платформы, как правило, совместимы с соответствующими программными платформами, что позволяет разрабатывать прикладные решения без необходимости глубокого погружения в особенности аппаратной части и без дополнительных затрат времени на её самостоятельную разработку.

Для построения сложных и детализированных элементов и агрегатов автоматизированной роботизированной платформы применялись специализированные системы автоматизированного проектирования, такие как SolidWorks, Autodesk Inventor.

На рисунке 5 показаны результаты испытания автоматизированной роботизированной платформы.



Рисунок 5 - Результаты испытания автоматизированной роботизированной платформы

Выводы

В заключение следует отметить, что разработка противопожарной автоматизированной роботизированной платформы представляет собой перспективное направление развития средств обеспечения безопасности и реагирования на чрезвычайные ситуации. Применение роботизированных решений позволяет существенно снизить риски для личного состава, повысить оперативность реагирования и эффективность проведения работ в зонах с повышенной опасностью, включая участки с высокой температурой, задымлением и угрозой обрушений.

В ходе разработки были рассмотрены вопросы выбора аппаратной и программной архитектуры, средств управления, навигации и взаимодействия с

внешними системами, а также особенности моделирования и интеграции функциональных модулей. Использование современных программных платформ и средств проектирования обеспечивает гибкость настройки, масштабируемость и возможность последующей модернизации комплекса.

Таким образом, внедрение противопожарных роботизированных платформ способствует повышению уровня технологической оснащенности аварийно-спасательных подразделений и формирует основу для дальнейшего развития интеллектуальных систем пожаротушения и мониторинга.

Данная работа выполнена в рамках научного проекта № 012РКД0003.

Список литературы

1. За 12 месяцев - с прошлого сентября по текущий - в Казахстане зафиксировано более 5 тысяч лесных пожаров и пожарных тревог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zonakz.net/2022/09/23/za-12-mesyacev-s-proshlogo-sentyabrya-po-tekushhij-v-kazaxstane-zafiksirovano-bolee-5-tysyach-lesnykh-pozharov-i-pozharnyx-trevog/> (дата обращения: 15.01.2026).
2. Данные Комитета противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gov.kz/memleket/entities/kps/documents/details/777997?directionId=17_302&lang=ru (дата обращения: 14.01.2026).
3. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. МЧС Казахстана: достижения и новые инициативы. 31 Декабря 2025 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gurk.kz/news/mchs-kazahstana-dostizheniya-i-novy-e-inicziativy> (дата обращения: 14.01.2026).
4. Геворкян С.Г. К проблеме передачи электрической энергии: патент Н. Теслы от 20 марта 1900 г. // Пространство и время. – 2016. – № 3–4 (25–26). – С.64-71.
5. Евграфов И.П. Разработка системы поддержки принятия решений в чрезвычайных информационных условиях : диссертация ... кандидата технических наук : 05.25.05 / Всерос. ин-т науч. и техн. информ. (ВИНИТИ) РАН. – Москва, 2008. – 215 с.
6. Ноженкова Л.Ф. Интеллектуальная поддержка прогнозирования и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Интеллектуальные системы. – Красноярск: КГТУ, 1997. – С. 83-99.
7. Белов С.В., Девисилов В.А., Козьяков А.Ф. и др. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для студентов. – М.: Высшая школа НМЦ СПО, 2000. – 343 с.
8. Цариченко, С.Г. Стационарные роботизированные комплексы пожаротушения как составная часть автоматических установок пожаротушения // Алгоритм безопасности. – 2007. – № 5. – С. 56-58.
9. ГОСТ Р 53326-2009. Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытания. Гарант: инф.-прав. об-ние. – М., 2017. – С. 1-7.
10. Фудзита Дж., Тамура Ю., Аmano Х., Оно К., Тадокоро С. Новая конструкция внешнего покрытия для защиты роботов-пожарных от теплового излучения при крупномасштабных пожарах на нефтехимических комплексах // ROBOMESH. – 2022. – № 9(1). DOI: 10.1186/s40648-022-00229-5.
11. Перера, Р.А.К.К., Приянкара, Х.Д.Н.С., Мадхусанка, Б.Г.Д.А. Мобильный робот для обнаружения и тушения пожаров в промышленных условиях // 10-я Международная конференция по информатизации и автоматизации в интересах устойчивого развития, ICIAfS 2021. – С. 393-398. DOI: 10.1109/ICIAfS52090.2021.9606174.

12. Пожаркова И., Альджарбух А., Азизам С.Х., Мохамед А.П., Рабби Ф., Царев Р. Метод имитационного моделирования охлаждения строительных конструкций пожарными роботами: конспекты лекций по сетям и системам, 502 LNNS, 2022. – С. 504-511. DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9_45.
13. Эджидокун Т.О., Омитола О.О., Файинфолува А., Оноджохво С., Одогуну С., Одогуну С. Концептуальный проект робота для пожаротушения на основе визуального контроля для применения в "Умном городе" // Европейский журнал систем автоматизации. – 2022. – № 55 (3). – С. 299-305. DOI: 10.18280/jesa.550302.
14. Лейно М., Мериламп С., Кортелайнен Дж., Вало П., Лехтинен Т., Виркки Дж., Мобильные роботы-интегрированные системы машинного зрения и RFID для повышения пожарной безопасности в медицинских учреждениях // 7-я Международная конференция 2022 года по интеллектуальным и устойчивым технологиям, SpliTech 2022. DOI: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854383.
15. Ляо Ю., Сюн С., Хуан Ю. Исследование робота-инспектора пожарной охраны на основе компьютерного зрения // Серия конференций IOP (2021): Наука о Земле и окружающей среде, 632 (5), статья № 052066. DOI: 10.1088/1755-1315/632/5/052066.
16. Миллер А., Лель А., Рериг К., Штрассман Т., Кремер Ф., Солтау С., Эйхман И. Разработка автономного робота для пожаротушения // 54-й Международный симпозиум по робототехнике, ISR Europe 2022. – С. 263-269. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137149742&partnerID=40&md5=737af4bf7fe58ef3aafb173888fadecc>
17. Чаки С., Нанди Д., Дас Дж. Робот-пожаротушитель с использованием Arduino и контроллера DTMF // (2021) Конспекты лекций по сетям и системам, 165, с. 425-432. DOI: 10.1007/978-981-15-9433-5_41.
18. Лю, Ю.-Т., Сун, Р.-З., Чжан, Х.-Н., Ли, Л., Ши, Г.-К. Способ автономного позиционирования пожарных роботов с использованием беспроводных сетей с несколькими источниками информации // (2021). DOI: 10.1007/s11276-021-02566-6.
19. Коусейру М.С., Португалия Д., Роша Р.П., Араужо А. Развитие архитектуры взаимодействия человека и робота для поисково-спасательных операций при городских пожарах // Моделирование. – 2021. – № 97 (3). – С. 177-194. DOI: 10.1177/0037549720964548
20. Ван, Ю., Ши, Х., Чжэн, З., Инь, Б., Яо, Х. Метод численного моделирования пожарного робота jet на основе CFD // (2021) Серия материалов международной конференции ACM, PartF168982, статья № 3450931. DOI: 10.1145/3448734.3450931.
21. Ян М., Чжан Х., Фанг С., Сонг А., Ван З., Цуй З. Проектирование наземной станции для робота-пожарного // (2022) Конспекты лекций по электротехнике, 808 LNEE, С. 173-181. DOI: 10.1007/978-981-16-6554-7_20.
22. Ван, Ю., Сюй, Ю., Сюй, Х., Руан, П., Го, Л., Фенг, С., Ван, Х. Проектирование схем подачи средств пожаротушения для робота-пожарного на трансформаторной подстанции // (2021) Труды SPIE - Международного общества оптической инженерии, 12153, статья № 121530C. DOI: 10.1117/12.2626528.

References

1. Za 12 mesjacev - s proshlogo sentjabrja po tekushhij - v Kazahstane zafiksirovano bolee 5 tysjach lesnyh pozharov i pozharnyh trevog. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://zonakz.net/2022/09/23/za-12-mesyacev-s-proshlogo-sentyabrya-po-tekushhij-v-kazaxstane-zafiksirovano-bolee-5-tysyach-lesnyx-pozharov-i-pozharnyx-trevog/> (data obrashhenija: 15.01.2026).
2. Dannye Komiteta protivopozharnoj sluzhby Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/>

entities/kps/documents/details/777997?directionId=17 302&lang=ru (data obrashheniya: 14.01.2026).

3. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan. MChS Kazahstana: dostizheniya i novye iniciativy. 31 Dekabrja 2025 g. [Elektronnyj resurs]. –Rezhim dostupa: <https://gurk.kz/news/mchs-kazahstana-dostizheniya-i-novy-e-inicziativy>. (data obrashheniya: 14.01.2026).

4. Gevorkjan S.G. K probleme peredachi jelektricheskoy jenerгии: patent N. Tesly ot 20 marta 1900 g. // Prostranstvo i vremja. – 2016. – № 3–4 (25–26). – S.64-71.

5. Evgrafov I.P. Razrabotka sistemy podderzhki prinjatija reshenij v chrezvychajnyh informacionnyh uslovijah : dissertacija ... kandidata tehniceskix nauk : 05.25.05 / Vseros. in-t nauch. i tehn. inform. (VINITI) RAN. – Moskva, 2008. – 215 s.

6. Nozhenkova L.F. Intellektual'naja podderzhka prognozirovaniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij // Intellektual'nye sistemy. – Krasnojarsk: KGTU, 1997. – S. 83-99.

7. Belov S.V., Devisilov V.A., Koz'jakov A.F. i dr. Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: uchebnoe posobie dlja studentov. – M.: Vysshaja shkola NMC SPO, 2000. – 343 s.

8. Carichenko, S.G. Stacionarnye robotizirovannye komplekсы pozharotushenija kak sostavnaja chast' avtomaticheskix ustanovok pozharotushenija // Algoritm bezopasnosti. – 2007. – № 5. – S. 56-58.

9. GOST R 53326-2009. Tehnika pozharnaja. Ustanovki pozharotushenija robotizirovannye. Obshhie tehniceskije trebovanija. Metody ispytaniya. Garant: inf.-prav. ob-nie. – M., 2017. – S. 1-7.

10. Fudzita Dzh., Tamura Ju., Amano H., Ono K., Tadokoro S. Novaja konstrukcija vneshnego pokrytija dlja zashhity robotov-pozharnyx ot teplovogo izlucheniya pri krupnomasshtabnyh pozharah na neftehimicheskix kompleksah // ROBOMECH. – 2022. – № 9(1). DOI: 10.1186/s40648-022-00229-5.

11. Perera, R.A.K.K., Prijankara, H.D.N.S., Madhusanka, B.G.D.A. Mobil'nyj robot dlja obnaruzhenija i tushenija pozharov v promyshlennyh uslovijah // 10-ja Mezhdunarodnaja konferencija po informatizacii i avtomatizacii v interesah ustojchivogo razvitija, ICIAfS 2021. – S. 393-398. DOI: 10.1109/ICIAfS52090.2021.9606174.

12. Pozharkova I., Al'dzharbuh A., Azizam S.H., Mohamed A.P., Rabbi F., Carev R. Metod imitacionnogo modelirovaniya ohlazhdenija stroitel'nyh konstrukcij pozharnymi robotami: konspekty lekcij po setjam i sistemam, 502 LNNS, 2022. – S. 504-511. DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9_45.

13. Jedzhidokun T.O., Omitola O.O., FajinfoLuva A., Onodzhohvo S., Odoguvu S., Odoguvu S. Konceptual'nyj proekt robota dlja pozharotushenija na osnove vizual'nogo kontrolja dlja primenenija v "Umnom gorode" // Evropejskij zhurnal sistem avtomatizacii. – 2022. – № 55 (3). – S. 299-305. DOI: 10.18280/jesa.550302.

14. Lejno M., Merilampi S., Kortelajnen Dzh., Valo P., Lehtinen T., Virkki Dzh., Mobil'nye roboty-integrirovannye sistemy mashinnogo zrenija i RFID dlja povyshenija pozharnoj bezopasnosti v medicinskih uchrezhdenijah // 7-ja Mezhdunarodnaja konferencija 2022 goda po intellektual'nyh i ustojchivym tehnologijam, SpliTech 2022. DOI: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854383.

15. Ljao Ju., Sjun S., Huan Ju. Issledovanie robota-inspektora pozharnoj ohrany na osnove komp'juternogo zrenija // Serija konferencij IOP (2021): Nauka o Zemle i okruzhajushhej srede, 632 (5), stat'ja № 052066. DOI: 10.1088/1755-1315/632/5/052066.

16. Miller A., Lel' A., Rerig K., Shtrassman T., Kremer F., Soltau S., Jejhman I. Razrabotka avtonomnogo robota dlja pozharotushenija // 54-j Mezhdunarodnyj simpozium po robototekhnike, ISR Europe 2022. – S. 263-269. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid= 2-s2.0-85137149742&partnerID=40&md5=737af4bf7fe58ef3aafb173888fadec](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137149742&partnerID=40&md5=737af4bf7fe58ef3aafb173888fadec)

17. Chaki S., Nandi D., Das Dzh. Robot-pozharotushitel' s ispol'zovaniem Arduino i kontrollera DTMF // (2021) Konspekty lekciy po setjam i sistemam, 165, s. 425-432. DOI: 10.1007/978-981-15-9433-5_41.
18. Lju, Ju.-T., Sun, R.-Z., Chzhan, H.-N., Li, L., Shi, G.-K. Sposob avtonomnogo pozicionirovaniya pozharных robotov s ispol'zovaniem besprovodnyh setej s neskol'kimi istochnikami informacii // (2021). DOI: 10.1007/s11276-021-02566-6.
19. Kousejru M.S., Portugalija D., Rosha R.P., Arauzho A. Razvitie arhitektury vzaimodejstvija cheloveka i robota dlja poiskovo–spasatel'nyh operacij pri gorodskih pozharah // Modelirovanie. – 2021. – № 97 (3). – S. 177-194. DOI: 10.1177/0037549720964548.
20. Van, Ju., Shi, H., Chzhjen, Z., In', B., Jao, H. Metod chislenno modelirovaniya pozharного robota jet na osnove CFD // (2021) Serija materialov mezhdunarodnoj konferencii ACM, PartF168982, stat'ja № 3450931. DOI: 10.1145/3448734.3450931.
21. Jan M., Chzhan H., Fang S., Song A., Van Z., Cuj Z. Proektirovanie nazemnoj stancii dlja robota-pozharного // (2022) Konspekty lekciy po jelektrotehnike, 808 LNEE, S. 173-181. DOI: 10.1007/978-981-16-6554-7_20.
22. Van, Ju., Sjuj, Ju., Sjuj, H., Ruan, P., Go, L., Feng, S., Van, H. Proektirovanie shem podachi sredstv pozharotusheniya dlja robota-pozharного na transformatornoj podstancii // (2021) Trudy SPIE - Mezhdunarodnogo obshhestva opticheskoy inzhenerii, 12153, stat'ja № 121530S. DOI: 10.1117/12.2626528.

С. Ж. Кинжикеев¹, Т. Б. Карбаев², Р. С. Хамитов¹

¹«Astana IT University» ЖШС, Астана, Қазақстан

²«Техникалық жобалар Орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан

ӨРТКЕ ҚАРСЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ӘЗІРЛЕУ РОБОТТЫҚ ПЛАТФОРМА

Аңдатпа. Мақалада адам үшін қауіптілігі жоғары және қолжетімділігі шектеулі жағдайларда қолдануға арналған өртке қарсы автоматтандырылған роботтандырылған платформаны әзірлеу мәселелері қарастырылған. Басқару, навигация және қашықтықтан өзара әрекеттесу жүйелерін қоса алғанда, платформаның дизайнына, аппараттық-бағдарламалық архитектурасына және функционалдығына қойылатын талаптар талданады. Модельдеу, бағдарламалық ортаны таңдау және сөндіру және бақылау модульдерін біріктіру тәсілдері сипатталған. Роботтық шешімдерді қолдану өртке қарсы іс-шаралардың тиімділігін арттыруға және төтенше жағдайларды жою кезінде жеке құрам үшін қауіпті азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Өрт сөндіру кезінде жауынгерлік міндеттерді орындау кезінде өрт-құтқару бөлімшелерінің жеке құрамына олардың өміріне қауіп төндіретін қауіпті факторлар әсер етуі мүмкін, осыған байланысты өртке қарсы автоматтандырылған роботтандырылған платформаны әзірлеу өзекті міндет болып табылады.

Түйінді сөздер: робот, автоматтандырылған платформа, жіктеу, қозғалтқыш, төтенше жағдайлар, өрт, автономия, ұтқырлық, өрт сөндіру.

S. J. Kinzhikeev¹, T. B. Karbaev², R. S. Khamitov¹

¹«Astana IT University» LLP, Astana, Kazakhstan

²«Center for Technical Projects» LLP, Astana, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED FIRE PROTECTION SYSTEM THE ROBOTIC PLATFORM

Abstract. The article discusses the development of a fire-fighting automated robotic platform designed for use in conditions of increased danger and limited accessibility to humans. The requirements for the design, hardware and software architecture, and functionality of the platform, including control, navigation, and remote interaction systems, are analyzed. Approaches to modeling, selection of a software environment, and integration of extinguishing and monitoring modules are described. It is shown that the use of robotic solutions makes it possible to increase the effectiveness of fire-fighting measures and reduce the risk to personnel in emergency situations. When performing combat missions while extinguishing a fire, personnel of fire and rescue units may be affected by dangerous factors that threaten their lives, and therefore the development of a fire-fighting automated robotic platform is an urgent task.

Keywords: robots, automated platform, classification, propulsion, emergencies, fires, autonomy, mobility, firefighting.

Сведения об авторах / Information about the authors

Кинжикеев Сергей Жулдубаевич – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор (доцент), член-корреспондент Академии военных наук, профессор военной кафедры ТОО «Astana IT University», Астана, Казахстан. E-mail: sergey.kinzhikeev@astanait.edu.kz

Карбаев Темиржан Бахытович – магистр, директор ТОО «Центр Технических проектов», Астана, Казахстан. E-mail: astana_01@mail.ru

Хамитов Ришад Садыкович – магистр, заместитель начальника военной кафедры ТОО «Astana IT University», Астана, Казахстан. E-mail: Rishad.Khamitov@astanait.edu.kz

Sergey Z. Kinzhikeev – Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, Corresponding Member of the Academy of Military Sciences, Professor of the Military Department of Astana IT University LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: sergey.kinzhikeev@astanait.edu.kz

Temirzhan B. Karbaev – Master's degree, Director of the Center for Technical Projects LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: astana_01@mail.ru

Rishad S. Khamitov – Master's degree, Deputy Head of the Military Department of Astana IT University LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: Rishad.Khamitov@astanait.edu.kz

УДК 614.849
МРНТИ 81.92.17

**А. Б. Кусаинов, М. М. Альменбаев, Ж. К. Макишев,
И. А. Захаров, П. В. Максимов**

*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики
Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ БАЗЫ ДАННЫХ ПОЖАРНЫХ ГИДРАНТОВ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ AR-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы формирования и анализа базы данных пожарных гидрантов как ключевого элемента обеспечения эффективности AR-ориентированных систем поиска источников противопожарного водоснабжения. Представлены результаты обработки и систематизации данных обследования гидрантов на территории г. Кокшетау. Выполнен статистический анализ технического состояния, проведена классификация дефектов, дана оценка пригодности существующей базы для использования в цифровых системах навигации. На основе полученных результатов предложены направления совершенствования учета и интеграции данных в AR-систему GeoHydrants.

Ключевые слова: пожарный гидрант, база данных, противопожарное водоснабжение, AR-технологии, GeoHydrants, техническое состояние, анализ дефектов, цифровизация.

Успех тушения пожара на начальном этапе в значительной степени определяется оперативностью обнаружения и ввода в действие ближайших источников противопожарного водоснабжения [1]. Руководитель тушения пожара (РТП) должен в кратчайшие сроки не только определить их местоположение, но и оценить пригодность к использованию, а также маршруты следования от места пожара к источнику водоснабжения, что в условиях плотной городской застройки, транспортной загруженности, ограниченной видимости и высокого психологического напряжения является сложной задачей.

Современные тенденции цифровизации деятельности противопожарных служб предполагают широкое внедрение геоинформационных систем и технологий дополненной реальности (AR) для автоматизации процессов поиска водоисточников [1]. В рамках проводимого исследования разработана и обоснована AR-ориентированная методика поиска водоисточников, реализованная в программном продукте GeoHydrants. Проведенный многокритериальный анализ показал, что данный подход, сочетающий алгоритмическую оптимизацию выбора и наглядность дополненной реальности, является наиболее перспективным для применения в условиях возникновения пожара в городских условиях по сравнению с традиционными и ГИС-методами [2].

Ключевым условием эффективности любой цифровой системы является качество исходных данных. Неточные или устаревшие сведения о местоположении гидранта, его неисправности или отсутствии сводят на нет все преимущества высокотехнологичной навигации [1, 2]. Это определяет актуальность настоящего

исследования, целью которого является формирование и всесторонний анализ базы данных пожарных гидрантов г. Кокшетау для последующей интеграции в AR-систему GeoHydrants.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к анализу ведомственной базы данных, включающем не только статистическую обработку, но и оценку пригодности данных для использования в AR-ориентированных системах, а также разработку требований к актуализации информации в цифровых навигационных сервисах противопожарного назначения.

Исходным материалом для исследования послужили результаты обследования источников наружного противопожарного водоснабжения, проведенного территориальными подразделениями Департамента по чрезвычайным ситуациям Акмолинской области. В ходе обследования была сформирована ведомственная база данных, содержащая сведения о пожарных гидрантах, расположенных на территории г. Кокшетау и прилегающей территории [3].

Каждая запись в базе данных содержит следующие данные:

- географические координаты (адресная привязка и значения широты/долготы);
- значение давления/напора (в МПа);
- эксплуатационное состояние (пригодность);
- код дефекта (при наличии);
- текстовое описание дефекта;
- дата последней проверки;
- организация-балансодержатель.

Обработка данных включала несколько этапов:

Нормализация и очистка. Приведение координат к единому формату (десятичные градусы), исправление синтаксических ошибок, выявление и маркировка дублирующихся записей.

Классификация технического состояния. Группировка записей по состоянию («исправен», «не исправен», «частично работоспособен», «отсутствует доступ») и проведение частотного анализа кодов дефектов.

Статистический анализ. Расчет доли исправных и неисправных гидрантов, определение наиболее распространенных типов дефектов, оценка полноты заполнения полей базы данных.

Пространственный анализ. Построение карт распределения гидрантов с использованием ГИС для выявления зон с недостаточной обеспеченностью исправными водоисточниками.

В результате обработки исходных материалов была сформирована база данных, содержащая 778 записей о пожарных гидрантах на территории г. Кокшетау. Распределение пожарных гидрантов по категориям технического состояния (исправен, неисправен, частично исправен, отсутствует доступ) приведено на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что из общего количества обследованных пожарных гидрантов 62,9 % находятся в исправном состоянии. Остальные 37,1 % гидрантов имеют различные дефекты, ограничивающие или полностью исключающие их использование при тушении пожаров.



Рисунок 1 - Диаграмма технического состояния гидрантов г. Кокшетау.

Для детального понимания причин неработоспособности гидрантов был проведен анализ кодов дефектов. В рамках данного исследования предложено использовать классификацию неисправностей, включающую 36 типовых позиций (таблица 1), что позволяет систематизировать учет и упрощает обработку данных при интеграции с цифровыми системами, такими как GeoHydrants.

Таблица 1 - Классификация дефектов пожарных гидрантов

Код дефекта	Характер неисправности
0	Исправен
1	Сорван шток
2	Шток не проворачивается
3	Шток занижен
4	Шток завышен
5	Шток отсутствует
6	Пропускает воду
7	Грани штока сорваны
8	Размер штока не стандартный
9	Резьба уст. головки сорвана
10	Откидная крышка не открывается
11	Откидная крышка отсутствует
12	Уст. головка заглушена деревянной заглушкой
13	Уст. головка заглушена металлической заглушкой
14	Стойак занижен
15	Стойак завышен
16	Стойак смещен
17	Стойак не закреплён
18	Стойак засорён
19	Стойак заморожен
20	Стойак снят (демонтирован)
21	Спускное отверстие забито
22	Гидрант отключен от сети
23	Гидрант не найден
24	В сети нет воды
25	Колодец с гидрантом затоплен
26	Колодец с гидрантом засыпан грунтом
27	Крышка колодца с гидрантом заасфальтирована
28	Крышка колодца с гидрантом засыпана грунтом

29	Крышка колодца с гидрантом отсутствует
30	Крышка с кольцом колодца отсутствует
31	Указатель отсутствует
32	Отсутствуют подъездные пути (касаемое и водоемов)
33	Не герметичен
34	Не заполнен
35	Не полностью заполнен
36	Перекрытие водоема обрушено

В результате проведенного анализа кодов дефектов, представленных в таблице 1, было выделено три основные группы неисправностей, объединенных по характеру повреждений и необходимых ремонтных воздействий. Распределение гидрантов по выделенным группам представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 - Группировка дефектов пожарных гидрантов по характеру неисправностей

Из рисунка 2 видно, что наиболее массовой проблемой является демонтаж гидрантов – 17,6 % от общего количества имеют код 20 («стояк снят (демонтирован)»). Еще 4,4 % гидранта не были найдены на местности. Таким образом, практически каждый пятый гидрант (22,0 %) физически отсутствует или не может быть обнаружен, что свидетельствует о серьезном разрыве между учетными данными и реальной ситуацией на местности.

Второй по значимости группой являются механические повреждения и деформации – 104 гидранта (13,4 %). Наиболее распространенные дефекты этой категории:

- «шток не проворачивается» (код 2) – 38 гидрантов (4,9 %);
- «стояк смещен» (код 16) – 33 гидранта (4,2 %);
- «стояк занижен» (код 14) – 15 гидрантов (1,9 %);
- «шток занижен» (код 3) – 11 гидрантов (1,4 %);
- «сорван шток» (код 1) – 6 гидрантов (0,8 %);
- прочие механические дефекты (коды 5, 7, 8, 9) – 6 гидрантов (0,8 %).

Эксплуатационные и инфраструктурные проблемы выявлены у 31 гидранта (4,0 %), включая отключение от сети (код 22, 12 гидрантов), отсутствие воды в сети (код 24, 4 гидранта), затопление или засыпку колодцев (коды 25, 26 – 7 гидрантов), асфальтирование крышек (код 27 – 7 гидрантов) и отсутствие подъездных путей (код 32 – 1 гидрант).

Особого внимания заслуживает наличие комбинированных дефектов. В 7 записях (0,9 %) указано одновременно два и более дефекта (например, коды 7,14 или 2,25), что свидетельствует о комплексном характере неисправностей и, как правило, требует более сложного и затратного ремонта.

Проведенный анализ показывает, что фактический уровень неисправных гидрантов в г. Кокшетау составляет 37,1 %. Такая ситуация создает повышенные риски при тушении пожаров, поскольку в случае возникновения возгорания в зоне, обслуживаемой неисправным гидрантом, время, необходимое для заправки автомобиля водой может существенно увеличиться из-за необходимости поиска альтернативного водоисточника [5].

Сформированная база данных является основой для функционирования AR-ориентированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения GeoHydrants. Внесение достоверных сведений о работоспособности каждого гидранта позволяет системе реализовать следующие функции:

1. Селективный поиск источников. Алгоритмы системы автоматически исключают из выдачи неисправные, демонтированные или отсутствующие объекты, предлагая пользователю только те гидранты, которые находятся в исправном состоянии и готовы к применению.

2. Оптимальное планирование маршрута. На основе данных о местоположении исправных гидрантов и текущих координатах пожарного подразделения GeoHydrants строит кратчайший маршрут движения с учетом особенностей улично-дорожной сети.

3. Навигация в режиме дополненной реальности. Визуализация маршрута и местоположения гидранта непосредственно в реальном пространстве через камеру мобильного устройства существенно упрощает ориентирование на местности, особенно в условиях ограниченной видимости.

Важно понимать, что сформированная база данных не является статичным документом. Городская инфраструктура постоянно изменяется: ведутся строительные работы, ремонтируются дороги, благоустраиваются территории, демонтируются старые и устанавливаются новые объекты. Все эти процессы напрямую влияют на состояние источников противопожарного водоснабжения.

В связи с этим система GeoHydrants требует постоянного обновления и актуализации данных. Только при этом условии можно гарантировать достоверность информации о местоположении и работоспособности гидрантов в реальном времени. Для обеспечения актуальности базы данных необходимы регулярные плановые обследования, оперативное обновление по результатам выездов и налаживание эффективного взаимодействия с организациями-балансодержателями.

Сформированная база данных является основой для функционирования AR-ориентированной системы поиска источников противопожарного водоснабжения GeoHydrants. Внесение в программу достоверных сведений о работоспособности каждого гидранта позволяет системе осуществлять селективный поиск и навигацию только к гарантированно работоспособным источникам. Критически важным условием эффективного применения GeoHydrants является постоянная актуализация базы данных, основанная на регулярных плановых обследованиях и оперативном взаимодействии с организациями-балансодержателями. На рисунке 3 приведены скриншеты из мобильного приложения GeoHydrants с отображением главного меню и режима карты.

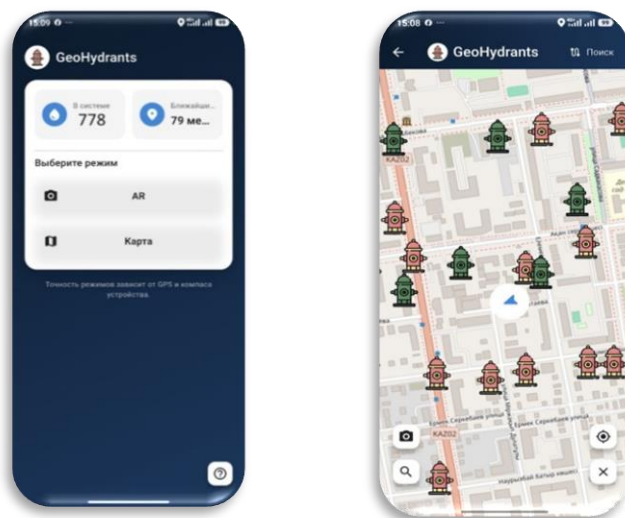


Рисунок 3 - Стрипшеты мобильного приложения GeoHydrants

Проведенные исследования показывают, что фактический уровень неисправных гидрантов создает повышенные риски при тушении пожаров и требует принятия безотлагательных мер по приведению сети водоснабжения в надлежащее состояние. Результаты исследования имеют высокую практическую значимость и могут быть использованы для планирования ремонтно-восстановительных работ на сети противопожарного водоснабжения г. Кокшетау, а также для масштабирования разработанного подхода на другие регионы Казахстана.

Исследование выполнено в рамках грантового финансирования Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме проекта AP23489617 «Автоматизация процессов поиска источников водоснабжения для оперативного реагирования противопожарных подразделений на чрезвычайные ситуации».

Список литературы

1. Малютин О.С. Тенденции создания ГИС-ориентированных приложений для учета источников наружного противопожарного водоснабжения пожарных подразделений // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 25.02.2026).
2. Кусаинов А. Б., Альменбаев М. М., Макишев Ж. К., Максимов П. В., Смагулов Б. Е. Определение кратчайшего маршрута для бесперебойной подачи воды на тушение пожара методом дерева решений // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 2 (58). – С. 53–59. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agz.edu.kz/121.html> (дата обращения: 18.02.2026).
3. СН РК 3.01-01-2013* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населенных пунктов.
4. Какаджикова А. Г., Мырадов М. Создание мобильного приложения с элементами AR: от концепции до реализации // Наука и мировоззрение. — Ашхабад (Туркменистан). [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://naukamirowozreniya.ru/public/202509/application/1757246245335219322/sozдание-mobilnogo-prilozheniya-s-elementami-ar-ot-konceptii-do-realizacii.pdf> (дата обращения: 25.02.2026).

5. Крымовский Д. П. Разработка мероприятий по улучшению противопожарного водоснабжения на пожароопасных объектах // Вестник науки. – 2024. – № 10 (79). Т. 1. – С. 608–613. ISSN 2712-8849. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/17655> (дата обращения: 25.02.2026).

References

1. Maljutin O.S. Tendencii sozdaniya GIS-orientirovannykh prilozhenij dlja ucheta istochnikov naruzhnogo protivopozharnogo vodosnabzhenija pozharных подразделений // Nauchnaja jelektronnaja biblioteka «KiberLeninka». [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru> (data obrashhenija: 25.02.2026).

2. Kusainov A. B., Al'menbaev M. M., Makishev Zh. K., Maksimov P. V., Smagulov B. E. Opredelenie kratchajshego marshruta dlja besperebojnoj podachi vody na tushenie pozhara metodom dereva reshenij // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 2 (58). – S. 53–59. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://agz.edu.kz/121.html> (data obrashhenija: 18.02.2026).

3. SN RK 3.01-01-2013* Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih naselennykh punktov.

4. Kakadzhikova A. G., Myradov M. Sozdanie mobil'nogo prilozhenija s jelementami AR: ot koncepcii do realizacii // Nauka i mirovozzrenie. – Ashhabad (Turkmenistan). [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://naukamirowozreniya.ru/public/202509/application/1757246245335219322/sozdanie-mobilnogo-prilozheniya-s-elementami-ar-ot-koncepcii-do-realizacii.pdf> (data obrashhenija: 25.02.2026).

5. Krymovskij D. P. Razrabotka meroprijatij po uluchsheniju protivopozharnogo vodosnabzhenija na pozharоопасных объектах // Vestnik nauki. – 2024. – № 10 (79). Т. 1. – С. 608–613. ISSN 2712-8849. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/17655> (data obrashhenija: 25.02.2026).

А. Б. Құсайынов, М. М. Әлменбаев, Ж. Қ. Мақышев, И.А. Захаров, П. В. Максимов

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

AR-БАҒДАРЛАНҒАН ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ӨРТКЕ ҚАРСЫ СУМЕН ЖАБДЫҚТАУ КӨЗДЕРІН ІЗДЕУДІҢ НЕГІЗІ РЕТІНДЕ ӨРТ СӨНДІРУ ГИДРАНТТАРЫНЫҢ ДЕРЕКҚОРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Мақалада өртке қарсы сумен жабдықтау көздерін іздеуге арналған AR-бағдарланған жүйелердің тиімділігін қамтамасыз етудің негізгі элементі ретінде өрт гидранттарының деректер базасын қалыптастыру және талдау мәселелері қарастырылады. Көкшетау қаласы аумағындағы гидранттарды тексеру деректерін өңдеу және жүйелеу нәтижелері ұсынылған. Техникалық жай-күйіне статистикалық талдау жүргізіліп, ақаулар жіктелді, цифрлық навигация жүйесіндегі қолданыстағы деректер базасына пайдалану жарамдылығына баға берілді. Алынған нәтижелер негізінде GeoHydrants AR-жүйесіне деректерді есепке алу мен интеграциялауды жетілдіру бағыттары ұсынылды.

Түйінді сөздер: өрт гидранты, деректер базасы, өртке қарсы сумен жабдықтау, AR-технологиялар, GeoHydrants, техникалық жай-күй, ақауларды талдау, цифрландыру.

A. B. Kusainov, M. M. Almenbaev, Zh. K. Makishev, I.A. Zakharov, P. V. Maksimov
*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

FORMATION AND ANALYSIS OF A FIRE HYDRANT DATABASE AS A FOUNDATION FOR AR-ORIENTED SYSTEMS FOR LOCATING FIREFIGHTING WATER SUPPLY SOURCES

Abstract. The article examines the issues of developing and analyzing a database of fire hydrants as a key element for ensuring the efficiency of AR-oriented systems for locating fire water supply sources. The results of processing and systematizing fire hydrant survey data collected in the city of Kokshetau are presented. A statistical analysis of technical condition was carried out, defects were classified, and the suitability of the existing database for use in digital navigation systems was assessed. Based on the obtained results, directions for improving data recording and integration into the GeoHydrants AR system are proposed.

Keywords: fire hydrant, database, fire water supply, AR technologies, GeoHydrants, technical condition, defect analysis, digitalization.

Сведения об авторах / Information about the authors

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: arman_1703@mail.ru

Альменбаев Миржан Маратович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан по научной работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Макишев Жандос Куандыкович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), заместитель начальника Академии гражданской защиты имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан по строевой, воспитательной и кадровой работе, Кокшетау, Казахстан. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Захаров Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: emercom.87@mail.ru

Максимов Петр Викторович – профессор кафедры пожарной профилактики Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: maxmpv@mail.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Mirzhan M. Almenbayev – Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan for scientific work, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: make_kz1986@mail.ru

Zhandos K. Makishev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), deputy head of the Academy of civil protection M. Gabdullina MCHS of the Republic of Kazakhstan on construction, employment and personnel work, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: makishev_jkkti@mail.ru

Igor A. Zakharov – Candidate of Technical Sciences, associate professor (docent), head of the research center of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: emercom.87@mail.ru

Pyotr V. Maksimov – is a professor at the Department of Fire Prevention of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: maxmpv@mail.ru

УДК 614.84
МРНТИ 81.92.01

Н. Ж. Байжиенов, К. Ж. Раимбеков, Е. К. Саменов, А. Г. Мусайбеков

*Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики
Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЖАРОВ В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ТРОЙНОГО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ХОЛЬТА-ВИНТЕРСА

Аннотация. В данной работе представлен комплексный анализ динамики возникновения пожаров на территории Северо-Казахстанской области. На основе верифицированных данных Департамента по чрезвычайным ситуациям Северо-Казахстанской области за 2020–2025 гг. авторами была имплементирована модель тройного экспоненциального сглаживания. Исследование направлено на верификацию сезонных флуктуаций и разработку предиктивной базы для совершенствования стратегии профилактического контроля в пожароопасные периоды.

Ключевые слова: пожарная опасность, динамика пожаров, Северо-Казахстанская область, временные ряды, сезонность, прогнозирование, экспоненциальное сглаживание, модель Хольта–Винтерса (ETS), оценка рисков.

Введение

Северо-Казахстанская область (СКО) характеризуется специфическими природно-климатическими условиями, которые детерминируют уровень пожарных рисков региона. Резко континентальный климат с суровыми зимами и жарким засушливым летом обуславливает ярко выраженную сезонность пожаров. В зимний период основная нагрузка приходится на жилой сектор из-за эксплуатации печного отопления, в то время как весенне-летний период характеризуется интенсификацией горения в экосистемах и агропромышленном комплексе [1, 2].

Для повышения эффективности оперативного управления силами и средствами органов гражданской защиты СКО критически важным является переход от констатации фактов к математическому прогнозированию рисков.

Исходные данные

В качестве информационной базы исследования были использованы статистические данные Департамента по чрезвычайным ситуациям (ДЧС) СКО за период с 2020 по 2025 гг. Данные представлены в ежемесячном разрезе (чистые значения), что позволяет учесть сезонные колебания.

За анализируемый период (2020–2025 гг.) общее количество пожаров изменилось с 733 до 509 случаев (таблица 1).

Таблица 1 – Статистика пожаров в СКО по месяцам (2020–2025 гг.)

Месяц	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	2	3	4	5	6	7
Январь	26	60	32	40	36	40
Февраль	47	68	59	41	54	48
Март	30	38	37	28	33	31
Апрель	78	43	85	42	21	46
Май	61	100	99	91	28	48
Июнь	51	58	50	70	40	37
Июль	54	55	38	42	17	22
Август	54	50	44	55	27	31
Сентябрь	78	56	64	13	31	35
Октябрь	68	68	51	60	68	62
Ноябрь	66	57	44	50	25	53
Декабрь	120	78	92	73	67	56
Итого	733	731	695	605	447	509

Представленный массив данных характеризуется наличием как выраженной сезонности, так и стохастических отклонений, что делает невозможным применение линейной аппроксимации и требует использования адаптивных методов, например, таких как модель Хольта-Винтерса.

Методология исследования

Визуальный анализ представленных данных (таблица 1) показывает наличие волнообразной динамики. Однако высокая вариативность значений делает использование простых методов среднего значения неэффективным. В связи с этим, для построения качественного прогноза на 2026–2027 гг. был выбран метод экспоненциального сглаживания ETS (модель Хольта-Винтерса), который позволяет одновременно учитывать текущий уровень, тренд и сезонную компоненту. Причем для прогнозирования была выбрана аддитивная форма модели Хольта – Винтерса, так как амплитуда колебаний пожаров в СКО остается относительно стабильной на протяжении рассматриваемого шестилетнего периода.

Модель Хольта-Винтерса описывается системой следующих трех уравнений (сглаженного уровня, сглаживания тренда и сглаживания сезонности) [3]:

$$L_t = \alpha (Y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

$$S_t = \gamma (Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-m} \quad (3)$$

Прогнозное значение находится по формуле:

$$Y_{t+p} = L_t + pT_t + S_{t-m+p} \quad (4)$$

Здесь: Y_t - фактическое количество пожаров в текущий период; L_t - показатель уровня (базовое значение); T_t - значение тренда; S_t - коэффициент сезонности; m - период сезонности (в нашем случае $m = 12$); α, β, γ - коэффициенты сглаживания (параметры модели).

Результаты исследования

В результате работы алгоритма была построена модель со следующими характеристиками: коэффициент сглаживания уровня $\alpha = 0,25$. Относительно низкое значение α указывает на то, что модель придает большое значение динамике за прошлые годы (обеспечение стабильности прогноза). Коэффициент сглаживания тренда ($\beta = 0$) свидетельствует об отсутствии устойчивого линейного роста или падения (динамика носит циклический характер). Коэффициент сглаживания сезонности ($\gamma = 0$) означает, что амплитуда колебаний по месяцам стабильна из года в год и не претерпевает значительных изменений в структуре [4].

Средняя абсолютная масштабированная ошибка равна 0,67 (получено путем отношения средней абсолютной ошибки модели (15,5) к ошибке произвольного предположения (23)). Тот факт, что итоговый коэффициент значительно ниже единицы, подтверждает статистическое преимущество предложенного алгоритма над тривиальными методами экстраполяции [5].

На рисунке 1 представлена визуализация совмещенного графика фактических данных и расчетного прогноза до декабря 2027 года.



Рисунок 1 - Прогноз динамики пожаров в СКО на 2026-2027 гг.

Детальные прогнозные показатели в количественном выражении представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прогноз количества пожаров в СКО на 2026-2027 гг.

месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	итого
2026 г.	23	35	14	36	77	28	24	24	40	37	31	71	440
2027 г.	19	31	10	33	73	24	20	20	36	33	27	68	394

Интерпретация прогнозных значений, представленных в таблице 2, указывает на сохранение устойчивого циклического характера пожарной опасности в СКО [6, 7].

Выводы

- Проведенные исследования показали, что в весенне-летний период прогнозируется экстремальный пик активности в мае 2026 и 2027 годов (до 77 случаев). Это значение значительно превышает средние показатели за прошлые два года, что может быть связано с климатической аномалией, зафиксированной моделью.

- Зимний период: декабрь остается вторым критическим пиком (до 71 случая), что подтверждает влияние отопительного сезона на статистику ЧС.

- Минимумы: март (10-14 случаев) идентифицирован как период «оперативной передышки», оптимальный для профилактического планирования.

На основании полученного прогноза предлагаются следующие меры для профилактики:

Март – апрель: Использовать периоды минимальной оперативной нагрузки для проведения масштабных агитационных кампаний перед началом пожароопасного сезона.

Май – июнь: Перевод подразделений на усиленный вариант несения службы в соответствии с прогнозным пиком (77 случаев).

Декабрь – январь: Фокусировка профилактической работы на частном жилом секторе с печным отоплением.

Заключение:

В ходе проведенного исследования была разработана прогностическая модель динамики пожаров в СКО на период до 2027 года с использованием алгоритма экспоненциального сглаживания ETS (метод Хольта-Винтерса). Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Адекватность модели. Средняя абсолютная масштабированная ошибка равна 0,67 ($0,67 < 1$), это подтверждает высокую статистическую значимость и надежность прогноза. Модель успешно идентифицировала внутренние закономерности временного ряда, несмотря на высокую стохастичность процессов.

2. Прогнозные экстремумы. Выявлено, что наиболее напряженными периодами в долгосрочной перспективе станут – май (77 случаев в 2026 г.) и пик отопительного сезона (декабрь 2027 г. – 68 случаев). Установлено, что разрыв между максимальными и минимальными (март 2027 г. – 10 случаев) значениями составляет более 7 раз, что требует гибкого подхода к планированию дежурных смен.

3. Практическая значимость. Полученные результаты позволяют органам гражданской защиты СКО заблаговременно прогнозировать периоды повышенного риска. Снижение минимальных прогнозных значений к 2027 году свидетельствует о потенциальной эффективности превентивных мер, однако сохраняющиеся летние и зимние пики указывают на необходимость усиления профилактической работы в частном жилом секторе и лесостепных массивах.

Список литературы

1. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан [Электронный ресурс] // Официальный сайт [сайт]. Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=ru> (дата обращения 11.09.2025 г.).
2. Кусаинов А.Б., Раимбеков К.Ж., Ералина С.Е., Қайыргельді Н.Қ. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с помощью искусственных нейронных сетей // Наука и образование в гражданской защите. – 2025. – № 4 (60) – С. 37-44.
3. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
4. Моськин К.Д. Методические рекомендации по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2024. – 30 с.
5. Хайндман, Р.Дж., Атанасопулос Г. Прогнозирование: принципы и практика / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2019. – 384 с.
6. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 320 с.
7. Светлов И.П. Прогнозирование социально-экономических процессов. – М.: ИНФРА-М, 2022. – 250 с.

References

1. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan [Jelektronnyj resurs] // Oficial'nyj sajt [sajt]. Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=ru> (data obrashhenija 11.09.2025 g.).
2. Kusainov A.B., Raimbekov K.Zh., Eralina S.E., Қайыргел'ди Н.Қ. Prognozirovanie chrezvychajnyh situacij s pomoshh'ju iskusstvennyh nejronnyh setej // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoj zashhite. – 2025. – № 4 (60) – S. 37-44.
3. Lukashin Ju.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov. – M.: Finansy i statistika, 2003. – 416 s.
4. Moskin K.D. Metodicheskie rekomendacii po monitoringu i prognozirovaniju chrezvychajnyh situacij prirodno i tehnogenno haraktera. – M.: VNI IPO MChS Rossii, 2024. – 30 s.
5. Hajndman R. Dzh., Atanasopulos G. Prognozirovanie: principy i praktika. – Per. s angl. – M.: Vil'jams, 2019. – 384 s.
6. Afanas'ev V.N., Juzbashev M.M., Analiz vremennyh rjadov i prognozirovanie. – M.: Finansy i statistika, 2010. – 320 s.
7. Svetlov I.P. Prognozirovanie social'no-jekonomicheskikh processov. – M.: INFRA-M, 2022. – 250 s.

Н. Ж. Байжиенов, К. Ж. Раимбеков, Е. К. Саменов, А. Г. Мусайбеков

*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан*

ХОЛТ–ВИНТЕРСТІҢ ҮШТІК ЭКСПОНЕНЦИАЛДЫ ТЕГІСТЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ӨРТТЕРДІҢ ДИНАМИКАСЫН БОЛЖАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыста Солтүстік Қазақстан облысының аумағында өрттердің пайда болу динамикасына кешенді талдау ұсынылған. Солтүстік Қазақстан облысының Төтенше жағдайлар департаментінің 2020-2025 жылдардағы верификацияланған деректері негізінде авторлар үштік экспоненциалды тегістеу моделін енгізді. Зерттеу маусымдық ауытқуларды тексеруге және өрт қаупі бар кезеңдерде профилактикалық бақылау стратегиясын жетілдіру үшін болжамды базаны әзірлеуге бағытталған.

Түйінді сөздер: өрт қаупі, өрт динамикасы, Солтүстік Қазақстан облысы, уақыт қатарлары, маусымдық, болжау, экспоненциалды тегістеу, Холт–Винтерс моделі (ETS), тәуекелдерді бағалау.

N. J. Baizhienov, K. J. Raimbekov, E. K. Samenov, A. G. Musaibekov

*Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

FORECASTING THE DYNAMICS OF FIRES IN THE NORTH KAZAKHSTAN REGION USING THE HOLT-WINTERS TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the dynamics of fires in the North Kazakhstan region. The authors implemented a model of triple exponential smoothing, based on the verified data of the Emergency Situations of North Kazakhstan Region for 2020-2025. The research is aimed at verifying seasonal fluctuations and developing a predictive framework for improving preventive control strategies in fire-prone periods.

Keywords: fire danger, fire dynamics, North Kazakhstan region, time series, seasonality, forecasting, exponential smoothing, Holt-Winters model (ETS), risk assessment.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Байжиенов Нурлан Жанайдарович – профессор кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: bai23@bk.ru

Раимбеков Кендебай Жанабилович – кандидат физико-математических наук, асс. профессор (доцент), доцент кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Саменов Ерлан Каирбаевич – заместитель начальника кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: samenov.e@agz.emer.kz

Мусайбеков Асхат Гайнуллаулы – кандидат технических наук, начальник кафедры общетехнических дисциплин информационных систем и технологий Академии гражданской защиты им. М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: lettermus@mail.ru

Nurlan Zh. Baizhienov – professor of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: bai23@bk.ru

Kendebai Zh. Raimbekov – candidate of physico-mathematical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kendebai_63@mail.ru,

Yerlan K. Samenov – master's degree, deputy head of the department of general technical disciplines, information systems and technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: samenov.e@agz.emer.kz

Askhat G. Mussaibekov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of General Technical Disciplines of Information Systems and Technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: lettermus@mail.ru

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ
для публикации в научном журнале
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЕ»

Научный журнал «НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЕ» – периодическое издание, предназначенное для публикации актуальных проблемных вопросов, фундаментальных и прикладных исследований в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечению пожарной и промышленной безопасности.

Периодичность издания – 4 выпуска в год.

Статья должна содержать результаты оригинальных научных исследований, ранее не опубликованных и не предназначенных к публикации в других изданиях. В научной статье должны быть изложены собственные выводы и промежуточные или окончательные результаты научного исследования, экспериментальной или аналитической деятельности. Статья должна содержать авторские разработки, выводы, рекомендации, ранее не опубликованные и обладающие новизной; или посвящена рассмотрению ранее опубликованных научных статей, связанных общей темой (систематический обзор). В содержании статьи должны быть обзоры научных трудов зарубежных исследователей по аналогичной проблеме.

Редакция принимает к рассмотрению статьи на казахском, русском и английском языках объемом до 10 страниц, включая библиографию, минимальный объем статьи - 5 страниц. Шрифт — Times New Roman, размер 13 pt, межстрочный интервал – одинарный, (Word-формат), отступ в начале абзаца – 1,25 см. Все поля – 2 см. В тексте статьи не должна использоваться автоматическая нумерация.

Материал статьи оформляется в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов».

Структура статьи включает следующие разделы:

- **Заголовок:** отдельной строкой слева индекс УДК(универсальный десятичный классификатор), МРНТИ (Межгосударственный рубрикатор научно-технической информации) (grnti.ru). Инициалы и фамилия автора(ов) (не более 3-х авторов, более 3-х по согласованию с главным редактором). Название (заголовок) статьи (прописными буквами, полужирным шрифтом).

- **Аннотация** (*Aңдатпа, Abstract*): оформляется по ГОСТ 7.9-95 «Реферат и аннотация. Общие требования». Обязательные составляющие аннотации: информативность (объем аннотации – 150-200 слов); оригинальность (новизна статьи); содержательность (основное содержание статьи и результаты исследования); структурированность; выводы. В аннотации не используются аббревиатуры и сокращения. Аннотация приводится на английском, казахском и русском языках.

- **Ключевые слова** (*Түйінді сөздер, Keywords*): не менее 8 основных терминов или кратких словосочетаний, которые использованы в статье. Ключевые слова приводятся на английском, казахском и русском языках. Аннотация и ключевые слова на языке статьи предваряют основной текст статьи, аннотации и ключевые слова на других языках размещают после пристатейного библиографического списка.

- **Введение:** обоснование актуальности, степени разработанности темы (возможен краткий обзор научной литературы по теме исследования); формулировка проблемы исследования; описание объекта и предмета исследования, цели и задач статьи; краткая характеристика ее структуры.

- **Методы и материалы:** описание использованных в исследовании методов и материалов, в том числе методов сбора, обработки и анализа данных; характеристика выборки (в случае использования выборочного исследования);

- **Результаты и их обсуждение:** описание и интерпретация полученных результатов с цифрами, таблицами, графиками, рисунками.

- Заключение: формулировка выводов на основе полученных результатов; сопоставление полученных результатов с уже имеющимися результатами по данной теме; оценка научной новизны и практической ценности полученных результатов.

- при наличии источника финансирования исследования (гранты, госбюджетные программы) указывается информация о нем;

- Список литературы (*References*): приставный библиографический список оформляется дважды:

- «Список литературы» – на оригинальном языке источников (казахском, русском и английском языках) оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылки на источники на языке, использующем кириллический алфавит, необходимо транслитерировать латинскими буквами.

Транслитерация приводится с использованием онлайн переводчика по ссылке <http://translit.net> Данный онлайн переводчик не проводит транслитерацию специфических букв казахского алфавита. Здесь авторы после транслитерации казахского текста должны провести корректировку, руководствуясь следующими правилами:

Ә	Ғ	Ң	Ө	Ү	Ұ	Қ	І
a	g	n	o	y	u	k	i

- Ссылки в тексте на соответствующий источник из списка литературы оформляются в квадратных скобках, например, [1]. В основе списка должно быть наличие свежих и актуальных литературных источников (желательно, не позднее 20 лет с даты издания). Не допускаются ссылки на непубликуемые документы. В ссылках на патенты и авторские свидетельства обязательно указывать дату опубликования и номер бюллетеня. В ссылке на адрес сайта сети Интернет должно присутствовать: автор(ы) статьи, название статьи, дата публикации, название и адрес сайта. Самоцитирование автора допускается не более 20 % от количества источников в списке литературы. В «Списке литературы» научной статьи должно быть указано 5-15 и более литературных источников, обзорной статьи до 10.

- Сведения об авторах (на языке статьи и на английском языке): включают следующие элементы: имя, отчество и фамилия; ученое звание, ученую степень; должность или профессию; место работы (наименование учреждения или организации, населенного пункта); наименование страны; служебные адреса всех авторов публикаций; электронный адрес (e-mail).

Все аббревиатуры и сокращения, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

В статье нумеруются лишь те формулы, на которые по тексту есть ссылки.

В таблицах, рисунках, формулах не должно быть разночтений в обозначении символов, знаков. Рисунки должны быть четкими, чистыми, несканированными. На рисунки и таблицы в тексте должны быть ссылки.

Перед отправкой статьи в журнал необходимо тщательно проверять общую орфографию материалов, правильность написания соответствующих терминов и оформления текста работы и ссылок.

На свое усмотрение редколлегия может предложить авторам перевести статью на английский язык, о чем авторы получают своевременное уведомление, а затем присылают в редакцию профессионально переведенные на английский язык статьи.

К статье прилагаются ДОКУМЕНТЫ:

экспертное заключение учреждения о возможности публикации статьи в открытой печати;

рецензия ведущего специалиста в отрасли, по которой представлена статья.

Журнал является рецензируемым. Все научные статьи подлежат экспертной оценке и направляются на рецензирование членам редакционного совета или внешним экспертам –

специалистам в соответствующей области знания. После рекомендации экспертов статья публикуется в порядке очередности.

Издатель не берет на себя обязательства по срокам публикации. Если по заключению рецензента статья возвращается автору на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее окончательного варианта. В случае отклонения статьи материалы не возвращаются, редакция оставляет за собой право не вести дискуссию по мотивам отклонения.

Редакция оставляет за собой право, в необходимых случаях, проводить сокращения и редакторскую правку статей.

Каждый автор (авторы) может публиковать в одном выпуске не более двух материалов.

Редакция соблюдает редакционную этику и не раскрывает без согласия автора процесс работы над статьей в издательстве (не обсуждает с кем-либо достоинства или недостатки работы, замечания и исправления в них, не знакомит с внутренними рецензиями).

Статьи должны подаваться с учетом того, что они нигде не издавались, как и не должны находиться на рассмотрении в редакции другого журнала.

Перед отправлением текста статьи в издательство автор принимает на себя обязательства в том, что текст статьи является окончательным вариантом, содержит достоверные сведения, касающиеся результатов исследования, и не требует доработок.

Вся ответственность за подбор приведенных данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов.

Полное или частичное воспроизведение, или распространение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения редакции.

Электронный архив Журнала выкладывается в открытом доступе на официальном сайте: <http://agz.edu.kz>

Наш адрес: Республика Казахстан. Акмолинская область. 020000, г. Кокшетау, ул. Акана Серэ, 136. Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан.

Контакты: Научно-исследовательский центр. Тел. (8 7162)25-58-95.

Материалы направляются на e-mail: nits.agz@mail.ru, academy@emer.kz

Научный журнал
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЕ»
№ 1 (61), 2026 г.

Редакция журнала:
Захаров И.А., Садвакасова С.К.

Адрес редакции:
Научно-исследовательский центр Академии гражданской защиты
имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан
Акмолинская область. 020000, Кокшетау, ул. Акан Серэ, 136.
Тел. 8(7162)25-58-95
вебсайт: http://agz.edu.kz/arxiv_nomerov.html
e-mail: nits.agz@mail.ru, academy@emer.kz

Подписано в печать 20.03.2026 г.
Формат 60х84/8 Объем 11,6 п.л.
Тираж 250 экз. Заказ № 1

Отпечатано в типографии
ИП Мелешина В.Ю.
Акмолинская область, г. Кокшетау,
мкр. Боровской, 61, офис 54
тел.: 87051472593
e-mail: 33-87-02@mail.ru