

XIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
TECHNICS. TECHNOLOGIES.
EDUCATION. SAFETY

01 - 04 SEPTEMBER 2025, VARNA, BULGARIA



ISSN 2535-0315 (Print)

ISSN 2535-0323 (Online)

ORGANIZERS
SCIENTIFIC -TECHNICAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING
“VASIL LEVSKI” NATIONAL MILITARY UNIVERSITY

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

**TECHNICS. TECHNOLOGIES.
EDUCATION. SAFETY. 2025**

PROCEEDINGS

YEAR IX,
ISSN 2535-0315(Print),
ISSN 2535-0323 (Online)
ISSUE 1 (18),
VARNA, BULGARIA 2025

SUBJECTS:
TECHNICS. TECHNOLOGIES.
INFORMATION TECHNOLOGIES, NATURAL AND MATHEMATICAL SCIENCES.
EDUCATION. PUBLIC SCIENCES.
SECURITY. MILITARY SCIENCES.

01-04.09.2025
VARNA, BULGARIA
www.techtos.net

All articles are published after peer review by two independent reviewers.

Publisher: Scientific technical union of mechanical engineering
“Industry - 4.0”

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

CHAIRMAN:

Colonel Prof. Dr. Eng. Iliyan Lilov

Vasil Levski National Military University

MEMBERS:

Major Dr Eng. Dimitar Dimitrov

Vasil Levski National Military University

Leutenant Dr. Eng. Svilen Spiridonov

Vasil Levski National Military University

Major Dr. Eng. Ivan Georgiev

Vasil Levski National Military University

Dr. Vladimir Ivanov

Institute for Information and Communication Technologies - BAS

Dr. Mihael Dimitrov

New Bulgarian University

Assoc. Prof. Dr. Adelina Tumbarska

Institute of Metal Science - BAS

CONTENTS

TECHNICS. TECHNOLOGIES.

Modelling of Spacecraft Operating Conditions During Off-Nominal Situations in Orbit and Analysis of Acoustic Emission Monitoring Parameters for Their Optimisation Leonid Vinogradov, Pencho Sirakov, Guntis Strautmanis, Juris Gutans, Viktor Prokopenko	7
Practical use of solar energy in technological processes for obtaining energyrich solid biofuels from waste biomass Hristofor Skandaliev, Neli Siveva, Vesislava Toteva	11
A variant of modified algorithm for processing a packet of reflected ultrawideband pulses Sofia Uzunova	14
Performance study of an algorithm for processing a packet of reflected ultrashort pulses under a priori unknown waveform and gaussian noise conditions Sofia Uzunova	17
Features of connecting a fuel cell stack to the three-phase load Ivan Karabadzhak	19
An unmanned aerial vehicle with an extended flight time Kim K., Koroleva E., Mikhailov M.	22
Development of the Republican Road Network of Bulgaria in the Conditions of Membership in the European Union Georgi Dimitrov	25
Peculiarities in conducting statistical analysis of thick-walled tubular cantilevers of different lengths Д-р Инж. Минев С. М.	28
Laser-induced plasma (lip) based on high-resolution spectroscopic analysis Nugzar Gomidze, David Jakobia, Jaba Shainidze, Miranda Khajishvili	32
Using an integrated approach to transport project management Eng. Petrova I., PhD; Eng. Trifonov K., PhD	36
Technologies in the management cycle – modern and traditional method Д-р Личева, Т.	41
Irrigation regime and its impact on the yield of greenhouse tomatoes using an ecological and water-saving irrigation technique, for the Plovdiv region Rumyana Kireva, Miho Mihov, Ivan Morteve, Viktoriya Kancheva, Daniela Ganeva, Ivanka Tringovska-Mendeva, Stanislava Grozeva-Tileva	44

INFORMATION TECHNOLOGIES, NATURAL AND MATHEMATICAL SCIENCES.

Analysis of graphic and UX design for Bulgarian tourist applications Veselka Stoyanova, Ilian Lilov	47
The poles of the quadrangle – natable points in it Stanislav Stefanov	50
Brocard points in a quadrangle Stanislav Stefanov	58

EDUCATION. PUBLIC SCIENCES.

New horizons: ai and cultural heritage Atanassova Dessislava	64
Ecological sustainability in written heritage preservation practices: contemporary approaches and challenges Iskra Tsvetanska, Ivanka Yankova	67
The importance of the economic and social dimension of the public sector in the Republic of N. Macedonia for employee motivation and job satisfaction Maja Georgioska, Dragan Gruevski	70

Interpreting conducting in terms of suggestive uses of conducting technique Христо А. Атанасов	73
Self-assessment of personality traits of trainee music teachers д-р Панчева-Георгиева А. Н.	76
A Data-Driven Perspective on Demographic Changes in Veliko Tarnovo (1878–2024) Using Power BI Daniela Pencheva	79
Modern educational and professional-application methods in training students in choral singing and conducting Hristo A. Atanasov	83

SECURITY. MILITARY SCIENCES.

Content Analysis Of Research In The Field Of Emotional Intelligence In Military Leadership Eva Kozáková, Miroslav Polach	86
Application of a Cyber Training Ground as a Solution for Training Cybersecurity Specialists to Ensure the Functionality of the National Situation Center and Crisis Management Center Veselina Gagamova, Elitsa Pavlova, Violeta Vasileva	90
Electromagnetic support using software-defined radio Ivan Ivanov , Sevdalin Spasov	93
A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of the indicator "physiological properties " Nikolova Valentina, Yaneva Svetlana	99
A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of the indicators - camouflage, physicommechanical and chemical properties Nikolova Valentina, Yaneva Svetlana	105
Interaction of Blockchain with Advanced Technologies in the Security 5.0 Ecosystem Nikolay Radulov, Teodora Licheva	111
Synergy of high technologies in the Security 5.0 ecosystem Prof. Nikolay Radulov, D.Sc, New Bulgarian University	114
Smart contract in security Nikolay Radulov, Teodora Lichev	117
Environmental issues caused by industrial accidents – a threat to security and sustainable development in bulgaria and beyond Assoc. Prof. Simeonova A., PhD, Assoc. Prof. Krumov A., PhD	121
Minimizing risks and reducing impacts from natural disasters and major industrial accidents Assoc. Prof. Simeonova A., PhD 1, Assoc. Prof. Krumov A., PhD	124
Specific requirements for doors with fire characteristics in tunnels инж. Димитров В.	127
Typical mental states of prisoners Assoc.Prof. Emil Madzharov. , PhD	131
International human rights standards in the context of the use of force in law enforcement Tumbarska, A.	135
Sources of underwater ship noise Бистра Ненова	139
Research into the capabilities of a multi-channel radio frequency spectrum jammer used by UAVs Nesterov K.N. PhD, Pehlivanski V.I. PhD, Lyaskov N.G., Penev N.P.	142
A systematic approach to training aimed to improve the efficiency of npp personnel training D. Dimitrov, N. Ranelova	145
Visualization of underwater acoustic information received from a multibeam sector sonar Ivanov I., Kolev St., Lolov M., Kosev V.	147
Comparative analysis of acoustic and seismic wave signatures when firing a d-20 cannon and a 2s1 "gvozdika" self-propelled system Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS	152

Eight-channel field test stand for synchronous recording of acoustic and seismic signatures from artillery and small arms systems	
Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS	155
Classification of anthropogenic sources of acoustic and seismic waves on the battlefield	
Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS	157
An approach to monitoring, classifying and jamming underwater sound communications	
AleksandarKolarov, RadostinNajdenov	160
State of technical inspections implementation on the example of residential buldings destroyed as a result of fire	
Śławomir Bałuszyński	164
Soft robots in security	
Prof. Nikolay Radulov	167
Synthesized analysis of electric vehicles and cybersecurity: safeguarding connected mobility in Europe and beyond	
Ivan Iliev	172

Modelling of Spacecraft Operating Conditions During Off-Nominal Situations in Orbit and Analysis of Acoustic Emission Monitoring Parameters for Their Optimisation

¹Leonid Vinogradov, ²Pencho Sirakov, ³Guntis Strautmanis, ⁴Juris Gutans, ⁵Viktor Prokopenko

¹ Head of the non-destructive testing laboratory, Leading Researcher: Institute of Aeronautics, Space Engineering and Transport of Riga Technical University, Riga, Latvia.

²Vice President Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "INDUSTRY – 4.0" 108, Rakovski Str., Sofia, Bulgaria.

³Leading Researcher at the Laboratory of Non-Destructive Testing, Institute of Aeronautics, Space Engineering and Transport of Riga Technical University, Riga, Latvia. Riga, Latvia.

⁴Scientific Researcher of the laboratory of non-destructive testing: Institute of Aeronautics, Space Engineering and Transport of Riga Technical University., Riga, Latvia.

⁵Scientific assistant: Institute of Aeronautics, Space Engineering and Transport of Riga Technical University, Riga, Latvia.

e- E-mail: leonids.vinogradovs@rtu.lv; pen_sirakov@abv.bg; Guntis.Strautmanis@rtu.lv; Juris.Gutans@rtu.lv; prokopenko@rtu.lv

Abstract: The subject of the article is the planning and comprehensive preparation of an experiment for monitoring the condition of a satellite's structure under vacuum conditions modelled using a space environment simulator. Simulating the space environment is essential for verifying the performance of materials, structural components and equipment prior to their actual launch. Such testing makes it possible to confirm the correctness of material selection, the accuracy of engineering calculations and the validity of technical decisions made during the design phase. The behaviour of materials under vacuum, extreme temperatures, sharp thermal fluctuations, and exposure to cosmic radiation may differ significantly from their performance under standard operating conditions on Earth.

KEYWORDS: ACOUSTIC EMISSION, AE SYSTEMS, ARTIFICIAL SATELLITES, SPACE ENVIRONMENT SIMULATOR, VACUUM CONDITIONS, STRUCTURAL COMPONENTS, DURALUMIN, COMPOSITE.

Introduction

Acoustic emission (hereinafter AE) is one of the promising methods of non-destructive testing, particularly relevant for assessing the strength and reliability of structures under space conditions. In the context of spacecraft, such as artificial satellites, the application of AE enables the detection of hidden damage and defects that occur under the influence of extreme factors of the space environment [1,2].

The aim of the study is to plan and comprehensively prepare an experiment for monitoring the condition of a satellite's structure under vacuum conditions simulated using a space environment simulator. Particular emphasis is placed on the development of a methodology for modelling the operating conditions of spacecraft during off-nominal situations and the analysis of AE monitoring parameters, including sensor type, frequency range and equipment placement schemes for their subsequent optimisation.

Simulating the space environment is essential for verifying the performance of materials, structural components, and equipment prior to their actual launch. Such verification makes it possible to confirm the correctness of material selection, the accuracy of engineering calculations, and the validity of the technical decisions made during the design phase.

The behaviour of materials under vacuum conditions, extreme temperatures, sharp thermal fluctuations, and exposure to cosmic radiation may differ significantly from their performance under standard operating conditions on Earth. Conducting tests that simulate these factors makes it possible to identify potential weak points, verify airtightness, resistance to deformation and degradation and assess the reliability of defect detection systems. This approach enables the evaluation of the structural material's behaviour under various types of loading and lays the groundwork for identifying potentially hazardous areas susceptible to structural degradation [3,4,5].

The results obtained may be used to enhance the reliability of spacecraft and reduce the risks associated with off-nominal situations in orbit. Furthermore, they will demonstrate the applicability of the acoustic emission method for monitoring under space conditions and may potentially pave the way for further research and innovation in this field.

Space environment simulator

The simulation of the space environment on Earth is carried out using specialised equipment, i.e. thermal vacuum chambers, which enable the reproduction of key parameters characteristic of orbital

conditions: high vacuum, extreme temperature fluctuations, and intense radiation. These chambers are used for testing materials, electronic components, and entire structures to assess their performance and functionality under conditions closely resembling those in space. This makes it possible to identify potential weak points and improve equipment reliability at the ground testing stage. For the present study, a space environment simulator developed at a research laboratory was used (see Fig.1).

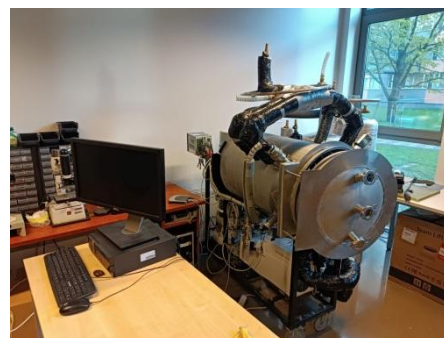


Fig.1. Space environment simulator

The unit is capable of creating a vacuum chamber pressure of up to $3 \cdot 10^{-3}$ mBar using a fore-vacuum pump during the initial evacuation phase, and down to $3 \cdot 10^{-6}$ mBar when a turbomolecular pump is integrated into the system. The chamber is also equipped with a specialised and unique cryo-shield, which enables the simulation of temperature conditions close to those in space. When liquid nitrogen is circulated through the cryo-shield system, the temperature in the chamber drops to -196°C . Conversely, an internal xenon lamp increases the temperature through infrared radiation. This configuration makes it possible to achieve thermal fluctuations comparable to those encountered in space - where one part of the test specimen is heated by sunlight (in this case, by the lamp), while another is maintained at a significantly lower temperature, resembling that of the cosmic vacuum.

Test specimens

An essential stage in the preparation for acoustic emission testing under vacuum conditions is the selection and preparation of test specimens. The specimens represent simplified or fragmentary structural elements made from the same or similar materials as the satellite body and are subjected to simulated loads that replicate space environment conditions [6].

The objective of the testing was to assess the behaviour of the material under the following conditions:

- exposure to vacuum;
- thermal gradients and potential mechanical stresses;
- evaluation of the AE system's functionality in a non-standard environment (in this case, limited to testing AE performance under vacuum conditions).

In addition, such tests make it possible to determine the optimal parameters for the placement and configuration of AE equipment, as well as to verify the reliability of connections under low-pressure conditions.

For the experiment, two test specimens were selected: a segment of duralumin plate of grade D16, shown in Fig. 2, and a composite plate made of carbon fibre, shown in Fig. 3. The composite plate is square-shaped, measuring 15.24×15.24 mm (6×6 inches), with a thickness of 3 mm, and consists of six layers of carbon fibre arranged in a 0°/90° weave. Each layer is rotated by 45° relative to the previous one. The plate was manufactured by DragonPlate.



Fig.2. Duralumin plate

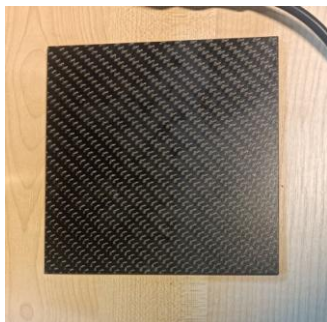


Fig. 3. Composite plate

Applied AE equipment

Two AE monitoring systems were used in the study. The stationary AE system Vallen AMSY-6 (see Fig. 4) is a fully digital, multi-channel acoustic emission measurement system. It consists of eight parallel measurement channels and system interface software that operates on an external personal computer

. Portable System Pocket AE-2 (Fig. 5). The Pocket AE-2 is a high-performance, computerised, two-channel acoustic emission system housed in a robust, portable handheld unit. The main differences between the two systems lie in the number of available channels and, in the case of Pocket AE-2, a more limited functionality. Accordingly, for the purposes of this study, two channels were used on both systems, and sensors with identical specifications were employed.



Fig. 4. Vallen System AMSY-6



Fig. 5. Pocket AE-2

Experiment procedure

During the experiment, the sensors of both AE systems were positioned on the test specimens, taking into account the material properties and geometry. The sensors of the two AE systems were installed at a distance of 430 mm from each other during testing of the duralumin plate, and 170 mm during testing of the carbon fibre plate.

The difference in sensor spacing on metal and carbon fibre is due to the significantly higher wave propagation speed and lower attenuation in metals, whereas composites exhibit much higher attenuation levels. Reducing the distance between sensors on the composite specimen improved detection sensitivity and helped prevent loss of information.

Both sensors were mounted using a silicone coupling agent and secured in place with clamps to ensure stable contact and eliminate the possibility of displacement during the experiment. The test specimens themselves were placed on a silicone pad to minimise the influence of parasitic signals, such as external vibrations and mechanical interference, on the experiment. This setup ensured the reproducibility of results and the reliability of subsequent data analysis. The test specimens inside the space environment simulator are shown in Fig. 6.



Fig.6. Test specimens (duralumin - left, composite - right) with mounted sensors inside the space environment simulator

A frequency filter provides frequency selectivity and improves the signal-to-noise ratio. Its primary function is to suppress unwanted frequency components typical of background noise, equipment vibrations or electromagnetic interference that may hinder the accurate detection of AE signals. The passband of the filter is selected according to the characteristics of the object under inspection and the sensors used - typically within the range of 30 kHz to 1 MHz, although it may be adjusted depending on the material of the structure and the experimental conditions.

In addition, filtering aligns the measurement chain with the specific application requirements, ensuring optimal sensitivity and reliability of the results. In this case, when using the Vallen System AMSY-6 equipment, the filter automatically adapts to the test environment and suppresses irrelevant signals.

Pocket AE-2, in turn, does not feature automatic adjustment and requires manual configuration. After the sensors are connected and mounted on the test specimen, signal recording is initiated. Real-time data are displayed on the screen (see Figs. 7-10), where each tick represents a registered event. Since the test specimen is not subjected to any load, all detected events can be considered noise and subsequently filtered out based on signal amplitude. During filter setup, a threshold was selected such that all signals below 45 dB were excluded.

Figures 7-10 show the signal measurement results obtained from the specimens.

Results of AE signal measurements on the duralumin plate using AE systems

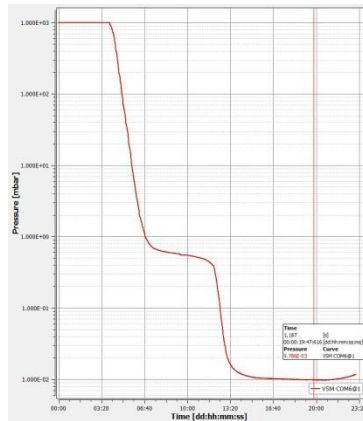


Fig.7. Pressure-time graph in the vacuum chamber during pump-down for the duralumin plate experiment and AE equipment verification using the Vallen System AMSY-6

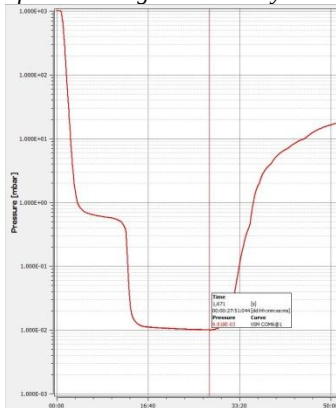


Fig.8. Pressure-time graph in the vacuum chamber during pump-down for the duralumin plate experiment and AE system verification using the Pocket AE-2

Research results

During the experiment, the feasibility of applying the acoustic emission (AE) method for non-destructive testing using different AE systems under space-like conditions was examined, confirming the relevance and significance of the study. The experiment also explored the specific features and limitations of the AE method, particularly its sensitivity to noise contamination, allowing for the development of approaches to minimise interference and improve the reliability of monitoring results.

A work plan and procedural algorithm were developed for conducting the experiment to verify the feasibility of detecting AE signals in a vacuum environment. The procedure primarily involves calibrating the system prior to the experiment to ensure correct operation of the equipment and transmitting test pulses that simulate acoustic emission signals through one of the sensors. One sensor in the system functions as the signal source, while the other acts as the receiver. Signal verification was carried out under both atmospheric conditions and vacuum conditions. All experiments were conducted

in the space environment simulator. The verification of acoustic signal transmission under vacuum conditions was carried out on two specimens simulating the materials of a potential spacecraft. The first material selected was duralumin of grade D16, and the second - a carbon fibre-based composite. Contact between the sensor and the material was established using a silicone-based coupling agent and secured with clamps. After calibration and verification of sensor functionality, simulated signal generation was performed under both atmospheric and vacuum conditions. In both cases, the vacuum level was approximately the same. The collected data show the presence of detectable signals in both environments on the test specimens when using two different AE systems, confirming the applicability of the acoustic emission monitoring method under vacuum conditions and, potentially, in space environments.

Furthermore, analysis of the experimental results revealed differences in the characteristics of the transmitted signals, highlighting both the possibility and the necessity for further investigation and experimentation in this area.

Results of AE signal measurements on the composite plate using AE systems

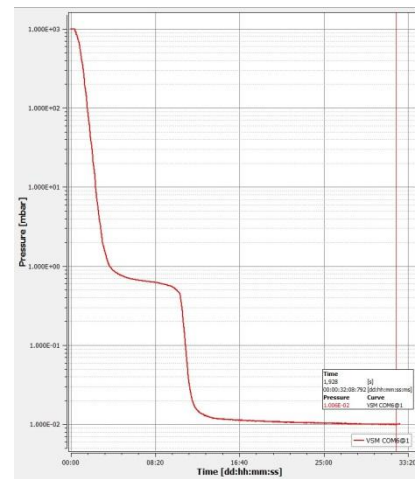


Fig.9. Pressure-time graph in the vacuum chamber during pump-down for the composite plate experiment and AE equipment verification using the Vallen System AMSY-6

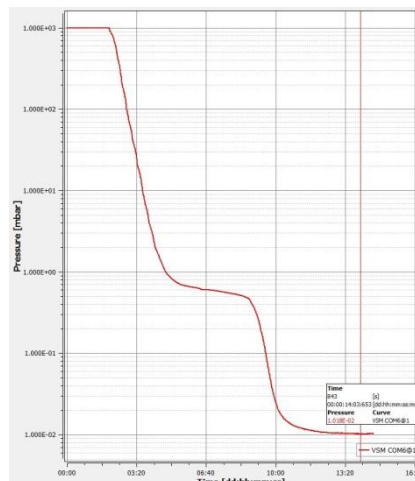


Fig.10. Pressure-time graph in the vacuum chamber during pump-down for the composite plate experiment and AE system verification using the Pocket AE-2

CONCLUSIONS

While reviewing theoretical sources, it was observed that, throughout the existence of acoustic emission as a non-destructive testing method, there remains a relatively limited amount of information available in various fields. Research on this topic is rather scarce and does not provide sufficient data to draw definitive conclusions regarding the application of the method for studying or synthesising specific materials. Furthermore, only a small number of studies and publications were found concerning the use of the AE method in space-related applications. All identified studies were conducted either under terrestrial conditions or within artificially simulated Earth atmospheres. In most cases, AE signal interpretation must effectively be developed from the ground up. The impact of the space environment on AE signal detection remains an open topic and will be explored further through dedicated research.

A methodology was developed for conducting an experiment to verify the detection of AE signals under vacuum conditions. Two AE systems were used in the experiment: Vallen System AMSY-6 and Pocket AE-2. The first system is stationary and offers greater functionality and capabilities compared to the second, which is portable. However, the sensors used in both systems were identical, and the comparison of results showed a high degree of consistency in the data obtained. The experiment was carried out in a space environment simulator, which generated the required vacuum in the chamber, comparable to the pressure at an altitude of 80 km above sea level. The experiment was conducted on two specimens made of different materials - duralumin and a carbon fibre-based composite. The selection of these materials was based on their similarity to those used in the structure of spacecraft. The experiment did not include irradiation of the specimens or simulation of the temperature fluctuations typical for spacecraft operating in open space. These factors will be addressed in future studies on this topic.

The results obtained confirmed the feasibility of detecting AE signals under vacuum conditions.

Acknowledgements

The study has been carried out within the framework of the Research and Development Grant Project No. RTU-PA-2024/1-0031 "Development of a methodology for monitoring marine diesel engines in real time with the aim of increasing energy and environmental efficiency using non-destructive testing methods",

European Union Recovery and Resilience Mechanism-funded project No. 5.2.1.1.i.0/2/24/1/CFLA/003 "Implementation of consolidation and management changes at Riga Technical University, Liepāja University, Rēzekne Academy of Technologies and Latvian Maritime Academy and Liepāja Maritime College towards excellence in higher education, science and innovation".

References

1. M.Banov, D.Troyenkin, A.Urbahs, S.Minatsevlch, *Aeroengine gas turbine blades' condition monitoring by acoustic emission method, Defectoscopy, 1986, № 9, p. 58-63*
2. А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, С.И. Кабанов, А.Е. Кареев, Е.Ю. Лебедев, В.Л. Кожемякин, И.С. Рамазанов и др.; под ред. Л.Н. Степановой, А.Н. Серьезнова. *Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций /– М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2008. – 440 с.*
3. A.Shanyavsky, M.Banov, T.Zakharova. *Principles of physical mezomechanics at nanostructural level of fatigue in metals. Part 1. Fatigue cracks' origin model in titanium alloy VT3-1 under surface. / Physical mezomechanics, 2010 vol. 13 - №1. -p. 61-72*
4. Vinogradov, L., Kuļšovs, N., Dolgov, N., Smirnov, I., Šestakovs, V. *Experimental and Statistical Study of In-Plane Tensile and Adhesion Strength of Plasma-Sprayed Coatings. Applied Mechanics and Materials, 2020, Vol. 897, 61.-67.lpp. ISSN 1662-7482.*
5. Vinogradov L., Strautmanis G., Gutans J., Soldatova Y., Prokopenko V., *Development of an acoustic emission signal recording system. Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering the XXXIII International Scientific Conference „trans&MOTAUTO'25” 23– 26.06.2025 Varna, Bulgaria*
6. BS EN 13554:2011 *Non-destructive testing. Acoustic emission testing. General principles (British Standard)*

ПРАКТИЧЕСКО ИЗПОЛЗВАНЕ НА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ В ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЕНЕРГОНАСИТЕНИ ТВЪРДИ БИОГОРИВА ОТ ОТПАДЪЧНА БИОМАСА

PRACTICAL USE OF SOLAR ENERGY IN TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR OBTAINING ENERGY-RICH SOLID BIOFUELS FROM WASTE BIOMASS

Hristofor Skandaliev¹, Neli Siveva¹, Vesislava Toteva¹
University of Chemical Technology and Metallurgy ¹, Sofia

E-mail: fori2ivanov@yahoo.com, nelisiveva@gmail.com, vesislava@uctm.edu

Резюме: Настоящото изследване разглежда иновативни технологични решения за производство на енергонаситени, нетоксични твърди биогорива от плодова биомаса чрез използване само на концентрирана слънчева енергия. Разработената технологична схема използва местни суровини – плодови отпадъци от ябълки, сливи, череши и грозде, с високо захарно съдържание за получаване на екологични твърди високоенергетични състави (ЕТВС). Те имат потенциално приложение за нискобюджетни и технологично опростени изделия в ракетната техника, гражданската и военната пиротехника. Показани са технически подходи за употреба на различни конфигурации на слънчеви концентратори като устойчив източник на възобновяема енергия.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ЕНЕРГОНАСИТЕНИ ТВЪРДИ БИОГОРИВА, ОТПАДЪЧНА БИОМАСА, СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ

Въведение:

В съвременния свят наблюдаваме изостряне на глобалната конкуренция между големите сили (САЩ, Китай, Русия, ЕС) и стремеж на по-малки или развиващи се държави към технологична самостоятелност, особено в стратегически сектори като отбрана, космос, енергетика. Това включва ограничения в износа на чувствителни технологии и зависимости от глобални вериги на доставки, особено при кризи (войни, пандемии, санкции). В този контекст, нуждата от местно производство на енергонаситени твърди горивни състави става приоритет поради следните причини:

- Суверенитет на отбраната и космическите програми — да не се разчита на геополитически нестабилни доставчици.
- Ниски разходи и бърз достъп — ключово за развиващи се държави, които не могат да си позволят бързо внедряване на сложни индустриални технологии.
- Гъвкавост в реакцията — способността да се реагира на кризи чрез локално произведени твърди горива и двигатели за ракети, дроне, сателити и пиротехнически изделия за всякакви други цели.

Предвид глобалното внимание към опазването на околната среда и устойчивото развитие, разработването на екологични твърди високоенергетични състави (ЕТВС) става все по-значима. Този процес е от ключово значение за съвременните отбранителни технологии, космически програми и различни промишлени технологии. Осигуряването в максимална степен на суровинна, енергийна и технологична

независимост при разработването на ЕТВС е възможно чрез употреба на локално достъпни и евтини суровини (най-вече отпадна биомаса), експлоатация на източници на възобновяема енергия и включване на адаптивни технологични процеси.

Целта на това научно изследване е подбор на подходяща суровинна база и проучване на възможните инженерни и технологични енергийни решения за добиване и обработка на компоненти, необходими за получаване на иновативни енергонаситени твърди горивни състави. Икономически оправдано е те да бъдат от така наречения „карамелен тип“ [1] с възможно приложение в бита и за изделия с отбранителни цели.

Избор на суровини за получаване на енергонаситени твърди биогорива от карамелен тип, от отпадна биомаса:

Основните компоненти на енергетичните „карамелни“ състави са две - горивен компонент от захари (напр. захароза, глюкоза, фруктоза, сорбитол, изомалт и т.н.), комбиниран с подходящи окислителни като калиев нитрат (KNO_3) или натриев нитрат (NaNO_3). Процесът включва внимателно нагряване на захарта до карамелизиране, след което се смесва с окислителя и се оформя в желаната форма. Полученият материал е композит, който при изгаряне освобождава значителни количества топлина и газове, генерирайки тяга и полезна енергия [1,3,4].

В Таблица 1 са обобщени някои основни характеристики на „карамелните“ горива, които са сравнени с широко разпространените в практиката перхлоратни твърди горива.

Таблица 1. Състав и принцип на работа на карамелните горива:

Характеристика	Карамелни горива	Перхлоратни горива
Основен горивен компонент	Захари (захароза, глюкоза, декстроза, сорбитол, изомалт)	Алуминиев прах, полимери
Окислител	Калиев нитрат (KNO_3)	Амониев перхлорат ($\text{AP} - \text{NH}_4 \text{ClO}_4$)
Свързващ агент	Карамелизирана захароза (органичен матрикс)	Свързващи полимери (НТРВ и др.)
Процес на производство	Загряване и смесване до карамелизация	Смесване, формоване, полимеризация

Още данни, сравняващи енергийната плътност, температурата и други параметри на двете разновидности твърди горива са посочени в Табл. 2 [1,3,4].

Таблица 2. Енергийна плътност и горене:

Показател	Карамелни горива	Перхлоратни горива
Енергийна плътност (MJ/kg)	12 – 15	18 – 25
Температура на горене (°C)	1800 – 2200	2500 – 3200
Скорост на горене (mm/s)	5 – 10	15 – 30
Обем на газове (L/mol)	Среден	Висок

По-високата енергийна плътност и температура на горене при перхлоратните горива ги прави по-подходящи за по-

мощни двигатели с високи изисквания за масово съвършенство (отношение на масата на горивото към масата на целия

двигател) на изделията. Карамелните горива имат по-ниска скорост на горене [1], което улеснява контрола и намалява стреса върху двигателя. Освен това, те са икономически по-изгодни, по-безопасни за производство и експлоатация, което определя тяхната важна роля за масова употреба в продукти от гражданската и отбранителната сфери.

В карамелните енергонаситени състави захарозата изпълнява двойна роля:

- Горивен компонент, който встъпва в реакция на високотемпературно окисление с окислителя, и осигурява необходимата енергетика.

- Дисперсна среда, в която при разтапяне се разпределя дисперсната фаза от прахообразен окислител и добавки, а при изстиване приема зададената форма на монолитен горивен блок.

Различните видове захари и захарни алкохоли имат различно по количество енергийно съдържание и специфични физико-механични и химични свойства. Общото при тях е, че те представляват рафинирани продукти, преминали през поредица от енергоемки технологични процеси и етапи до получаване на крайния продукт. В периоди на кризи наличностите от тези захари може да бъдат ограничени и недостатъчни, поради ред технически и икономически фактори. По тази причина е целесъобразно изследването на възможностите за използване на нерафинирани захари, извлечени директно от местни земеделски продукти с ниско качество и отпадъчна биомаса от локално базирани преработвателни предприятия. Отпадъчната плодова маса включва некачествени плодове, къспе от изцеждане на сокове, обелки и костилки, люспи и семки (напр. от винопроизводство) и др. След дехидратация до остатъчна влага под 5 - 10 %, тази маса може да се използва за горивни цели.

Подборът на подходящи за целите на изследването суровини е свързан освен с данните за тяхната калоричност, така и с наличните в региона количества отпадна биомаса от земеделието и преработвателната индустрия. Така вниманието се насочва най-вече към изследването на биомаса от ябълки, сливи, грозде и череши [2].

Използване на възобновяема енергия (слънчева) за получаване на ЕТВС:

Значителна част от процесите по обработка на съставките и технологичното получаване на „карамелни“ твърди горива е свързана с влагане на външна топлинна енергия. Една от основните цели на настоящото изследване е тази енергия да бъде от възобновяем източник, а именно чрез използване на подходяща инсталация за концентрация на слънчева лъчиста енергия [9]. Предварителните изчисления, съпоставящи класическия вариант за употреба на стандартни електронагревателни уреди и възможната им замяна с концентратор на слънчеви лъчи са обобщени в Табл. 3. Направени са измервания на консумираната електроенергия при традиционна термообработка на продуктите чрез електрически нагревателни уреди, за да се оценят икономическите ползи при замяната им с възобновяема енергия. Разпределението на енергийното поле и достиганите температури са заснемани и визуализирани с помощта на термокамера FLIR. Съпоставката на изчислените параметри от двата метода дава очевидно предимство на варианта, използващ слънчев концентратор, което обуславя по-нататъшните действия по избор на неговата конструкция и технологичното му изпълнение.

Таблица 3. Съпоставка на процеса на термообработка чрез електрическа и слънчева енергия

Показател	Ел. енергия (електрически нагреватели)	Соларни концентратори (термична енергия)
Изисквана енергия	~3,5–4,5 kWh/kg (изсушаване)	~1,8–2,2 kWh/kg (термична енергия)
Ефективност на процеса	20–25% (ел. → топлина → реакция)	60–85% (директна топлина → реакция)
Разход за енергия (по тарифа ~0.20 лв/kWh)	0.70–0.90 лв/kg	~0.05–0.10 лв/kg (при слънчева енергия)
Въглеродни емисии	0.4–0.6 kg CO ₂ /kg (вкл. ел. от мрежата)	<0.05 kg CO ₂ /kg (само от транспорта)

Избор на конструктивна схема за слънчев концентратор:

Изборът на конструктивна схема на слънчев концентратор за изпаряване (сушене) на излишната влага от плодова биомаса е свързан с изискванията за ниски енергийни разходи, лесно обслужване и мобилност на инсталацията, възможности за мащабиране и устойчивост на атмосферни

условия [5,6,7,8,9]. Възможни конструкции на слънчеви концентратори за изпаряване са следните няколко вида:

1. Параболичен улееен концентратор (Parabolic Trough)
2. Френелов концентратор (Linear Fresnel Reflector)
3. Параболична „чиния“ (Parabolic Dish)

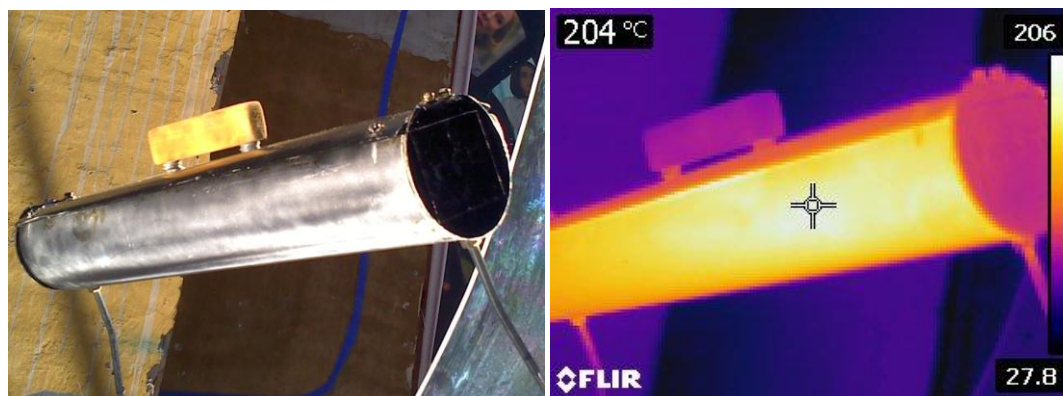


Фиг. 3 Конструктивни решения на слънчеви концентратори

От така разгледаните конструктивни решения (Фиг. 3) най-добре удовлетворяващ специфичните изисквания на

процеса на изпарение е първият вариант - параболичен улееен концентратор. При подходящо подбрана форма и размери на

приемната камера на насочените слънчеви лъчи може да се осигури и контролира необходимия топлинен поток за обработка на суровината. Достъпът и обслужването на този тип инсталации е улеснено, поради специфичната геометрична форма. По-голямото предизвикателство е свързано с подходящо конструктивно изпълнение на топлинния ресивер в линейния фокус на параболата. Подходящи материали за неговото изпълнение са дебелостенни медни, или алуминиеви тръби с необходимия диаметър. В случая е използвана алуминиева тръба с диаметър 90 mm, дебелина на стената 5 mm и нанесено върху стените и топлоустойчиво матово черно покритие. Конструктивно е осигурен лесен демонтаж от параболичния отражател с оглед облекчаване на следващите процеси по обработка и смесване на биомасата с останалите компоненти на карамелния горивен състав.



Фиг. 4 Тръбен топлинен ресивер, заснет по време на работа

Заклучение и изводи

Извършеният анализ показва, че използването на слънчева енергия за термична обработка (изпаряване и карамелизиране) на отпадъчна плодова биомаса е икономически и екологично целесъобразно решение. Подходящи за целта са отпадъчни суровини от ябълки, сливи, череши и грозде, каквито масово се добиват и преработват в страната. Процесът е с ниска енергийна себестойност, почти нулеви въглеродни емисии, и висока ефективност, особено при слънчево-гъвкави системи (соларни концентратори с подходяща конфигурация). Термично обработената плодова биомаса притежава високо съдържание на захари и лесни за карбонизиране съединения, което я прави подходяща за използване като горивен компонент в:

- карамелни ракетни горива (като частичен заместител на захар);
- пиротехнически състави (като редуктор и гориво);
- експериментални био-съвместими твърди горива.

Основни предимства на предложената методика са:

- Устойчивост: използват се отпадъчни суровини.
- Нисък разход на енергия за преработка.
- Горивна ефективност: биомасата съдържа достатъчно количество лесно окисляеми захари, подходящи за енергийно приложение.

Включването на слънчево-обработена плодова биомаса като компонент в ракетни горива и пиротехника е не само възможно, но и стратегически оправдано — особено в контекста на търсене на устойчиви, нискоемисионни и локално достъпни суровини в енергийно-интензивни технологии. Като следващ етап от изследването е необходимо провеждането на изпитания на образци от твърдогоривни карамелни състави, на база преработена плодова биомаса, чрез измервания на техните физико-механични качества, термични анализи и балистични тестове.

При така изпълнената инсталация с приемно огледало, имащо обща повърхност от 1 m^2 , измерените температури в камерата на ресивера са от порядъка на 200°C и по-високи. (Фиг. 4) Редуцирането на работната температура в приемната камера за топлинна обработка се извършва лесно чрез изместване на фокусираните лъчи върху ресивера, което намалява получавания поток лъчиста енергия. Времето за обработка на едно и също количество биомаса посредством обикновен електроуред и чрез слънчево нагряване е почти идентично, поради високата температура, осигурена в ресивера на концентратора. Единственият фактор на несигурност е свързан с разпределението на часовете с добро слънчево огряване на инсталацията за концентриране на лъчите [7,8].

Използвана литература:

1. D. Abhijeet Singh, *Sugar Based Rocket Propulsion System-Making, Analysis & Limitations.*, International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA) – Volume 2 Issue 5, Sep-Oct 2015
2. Скандалиев Х., Сотиров А., Сивева Н., Скандалиев Т., *Изследване на ябълки като потенциална суровина за екологични ракетни горива.*, Годишна университетска научна конференция, Национален Военен Университет, Велико Търново, 2021
3. Скандалиев Х., *Зелена ракетна техника за бита - от идеите до прототипа.*, МЕСЕЦ НА НАУКАТА - ВАРНА 2021, XXV-та ЗАКЛЮЧИТЕЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ „НАУКАТА В СЛУЖБА НА ОБЩЕСТВОТО – 2021“
4. Сивева Н., Скандалиев Х. и колектив, *Екологично чисти ракетни двигатели за граждански цели.*, Шеста международна конференция с Младежка научна сесия „ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА“ (ЕИООС'2019) 5-7 юни 2019 г., Бургас
5. Jyrki Raitila, Eemeli Tsupari, *Feasibility of Solar-Enhanced Drying of Woody Biomass.*, BioEnergy Research (2020) 13:210–221 <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10048-z>
6. Singh R., Kumar, A. (2016). *Solar drying of agricultural products: A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, 595-607.
7. Kalogirou S.A. (2004). *Solar thermal collectors and applications.* Progress in Energy and Combustion Science, 30(3), 231-295.
8. Bhatia S.C., Sharma, M.P. (2013). *Renewable Energy Sources and Their Applications.* CRC Press.
9. Георгиев В. (2020). *Слънчеви концентратори за сушене на плодове и зеленчуци.* Списание Техника и технологии, 2, 45-51.

A variant of modified algorithm for processing a packet of reflected ultrawideband pulses

Sofia Uzunova
Technical University Sofia, Bulgaria
suzunova@tu-sofia.bg

Abstract: This study synthesizes a variant of a modified algorithm for measuring the time delay of a signal reflected from a small-sized (point) target, using an ultrawideband (UWB) sequence of ultra-short (US) probing pulses. The research is a continuation of a series of publications dedicated to the possibilities of reducing the number of operations during analog-to-digital converter (ADC) discretization of the reflected signal.

Keywords: modified algorithm; ultrawideband (UWB) sequence; reflected signal discretization.

1. Introduction.

In recent years, the use of ultra-short transmitted pulses (USP), as a typical representative of ultrawideband signals (UWBS), has become relevant in various fields: radio reconnaissance, electronic warfare (EW), for high-precision distance detection to ultra-small objects (UAVs, drones, SLAs, etc., commonly referred to as remotely piloted aircraft systems - RPAS)2. In radiolocation, UWBS are used for:

detection, tracking, and control of small-sized and point target; for obtaining high-resolution radio images; radio mapping of specific terrains, and more. Finding and developing new and modified algorithms for digital processing of US pulses (USP) is one of the constant tasks, with the aim of finding a relatively universal processing method.

2. Prerequisites and ways to solve the problem.

This study synthesizes a variant of a modified algorithm for measuring

the time delay of a signal reflected from a small-sized (point) target, using an ultrawideband (UWB) sequence of ultra-short (US) probing pulses. The research is a continuation of a series of publications dedicated to the possibilities of reducing the number of operations during analog-to-digital converter (ADC) discretization of the reflected signal and increasing the radar's resolution.

When synthesizing the algorithm, a UWB reflected signal with a known "bell-shaped" envelope is used. In one of the subsequent publications on the topic, the operation of the proposed variant of the modified algorithm will be simulated and the algorithm's performance will be checked even with a priori unknown envelope shape of the reflected US signal, and under conditions of Gaussian noise in the received sequence of reflected pulses.

One of the challenges in processing received US signals is the need for high-speed and expensive analog-to-digital converters (ADCs) and a large volume of resources, which makes real-time processing of USPs reflected from the target, often lasting several picoseconds, impossible. Most often, the processing of signals reflected from point targets (RPAS) is carried out in three stages:

1. Discretization of the received sequence of USPs, reflected from the illuminated small-sized target;
2. Determination of the amplitudes of the pulses in the packet, usually in complex form;
3. Determination of the moment of appearance of the reflected signal by applying known and well-developed spectral methods, after which the distance to the illuminated object is determined by known procedures.

3. Solution to the investigated problem.

One approach to solving the problem described above is to apply a low-pass filter (LPF), briefly called a "preliminary filter", at the receiver input.

The study was conducted in three stages:

1. In the first stage, an algorithm for processing USPs reflected from small-sized targets was synthesized;
2. During the second stage, simulation procedures were conducted in a MATLAB environment to determine a suitable resonant frequency for tuning the "preliminary filter" with the aim

of the best matching with the frequency of the input packet of received USPs;

3. In the third stage, the algorithm's performance under noisy conditions was tested.

To simplify the study, a "bell-shaped" envelope form and a "Nyquist filter" will be used, which provides some freedom in selecting the initial conditions for algorithm synthesis.

Initial conditions for conducting the first stage of the study:

1. At the receiver input, a signal reflected from the observed object is observed, which can be represented as: $s(t - \tau)$, where τ is the unknown moment of appearance of the reflected signal taking values in the interval $[0 - T]$, and $T \gg t$.

2. Envelope shape of the pulse – "bell-shaped", with a mathematical model of the form:

$$s(t) = A \exp(-\alpha \tau t^2)$$

Such an envelope shape was chosen for the simplicity of analytical analysis and the relatively easy physical realization. Duration of USP - 20 ps, then f_m will take a value equal to $\alpha > 2 \cdot 10^{-11}$ s.

3. Discretization interval: According to the Sampling Theorem, the condition $\Delta t \leq 5 \cdot 10^{-12}$ s must be met.

4. Observation interval: $T = 1 \cdot 10^{-3}$ s (1ms), and for the entire observation period, $T/\Delta t$ samples will be required.

With these accepted time intervals, the number of samples for subsequent processing will exceed $2 \cdot 10^8$. Thus, for discretization, even if it is considered principally possible to perform, excessively large resources and corresponding high ADC speed will be required.

Modern publications describe various methods for processing USPs, including under noisy conditions. The goal is to measure the moment of reception of the reflected signal and determine the time delay relative to the emitted signal, and from there, the distance to the target.

Such examples are:

- Using classical correlation methods - these methods would require ADCs with very high sampling rates for direct digital processing to measure the time delay. For correlation reception with accumulation (Kalman filtering), a delay line (DL) with a very large number of outputs would be needed. Given requirements for high probability of correct detection, measurement accuracy, and high distance resolution the practical impossibility of such classical measurement of the arrival time of the reflected signal is observed.

- Applying the "Compressive Sensing" approach - this method presupposes the availability of complex and expensive equipment for signal compression and ADCs with very high sampling rates.

An approach is proposed where the packet of useful periodic input signals is fed to the input of a so-called "preliminary filter" with selected parameters:

1. The mathematical model of the useful reflected signals can be represented as a 12 periodic sequence (packet) of ultra-short pulses with the expression:

$$(1) S(t - \tau) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(t - \tau - nT),$$

where: T – observation period; τ – the unknown moment of arrival of the useful signal, which needs to be determined; $F(t)$ – a function describing the chosen envelope – "bell-shaped" form of the reflected pulse within the packet.

2. Since, according to the chosen model - (1), the signal is a periodic function, it can be expanded into a Fourier series, i.e.:

$$(2) F(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_m e^{\left(\frac{j2\pi n t}{T}\right)}$$

where: $a_m = 1/T \int_0^T F(t) e^{\left(\frac{j2\pi m t}{T}\right)} dt$ – Fourier series coefficients (these coefficients can also be in complex form).

3. Then expression (1) can be transformed into the following form:

$$(3) s(t, \tau) = A \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{a}_m e^{\left(\frac{j2\pi m (t-\tau)}{T}\right)} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{a}_m \dot{b}_m e^{\left(\frac{j2\pi m t}{T}\right)},$$

where: $\dot{b}_m = A \cdot e^{\frac{-j2\pi m \tau}{T}}$ – is the exponential component in complex form, which depends on the sought unknown moment of arrival of the reflected signal - τ .

Let the input signal described by expression (1) now be fed to the input of a low-pass filter (LPF) with the following main characteristics – impulse response, most often denoted as $h_i(t)$, which, for a chosen "ideal" LPF, has the form: :

$h(t) = \frac{w_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{w_c t}{\pi}\right)$, where $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/\pi x$. It should immediately be noted that with such an impulse response, such an LPF cannot be technically realized due to the fact that the described function has infinite duration. As a first approximation and for the simulation study later, the well-known "Nyquist filter" will be applied, which is standard in parameters. For clarification, the main mathematical models and characteristics of the "Nyquist filter" are as follows:

- Impulse response – usually represented by the following mathematical model:

$$(4) h_n(t) = \frac{w_c}{\pi} \text{sinc}\left(\frac{w_c t}{\pi}\right) \frac{\cos\left(\frac{\beta w_c t}{\pi}\right)}{1 - \left(\frac{2\beta w_c t}{\pi}\right)^2},$$

- Amplitude-frequency characteristic (AFC), which is described by the following expression:

$$(5) K(w) = \begin{cases} 1, \text{ при } |w| < \frac{1-\beta}{1+\beta} w_c \\ \cos^2 \left[\frac{\pi(1+\beta)}{4\beta w_c} \left(|w| - \frac{1-\beta}{1+\beta} w_c \right) \right], \text{ при } \frac{1-\beta}{1+\beta} w_c \leq |w| \leq w_c \\ 0, \text{ при } |w| > w_c \end{cases}$$

- Roll-off factor (or smoothing coefficient) – in this case denoted by β , and takes values: $0 < \beta < 118$. When $\beta = 0$, the filter transforms into an "ideal LPF with a rectangular AFC envelope". At the maximum value, i.e., when $\beta = 1$, the filter has the properties of a so-called "raised cosine". The following feature of the filter should also be taken into account: as the values of β (the roll-off factor) increase, the decaying processes, which are typically called "tails," decrease much faster in time. These characteristics justify the application of the "Nyquist filter" in solving problems of compensation of passive interference [5,9] penetrating the receiver through the antenna. The presence of parasitic re-emissions with frequencies close to the filter's passband, such as passive refractions (re-reflections) from stationary objects, are characteristic of densely populated regions. At the filter's output, a signal will be realized that can be described by the expression, where $\dot{a}_m, \dot{b}_m$ are respectively: $\dot{a}_m = \dot{f}_m$, $\dot{b}_m = \dot{C}_m$

$$(6) \tilde{s}_{out}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(\mu, \tau) h(t - \mu) d\mu = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \dot{a}_m \dot{b}_m \int_{-\infty}^{+\infty} h(t - \mu) e^{\left(\frac{j2\pi m \mu}{T}\right)} d\mu,$$

which can be written in the form:

$$(7) \tilde{s}_{out}(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \dot{a}_m \dot{b}_m K\left(\frac{2\pi m}{T}\right) e^{\left(\frac{j2\pi m t}{T}\right)}$$

Let the condition $K(w_c) = 0$ be satisfied for the filter, and by setting $w_c = 2\pi M / T$, where $M \geq 1$. After such a setting, the expression $K\left(\frac{2\pi m}{T}\right) = 0$ for values of $|m| \geq M$. After performing the mathematical operations, expression (1.7) can be written as:

$$(8) \tilde{s}_{out}(t) = \sum_{m=-M}^M \dot{a}_m \dot{b}_m K(mw_c) e^{\left(\frac{j2\pi m t}{T}\right)}$$

From expression (8), it can be concluded that for a value $M = 1$, the input information regarding the moment of arrival of the incoming US reflected pulse – τ – is completely compensated. Since when solving (8) for $M=1$, the signal function becomes $\tilde{s}_{out}(t) = a_0 = A$. For further research and simulation procedures, the condition $M \geq 2$ will be applied.

With this analysis, mathematical operations, assumptions, and initial conditions, one can proceed to calculating the necessary minimum number of samples for discretizing the signal output from the LPF – expression (8). In doing so, it is necessary to consider that the maximum frequency in the output signal's spectrum – w_{max} – is equal to the resonant frequency – w_p – to which the LPF is tuned. The theorem for calculating the necessary minimum number of samples for discretization states: $\Delta t \leq \pi / w_{max} = \pi / w_c = T / 2M$. In fulfilling this condition, in this specific case, the minimum required number of samples must satisfy the condition: $N \geq T / \Delta t + 1 = 2M + 1$. With the understanding that $M \geq 2$, it turns out that after applying "preliminary filtration," with an LPF tuned to $w_p = w_{max}$, the necessary minimum number of samples drastically decreases. The obtained result confirms the expected reduction in the number of required samples from the input packet of ultra-short pulses reflected from the target. The number of samples for unambiguously determining the arrival time of the pulse is about 5-10, which will allow determining the distance to the observed target in real time and with minimal ADC resource consumption. For

further analysis, the equation can be used: $C_m = A e^{\frac{-j2\pi m \tau}{T}}$, which represents the exponential component in complex form. For determining the amplitude and initial phase of the sum of complex components (K) [10,11], $N > 2K$ samples are required. In the analyzed specific case, i.e., $K=1$, the minimum required number of samples can be reduced to 3-5. For further analysis, let's set: $\dot{X}_m = \dot{f}_m \dot{C}_m K(mw_c)$. When this assumption is applied to (1.8), it can be written as:

$$(9) \tilde{s}_{out}(t) = \tilde{s}(n\Delta t) \sum_{m=-(M-1)}^{M-1} \dot{X}_m e^{\left(\frac{j2\pi m \Delta t}{T}\right)},$$

for $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

And in this case, N can take very small values, for example, $N \geq 3$.

If we now consider the last equation - (9), we can conclude that it represents a system of N equations with $2M+1$ unknown values of $\dot{X}_m$. If $T/\Delta t = N = 2M + 1$ is chosen, then equation (9) transforms into an "inverse Fourier transform," i.e., the unknown complex coefficients can be found by applying the "forward Fourier transform" directly from the acquired samples for.

However, if $N > 2M + 1$, the solution to the system can be obtained after pseudo-inversion of the corresponding signal matrix [12].

4. Results and discussion.

Thus: The general formulation of the proposed modified algorithm for measuring the exact arrival time of the reflected signal can be presented as follows:

1. The input sequence of ultra-short pulses (signals reflected from the target) must be fed to the input of a low-pass filter with a resonant frequency $w_c = 2\pi M / T$, where $M > 1$;

2. The output signal from the "preliminary filter" is discretized in the interval $[0 - T]$, resulting in $N \geq 2M + 1$ samples of $\tilde{s}_{out}$;

3. After matrix inversion (if $N > 2M + 1$) or by applying the "forward Fourier transform" (if $N = 2M + 1$), the coefficients - $\dot{X}_m$ - are found.

4. As a result of these operations, the complex amplitude –

$$\dot{C}_m = \frac{\dot{X}_m}{\dot{f}_m K(mw_p)}$$

5. Furthermore, the unknown values of the complex exponential dependence - (A and τ) – will be determined by standard spectral methods, such as Prony's Method; Annihilating Filter; MUSIC, etc. [13,15].

5. Conclusion.

The algorithm proposed for calculating the arrival time of the ultra-short reflected pulse is synthesized under the condition that only reflected signals are considered and noise samples, which are necessarily present in the input signal under real conditions, are not accounted for. Under "noise component", it will further be assumed that the input sequence contains "white" (Gaussian noise) with a one-sided noise power spectral density - N_0 . In this case, the estimation of the time moment - τ - will be obtained with a certain error, which will depend on the signal-to-noise ratio.

Acknowledgements:

The scientific research, the results of which are presented in this publication, was funded by the Research Sector at the Technical University – Sofia under a project for doctoral student support.

6. References.

1. Radzievsky V. G., Trifonov P. A. Processing of ultrawideband signals and interference. — M. : Radiotekhnika, 2009. — 288 p.29
2. Lazorenko O. F., Chernogor L. F. Ultrawideband signals and physical processes. 1. Basic concepts, models and description methods // Radiophysics and Radioastronomy. — 2008. — V. 13. — № 2. — P. 166—194.
3. Win M. Z., Scholtz R. A. Impulse radio: How it works // IEEE Commun. Lett. 1998. — V. 2. — № 2. — P. 36.
4. Sklyar B. Digital Communication: Theoretical Foundations and Practical Application: trans. from English. — M. : Williams. — 2003. — 1104 p.30
5. Shcherbakov V. S. Correlation-filter method for processing ultrawideband LFM signals // Journal of Radioelectronics.-2018.- №2.
6. Parfenov V. I. Detection and Parameter Estimation of Ultra-Short Pulse based on the Compressive Sensing Theory // Compressive Sensing: Methods and Applications / edited by R. Matthews. — 2000. — P. 61—94.
7. Parfenov V. I., Golovanov D. Y., Kunaeva N. A. Algorithms of signal parameter estimation based on the theory of Compressive Sensing and their computer simulation // Journal of Physics. Conference Series. — 2019. — V. 1479.
8. Proakis D. Digital Communication / trans. from English; edited by D. D. Klovsky. — M. : Radio and Communications, 2000. — 800 p.
9. Parfenov V. I., Golovanov D. Yu. Noise immunity of signal reception algorithms with multi-pulse position-pulse modulation // Computer Optics. — 2018. — V. 42. — № 1. — P. 167—174.
10. Stoica P., Moses R. Introduction to Spectral Analysis. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2000.

Performance study of an algorithm for processing a packet of reflected ultrashort pulses under a priori unknown waveform and gaussian noise conditions

Sofia Uzunova
Technical University Sofia, Bulgaria
suzunova@tu-sofia.bg

Abstract: In this study, an analysis of the results obtained after simulation studies of the synthesized modified algorithm with a priori unknown form of the ultrashort pulses (USPs) reflected from a point target, and when operating in Gaussian noise conditions, has been carried out. Proposals for the boundary conditions for the optimal operation of the algorithm have been made. The Prony method has been used to determine the moment of arrival of the reflected signal and estimate the complex components of the USP amplitude. The study is a continuation of the publication devoted to the synthesis of a modified algorithm for processing a bunch of USP pulses reflected from a point target.

KEYWORDS: MODIFIED ALGORITHM; ULTRASHORT PULSES (USP), REFLECTED SIGNAL DISCRETIZATION, PRONY METHOD.

1. Introduction.

The algorithm proposed in the previous publication for calculating the arrival time of the ultra-short reflected pulse was synthesized under the condition that only reflected signals are considered and noise samples, which are always present in the input signal under real conditions, are not accounted for. Under "noise component," it will hereafter be assumed that the input sequence contains "white" (Gaussian) noise with a one-sided noise power spectral density – N_0 . In this case, the estimation of the time moment – τ , will be obtained with a certain error, which will depend on the signal-to-noise ratio (S/N).

2. Prerequisites and ways to solve the problem.

In the first stage, it was proven that the chosen approach is suitable for calculating and estimating the amplitudes (also presented in complex form) of the reflected ultra-short pulses.

In some publications, the measurement of the arrival time of a reflected USP is solved using the MUSIC method. Studies show that other known methods can also be used – such as the Annihilating Filter, Prony's method, etc.. Further in this study, Prony's method will be used. This is necessary for the following three reasons:

1. It is not possible to use analytical dependencies for synthesizing a sequence of mathematical procedures when determining the characteristics of the amplitudes of USPs from the input packet of reflected signals.

2. During the synthesis of the modified algorithm and the analysis of its effective performance, restrictive conditions were imposed regarding:

- the estimation only of the conditional time shift, and
- the dispersion of time shifts in the observation period, averaged for the input packet of reflected pulses.

3. Prony's method was used for direct determination of the arrival time of the reflected USP. These arguments necessitate that the analysis of the estimation effectiveness be computer-modeled in a Matlab environment.

3. Solution to the studied problem.

As a starting point for the modeling, the main mathematical expressions from the synthesis of the modified algorithm will be recalled:

- An USP with a bell-shaped form of the type – $s(t, \tau) = Ae^{[-\alpha^2(t-\tau)^2]}$ where $t \in [0; T]$ was used as a model of the input signal reflected from a point target.

- Normalized time value – $\tilde{t} = \frac{t}{T}$ and normalized arrival time of the reflected pulse – $\tilde{\tau} = \frac{\tau}{T}$ were introduced.

- The result of these introductions is the representation of the input signal in the following form $s(\tilde{t}, \tilde{\tau}) = Ae^{[-\alpha^2(\tilde{t}-\tilde{\tau})^2]}$ where $\tilde{t} \in [0; 1]$, $\alpha = \alpha T$;

- The expression illustrating the impulse response of the Nyquist filter was similarly transformed, taking into account the following dependencies – $\omega_c T = 2\pi M, M \geq 2$

- During the modelling itself, a noise component, in the form of uncorrelated noise with dispersion – σ^2 , was added to the signal function.

For conducting the simulation studies, the following input parameters for the respective quantities were used:

- $\tilde{\alpha} = 200, 300, 400$;
- Low-Pass Filter (LPF) Nyquist parameter – $\beta = 0.1 \div 0.9$ with a step of -0.1 , i.e., $\beta = 0.2; 0.3; \dots 0.9$;
- Signal-to-noise ratio (S/N – q) – $q = 5 \div 40$, with a step of 5.

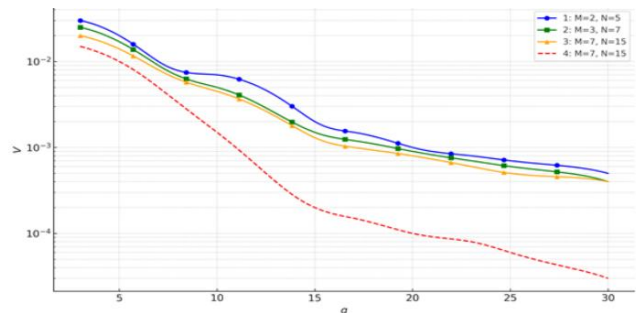
After conducting the simulations, the following conclusion can be drawn:

The "estimation of the displacement" approaches 0, i.e., the phenomenon of "absence of displacement" is observed, which corresponds to an unambiguous measurement of the arrival time of the reflected ultra-short pulse, and thus an unambiguous determination of the distance to the observed object.

This "phenomenon" is especially pronounced at high S/N ratios – in the order of $q \geq 20 - 50$. To visualize the dependence of the error allowed in estimating the time displacement, a graph is shown in Fig. 1.1, where the obtained graphs, numbered 1 - 5, are displayed for different values of M and N, respectively. The horizontal axis shows different S/N ratios with a step of % dB, and the vertical axis shows the allowed error in determining the normalized arrival time of the reflected signal. It should be clarified that curves 1 and 2 were obtained with the same "smoothing coefficient" $\beta = 0.55$ for the Nyquist LPF.

Fig. 1. Dependence between variables q and V for different values of parameters M and N.

Four series of data are visualized with smoothed lines and different



colors for better readability. The graph is on a logarithmic scale on the Y-axis. Series 1 (blue line, M=2, N=5) shows the highest values of V, while Series 4 (red dashed line, M=7, N=15) has the lowest values, which suggests better model efficiency or stability with these parameters. Different colors are used for each data series, and line 4 is in red.

When increasing the values for M and N, respectively, it is noted that the "estimation of the time displacement" increasingly depends on β , while for small values of M and N, the error in determining the arrival time of the reflected pulse increases. This is confirmed by graphs 3 and 4, which are displayed for the same

values of M and N , ($M=7$, $N=15$), but where curve 3 uses $\beta = 0.55$, and curve 4 uses $\beta = 0.1$.

The smaller the smoothing coefficient, the more the shape of the LPF's amplitude-frequency characteristic (AFC) approaches a "rectangular" shape, which in turn leads to increased accuracy in measuring the arrival time of the USP reflected from the target.

Based on the conducted simulation studies and the comparison of the obtained results with those obtained by the MUSIC method, it can be stated that this method can also determine the complex amplitudes of the individual components. The same applies to the application of Prony's method.

The obtained numerical results, which are not shown in the report, once again confirm the conclusions made earlier in publications dedicated to the topic, that the LPF parameters, the number of required samples (the quantity of reflected USPs in the packet), the S/N ratio, etc., equally affect the accuracy of determining the arrival time of the reflected USP and the accuracy of estimating the USP amplitudes.

4. Results and Discussion.

To demonstrate the performance of the synthesized algorithm with a priori unknown shape of the input USP reflected from the target, an additional assumption in the mathematical expressions describing the operational sequence is the use of a value for $\hat{f}_m = 1$, i.e., independent of the shape of the input signal envelope. The simulations conducted in Matlab did not show significant changes in the previously obtained results for the accuracy of determining the arrival time of the reflected USP and the estimation of the complex amplitudes of the USPs in the packet of reflected signals. With the initial and boundary conditions thus set, an increase in accuracy within 5-6% was noted, which does not lead to significant changes in the values for time delay (distance to the observed object) and the estimation of the complex amplitude of the USP in the packet. That is, for an a priori unknown shape of the reflected USP, in the proposed algorithm, it is necessary to use $\hat{f}_m = 1$, which also proves the algorithm's performance.

5. Conclusion.

An estimation of the allowed error when changing the initial conditions for the algorithm's operation was made, and it was proven that the modified algorithm retains its performance even with an a priori unknown shape of the reflected signal, and in conditions of Gaussian noise influence on the input packet of reflected pulses when using Prony's method – and in this specific case, also when using the MUSIC method.

The report shows that the accuracy of the estimation primarily depends on the smoothing coefficient of the Nyquist LPF, on the choice of parameter M , which determines the resonant

frequency of the preliminary LPF, and on parameter N , which, in turn, determines the necessary number of reflected USPs in the packet (samples) formed at the output of the preliminary LPF.

Acknowledgements:

The scientific research, the results of which are presented in this publication, was funded by the Research Sector at the Technical University – Sofia under a project for doctoral student support.

6. References.

1. Radzievsky V. G., Trifonov P. A. Processing of ultrawideband signals and interference. — M. : Radiotekhnika, 2009. — 288 p.29
2. Lazorenko O. F., Chernogor L. F. Ultrawideband signals and physical processes. 1. Basic concepts, models and description methods // Radiophysics and Radioastronomy. — 2008. — V. 13. — № 2. — P. 166—194.
3. Win M. Z., Scholtz R. A. Impulse radio: How it works // IEEE Commun. Lett. 1998. — V. 2. — № 2. — P. 36.
4. Sklyar B. Digital Communication: Theoretical Foundations and Practical Application: trans. from English. — M. : Williams. — 2003. — 1104 p.30
5. Shcherbakov V. S. Correlation-filter method for processing ultrawideband LFM signals // Journal of Radioelectronics.-2018.-№2.
6. Parfenov V. I. Detection and Parameter Estimation of Ultra-Short Pulse based on the Compressive Sensing Theory // Compressive Sensing: Methods and Applications / edited by R. Matthews. — 2000. — P. 61—94.
7. Parfenov V. I., Golovanov D. Y., Kunaeva N. A. Algorithms of signal parameter estimation based on the theory of Compressive Sensing and their computer simulation // Journal of Physics. Conference Series. — 2019. — V. 1479.
8. Proakis D. Digital Communication / trans. from English; edited by D. D. Klovsky. — M. : Radio and Communications, 2000. — 800 p.
9. Parfenov V. I., Golovanov D. Yu. Noise immunity of signal reception algorithms with multi-pulse position-pulse modulation // Computer Optics. — 2018. — V. 42. — № 1. — P. 167—174.
10. Stoica P., Moses R. Introduction to Spectral Analysis. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2000.

Features of connecting a fuel cell stack to the three-phase load

Ivan Karabadjhak

Faculty of Automation and Intelligent Technologies – Saint-Petersburg State Transport University
 iwan.karabajack@yandex.ru¹

Abstract: In this study, a comparison of methods for connecting a fuel cell stack to a three-phase load was researched. The stack connection via a current source inverter and a voltage source inverter was considered. The study was conducted using simulation modelling in the MatLab/Simulink software. Simulation models of the operation of a fuel cell stack on a three-phase active-inductive load through a current source inverter and a voltage source inverter were created. The harmonic composition of the stack voltage, stack current, and load phase-to-ground voltage curves was studied. Losses in semiconductor converters and inductances were estimated. The influence of the switching frequency of semiconductors on losses in the current source inverter and voltage source inverter was studied.

KEYWORDS: FUEL CELL STACK, VOLTAGE SOURCE INVERTER, CURRENT SOURCE INVERTER

1. Introduction

Currently, in the field of stationary and transport energy, great interest is paid to electrochemical energy sources, such as hydrogen fuel cells. The advantage of such sources is the generation of electricity directly from hydrogen fuel, bypassing the intermediate stage of mechanical conversion. Also, the advantages include noiselessness and the absence of harmful emissions.

Statistical studies show a rapid growth in the number of transport-type power plants using hydrogen fuel cells. Over the period 2018–2022, the number of such power plants tripled (from 10 to 30 thousand), while the number of stationary power plants remained approximately the same (about 50 thousand). Over the same period, the total capacity of transport-type power plants increased from 600 MW to 2000 MW [1]. A wide range of hydrogen fuel cells are used in stationary energy systems: proton exchange membrane (PEMFC), solid oxide (SOFC), phosphoric acid electrolytes (PAFC), alkaline electrolytes (AFC), and molten carbonate electrolytes (MCFC). The capacity of stationary hydrogen power plants currently reaches 2 MW. In power plants of transport facilities, mainly hydrogen fuel cells based on proton exchange membranes (PEMFC) are used; the unit capacity of the plants reaches 300 kW [1, 2].

When using fuel cell stacks as auxiliary sources for powertrains of self-propelled vehicles, it is possible to provide a power reserve, an operating mode with power forcing and operation in conditions where the use of internal combustion engines can be difficult. The introduction of powertrains with fuel cell stack requires solving a number of problems, in particular, ensuring a combination of the output characteristics of a hydrogen fuel cell stack with the power supply requirements of energy load. The last of the listed problems involves the selection and justification of the bus structure.

2. Preconditions and means for resolving the problem

There are two methods of connecting DC-current source to a three-phase load: using current source inverter CSI or voltage source inverter VSI. This article considers the problem of substantiating the topology of the autonomous power system for AC-load from a hydrogen fuel cell stack in a powertrain of self-propelled vehicles. The problem is to consider possible options for the topologies of the powertrain and select the optimal structure based on the following criteria:

- 1) minimum total power losses in all converters and elements;
- 2) minimum distortion of the load voltage, which is estimated by the total harmonic distortion of the load phase-to-ground voltage THD(U),
- 3) minimum impact of fuel cell stack current ripples on its operation, which is estimated by the total harmonic distortion THD(I).

3. Solutions of the problem

Using MatLab/Simulink software the model of powertrain was designed. The Fuel cell stack is the only source of energy and has a rated power 50 kW. The load is a static load with a nominal power of 50 kVA and power factor 0.8 (active-inductive). Semiconductor converters lead to the appearance of pulsations of the stack current, which negatively affects its efficiency and durability [3-6], and distort the curve of the load phase-to-ground voltage. The topologies are shown in Figure 1.

The parameters of the AC-filters are selected to provide a total harmonic distortion THD for the load phase voltage of $5 \pm 0.5\%$. The inductance in the DC link for the topology with a current source inverter is selected to provide THD of the fuel cell stack current curve of $15 \pm 0.5\%$. The inverter control system is based on the using PI regulation in the dq reference system. The values of three-phase alternating current and voltage are converted to DC components in the dq reference system to eliminate the steady-state error. The modulation method used to generate control pulses is sinusoidal pulse-width modulation.

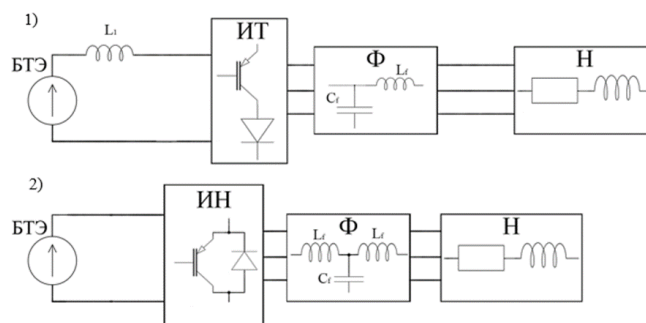


Figure 1. The topologies of powertrain using 1) current source inverter; 2) voltage source inverter. FCS – fuel cell stack, CSI – current source inverter, F – filter, RL – three-phase active-inductive load, VSI – voltage source inverter

The parameters of the AC-filters are selected to provide a total harmonic distortion THD for the load phase voltage of $5 \pm 0.5\%$. The inductance in the DC link for the topology with a current source inverter is selected to provide THD of the fuel cell stack current curve of $15 \pm 0.5\%$. The inverter control system is based on the use of PI regulation in the dq reference system. The values of three-phase alternating current and voltage are converted to DC components in the dq reference system to eliminate the steady-state error. The modulation method used to generate control pulses is sinusoidal pulse-width modulation. [7, 8]

The structural diagram of the inverter control system is shown in Figure 2. The table 1 shows the parameters of the powertrain elements.

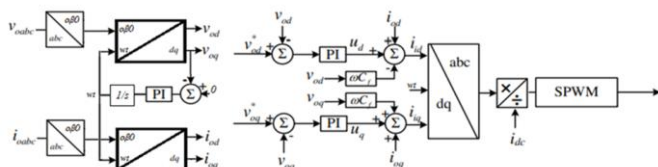


Figure 2. Structural diagram of the inverters control system.

Table 1 – Parameters of the elements in the topologies of powertrains

Elements	CSI	VSI
Fuel cell stack	Nominal power 50 kW Nominal voltage 625 V	
Load	Power 50 kVA Power factor 0.8 Frequency 50 Hz	
Inverter	Switching frequency 10000 Hz	
Filters	$L_1 = 25 \text{ mH}$ $L_f = 8 \text{ mH}$ $C_f = 750 \text{ }\mu\text{F}$	$L_f = 1 \text{ mH}$ $C_f = 2000 \text{ }\mu\text{F}$

4. Results and discussion

The results of the powertrain operation simulation are presented in Table 2. Figures 3 and 4 show the stack current curves and their harmonic analysis.

Table 2 – Results of the powertrain operation simulation

	CSI	VSI
Load phase-to-ground voltage	215 V	210 V
Load current	82 A	81 A
Stack current	66 A	62 A
THD(U)	4.85%	5.08%
THD(I)	14.81%	47.63%

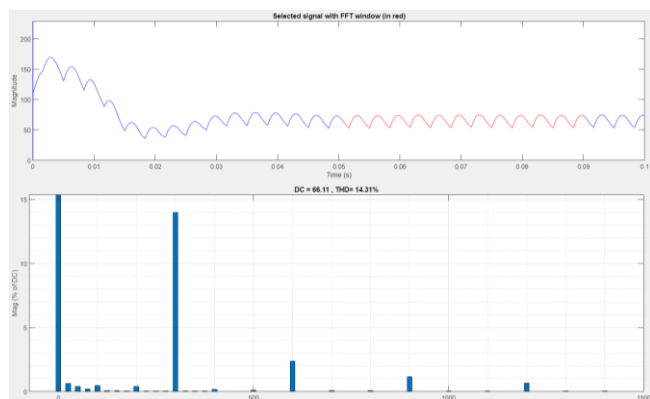


Figure 3. Stack current and harmonic analysis for CSI topology

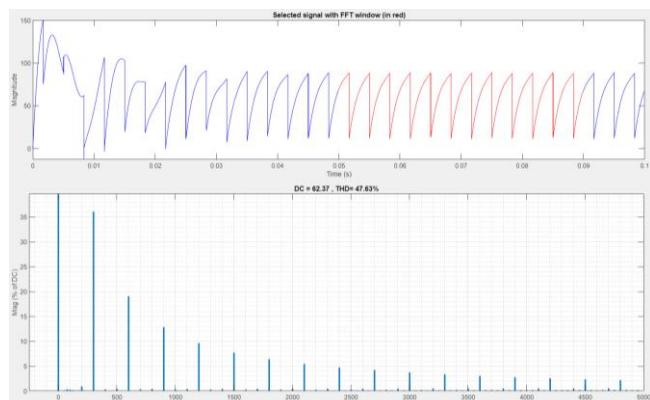


Figure 4. *Stack current and harmonic analysis for VSI topology*
Analysis of the harmonic composition of the stack current curves shows that in the system with a current source inverter, low-

frequency pulsations are less pronounced. This is due to the high inductance filter in the DC bus. The effect of current pulsations on the durability of fuel cells has not been studied in depth at the moment, but an analysis of existing publications allows us to conclude that low-frequency current pulsations have a greater negative effect on hydrogen fuel cells [3-6].

Of interest is also the distribution of the components of power losses in semiconductor converters depending on the switching frequency on the rated power. The switching frequency of the key elements of the converters has the main effect on the losses for both types of inverters. The total power losses in the system converters, indicated in Tables 3, 4, include losses in the inverter semiconductor devices in the open state and commutation. In Tables 3, 4 the following designations are used: p_d – conduction losses in diodes; p_c – conduction losses in transistors; p_s – switching losses in transistors; p_{inv} – total power losses in the inverter. [9] The dependence of losses in the inverter on the switching frequency is shown in Figures 5, 6, 7.

Table 3 – Power losses in current source inverter depending on switching frequency

Losses, W	Switch frequency, kHz									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
p_d	37,8	38,1	38,0	37,9	38,0	38,0	37,9	38,0	38,0	38,0
p_c	39,3	39,6	39,4	39,4	39,5	39,4	39,4	39,5	39,4	39,4
p_s	4,6	9,6	14,3	19,0	23,9	28,6	33,3	38,2	43,0	47,7
p_{inv}	491,2	523,3	550,4	578,3	608,2	636,2	664,2	693,7	721,8	750,4

Table 4 – Power losses in voltage source inverter depending on switching frequency

Losses, W	Switch frequency, kHz									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
p_d	3,6	3,0	3,2	3,2	2,9	3,1	3,2	3,1	3,2	3,2
p_c	42,6	42,6	42,5	42,5	40,0	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5
p_s	5,5	10,2	15,3	20,4	24,3	30,5	35,6	40,7	45,8	50,9
p_{inv}	307,6	334,4	365,6	396,6	403,8	457,2	488,1	518,0	548,8	579,5

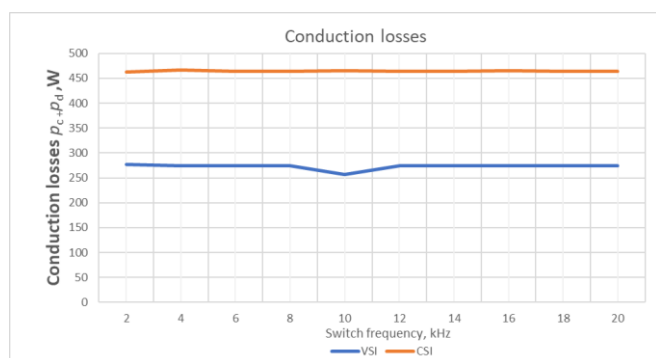


Figure 5. Conduction losses in CSI and VSI depending on switching frequency

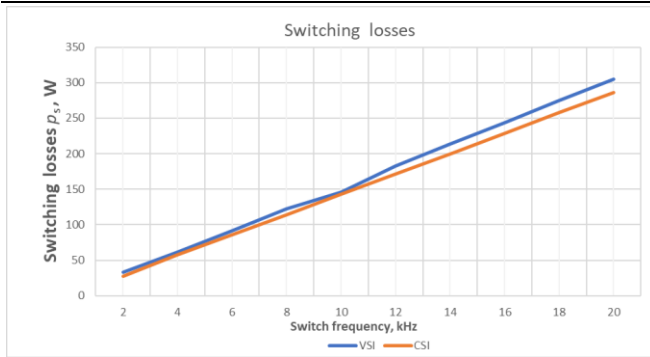


Figure 6. Switching losses in CSI and VSI depending on switching frequency

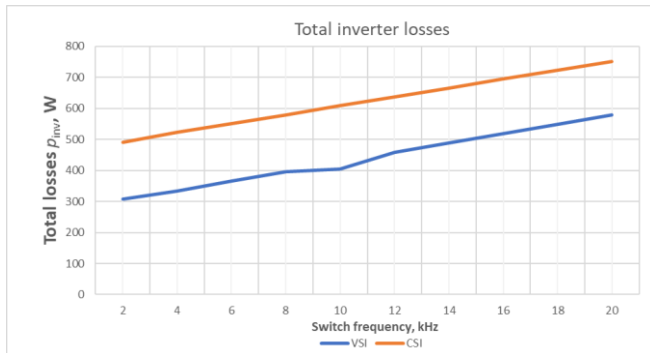


Figure 7. Total inverter losses in CSI and VSI depending on switching frequency

Switching losses in a voltage source inverter are higher than in a current source inverter, but conductivity losses are higher in a current source inverter, which is due to the series connection of transistors and diodes and large values of switching currents; as a result, the total power losses in semiconductor devices of the current inverter are 1.3 to 1.6 times higher in the entire range of switching frequencies.

It is difficult to directly determine the power losses in the chokes and filter inductances of the power supply systems under consideration at this stage of the analysis, but it is possible to use an indirect estimate of the power losses and the mass and size parameters based on the stored energy of the inductive elements. The results of such an estimate are presented in Table 5. It is evident from the table that the energy stored in the inductive elements of the CSI system is an order of magnitude greater.

Table 5 – Energy, J , stored in inductances of output filters of inverters and DC-bus inductance

Topology	DC-inductance	AC-filter
CSI	54.5	52.3
VSI	–	19.7

4. Conclusion

All the considered topologies of constructing an autonomous electric power system provide power to the AC-load from a fuel cell stack and provide the required quality of power supply.

In terms of the degree of influence of stack current pulsations, the current source inverter topology is more preferable, since the stack current curve has less low-frequency pulsations, which most significantly affect the durability and output characteristics of the fuel cell.

Lower total power losses in the power system converters are ensured by using a voltage source inverter. This topology is also characterized by significantly smaller weight and size parameters of the inductances of the filters, which makes it a more preferable variant for real application.

Literature

1. The Fuel Cell Industry Review 2022.
2. Dugin G.S., Grigoriev S.A. New possibilities of using fuel cells in vehicles // Transport on alternative fuels – 2010, No. 2 (14). – P. 76-78.
3. Kukkonen S. Power electronics in a hybrid drive with fuel cells. Part 4 // Power electronics. – 2015, No. 6. – P. 70-76.
4. Jih-Sheng Lai, Nelson D. J. Energy Management Power Converters in Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Proceedings of the IEEE 2007, Vol. 95, No. 4.
5. Kim Jonghoon, Lee Inhae, Tak Yongsug, Cho Bo. Impedance-based diagnosis of polymer electrolyte membrane fuel cell failures associated with a low frequency ripple current // Renewable Energy. – 2013, No 51. - P. 302-309.
6. B. Wahdame et al., Impact of power converter current ripple on the durability of a fuel cell stack. 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Cambridge, UK, 2008, pp. 1495-1500, doi: 10.1109/ISIE.2008.4677206.
7. Azmi, Syahrul & Adam, Grain & Abdul Rahim, Siti Rafidah. (2019). Voltage-controlled of a three-phase current source inverter in islanded operation. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 16 156 10.11591/ijeecs.v16.i1.pp156-164.
8. Azmi, Syahrul & Ahmed, K.H. & Finney, S.J. & Williams, B.W. (2011). Comparative analysis between voltage and current source inverters in grid- connected application. 2011 101-101. 10.1049/cp.2011.0138.
9. Datasheet Infineon Technologies AG FF300R06KE3_B2. <https://www.infineon.com>

An unmanned aerial vehicle with an extended flight time

Kim K., Koroleva E., Mikhailov M.,

Department of "Theoretical Foundations of Electrical Engineering and Power Engineering" Faculty "Automation and intelligent technologies" – Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia
e-mail: kimkk@inbox.ru, elzazybina@yandex.ru, mihanikk2001@gmail.com

Abstract: The question of application of unmanned aerial vehicles (quadcopters or multicopters) with electric drive for long-term monitoring operations in territories with operating power system or electrified railroad transportation is considered. The disadvantage of drones of this type is the limited capacity of the on-board battery, which implies the need to recharge it, i.e. to stop the flight and return the aircraft to the base. The authors propose a constructive solution to this problem, which is based on a non-contact (induction) method of charging during the flight of an aircraft due to the energy of the electromagnetic field arising from the flow of electric current in the high-voltage wires of the power system or the contact network of railroads. For this purpose, an additional circular electric winding is installed on board the aircraft, in which an electromotive force (EMF) is induced in the electromagnetic field during flight. This EMF is used to charge the battery of the unmanned aerial vehicle. Also, in the proposed design of the unmanned aerial vehicle, solar panels are provided for recharging the batteries during the flight during daylight hours.

KEYWORDS: UNMANNED AERIAL VEHICLE, WIRELESS CHARGING, BATTERY PACK, ELECTROMAGNETIC FIELD, INDUCTION CHARGING

1. Introduction

The modern strategy of conducting military and intelligence operations has shown high efficiency in the use of unmanned aircraft systems. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) is also actively being implemented for civilian purposes, for example, in agriculture, environmental management, road and rail transport, etc. [1-4].

This paper considers the issue of using a multi-rotor UAV with an electric drive for long-term monitoring of infrastructure facilities in territories with an operating power grid or electrified railway transport.

Despite the rapid development of technologies in the battery field, one of the disadvantages of multirotor-type UAVs is the limited capacity of the battery, which implies the need for frequent battery charging, which means that the UAV will stop flying and landing at the base.

Various methods are used to increase the flight duration of the UAV, such as installing additional batteries on board the device, additional charging stations [5, 6], installing solar panels on board [7], and wireless charging methods are actively being developed [8-10].

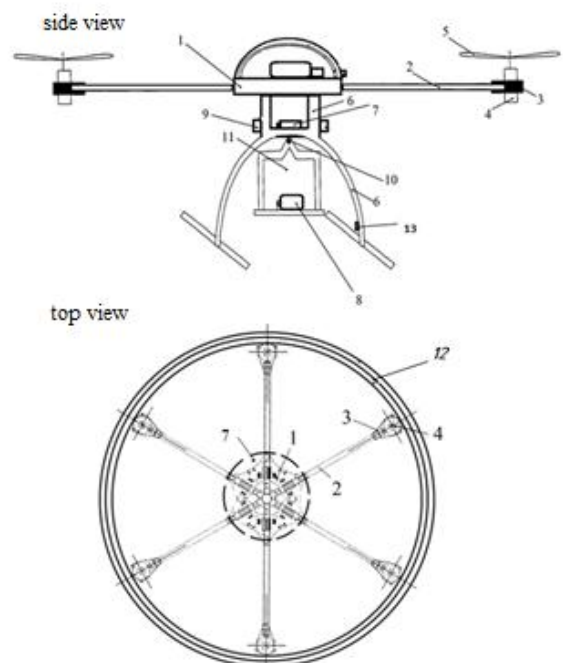
2. Solution of the problem under consideration

We propose a constructive solution to this problem, which is based on the wireless (induction) method of charging the UAV battery during flight at the expense of the electromagnetic field energy arising from the flow of electric current in the high-voltage wires of the power system or railway contact network [11-14].

In the center of the UAV there is a supporting frame, and to the side surface of which booms are attached. At the other ends of the booms, electric motors are attached with fasteners. A power battery is installed on the chassis, which is connected to the electric motors via a speed controller. To the central part of the lower surface of the supporting frame with the help of a hinge attached swivel-tilt gyro- stabilised suspension with a video surveillance device, Fig. 1.

To the bodies (Fig. 1) electric motors of the inner surface of the inner surface is attached to a dimensional ring, on which is located circular electric winding (REW). It is possible to locate the REW both under the air screws and below them.

The electromagnetic field caused by the flow of alternating electric current in the contact wire of the railway contact network (high-voltage wires of the power system), according to the law of electromagnetic induction, induces an electromotive force (EMF) in the REW located on board the UAV (energy receiver), the terminals of which are connected to the battery charging circuit.



1 - framework; 2 - boom; 3 - fasteners; 4 - electric motors; 5 - air propellers; 6 - chassis; 7 - battery; 8 - video surveillance device; 9 - rotation sensor; 10 - pivot; 11 - gyro-stabilised suspension; 12 - circular electric winding (REW); 13 - electromagnetic field strength sensor.

Fig. 1. Design of a UAV with a charging winding side view and top view

In case of battery charge decrease, the UAV approaches the wires of the high-voltage line of the power system or railway contact network, the location of which is determined by the operator visually or their coordinates are included in the flight programme. The approach occurs before the electromagnetic field strength sensor is triggered at the moment of time when the electromagnetic field strength in the sensor zone approaches 1 kV/cm, which is the breakdown strength of moist air. The UAV "hovers" near the high-voltage wire or continues to fly along it along a certain trajectory. The latter condition is mandatory if the external magnetic field is generated by a direct current. The battery charge control device connects the charging REW through the battery charge control unit to the terminals of the power batteries. Under the action of the induced EMF in the UAV REW, and therefore in the battery, begin to flow currents. In this way, the battery pack is recharged. When the required charge level is reached, the control device disconnects the REW from the battery pack - the charge stops. The UAV continues with its mission

3. Results and Discussion

To verify this method of wireless recharging of the UAV battery pack, experimental studies of the induced electromotive force in the UAV REW were performed, Fig. 2. In this case, the parameters of the REW were changed such as: diameter (160mm and 320mm), the number of turns (300 and 600 turns), shape, cross-section of the wire. The external magnetic field was created by an alternating electric current of 15 A, frequency 50Hz. It can be seen that this EMF has a shape approaching sinusoidal (period 0.02s, which corresponds to the frequency of 50 Hz).

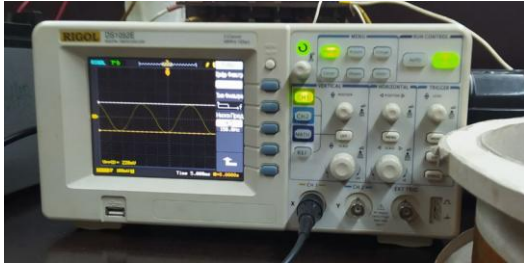


Fig.2. Induced EMF from an electromagnetic field source on a REW model

Experimental studies have shown that for the specified task it is more rational to use the REW of a larger diameter, and in the induced EMF there are high-frequency components, which are eliminated by LC-filters.

In the process of working on this project and confirming the possibility of this method of charging the battery, both analytical and numerical calculations were performed.

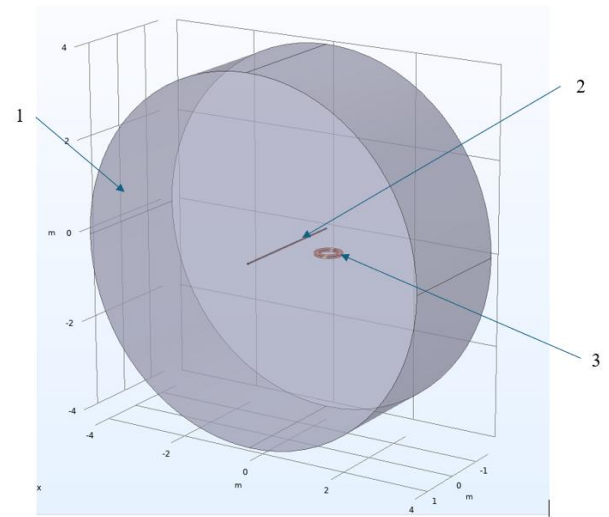
COMSOL Multiphysics 6.2 package was chosen as the main tool for mathematical modelling. The calculation was carried out by the finite element method, the geometry of the model is shown in Fig. 3. The number of turns of the REW was determined from the condition of providing the required value of the charging voltage at the output at fixed values of the distance between the high-voltage/contact wire of the contact network and the REW (h) and longitudinal speed of the UAV flight (v). During the calculations, h and v were varied. The flight speed was varied in the range from 2 to 10 km/h.

During calculations it was assumed that sinusoidal current with an amplitude value of 300 A and frequency of 50 Hz flows along the contact wire. The results of calculations confirmed the possibility of on-board battery charging by induction method.

The dependences of the magnitude of the induced EMF on the number of turns of the REW at its different number of turns were also obtained, Fig. 4. The dependence between these values has a linear character. A full description of these studies is given in [15, 16].

Modelling of the charge of UAV with REW from the source of electromagnetic field, which is the contact network of alternating current of electrified railways, has been performed. When modelling took into account the presence in the contact network supporting cable, which can flow a current of up to 50% of the contact wire current, Fig. 5.

The obtained results show that the required value of the induced EMF can be achieved both by selecting the diameter of the REW and by changing the distance from the contact wire to the REW of the UAV.



1 – design area; 2 – contact/high-voltage wire; 3 – ring electrical winding (REW)

Fig.3. Geometry of the mathematical model

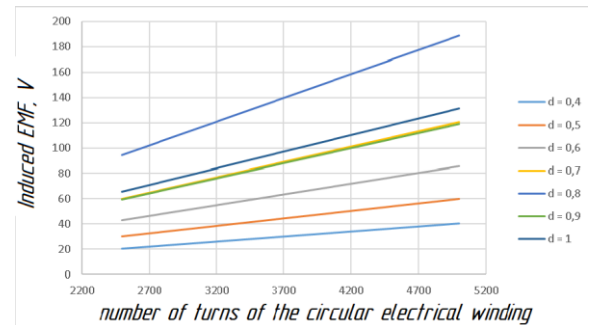
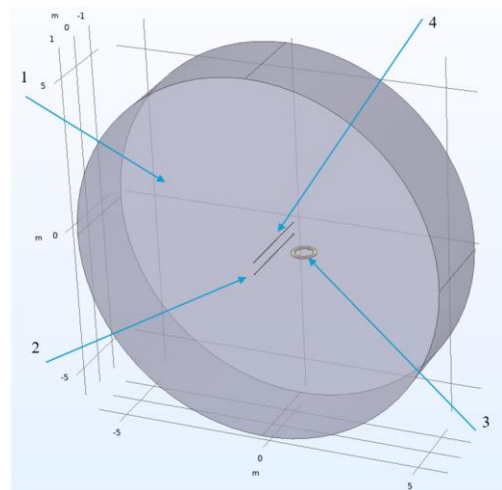


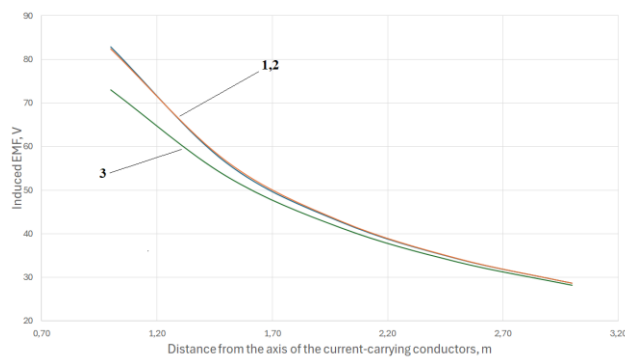
Fig. 4. Dependence of the magnitude of the induced EMF on the number of turns of the REW



1 - design area; 2 - contact/high-voltage wire; 3 - REW; 4 - supporting cable

Fig.5. Geometry of the mathematical model

Studies show that the value of the induced EMF varies depending on the position of the UAV relative to the contact suspension of the catenary network. Energy transfer will be most efficient if the UAV is positioned at the side of the contact wire, in which case the value of the induced EMF will be ~ 80 V. If the UAV is located at the level of the supporting cable, the induced EMF decreases to ~ 73 V, Fig. 6.



1 - REW at the level of the contact wire; 2 - REW equidistant from the contact wire and the supporting cable; 3 - REW at the level of the supporting cable

Fig. 6. Dependence of the induced EMF in the REW on the value of its distance from the conductor of the contact network

Conclusion

1. The results of research and calculations confirm the possibility of using this method of wireless recharging of the UAV battery in the presence of a source of external electromagnetic field.
2. The estimation of the magnitude of the induced electromotive force in the UAV REW depending on its parameters and geometric dimensions and location relative to the source of the external electromagnetic field is performed.
3. This method can be recommended for increasing the time of continuous UAV flight when monitoring long infrastructural electrified objects.

Acknowledgements

The research was carried out within the framework of scientific project No. 24-29-00159 within the grant awarded by the Russian Science Foundation for 2024 - 2025 under the 2023 competition "Conducting fundamental scientific research and search scientific research by small individual scientific groups".

Literature

1. Monitoring of agricultural land with unmanned aerial vehicles / S. V. Shaitura, V. K. Barbasov, A. M. Minitaeva, Yu. P. Kozhaev // Land management, cadastre and land monitoring - 2021. - No. 12. pp. 947- 953. - DOI 10.33920/sel-04-2112-10. (In Russ).
2. Korenkov D. A. Diagnostic system in JSC "Russian Railways" // Rail transport. - 2023. - No. 12. pp. 18-22. (In Russ).
3. Efanov D.V., Pogodina T.S. The use of unmanned aerial vehicles for collecting diagnostic data on signaling, centralization, and blocking devices Transport of the Russian Federation. A journal about science, practice, and economics. 2024; 5(114): 16-24. (In Russ).
4. Kim K.K., Koroleva E.B., Vataev A.S. Monitoring of railway infrastructure facilities using unmanned aerial vehicles. In: Eltrans – 2023: proceedings of the XI International Symposium, St. Petersburg, May 31 – June 02, 2023 / Emperor Alexander I St. Petersburg State

Transport University. St. Petersburg: NP-Print; 2023:247–252. (In Russ).

5. Andreev, P. S. On the issue of choosing UAV batteries under the condition of group work / P. S. Andreev, A. I. Selin // Universum: technical Sciences. – 2023. – № 6-4(111). – C. 5-12. – DOI 10.32743/UniTech.2023.111.6.15693.
6. Pat. RUS na izobretenie № 2837679/ 03.04.2025. Byul. №10. Kim K.K., Koroleva E.B., Mikhajlov M.V., Solov'ev A.S. Sistema posadki bespilotnogo letatel'nogo apparata vertikal'nogo vzleta i posadki. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80657271> (In Russ).
7. Nazarenko P.A. Model of a solar-powered UAV / P.A. Nazarenko, V.I. Satarova, L.V. Makarova. Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2021; 10: 44-51. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-10-44-51. (In Russ).
8. Liu Y, Zhang B, Zeng . High-Efficiency Wireless Charging System for UAVs Based on PT-Symmetric Principle. Drones and Autonomous Vehicles 2025, 2, 10008. <https://doi.org/10.70322/dav.2025.10008>.
9. Nguyen M., V. Nguyen V, C., H. Truong, L., M. Le, A., V. Quyen, T., Masaracchia, A., & A. Teague, K. (2020). Electromagnetic Field Based WPT Technologies for UAVs: A Comprehensive Survey. Electronics, 2020. 9(3), 461. -DOI:10.3390/electronics9030461.
10. Nikitin, V.V. Wireless power transmission to the carriage of high speed magnetolevitational transport/ V.V. Nikitin, V.A. Vasiliev, T. Zhao / Electronics and electrical equipment of transport. 2022; 1: 23-26. (In Russ).
11. Patent № 042897 / 31.03.2023. Byul. 2023-03. Kim K.K. Bespilotnyj letatel'nyj kompleks. Available from: <https://old.eapo.org/ru/publications/publica>. (In Russ).
12. Unmanned aerial vehicle for monitoring transport infrastructure / K. K. K. Kim, E. B. Koroleva, A.S. Vataev [et al.] // E3S Web of Conferences. - 2024. - Vol. 549. - P. 02015. - DOI 10.1051/e3sconf/202454902015.
13. Kim K.K., Koroleva E.B., Tkachuk A.A. Unmanned electric aircraft and systems for railway monitoring *Transport of the Russian Federation. A journal about science, practice, and economics*. 2024; 6(115): 44-51. (In Russ).
14. Kim KK, Koroleva EB, Rybin PK, Stepanskaya OA. An unmanned aerial vehicle for monitoring an AC contact network. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024;10(4):463–476. doi: 10.17816/transsyst636732. (in Russ).
15. Vataev A.S. Matematicheskoe modelirovanie beskontaktnogo sposoba zaryada akkumulyatornoj batarei bespilotnogo letatel'nogo apparata / A. S. Vataev, M. V. Mihajlov, A. S. Solov'ev // Transport Rossii: problemy i perspektivy : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 09–10 noyabrya 2022 goda / FGBUN Institut problem transporta im. N.S. Solomenko Rossijskoj akademii nauk, Kollektiv avtorov. Tom 2. – Sankt-Peterburg: Institut problem transporta im. N.S. Solomenko RAN, 2022. – S. 103-106. (In Russ).
16. Kim K.K., Koroleva E.B., Vataev A.S., et al. Mathematical simulation of the contactless process in charging a multicopter battery from the external electromagnetic field. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2024; 4(151): 28–46. –DOI 10.18698/0236-3941-2024-4. (in Russ).

Development of the Republican Road Network of Bulgaria in the Conditions of Membership in the European Union

Georgi Dimitrov
University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria
g.dimitrov@unwe.bg

Abstract: Analyzing the current state of the road infrastructure in Bulgaria, it should be emphasized that it is the result of the long-term preferential and large-scale industrialization of the national economy. This policy, until the beginning of democratic changes in the country, put the development of the road infrastructure on the back burner, due to the limited resources and the set priority. Investment during the transition years is characterized by irrationality, mainly due to the lack of a justified, detailed developed and provided with financial resources long-term plan in this area. Bulgaria's accession to the European Union led to a rethinking of the content of the state infrastructure policy, a change of views and the need for rapid integration of the national transport system with the European one. The development of the transport infrastructure plays an important role in strengthening the ties between European countries and in the inclusion of new member states of the European Union. The country's road infrastructure affects the competitiveness, economic growth and employment of the working population. This report examines and analyzes the changes and modifications that have occurred in the structure, condition and density of Bulgaria's road infrastructure for the period 2007 – 2024. The main goal is to derive recommendations and guidelines for the future sustainable development of the country's road network based on the analysis of the development of the road infrastructure during the first eighteen years of Bulgaria's membership in the European Union.

Keywords: ROAD INFRASTRUCTURE, CONSTRUCTION, MODERNIZATION, REHABILITATION

1. Introduction

Based on their functions, the roads of the republican road network are divided into roads of international and national importance, which include motorways, first-class roads and some of the second-class roads categorized in the European network, and roads of regional importance, including the second-class and third-class road network. Most of the roads in the first group are part of the infrastructure of the pan-European transport corridors. They conduct transit flows and ensure the integration of the country's road network with that of neighboring countries, and are of important importance for the integration of the regions, both nationally and in Europe. The main functions of roads of regional importance are to provide connections between the major administrative and economic centers in the regions, as well as between the regions themselves, contributing to their integration. At the same time, they bring and redistribute traffic to the road arteries of national and international importance, in some cases serving border checkpoints and playing an important role in the development of cross-border cooperation.

The policy oriented towards integrating the national transport network with that of the European Union, as a newly admitted member state since 2007, led to a rethinking of the content of the state's infrastructure policy, to a change in views and the provision of financial resources for the development and modernization of the transport infrastructure.

2. Development of the republican road network of Bulgaria for the period 2007 - 2024

The changes in the length of the national road network, in total and by individual road classes for the period 2007 – 2024, are presented in Table 1. The growth of the road network for the eighteen-year period under consideration, which covers the years after Bulgaria's accession to the European Union, is a total of 561 km. [1] An increase is observed in motorways and third-class roads, respectively, by 427 km. and 223 km., there is no change in second-class roads, and the first-class road network decreases by 89 km.

Table 1: Development of the republican road network of Bulgaria for the period 2007 – 2024 (km.)

Years	Highways	First-class roads	Second-class roads	Third-class roads	Roads - total
2007	418	2975	4021	12011	19425
2009	418	2975	4028	12014	19435
2011	458	2970	4030	12054	19512
2013	605	2975	4035	12063	19678

2015	734	2954	4025	12140	19853
2017	734	2928	4028	12171	19861
2019	790	2900	4019	12170	19879
2021	806	2883	4019	12217	19925
2023	840	2879	4019	12230	19968
2024	845	2886	4021	12234	19986

NSI, Bulgaria

Only the increase in the kilometers of motorways is due to new construction, while third-class roads have increased mainly through a change in their functions in the country's transport system.

For the period 2007 - 2024, motorways in Bulgaria have increased by a total of 427 km, and for the period under review the average annual increase in the length of motorways in Bulgaria is equal to 23.72 km (Figure 1).

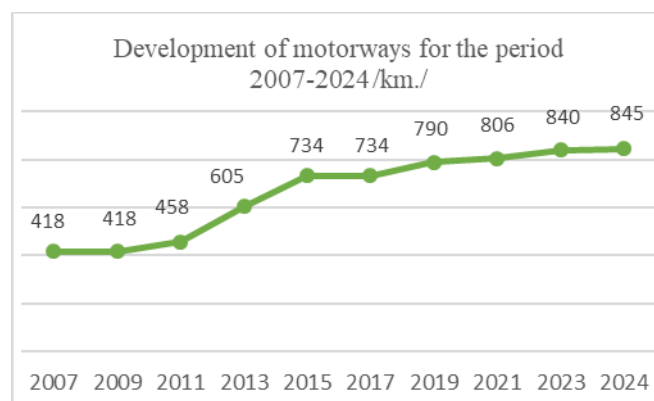


Fig. 1 Development of motorways in Bulgaria for the period 2007 – 2024.

The total increase of the republican road network by 561 km. for the eighteen-year period under consideration can hardly be called development and expansion of our road network. The slow growth rates are explained by the concentration of the provided budget funds on activities such as repair and rehabilitation. The average annual increase in the length of the republican road network is equal to 31.17 km.

The fact that by 2024, second-class and third-class roads make up more than 81% of the national road network, while the main one (motorways and first-class roads) does not reach a relative share of 19% is not encouraging. Motorways, in turn, make up, by the end of 2024, only 4.23% of the total length of the road network, which, despite their significant increase compared to 2007, is extremely small (Figure 2).

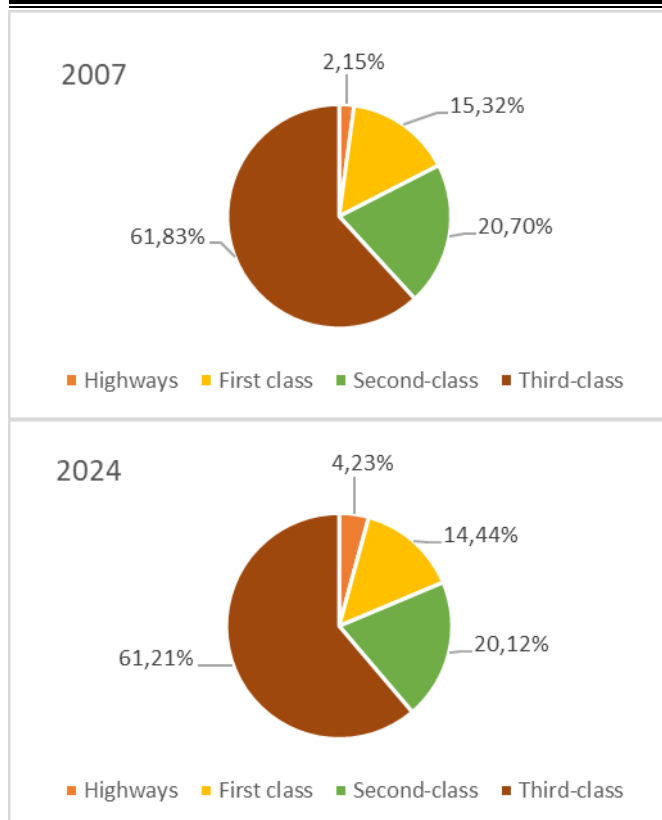


Fig. 2 Relative share of individual road classes to the total length of the national road network, for 2007 and 2024.

The unsatisfactory structure of the road network, according to the class of the road, combined with the slow pace of new construction outline the serious problems facing the state and the desired integration of our road infrastructure with the European transport system.

3. Changes in the density of the national road network for the period 2007 - 2024

A single European indicator for the degree of development of national road networks is their density. The density of the republican road network of Bulgaria is determined by the number of kilometers of road per 1000 sq. km. territory. The data presented in Table 2 shows that over the past eighteen years the density of the republican road network, although at a slow pace, has been increasing, reaching 180.1 km. per 1000 sq. km. territory for 2024. Taking into account the priorities of the national transport policy for the construction and completion of motorways and expressways, this trend is expected to continue in the coming years.

Table 2: Density of the RRN for the period 2007 – 2024 (km/1000 sq. km.)

Years	Highways	First-class roads	Second-class roads	Third-class roads	Roads - total
2007	3,8	26,8	36,2	108,2	175,0
2009	3,8	26,8	36,3	108,2	175,1
2011	4,1	26,8	36,3	108,6	175,8
2013	5,5	26,8	36,3	108,7	177,3
2015	6,6	26,6	36,3	109,4	178,9
2017	6,6	26,4	36,3	109,7	179,0
2019	7,1	26,1	36,2	109,7	179,1
2021	7,3	26,0	36,2	110,1	179,6
2023	7,6	25,9	36,2	110,2	179,9
2024	7,6	26,1	36,2	110,2	180,1

NSI, Bulgaria

The motorway density index in Bulgaria is below the average for the member states of the European Union (Figure 3). Despite the commissioning of new motorway sections in recent years, Bulgarian regions still lag significantly behind those in the old member states of the European Union in terms of accessibility to the motorway network.

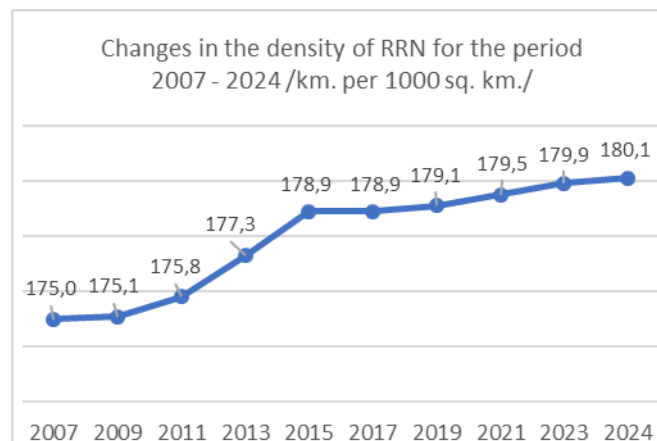


Fig. 3 Changes in the density of the republican road network for the period 2007 - 2024 (km / 1000 sq. km. of territory)

Individual countries have reached different degrees of development of the road network. In terms of road network density, Bulgaria is significantly behind the EU member states before 2004 and some other countries. At the same time, countries such as Finland, Norway, Slovakia and Turkey have a lower road network density. This shows the conditional nature of the comparison by this indicator, because the nature of the terrain and the width of the roads are not taken into account [2].

In our country, the most common are two-lane roads with a width between 6.00 and 7.50 meters. In Bulgaria, over 40% of the country's territory is mountainous and therefore less populated, so that overall the density of the road network could be considered satisfactory (Figure 4). The lower level of construction of the high-class road network in the peripheral border and northern parts of the country limits the opportunities for economic development of the territories that are remote from it, reduces the quality of life and defines them as insufficiently attractive for potential investors [3].

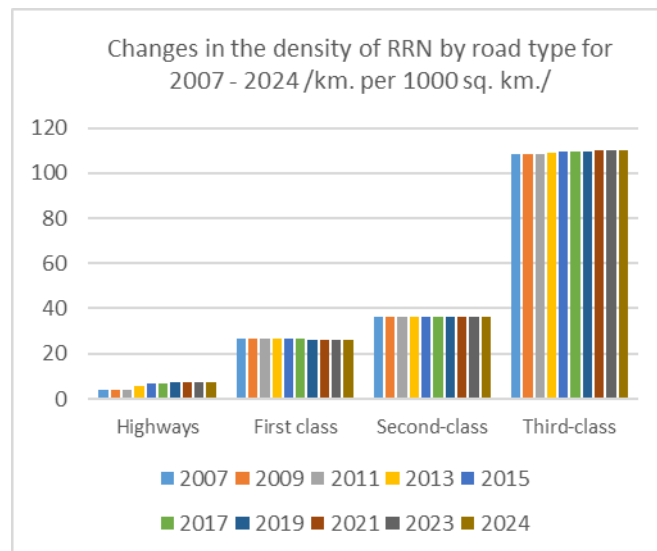


Fig. 4 Changes in the density of the republican road network by road type for the period 2007 - 2024 (km. / 1000 sq. km. of territory)

The priorities for building the road network in Northern Bulgaria will significantly improve transport services in this part of the country, while for the regions of Southern Bulgaria, the need for

development will mainly be on regional roads. The improvement and development of the road infrastructure in the southern border territories, in the coastal areas of the Danube River and in the hinterland of the Black Sea coast will significantly support the regional economy by using the local development potential.

4. Development of Bulgaria's road infrastructure according to the condition and type of pavement for the period 2007 - 2024

The Road Infrastructure Agency organizes the activities for the maintenance of the republican roads, both outside the borders of the settlements and for the carriageway of the republican roads within the borders of the settlements. The respective municipalities organize the activities for the maintenance of the republican roads within the borders of the cities, with the Road Infrastructure Agency participating in the financing with funds in the amount of the average annual costs for the maintenance of 1 km. of the respective class of road, provided for in the budget for the current year [4]. Table 3 presents the structure of the republican road network, according to the type of road surface for the period 2007 - 2024.

Table 3: Republican road network by type of pavement for the period 2007 - 2024 (km.)

Years	Asphalt roads	Roads with other surfaces	Paved roads - total	Unpaved roads	Roads - total
2007	18886	249	19135	290	19425
2009	18917	239	19156	279	19435
2011	19001	234	19235	277	19512
2013	19196	209	19405	273	19678
2015	19384	195	19579	274	19853
2017	19375	201	19576	285	19861
2019	19377	183	19560	319	19879
2021	19449	157	19606	319	19925
2023	19480	147	19627	341	19968
2024	19510	128	19638	348	19986

NSI, Bulgaria

The data shows that there are still unpaved national roads (348 km at the end of 2024 or 1.74% of the length of the national network), and the roads without permanent road construction are 128 km.

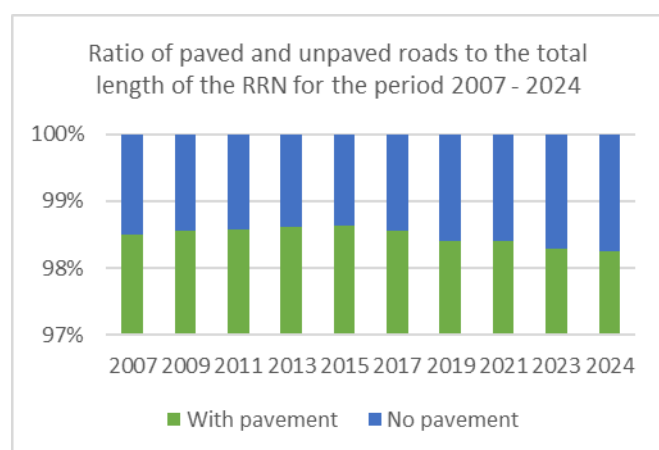


Fig. 5 Relative share of paved and unpaved roads to the total length of the republican road network for the period 2007 - 2024.

It is positive that by the end of 2024, 97.62% of the country's national roads are asphalted. The efforts of the Road Infrastructure Agency need to be directed towards reducing the number of republican roads without pavement and without permanent road construction in order to meet safety requirements [5].

5. Summary of results

After the analysis of the development of the country's road infrastructure for the period 2007 - 2024, the following main conclusions can be formulated: 1) The growth of the republican road network for the period 2007 - 2024, covering the years after Bulgaria's accession to the European Union, is a total of 561 km. An increase is observed in motorways and third-class roads, respectively by 427 km. and 223 km., second-class roads are unchanged, and the first-class road network decreases by 89 km. 2) A significant problem of the road network is the lack of good and fast transport communications between the regions in the northern and southern parts of Bulgaria [6]. To improve transport communications between the northern and southern parts of the country, it is necessary to allocate funds for the development of road connections through the Stara Planina passes, the operational condition of a large part of which is unsatisfactory. 3) The motorway density index in Bulgaria is below the average for the European Union member states. Despite the commissioning of new motorway sections in the period 2007-2024, Bulgarian regions still lag significantly behind those in the old European Union member states in terms of accessibility to motorways. 4) The lower level of development of the high-class road network in the peripheral border and northern parts of the country limits the opportunities for economic development of the territories that are remote from it, reduces the quality of life and defines them as insufficiently attractive for potential investors. 5) By the end of 2024, 97.62% of the republican road network in Bulgaria is asphalted, but there are still republican roads without pavement (348 km or 1.74%) and roads without permanent road construction (128 km or 0.64% of the republican road network).

6. Conclusion

Despite Bulgaria's membership in the European Union (since 01.01.2007), its road infrastructure is in an unsatisfactory operational condition and does not meet the requirements of the market and the priorities set in the country's transport policy, in connection with our membership in the European Union and the need for the national road network to quickly integrate with the pan-European one. The successful implementation of the approved programs and projects for the development of the road infrastructure will result in the achievement of high technical standards, reduction of travel time and operating costs, ensuring the necessary safety and comfort during travel. The development and improvement of the republican road network of Bulgaria will contribute to the integration of the national transport system into the pan-European one, will favor the strengthening of economic relations with neighboring countries and will create conditions for growth of the economy as a whole.

7. References

1. Statistical Handbook 2024, NSI, Bulgaria, (2024);
2. Special Report 09/2020 on the EU Core Road Network, European Court of Auditors, <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/core-road-network-9-2020/bg/>, (2020);
3. G. Dimitrov, Analysis and assessment of the development of Bulgaria's land infrastructure in the conditions of EU membership. *Transport Connectivity 2020*, Publishing Complex - UNWE, pp. 25-33, (2021);
4. Regulations for the implementation of the Roads Act, published in the Official Gazette No. 98 of 1 December 2000, amended in the Official Gazette No. 36 of 13.05.2022, (2022);
5. I. Gatovski, B. Arnaudov, Trends in the development of transport infrastructure in Bulgaria, *Economic and social alternatives*, Issue 2, pp. 5-23, (2023);
6. Strategy for the Development of Road Infrastructure in the Republic of Bulgaria 2016–2022, MTITC, (2016).

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОВЕЖДАНЕТО СТАТИСТИЧЕН АНАЛИЗ НА ДЕБЕЛОСТЕННА ТРЪБНА КОНЗОЛА С РАЗЛИЧНА ДЪЛЖИНА

PECULIARITIES IN CONDUCTING STATISTICAL ANALYSIS OF THICK-WALLED TUBULAR CANTILEVERS OF DIFFERENT LENGTHS

Д-р Инж. Минев С. М.,
BBBY „Г. Бенковски“ Долна Митрополия, България

subi.minev@abv.bg,

Abstract: One-dimensional longitudinal deformations of a thick-walled tubular console, attached at one end with protrusions (pins) to a massive element in mass and dimensions, are considered. Dependencies used in resistance of materials are used as a mathematical model. The choice of the model implies the need to take into account the effects of longitudinal deformation of a thick-walled tubular console during its functioning. Artillery bodies of fire systems are adopted as a model for a thick-walled tubular console. A statistical analysis has been performed and two types of bodies of artillery systems have been distinguished. Using the rules of operation described in the resistance of materials, a scheme for the action of forces and moments is presented. The strength characteristics of steels and the content of alloying elements in them for the manufacture of artillery bodies are presented. Two types of steels were selected for this case.

Ключови думи: дебелостенна тръбна конзола, статистичен анализ, надлъжни деформации, артилерийски тела, провисване.

1. Въведение

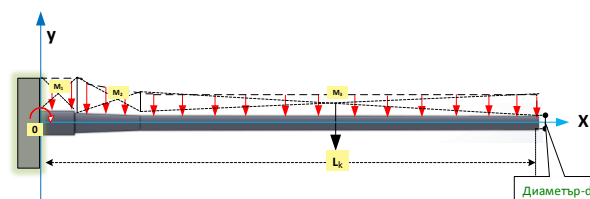
Известно е, че във всяка работеща механична система възникват колебателни процеси при статични и динамични режими на работа, които са резултат от множество причини. Колебателните процеси могат да бъдат следствие: от конструктивните особености на системата, или от преразпределението на натоварванията между различните елементи на нормално работеща структура. Наличието на източници на колебателни процеси в един механизъм може да усложни диагностиката на неговото състояние и дори да доведе до нарушаване на режима му на работа, а в някои случаи и до разрушаване. Различни проблеми, свързани с нарушаване на точността и производителността на механичните системи в резултат на вибрации на някои от техните елементи, често се решават на практика експериментално. По този начин последиците от хода на колебателните процеси могат да бъдат различни, както и причините, които ги причиняват. В частност при надлъжни колебателните процеси изразени, чрез вибрации на дебелостенна тръбна конзола при функционирането ѝ, възниква необходимостта от теоретично изследване на зависимостите между дължина ѝ и деформациите в нея.

Модела на деформациите получени от статистически анализи на относително дълги и тънки твърди тръбни конзоли, основаващи се на уравнението от съпротивление на материалите, при динамиката на тяхното функциониране на вълните, разпространени в метала е добре проучен и отдавна се е превърнал в класика [1]. Освен това тези аналогии са отразени в статията за преглед [2].

Но някои от моделите не дават напълно информация за колебанията в дебелостенна тръбна конзола, закрепена в единият си край до масивно тяло. За целта е необходимо да се изследват особеностите при функционирането на дебелостенна тръбна конзола, като елемент на огнева система, като се вземат предвид деформациите на конзолата в надлъжна и напречна посока [3]. Математическият модел на надлъжни деформации, който отчита ефектите на движение на конзолата се нуждае от актуализация.

2. Постановка на проблема

Нека да е дадена дебелостенна тръбна конзола, закрепена в единият си край на неподвижно масивно тяло с координати, $x = 0$ и $y = 0$ с помощта на издътци, (цапфи) с променливо напречно сечение с дължина L_k . На тръбната конзола се наблюдават концентрирани маси M_1 , M_2 притежаващи твърдост K_1 и K_2 . За изследването ще приемем, че конзолата се състои от едно тяло за време t_1 , време на стационарно състояние конзолата.



Фиг.1. Ескиз на дебелостенна тръбна конзола с концентрирани маси M_1 , M_2 , M_3 .

Ще приемем, че дебелостенната тръбна конзола се върти около оста Ox във вертикалната плоскост, Фиг.1. Условието за функциониране се определят от метода на закрепване на конзолата: краищата ѝ са прикрепени към неподвижни основи с помощта на някои устройства, издътци, (цапфи). Наличието на маси и отчитането на надлъжните измествания при функционирането на конзолата предполагат динамични линейни променливи свързани с линейни деформации и вътрешно износване под комплексното изместване на температурата [4]. Следователно основната задача, която се поставя за решаване заключава: чрез провеждането на статичен анализ с използване част зависимости от съпротивлението на материалите да се определят линейните и ъгловите отклонения на конзолата при статично положение.

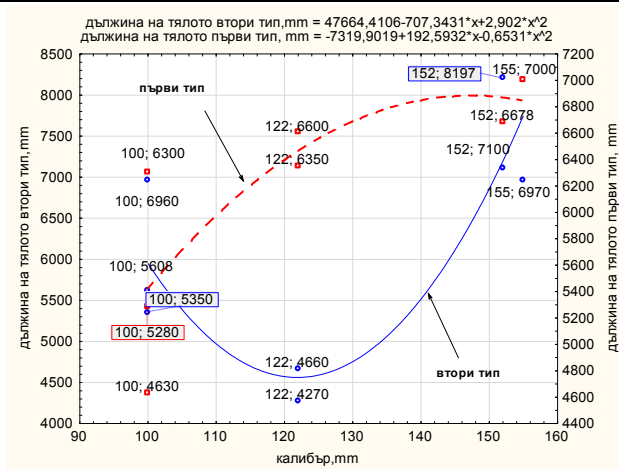
Оръжието обикновено е закрепено на две места, които се считат за еластични опори. Междинното звено между оръжието и лафета са противооткатните устройства, които осезаемо разтягат приложението на силите, действащи от оръжието по време на изстрела.

В качеството на дебелостенни тела ще разгледаме оръдейни тела на артилерийски системи.

Интерес представлява оценката на влиянието на осеви радиални колебания на тялото върху скоростта на снаряда по тялото. При движение на снаряда по тялото то периодично се отклонява от номиналната стойност (калибър) поради осеви измествания. В резултат на което силата на триене на снаряда по стените на тялото се променя и следователно началната скорост на снарядите във външния балистичен процес ще бъде различна, включително в зависимост от амплитудата и честотата, с които възникват радиалните осеви колебания [5].

3. Типове артилерийски тела

Типовете артилерийски тела притежават конструктивно различни дължини и диаметри (калибри), милиметри. Същите са представени на фиг.2.



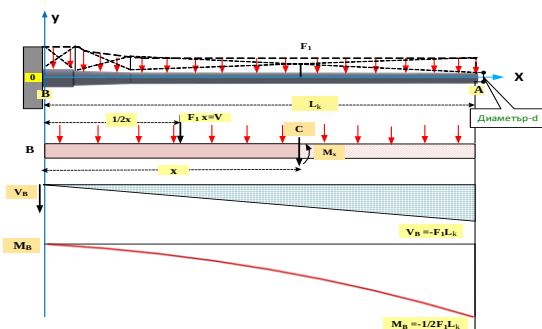
фиг.2. Артилерийски тела с дължини и калибри от първи и втори тип

В съвременните тенденции, конзолите от първи тип притежават калибри от $100 \leq d \leq 125$ mm и дължина на тялото в милиметра, фиг.2. Тенденциите в последните години налагат калибри от 120 до 125 mm и дължина на тялото, конзолата от 5300 до 7000 mm.

За вторият тип артилерийски тела е характерно, че притежават калибри от $100 \leq d \leq 155$ mm и дължина на тялото $100 \leq d \leq 155$ mm фиг.2. А тенденциите в последните години са калибри от 152 до 155 mm и дължина на тялото и конзолата от 6300 до 8100 mm.

4. Физическо описание, модел и метод на изследването

С използването на метод за определяне на статичното отклонение на дебелистенната цилиндрична конзола е необходимо да се определи деформацията, (провисването) на краят на конзолата спрямо началото на координатите, а също така и ъгъла на завъртане [6]. Важно за изследването е определяне на зависимостта между вътрешния диаметър, калибър d , дължината на конзолата L_k и метала за нейната изработка. Нека да начертаяме диаграми на срязване и огъващ момент за конзолна греда ВА с разстояние, носеща равномерно разпределено натоварване, представено на фиг.3



Фиг. 3. Диаграма на конзолна греда(тяло) на срязване и огъващ момент на артилерийска система

От съпротивление на материалите се приема, че моментите, огъващи греда, в частност дебелистенната тръбна конзола с нейната изпъкналост надолу, са положителни, в противен случай са отрицателни [7]. За положителни сили на срязване V се приема правилото, според което те са склонни да завъртят конзолата по посока на часовниковата стрелка, Фиг.3. Освен това, ако разгледаме равновесието на сечение на конзолата и съгласно аксиомата на ограничениятия, трябва да бъдат заменени с техните реакции. В общия случай всяко сечение трябва да има три реакции: сила на срязване, нормална сила и реактивен момент [8]. Нека да демонстрираме посочената диаграма със следният пример. Да разрежем тялото на артилерийската система в точка С между В и А и

начертаваме диаграма на свободното тяло АС (фиг. 3), с посока на силата V и момента M_B , както е показано на фиг. 3. Означавайки с x разстоянието от В до С и замествайки разпределеното натоварване върху ВС с резултантното $F_1 x$ приложено в средата на АС, записваме:

$$(1) \quad +\uparrow \sum F_y = 0: \quad -F_1 x - V = 0 \quad V = -F_1 x$$

$$(2) \quad +\uparrow \sum M_C = 0: \quad F_1 x \left(\frac{x}{2}\right) + M = 0 \quad M = -\frac{1}{2} F_1 x^2$$

И отчитаме, че диаграмата на срязване е представена с наклонена права линия (фиг.3), а диаграмата на огъващите моменти - с парабола (фиг.3).

Максималните стойности на V и M_B се срещат в началото на тялото точка В, където имаме:

$$(3) \quad V_B = -F_1 L_k \quad M_B = -\frac{1}{2} F_1 L_k^2$$

Посочените зависимости предполагат, че външните сили действащи на тялото са вертикални, така че нормални реакции не възникват в сечението и тези реакции не са изобразени на фиг.3. И още условието за равновесие са уравненията на равновесието, където всички външни сили, приложени към разглежданата част от тялото, включително реакциите на връзките, съответстващи на търсените моменти и сили ще се отчитат, но няма да се изобразяват.

Конкретно във връзка с посоченото, нека разгледаме постановката на задачата за надлъжни и напречни колебания на тялото на артилерийско оръдие в едномерно приближение в статично положение. Напречните колебания в този случай ще се разглеждат само във вертикална равнина спрямо оста на симетрия на оръдието. В хоризонталната равнина вертикалните колебания ще бъдат основа на изследването. За целта нека изберем декартова координатна система Оху (фиг. 3), свързана с не деформирано тяло на оръдието. Началото на координатите О се намира в центъра на затворения срез на тялото. Нека оста Ох съвпада с оста каналната линия на тялото. А оста Оу е във вертикалната равнина, перпендикулярна на оста Ох. Тогава, под действието на гравитацията и масата на тялото и други сили, то ще получи вертикалната деформация, провисване на точка А. Тъй като величината на провисването влияе на ъгълът на изхвърляне на снаряда Q е необходимо неговото определяне, което се изчислява като ъгъл, образуван от оста Ох и посоката на допирателната към линията, съвпадаща с центъра на отвора на тялото, в точката на дулната част в момента, в който снарядът излита. Стойността на вертикалната деформация зависи от дължината на тялото L_k калибърът на оръдието и качествата на стоманата, от която е изработено тялото.

5. Стомани за производството на артилерийски тела

Стоманата е сплав от желязо и въглерод, чийто процент може да варира от 0,1 до 2.5%. Стоманата може да съдържа и други легиращи елементи, но най-важният от тях все пак е въглеродът. Благодарение на наличието на въглерод, стоманата може да бъде закалена, темперирана и нормализирана, като по този начин се осигурява необходимата от твърдост или мекота в много широк диапазон. Като цяло, за производството на тяло се използва стомана с по-високо съдържание на въглерод, отколкото е необходимо за производството на части за механизми. Съвременните стомани за тяло преминават през строги тестове за якост на опън. Началото на пластичната деформация трябва да съответства на натоварване от $77,5 \text{ kg/mm}^2$ (50 тона на квадратен инч), [9]. Освен това, преди разрушаване, относителното удължение на изпитваната проба не трябва да надвишава 20%. Поради факта, че металургията е достигнала високо ниво на развитие през последните години, широко се използва никелова стомана. Например оръжейната стомана е стомана 1350 според класификацията на SAE, в която съдържанието на силиций е увеличено с 0,25%. Термичната обработка значително увеличава якостта и еластичните свойства на такива стомани. Допълнително режимите им на термична обработка до голяма степен зависят от процентното съдържание на легиращи елементи. Чрез въвеждане на легиращи елементи като хром или никел се

постига повишаване на якостните показатели на стоманата, без да се увеличава нейната крехкост.

Като най-добрият материал за изработка на тела са именно сплавите, легирани с никел и хром. Конкретно използваната стомана за специални оръдия съдържа въглерод ($C=0,9-1,9\%$) и комбинация от хром-никел-молибден или хром-никел-вольфрам със следния ориентировъчен процент съдържание на легиращи елементи: $Cr=0,2...0,6\%$; $Mo=0,2...0,5\%$; $W=0,5...0,8\%$.

Оръдейните стомани са висококачествени стомани със съдържание на сяра и фосфор не повече от $0,03\%$ всеки.

Например, оръжейната стомана ОХН2М има стандарта на твърдост F-80, която означава границата на еластичност от най-малко 800 МПа. За западните огневи системи най-често се използва марка стомана Alloy(SS) с граница еластичност, твърдост от най-малко 750 МПа. Посочените марки стомани и техните якостни качества са в основата на величината на статична деформация огъване на тялото.

6.Статична вертикална деформация, отъване на артилерийското тяло

Статичната вертикална деформация на тялото се разбира като еластично огъване под действието на собствената му маса в бойно положение на оръжието преди изстрел. Желаната форма на огъване на предната част на тялото от собствената му маса се определя, чрез решаване на уравнението на надлъжните колебания.

Нека разгледаме едномерно уравнение за статично отклонение на еластично тяло с един неподвижен и втори свободен край под действие само на гравитацията. Решението на това уравнение ще бъде началното условие за решаване на задачата за колебанията на тялото. Диференциалното уравнение за надлъжни деформации, отчитащо само гравитацията, ще приеме вида:

$$(4) \quad \frac{dx^2}{dx^2} \left(EJ_z(x) \frac{dx^2}{dx^2 y(x)} \right) = q(x)$$

където: E – модул на Юнг; J_z – момент на инерция на сечението; y – отклонение във; q – разпределен интензитет на натоварване.

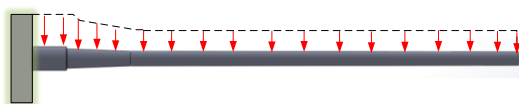
Записваме уравнението на деформираната ос на тялото във вид на четири диференциални уравнения от първи ред:

$$(5) \quad \begin{aligned} \frac{dy(x)}{dx} &= \theta(x), \text{ отклонение} \\ \frac{d\theta(x)}{dx} &= \frac{M(x)}{EJ_z}, \\ \frac{dM(x)}{dx} &= Q(x), \\ \frac{dQ(x)}{dx} &= q(x), \end{aligned}$$

Решаването на системата от диференциални уравнения (5) изглежда възможно само за прости случаи. Реалната конфигурация на тяло е изключително сложна (освен това не може да се изключи такъв случай, когато тя ще бъде образувана не само от конични и цилиндрични повърхности), поради което е разумно да се реши проблемът, като се оближи конфигурацията на тялото с едномерни крайни елементи с дадена точност, която зависи от броя на крайните елементи (KE). В тази настройка крайният едномерен елемент ще бъде тръба с дължина L_k , с вътрешен R1 и външен R2.

Но тъй като представеният аналитичен модел и метод с отчитане характеристиките на твърдостта на телата е трудоемък, то се предлага да се използва извършването на статичен анализ с пакета SOLIDWORKS. За целта се разглеждат два типа тела на артилерийски системи.

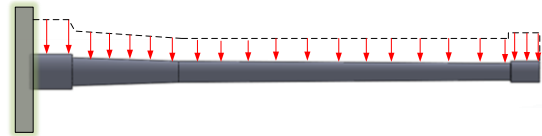
Артилерийски тела от първи тип. Данните - калибърът и дължината на тялото са представени на фиг.2.1. Схематично контурите на тялото от този тип са представени на фиг.4.



Фиг.4. Контур ,очертание на артилерийски тела първи тип

Посочените контури се използват в гладстволните и танковите оръдия в света.

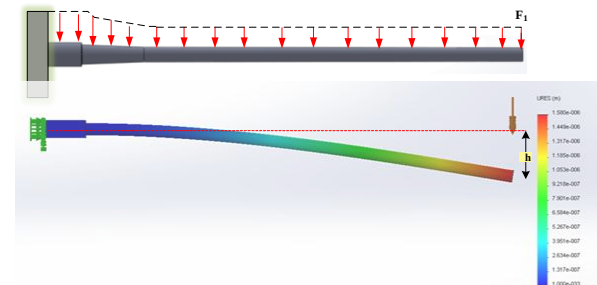
В оръжейната практика интерес представляват артилерийските тела от втори тип използвани в артилерийски дългоцевни системи снабдени с дулни спирачи. Данните, представени на фиг.2.2. се отнасят за повечето оръдия в света. Вариант на подобни артилерийски тела е представен на фиг.5.



Фиг.5. Контур ,очертание на артилерийски тела втори тип

Важно в очертанията на артилерийските тела е наличието на дулен спирач, който допълнително със своята маса повишава величината на деформацията.

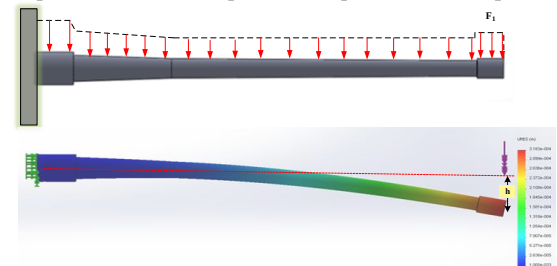
Методът за определяне на статичното отклонение, деформацията в линейни размери и ъгъла на отклонението на оптичката ос на основа на предложения модел е представен и реализиран под формата на програма SOLIDWORKS демонстриран фиг.6 .



Фиг. 6. Деформации стойност на провисването от първи тип

Стойността на провисването h на артилерийски тела от първи тип е в рамките на $h = 3 - 5mm$ при дължина на тялото $L_k = 4500...6000mm$

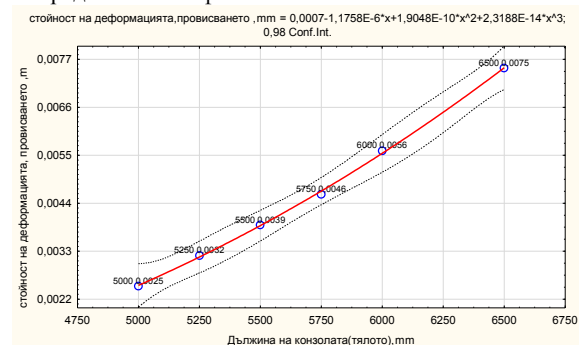
Стойностите на деформациите за преобладаващите артилерийски тела от втори тип са представено на фиг.7.



Фиг.7. Деформации стойност на провисването от втори тип

Стойността на провисването на h в рамките на $h = 5 - 7mm$. Това е за дължина на тялото $L_k = 4500...7000mm$.

Обобщаващо стойността на деформациите от първи и втори тип са представени на фиг.8.



фиг.8. Стойности на деформациите статичен анализ на провисването на телата

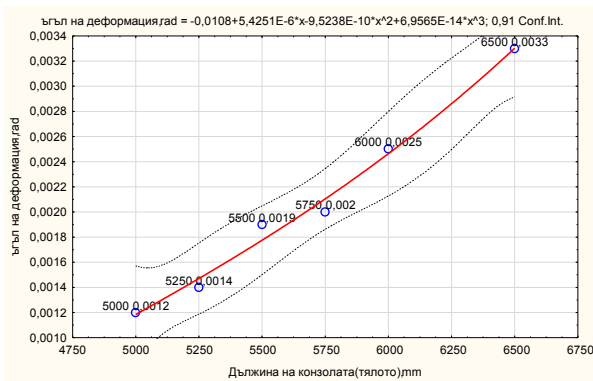
Анализът на получените резултати от моделирането на надлъжните деформации на артилерийските тела разгледани като еквивалентна конзола, се наблюдава, че те формират почти квадратична зависимост, (фиг.8.). Изразена като полиномна зависимост, стойността на вертикалната деформация, провисването на телата при статично състояние, в mm е представена в (6).

$$(6) \quad def = 0,0007 - 1,1758E - 6x + 1,9048E - 10x^2 + 2,3188E - 14x^3; \quad 0,98 \text{ Conf.Int.}$$

Важно във функционирането на телата разгледани като конзолни системи се явява ъгълът на деформацията в предната част, свободният край на конзолата. Същият се определя по зависимостта:

$$(7) \quad \beta = \frac{h}{L_k} [\text{rad}]$$

Обобщаващо, проведените разчети с различни дължини и конструкции на артилерийски тела са представени на фиг. 9.



Фиг.9. Стойности на ъгъла при статична деформация на тялото

Ъгълът на деформация β в ъглови величина, радиани (rad) може да се запише:

$$(8) \quad \beta = -0,0108 + 5,4251E - 6x - 9,5238E - 10x^2 + 6,9565E - 14x^3; \quad 0,91 \text{ Conf.Int.}$$

Стойностите на β оказват съществено значение при стрелба с артилерийски системи, свързани главно с нейната точност.

7. Резултати от моделирането

Разгледани като обобщаващ модел - конзола артилерийските системи от първи и втори тип, колебанията на тялото е от голямо практическо значение за определяне на точността и прецизността на стрелбата.

Решенията на диференциалните уравнения на колебанията на тялото във вертикалната равнина получени, в 4 и 5 чрез интерполационен метод се явяват трудоемки. Поради това, верификацията на получените резултати е извършена въз основа на сравнение на решенията на задачите в едномерни и тримерни постановки чрез използване на пакета SOLIDWORKS.

Отклоненията в амплитудата на колебанията, провисването на тялото са в нормите от 5 до 8%. Въпреки това, със същите изчислителни ресурси, времето за изчисление на колебанията на тялото, използвайки триизмерен модел е с няколко порядъка по-голямо от времето за изчисление в едномерен модел.

Резултатите от моделирането на надлъжните колебания на тялото във вертикалната равнина разкриха отклонения в ъгъла на стрелба при напускане на снаряда, тялото с дължина $L_k = 4500 \dots 7000 \text{ mm}$ в рамките на $\beta = 0.0032 \dots 0.0033 \text{ (rad)}$. Това има съществено влияние върху точността на единичните изстрели.

Резултатите от моделирането показаха следната зависимост: удължаването на тялото, разгледано като конзола само с 1000 mm води до повече от 1.5...2 пъти увеличаване на статичното отклонение ъгъла β получена дулната част. По този начин промяната в характеристиките на твърдост при

изработката телата артилерийските системи, трябва да се вземе предвид при модернизацията на същите [10].

8. Заключение

В статията е предложен математически модел за определяне на статичната деформация и ъгъла на завъртане на конзола, с представен модел на тяло на артилерийска система. Използваният пакет за моделиране SOLIDWORKS позволява да се използва за получаване към първо приближаване резултати за проектиране на артилерийски системи.

Литература

- Орлов Б.В., Ларман Е. К., Маликов В.Г., Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий, М., Машиностроение, (1976), 432с
- Семёнова Галина А., Динамика толстостенной неоднородной трубы с геометрическими несовершенствами., Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Орёл, (2008)
- Жуков И.И., Федотов А.И., Артиллерийское вооружение, Основы устройства и конструирование, Учебник для вузов, М"Машиностроение", МОПО Российской Федерации Пермский государственный технический университет, (1998), 420с
- Зайцев А.С., Проектирование артиллерийских стволов: учебное пособие, Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., (2007). 164 с.
- Бейлин А.Б., Продольный упруго закрепленного нагруженного стержня, Вестн. Сам. Гос.техн. ун-та Сер. Физ. мат. Науки, (2021), 216.249-258с
- Craig R. R., Edition T., Mechanics of materials, MDSolids software by, (2020).
- Милков В. Д., Съпротивление на материалите, Технически университет – Варна, (2008)
- Nichev, N., & Koynakov, K., Use of unmanned aircraft in the logistics support of military formations. The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM), 31, 92-99, (2024).
- Thilpot T. A., Hibbeler R. C., Mechanics of materials eighth edition, (2010).
- Минева С.К., Изследване и повишаване на ефективността на финансовия мениджмънт на съвременните организации, НВУ"В.Левски", В.Търново, (2025).
- Стефанов С., Съпротивление на материалите, ЧАСТ I, Издателска къща при ЛТУ-София, (2007)
- Beer F. P., Johnston E. R., Mazurek D. F., Mechanics of materials, Late of Lehigh University, (2015).

Laser-induced plasma (lip) based on high-resolution spectroscopic analysis

Nugzar Gomidze^{1,a}, David Jakobia^{1,b}, Jaba Shainidze^{1,c}, Miranda Khajishvili^{1,d},

Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia¹

gomidze@bsu.edu.ge, davit.jakobia@bsu.edu.ge, miranda.khajishvili@bsu.edu.ge, jaba.shainidze@bsu.edu.ge, izolda.jabnidze@bsu.edu.ge, lali.kalandadze@bsu.edu.ge, zebur.surmanidze@bsu.edu.ge

Abstract: This study focuses on Laser-Induced Plasma (LIP) diagnostics based on high-resolution spectroscopic analysis to improve the reliability of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) for elemental characterization. The inherently non-uniform and temporally unstable nature of laser-induced plasmas remains one of the major challenges affecting the accuracy of quantitative LIBS results. In this work, we combined deterministic and stochastic modeling approaches to describe plasma evolution, with a particular emphasis on ionization–recombination dynamics. Plasma parameters such as electron temperature (T_e) and electron density (n_e) were derived using Stark broadening and Boltzmann plot methods, while the effects of temporal fluctuations were evaluated using stochastic differential equations (SDE) solved by the Euler–Maruyama algorithm. Experimental validation was performed with StellarNet Nd:YAG-based LIBS systems on a variety of metallic samples. The results demonstrate that incorporating stochastic fluctuations into traditional deterministic models significantly improves plasma parameter estimation. This integrated methodology strengthens the diagnostic capability of LIBS, reduces uncertainty in quantitative analysis, and provides a robust framework for applying high-resolution spectroscopic techniques to the study of complex materials.

KEYWORDS: LASER-INDUCED PLASMA (LIP), SAHA EQUATION, BOLTZMANN PLOT

1. Introduction

Laser-induced plasmas (LIP) are created when a high-energy laser pulse ablates a material's surface, forming a hot plasma plume. This phenomenon underpins LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) and related techniques, where plasma parameters such as temperature, electron density, and ionization degree determine the diagnostic emission spectra (Griem, 1997; Radziemski & Cremers, 2006).

Recent studies emphasize accurate plasma diagnostics using Stark broadening, Boltzmann plots, the Saha equation, and stochastic modeling to capture temporal fluctuations in ionization–recombination processes (Wang et al., 2021; Chen et al., 2022; Peng et al., 2023; Iriarte et al., 2023). Our prior work on statistical analysis of laser radiation scattering and spatiotemporal plasma evolution (Gomidze et al., 2012–2018) provides the foundation for this approach.

Non-uniform and unstable plasma dynamics remain a major challenge for LIBS accuracy, as varying electron temperature (T_e) and density (n_e) cause spectral line broadening and self-absorption (Bulajic et al., 2022). Stochastic differential equation (SDE)–based models, combined with deterministic methods like Runge-Kutta integration and the Euler–Maruyama algorithm, offer a more realistic representation of plasma behavior. These approaches align with recent advances in two-fluid and magnetohydrodynamic (MHD) models that separately describe electron and ion dynamics (Gorbunov et al., 2023), thus improving the reliability of LIBS diagnostics (Gomidze & Shainidze, 2018).

2. Problem Statement

Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) is one of the most powerful analytical techniques for elemental analysis; however, it faces a significant challenge: the non-uniform and temporally unstable dynamics of the laser-induced plasma substantially reduce the accuracy of quantitative results. The plasma formed during laser ablation undergoes rapid changes in electron temperature (T_e) and electron density (n_e), leading to strong spatial inhomogeneities. These factors cause spectral line broadening and self-absorption effects, which complicate the correct interpretation of spectral data.

Ionization–recombination processes are particularly important because they define the emission spectra of the plasma. Traditional equilibrium-based approaches, such as the Saha equation [Griem, 1997; Radziemski & Cremers, 2006], often fail to reflect the non-thermodynamic equilibrium (non-LTE) conditions that are common in LIBS plasmas.

Therefore, it is essential to develop models that simultaneously account for deterministic plasma dynamics and

stochastic fluctuations. The accuracy of these models must be validated through experiments using high-resolution spectra, and reliable diagnostic methods—such as Stark broadening, Boltzmann plots, and intensity ratio analysis should be implemented. This will significantly reduce errors in estimating plasma parameters and enhance the reliability of the LIBS technique.

3. Theoretical Background and Computational Modeling

The laser energy threshold, above which ablation starts, is expressed as [Ready, 1997] and [Eason, 2007]:

$$F_{th} = \frac{H_v \rho \delta}{1-R} \quad (1)$$

where: F_{th} - ablation threshold fluence, H_v - enthalpy of vaporization, ρ - material density, δ - absorption depth, R - surface reflectivity coefficient.

In LIBS systems, determining the degree of ionization is of particular importance. Under thermodynamic equilibrium conditions, the mathematical description of the ionization process in plasma is given by the Saha equation. It is derived based on statistical physics, specifically using the Boltzmann and Gibbs distributions by equalizing the chemical potentials of the particles. Let us consider the reaction occurring in thermally equilibrated plasma:



where A_i - is the neutral atom, A_{i+1}^+ is its ionized form, and e^- is the electron. Let us write the chemical equilibrium condition in the plasma at equilibrium [Griem, 1997]:

$$\mu_i = \mu_{i+1} + \mu_e \quad (3)$$

$$\mu = k_B T \ln \left(\frac{ng}{Z} \right) \quad (4)$$

μ is the chemical potential, n is the particle concentration, g is the statistical weight, and Z is their partition function.

By combining equations (3) and (4) and using statistical and quantum mechanical approaches, we obtain the modified form of the Saha equation [Griem, 1997; Radziemski & Cremers, 2006]:

$$\frac{n_{i+1}n_e}{n_i} = \frac{2}{\Lambda^3} \frac{g_{i+1}}{g_i} \exp \left(-\frac{E_{i+1}}{k_B T} \right) \quad (5)$$

where: n_{i+1} - particle concentration in a higher ionization state; n_i - particle concentration in a lower ionization state; n_e - electron concentration; Λ - thermal de Broglie wavelength; g_i , g_{i+1} - statistical weights of the particles; E_{i+1} - ionization energy; k_B - Boltzmann constant; T - plasma temperature.

It is precisely through the Saha equation that one can estimate which ionization levels will be active at a given temperature and electron density, which is essential for the correct interpretation of spectral lines and for improving the accuracy of elemental analysis.

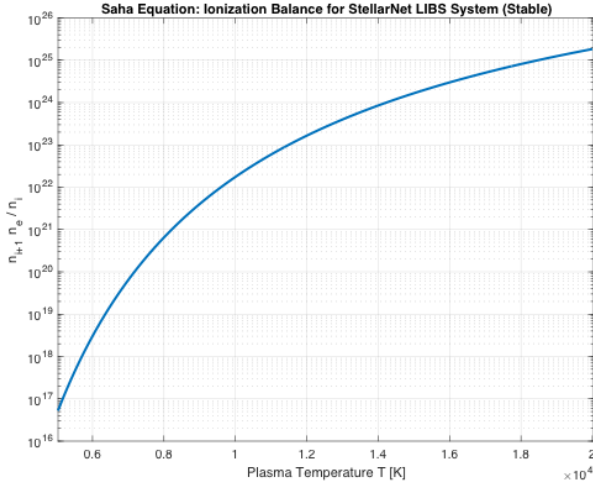


Fig. 1. Ionization balance as a function of temperature in logarithmic scale

Using the Saha equation, it is possible to calculate the populations of different ionization states in plasma, which is important for the accuracy of elemental analysis. The classical Saha equation provides the degree of ionization in plasma under thermodynamic equilibrium, but for non-equilibrium (non-LTE) conditions, it is necessary to introduce the time dependence when determining the ion populations.

Let us assume that the populations of different ionization states of an element in the plasma depend on time, that is [Konjevic, N., & Roberts, J. R. (2021)]:

$$\frac{dn_i}{dt} = G_i - L_i \quad (6)$$

n_i – the number of particles in the i -th ionization state per unit volume; G_i – the generation (ionization) rate for the transition into the i -th state; L_i – the loss (recombination) rate occurring during transitions from the i -th state to other states. For ionization ($i \rightarrow i+1$) and recombination ($i+1 \rightarrow i$), we can use the following relations [Chen, X., Li, M., & Wang, J. (2022)]:

$$G_i = n_e n_{i-1} S_{i-1}^{ion}(T_e) \quad (7)$$

$$L_i = n_e n_i \alpha_i^{rec}(T_e) \quad (8)$$

G_i and L_i respectively represent the ionization and recombination rates; $S_{i-1}^{ion}(T_e)$ – the ionization coefficient (a function of the electron temperature T_e); α_i^{rec} – the recombination coefficient (also a function of T_e).

The final equation:

$$\frac{dn_i}{dt} = n_e [n_{i-1} S_{i-1}^{ion}(T_e) - n_i \alpha_i^{rec}(T_e)] \quad (9)$$

The electron concentration is determined from the quasi-neutrality condition of the plasma:

$$n_e = \sum_{j=1}^{Z_{max}} (jn_j), \quad j = 1 \dots Z_{max} \quad (10)$$

In LIBS, the intensity ratio is often used:

$$\frac{I_{ion}}{I_{neutral}} = C \cdot \frac{n_i^{+1}}{n_i} \quad (11)$$

where C depends on the transition probability A_{ki} , the wavelength λ , and other parameters (from NIST data). This approach is particularly useful when the direct determination of the electron density (n_e) and electron temperature (T_e) is challenging. By using the ratio of the emission line intensities from ionized and neutral species, it is possible to indirectly estimate the ionization degree of the plasma, which can then be linked to the electron temperature through the Saha equation.

During the ablation process, the electron temperature of the plasma is: $T_e = 15000$ K, and the total atom concentration is $n_{total} = 10^{18}$. The population of each ion is determined by ion generation (ionization) and recombination. For example: a neutral atom can become a singly ionized ion if it loses an electron, while a triply ionized ion can be reduced to a doubly ionized ion if it captures an electron through recombination.

Since each ion in the plasma leaves behind a different number of electrons, the total number of electrons is calculated as [Griem, H. R. (1997)]:

$$n_e = n_{total} = n_1 + 2 \cdot n_2 + 3 \cdot n_3 \quad (12)$$

Fluctuating processes affect the ionization-recombination process of particles. Therefore, when describing the ion concentrations, we must consider their fluctuating variation over time:

$$n_i(t + dt) = n_i(t) + dt \cdot \frac{dn_i}{dt} + \epsilon_i(t) \quad (13)$$

where $\epsilon_i(t) \sim N(0, \sigma_i^2)$ are random fluctuating deviations caused by ion-electron collisions, for which a normal distribution model is mathematically assumed (fig.2).

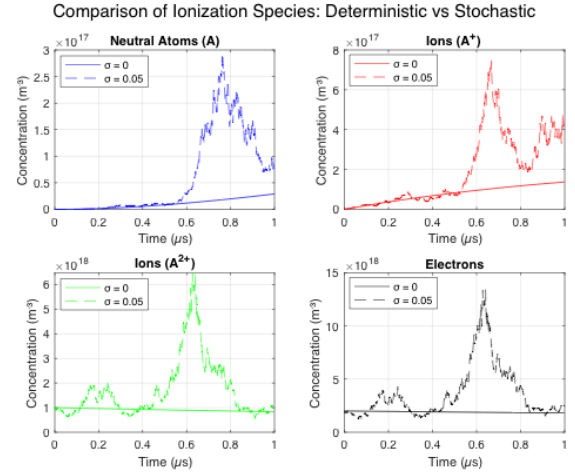


Fig. 2. Progress of the ionization process in the LIBS system chamber for deterministic ($\sigma = 0$) and stochastic ($\sigma = 0.05$) cases

3. Objectives and Research Methodology

LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) experiments were conducted on selected metallic samples: copper (Cu), lead (Pb), a copper-zinc alloy (brass), aluminium (Al), stainless steel (Fe-Cr-Ni alloy), and titanium (Ti). The samples were pre-sorted by code, material type, and thickness (0.1–0.5 mm).

At the beginning of the experiment, the surface of each sample was cleaned to remove the oxide layer and contaminants. Copper and aluminium were treated with particular care, as their surfaces oxidize rapidly, which could affect the intensity of the recorded spectra. The samples were selected to be approximately the same size, as illustrated in Fig. 3.

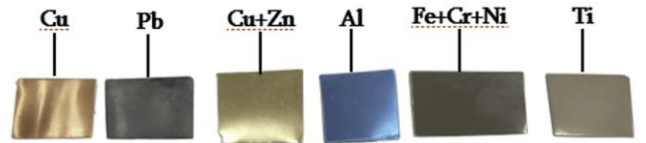


Fig. 3. Approximately equal-size samples selected for analysis

The samples were placed and firmly mounted on a black ceramic substrate, which ensured stability and had a neutral influence on the spectrum. Thin samples (0.1 mm copper and brass) were additionally placed on a sacrificial substrate to prevent the risk of perforation or deformation by the laser. All samples were observed under the same optical configuration to ensure the reliability of the comparative analysis.

The laser energy and other parameters were fixed, which significantly increased the importance of surface preparation and sample mounting. Several laser pulses were applied to each sample, and the resulting spectra were recorded in different wavelength ranges (189–410 nm).

The observation process was carried out step by step as follows:

For each sample, the acquired LIBS spectra were processed to identify the characteristic emission lines. The wavelength (nm) of each peak maximum was recorded with a precision of ± 0.1 nm, and

the intensity (a.u.) was determined based on the peak maximum value, taking into account the background signal.

During the experiment, the differences in sample thickness were also considered. In the case of thin samples, instances of perforation or deformation were noted, as these factors could influence the intensity of the spectral lines.

To compensate for the differences in sample thickness: All samples were firmly mounted on the same ceramic holder to ensure a uniform focus plane. Thin samples (e.g., 0.1 mm copper and brass) were placed on a sacrificial substrate to avoid perforation and to improve thermal dissipation, thereby stabilizing the plasma emission.

In the data analysis stage, the measured intensities were normalized relative to the average emission from the triplicate spectra of each material. This approach minimized the variability introduced by thickness differences and ensured consistent comparison across materials.

Fig.4 presents the LIBS spectra of the first replicate from each material (Cu, Cu+Zn, Pb, Al, Stainless Steel, and Ti) acquired under identical experimental conditions. Each spectrum exhibits characteristic emission lines specific to the respective elements and alloys.

The replicate spectra obtained for each material showed high reproducibility, with intensity variations of less than 10% between the three measurements. The peak intensities in Fig.10 are consistent with the average intensities calculated from the triplicate spectra, ensuring that the comparison reflects the true relative emission strengths of each material.

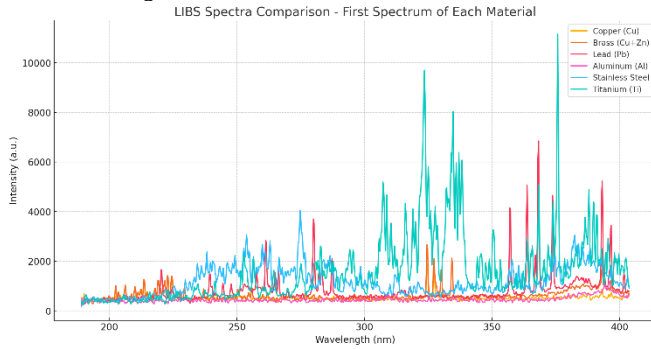


Fig.4. Spectra the first replicate from each of Cu, Cu+Zn, Pb, Al, Stainless Steel, and Ti for comparison

The identification of neutral (I) and ionized (II) emission lines in the LIBS spectra was performed by cross-referencing the observed peak wavelengths with established atomic spectral data. The **NIST Atomic Spectra Database (ASD)** was used as the primary reference, as it provides accurate tabulated wavelengths, transition probabilities, and relative intensities for all elements. Additional spectral atlases and LIBS-specific literature (e.g., Cremers & Radziemski, *Handbook of LIBS*) were consulted to verify the line assignments.

For each material, prominent peaks in the measured spectra were compared to the tabulated values in the reference data. Peaks that matched the expected wavelengths within ± 0.2 – 0.3 nm were classified as either neutral (I) or ionized (II) emission lines.

For instance, in the copper (Cu) spectra, the strong emission lines observed at **324.7 nm** and **327.4 nm** were identified as neutral copper transitions (Cu I), while the emission line at **213.6 nm** corresponded to ionized copper (Cu II). Similarly, in the aluminium (Al) spectra, the neutral lines were observed at **394.4 nm** and **396.1 nm** (Al I), and the ionized line at **358.7 nm** (Al II).

This approach ensured a robust and reproducible classification of emission lines, which was essential for calculating the intensity ratios $I_{ion}/I_{neutral}$ and applying the Saha equation to estimate the ionization degree of the plasma (table 1).

Table 1. Identification of neutral (I) and ionized (II) emission lines and average ionization ratios ($I_{ion}/I_{neutral}$) for analyzed materials

Material (Sample)	Neutral Line (nm)	Ionized Line (nm)	Average Ratio $I_{ion}/I_{neutral}$
Copper (Cu)	324.7 (Cu I)	213.6 (Cu II)	0.35–0.40
Brass (Cu+Zn)	324.7 (Cu I)	213.6 (Cu II) (+ Zn II 334.5)	0.38–0.42
Lead (Pb)	367.1 (Pb I)	220.4 (Pb II)	0.30–0.35
Aluminium (Al)	394.4, 396.1 (Al I)	358.7 (Al II)	0.40–0.50
Stainless Steel (Fe-Cr-Ni)	302.1 (Fe I)	259.9 (Fe II)	0.25–0.30
Titanium (Ti)	368.5 (Ti I)	337.3 (Ti II)	0.30–0.35

By using the Saha equation (5) and taking into account formula (12), the average values in the table directly reflect the plasma ionization degree. A high ratio (Al, Cu, Brass) $\rightarrow$ higher $\frac{n_{i+1}}{n_i}$ and higher T_e (electron temperature). A low ratio (Pb, Ti, Stainless Steel) $\rightarrow$ lower $\frac{n_{i+1}}{n_i}$ comparatively lower T_e .

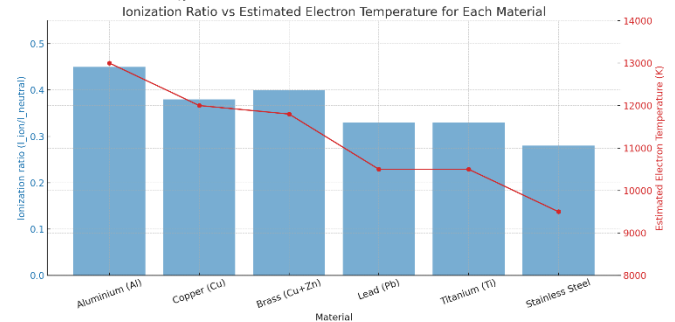


Fig.5. Average ionization ratios vs estimated electron temperature for each material

Fig.5 shows a comparative analysis of the average ionization ratios and the estimated electron temperatures for each material. The blue bars represent the average intensity ratio $I_{ion}/I_{neutral}$, while the red line corresponds to the estimated electron temperature T_e (K), calculated using the Saha equation.

Materials with a high ionization ratio (Al, Cu, Brass) are also characterized by higher electron temperatures, approximately 12000–13000 K. In contrast, Stainless Steel and Pb/Ti exhibit relatively lower T_e values (< 11000 K), which is consistent with a lower degree of ionization in the plasma.

It is noteworthy that the recorded spectra can be used to evaluate **Stark broadening**, which in turn allows the estimation of the plasma electron density (n_e). Stark broadening in LIBS spectra refers to the widening of spectral lines caused by the electric fields generated by electrons and ions in the plasma. The higher the electron density (n_e), the broader the line becomes. Stark broadening is most prominently observed at the center of strong neutral or ionized emission lines.

We have recorded spectra that show neutral lines (e.g., Cu I 324.7 nm, Al I 394.4 nm, Pb I 367.1 nm, and others). For each of these lines, it is possible to measure the **full width at half maximum (FWHM)**. FWHM is directly proportional to n_e via the Stark broadening constant [Griem, H. R. (1997)]:

$$n_e = \frac{\Delta\lambda_{1/2}}{2\omega} \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

where ω is the Stark broadening parameter (known from NIST data for the specific line).

The first step is to select the sharpest neutral line for each material [Cu I 324.7 nm, Al I 394.4 nm, Pb I 367.1 nm, etc.], measure its width (FWHM), then use the corresponding Stark constant (ω) for each line to calculate the electron density.

Stark broadening and Saha analysis together will provide a more complete picture: high $n_e \rightarrow$ broader lines $\rightarrow$ stronger ionization; Low $n_e \rightarrow$ narrower lines $\rightarrow$ comparatively lower ionization.

The results obtained from the Stark broadening analysis revealed significant differences in the plasma parameters of the various materials (Table 3). The neutral lines of aluminum and stainless steel (Al I 394.4 nm and Fe I 302.1 nm) exhibited the largest full widths at half maximum (FWHM) of **1.75 nm**, which correspond to the highest electron densities n_e : $7.3 \cdot 10^{18}$ and $8.8 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, respectively.

The neutral lines of copper and the copper-zinc alloy (brass) (Cu I 324.7 nm) were comparatively narrower (0.75 nm and 0.50 nm), indicating lower electron density values of $3.4 \cdot 10^{18}$ and $2.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, respectively.

Titanium's neutral line (Ti I 368.5 nm) was also narrow (0.50 nm), yielding an electron density of $2.1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. In the case of lead (Pb I 367.1 nm), the line was not sufficiently well-defined to reliably determine its FWHM and nene.

These results are in full agreement with the ionization degree analysis based on the $I_{ion}/I_{neutral}$ ratio (table 2): high FWHM and electron densities are characteristic of materials with a high ionization degree (Al, Stainless Steel), while comparatively lower values are observed for materials with lower ionization degrees (Ti, Brass).

Table 2. Full width at half maximum (FWHM) of neutral lines and estimated electron densities (n_e) based on Stark broadening analysis

Material	Neutral line (nm)	FWHM (nm)	Stark Constant w	$n_e \text{ (cm}^{-3}\text{)}$
Aluminum	394,4	1,75	0,0012	7,29E+18
Copper	324,7	0,75	0,0011	1,30E+18
Brass (Cu+Zn)	324,7	0,5	0,0011	1,20E+18
Lead	367,1		0,0013	
Stainless Steel	302,1	1,75	0,001	1,90E+18
Titanium	368,5	0,5	0,0012	2,10E+18

Fig.6 shows the neutral line peaks of all six materials on a single graph. Each material is represented by its main neutral line (Cu I 324.7 nm, Al I 394.4 nm, Pb I 367.1 nm, etc.). The differences in line widths (FWHM) and their intensities are clearly visible.

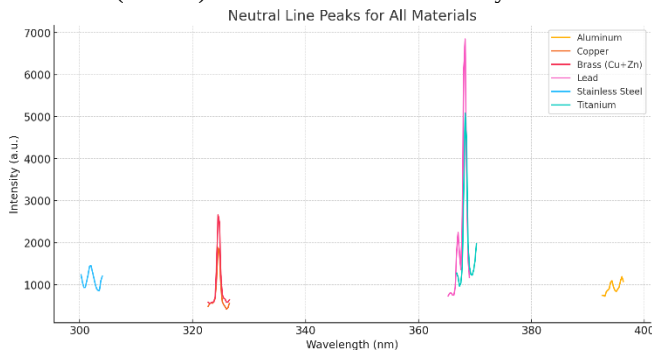


Fig.6. Neutral line peaks for all materials

The **Boltzmann Plot** method is used to determine the electron temperature (T_e) of a plasma or gas based on the intensities of spectral lines.

In contrast, the results for **Copper, Lead, Titanium, and Stainless Steel** are considered less reliable. This is primarily due to the limited number of available neutral lines, weak line intensities, and partial overlaps in their spectra, which significantly affect the accuracy of the fitted slope in the Boltzmann plot.

These findings highlight that the Boltzmann Plot method requires a sufficient number of strong and well-resolved neutral lines to produce reliable T_e estimates.

Conclusion

In this study, deterministic and stochastic models were developed to analyze the spatiotemporal dynamics of laser-induced plasma (LIP) generated during LIBS experiments. The results demonstrate that the non-uniform and temporally unstable behavior of plasma has a significant impact on the accuracy of elemental analysis. By applying Boltzmann plots and Stark broadening techniques, reliable estimates of electron temperature (T_e) and electron density (n_e) were obtained.

The inclusion of ionization-recombination dynamics through stochastic differential equations (SDE), solved using the Euler-Maruyama algorithm, provided a more accurate description of plasma fluctuations compared to purely deterministic Runge-Kutta (RK1) models. The experimental validation using StellarNet LIBS systems confirmed that materials with higher ionization degrees (e.g., Al, Cu, Brass) exhibit broader spectral lines and higher electron temperatures, while materials with lower ionization degrees (e.g., Pb, Ti, Stainless Steel) display narrower lines and lower T_e and nene.

The combined use of deterministic and stochastic approaches strengthens the diagnostic capability of LIBS by reducing uncertainties in plasma parameter estimation. This methodology is expected to improve the quantitative analysis of complex materials and can be applied to a wider range of spectroscopic applications, including magneto-optical plasma studies and advanced spintronics research.

4. Acknowledge

This work was supported by the following research grants:

1. *Research on Laser-Induced Plasma (LIP) Based on High-Resolution Spectroscopic Analysis: Methodology, Hardware Integration, and Applications*, funded under the Young Researcher Program of Batumi Shota Rustaveli State University (BSU) Academic Council Resolution No. 06-01/33 (April 7, 2025). Project manager: Jaba Shainidze; Mentor: Prof. Nugzar Gomidze.
2. *This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [FR-24-3101]*

References:

- [1]. Chen, X., Li, M., & Wang, J. (2022). Stark broadening analysis for electron density diagnostics in non-LTE plasmas. *Journal of Applied Physics*, 131(8), 083303. <https://doi.org/10.1063/5.0079645>
- [2]. Eason, R. (2007). *Pulsed laser deposition of thin films: Applications-led growth of functional materials*. Wiley-Interscience.
- [3]. Gomidze, N., Jabnidge, I., Makharadze, K., Khajishvili, M., Shashikadze, Z., & Surmanidze, Z. (2012). Numerical analyses of fluorescence characteristics of watery media via laser spectroscopy method. *Advanced Materials Research*, 590, 206–211. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.590.201>
- [4]. Gomidze, N., Khajishvili, M., Makharadze, K., Jabnidge, I., & Surmanidze, Z. (2016). About statistical moments of scattered laser radiation from random phase screen. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 6(4), 237–245.
- [5]. Gomidze, N., Makharadze, K., & Jabnidge, I. (2017). Experiments for the purpose of studying space-time evolution of various forms of pulse signals in the collisional cold plasma. *International Journal of Physical and Mathematical Science*, 11(8), 318–323.
- [6]. Gomidze, N., & Shainidze, J. (2018). To the problems of fluorescence excitation spectrums. *Machines. Technologies. Materials*, 2018(5), 279–282.
- [7]. Griem, H. R. (1997). *Principles of plasma spectroscopy*. Cambridge University Press.
- [8]. Iriarte, D., Villagomez, A., & Ramos, J. (2023). Time-resolved LIBS measurements for precise plasma characterization. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415(4), 851–862. <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04311-7>
- [9]. Konjevic, N., & Roberts, J. R. (2021). Saha equation and its applications in spectroscopic plasma diagnostics. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 178, 106085. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.106085>
- [10]. Radziemski, L. J., & Cremers, D. A. (2006). *Laser-induced plasmas and applications*. CRC Press.
- [11]. Ready, J. F. (1997). *Industrial applications of lasers* (2nd ed.). Academic Press.
- [12]. Wang, Z., Xu, Q., & Yu, C. (2021). Temperature determination in laser-induced plasmas by Boltzmann plot: Challenges and improvements. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 36(11), 2225–2233. <https://doi.org/10.1039/D1JA00172A>

Използване на интегриран подход за управление на транспортни проекти

Using an integrated approach to transport project management

д-р инж. Петрова И.¹, д-р инж. Трифонов К.²
 BTU „Тодор Каблешков“, София, България
 ipetrova@vtu.bg¹, ktrifonov@vtu.bg²

Eng. Petrova I., PhD¹; Eng. Trifonov K., PhD²
 Todor Kableshkov University of Transport Sofia, Bulgaria
 ipetrova@vtu.bg¹, ktrifonov@vtu.bg²

Abstract: The development of transport infrastructure is essential for economic growth, social development and quality of life. Good transport connections allow for easier movement of goods, resources and people, which stimulates the development of trade within a country or continent. The processes of improving transport infrastructure are implemented through various projects, in which new infrastructure is built or existing ones are improved. These are large infrastructure projects, requiring significant financial resources and with a significant implementation duration. The aim of the report is to review publications on the use of an integrated approach to managing transport infrastructure projects for the period from 2019 to 2024.

Keywords: TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS, TRANSPORT CONNECTIONS, INTEGRATED APPROACH, REVIEW PUBLICATIONS

1. Увод

Развитието на транспортната инфраструктура е от съществено значение за икономическия растеж, социалното развитие и качеството на живот. Добрите транспортни връзки позволяват по-лесно преместване на стоки, ресурси и хора, което стимулира развитието на търговията в рамките на определена държава или континент. Добре развитата транспортна инфраструктура е привлекателна за инвеститорите, тъй като улеснява достъпа до пазари и ресурси. Процесите по строителство и поддръжка на инфраструктурата създават значителен брой работни места. Добрите транспортни връзки повишават достъпността до местоработата, образователните институции, медицинските и други социални услуги, като намаляват времепътването и увеличават свободното време. Добрата инфраструктура компенсира различията между градските и селските региони. Позволява бързи реакции при кризи, като природни бедствия или терористични атаки.

Процесите по подобряване на транспортната инфраструктура се реализират с помощта различни проекти, при които се изгражда нова инфраструктура или се подобрява съществуваща такава. Това са големи инфраструктурни проекти изискващи значителни финансови ресурси и със значителна продължителност на реализация. При тях се изграждат и модернизират на автомобилни пътища, магистрали или мостове; подобрява се железопътната мрежа при модернизация на нови линии и рехабилитация на съществуващи; разширяват се или изграждат летища; развива се пристанищната инфраструктура, строят се канали и вътрешни водни пътища; изгражда метро, трамвайни линии, автобусни линии и велосипедни пътеки.

Изследванията показват, че корупцията е често срещан проблем при мегапроектите в областта на транспортната инфраструктура и подчертават необходимостта от по-строги мерки за предотвратяването ѝ [1].

Целта на доклада е да направи обзор на публикациите за използване на интегриран подход за управление на транспортни инфраструктурни проекти за периода от 2019 г. до 2024 г.

2. Литературен обзор

Традиционните методи за управление на проекти често пренебрегват динамичната им природа, като ограничения и входни данни, които се променят с течение на времето. Включване на времето като допълнителна променлива при планиране на проекти е от съществено значение за вземане на

по-добри решения [2].

Важен фактор при избора и планирането на инфраструктурни транспортни проекти е влиянието на времето върху процеса на вземане на решения. Не трябва да се пренебрегва динамичната природа на проектите, тъй като ограниченията и входните данни могат да се променят с течение на времето. Мегатранспортните проекти се планират за дълъг период, може и десетилетия, което води до увеличаване на несигурността [3]. Един от факторите за успех при мегапроектите е управлението на веригата за доставки [4]. В доклад на Project Management Institute за 2021 година 73% от проектите са с постигнати цели. Завършилите в рамките на първоначално заложения бюджет са 62%, а завършилите в срок 55%. За провалени проекти се считат 12% [5]. Тези данни са показателни, че трябва да се търсят нови методи и подходи за управление на проекти. Разходите за материали в строителен проект се калкулират приблизително 60-65% от общите разходи. Поради тази причина управлението на доставките на строителни материали оказва влияние върху успешното управление на проекта. Управлението на доставките на строителни материали е сложен процес с много заинтересовани страни [6]. Управлението на транспортни проекти включва техническите аспекти на строителството, социалните, икономическите и екологическите измерения. Чрез интегрираното планиране на проекта могат да се реализират значителни икономии на разходи, чрез оптимизиране на веригата на доставки [7]. В изследване [8] посочват управлението на голям брой проекти едновременно като най-големия проблем през 2020 година. Често успехът на проекта зависи от ръководителя на проекта, а обучението на тези кадри е недостатъчно. Високите инвестиционни разходи за транспортни проекти изискват значителни ползи за обществото. Инвестициите в транспортна инфраструктура трябва да бъдат допълнени с инвестиции в човешкия капитал (образование и обучение).

Транспортните инфраструктурни проекти обикновено изостават от графика, което води до надвишаване на първоначално планираните разходи. Това налага търсене на успешни практики по управление на транспортни инфраструктурни проекти. Управлението на тези проекти включва прилагането на специфични знания, инструменти и техники с цел планиране, организиране, контролиране и завършване в границите на времевите рамки, бюджет и стандарти за качество. Успешният проект трябва да има добре дефиниран обхват, квалифициран екип, управление на риска и на качеството, екологично планиране и др. [9]. Причините за преразход при инфраструктурните проекти се свързват с географското местоположение, тъй като в отделните страни отговорностите и практиките по управление на проекта са

различни. Ключови фактори водещи до надхвърляне на разходите по проектите са: вид и размер на проекта, период за изпълнение и политиката за развитие на конкретен вид транспорт [10].

Идентифицирането и управлението на риска в различните фази на проекта е от съществено значение за успеха на същия. Рисковете обикновено се квалифицират като измерими и неизмерими [11]. Категоризирането на рисковете позволява по-добро разбиране на потенциални заплахи, по-прецизно планиране на мерките за тяхното смекчаване и по-лесна комуникация и улеснява обмена на информация между различните заинтересовани страни. Рисковете в транспортните проекти могат да бъдат категоризирани по различни критерии, като източник на риска, влияние върху проекта, вероятност за настъпване, фаза на проекта, функционална област и политически. Идентифицираните и оценени рискове подлежат на управление чрез един от методите: избягване, прехвърляне, намаляване и приемане [12]. Проектите за трансгранична транспортна инфраструктура са по-сложни от националните мегапроекти, поради по-големи финансови изисквания, по-голям брой заинтересовани страни, по-висока степен на несигурност. Това налага изработване на ефективни методи за оценка на риска [13].

Министерството на транспорта и инфраструктурата на Турция е разработило иновативен подход за управление на инфраструктурни проекти, чрез цифрови системи UYS /Ulusal Yol Sistemi - Национална пътна система/. За да се постигне ефективно управление на инфраструктурни проекти е необходимо да се комбинират различни фактори като финансиране, технически капацитет и управление на договори. Чрез UYS се постига по-добро наблюдение и контрол на проектите, като предоставят на политиките необходимата информация за вземане на решения. Системата UYS е структурирана на модули (договор, изпълнение, планиране), което позволява гъвкавост и адаптивност към различните видове проекти. Тя позволява по-точно проследяване напредъка на проекта и идентифициране на подходящи проблеми [14].

В [15] е предложен нов подход за управление на големи транспортни проекти, чрез използване на мрежови структури. Тези проекти са изключително сложни и изискват сътрудничество между различни организации, сектори и заинтересовани страни. За преодоляване на тази сложност се създават мрежи за сътрудничество, които обединяват различни участници (правителствени агенции, частни компании, граждански организации и др.). Авторите идентифицират три основни нива на сътрудничество в тези мрежи: съвместно управление, финансово управление и междуорганизационно управление. Чрез разбиране на различните нива на сътрудничество и прилагане на интегрирана рамка, организациите могат да подобрят ефективността и да постигнат по-добри резултати.

Използването на ИИ /изкуствен интелект/ при управление на проекти трансформира ролята на мениджърите на проекта. ИИ намира приложение за автоматизация на рутинни задачи, оптимизация на ресурсите и ускоряване процеса на вземане на решения. Той подобрява процеса на планиране чрез осъществяване на анализ на големи обеми от данни, за да идентифицира тенденциите, да прогнозира бъдещи събития. Мениджърите на проекти имат по-пълна и точна информация за вземане на креативни решения. Използване на ИИ в управление на проекти има доста слаби места свързани с етични въпроси, качеството на данните, сигурността на данните, съпротивление към промени и високи разходи за първоначално внедряване. Мениджърите на проекти трябва да се адаптират към новата среда, за да останат конкурентни [16].

Планирането и контрола на проектите може да се подобри значително чрез интегриране на блокчейн технологии. Чрез децентрализирана база данни, блокчейн позволява на всички участници в проекта да имат достъп до актуална информация в реално време. Това улеснява мониторинга на напредъка,

управлението на разходите и намалява необходимостта от ръчно въвеждане на данни. Може да помогне за по-добро управление на рисковете и несигурността в проекта. Чрез автоматизирано проследяване на потенциални проблеми, блокчейн позволява екипите да реагират бързо и ефективно [17].

3. Методи за управление на инфраструктурни проекти

Индустрията за управлението на проекти се намира в период на бързи промени, като мениджърите все по-често експериментират с нови подходи. Използването на традиционните методи, като метода на критичния път и PERT / Program Evaluation and Review Technique / в управление на инфраструктурни проекти водят до много неуспешни проекти. Това налага прилагането на нови подходи наречени хибридни методи които комбинират различни техники и методологии и се превръщат в стандарт за управление на сложни проекти [18].

Водопадният модел (на английски: Waterfall Model) за управление на проекти представлява последователен подход, при който всяка фаза се изпълнява по предварително зададен ред. Характеризира се с предварително определен план, ясни задачи и строга последователност при изпълнение. Подходящ е за проекти с ясно структурирани изисквания и ограничена възможност за промени, тъй като всяка промяна може да доведе до значителни разходи и забавяне. Гъвкавата методология се отличава с кратки интервали, честа обратна връзка и непрекъснато усъвършенстване. Този подход е идеален за проекти, развиващи се в динамична среда, където иновациите и промените са неизбежни, като намалява риска от грешки свързани с дългосрочното планиране [19].

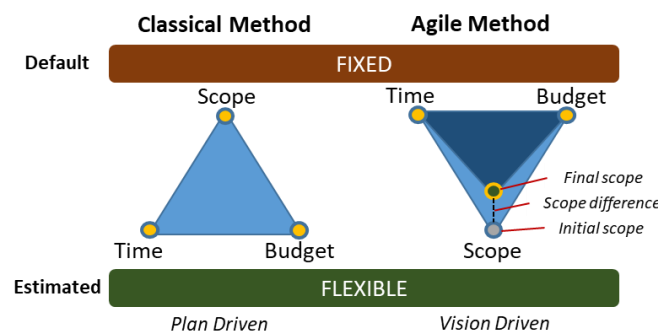
Таблица 1 [20] Основните характеристики на трите подхода за управление на проекти

Метод за управление на проекти	Основни характеристики
Waterfall	Детайлно планиране. Следваща фаза започва след приключване на предишната фаза.
Agile	Итеративен метод. Проектът се разбива на по-малки, краткосрочни фази, наречени спринтове. В рамките на всеки спринт екипът създава работна версия на продукта, за която получава обратна връзка от клиента. Процесът се повтаря при промени в изискванията.
Integrated Project Management Approach (IPMA)	Комбинация от Waterfall и Agile. Характеризира се с предварително планиране и документация; като използва гъвкавост при промените в условията.
Метод за управление на проекти	Основни характеристики
Waterfall	Детайлно планиране. Следваща фаза започва след приключване на предишната фаза.
Agile	Итеративен метод. Проектът се разбива на по-малки, краткосрочни фази, наречени спринтове. В рамките на всеки спринт екипът създава работна версия на продукта, за която получава обратна връзка от клиента. Процесът се повтаря при промени в

	изискванията.
--	---------------

На фигура 1 са показани разликите между класическия и гъвкавия метод за управление на проекти. При класическият метод обхватът, времето и бюджетът са предварително фиксирани. Agile методът дава приоритет на фиксираният ограничение – времето и бюджета, като обхватът на проекта е най-адаптивният елемент.

Тази гъвкавост позволява по-бързи цикли на разработка и по-бърза доставка на ценни функционалности [21].

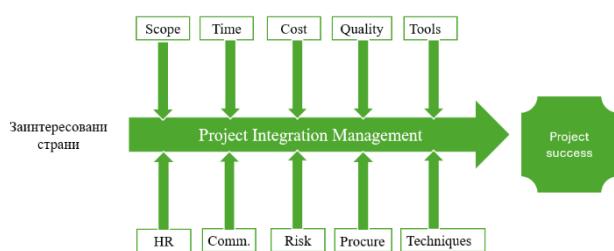


Фиг. 1. Класически и гъвкав метод [21]

4. Интегриран подход за управление на проекти

Интегрираният подход за управление на проекти IPMA (Integrated Project Management Approach) е метод за намаляване на рисковете при изпълнение на проект чрез управление на отчетността, сътрудничеството и контрола. Интегрираният подход към управление на проекти представлява холистичен подход, който свързва всички аспекти на проекта в едно единно цяло. За разлика от традиционните методи, които често разглеждат отделните елементи на проекта изолирано (например: бюджет, време, обхват), интегрираният подход подчертава взаимовръзката между тези елементи и как промените в един от тях могат да повлияят на другите.

Фигура 2 показва визуално как различните елементи на проекта (обхват, време, разходи, качество, ресурси, риск, комуникации, заинтересовани страни) се обединяват с помощта на интегрирания подход и водейки до успешен проект.



Фиг. 2. Интегриран метод за управление на проекти

Заинтересованите страни са всички лица, групи или организации, които имат интерес или влияние върху даден проект. Това могат да бъдат както вътрешни, така и външни за организацията, и техните интереси могат да бъдат разнообразни – финансови, стратегически, екологически и др. Оценяват се интересите, влиянието и нивото на ангажираност за всяка заинтересована страна и се определят най-подходящите методи за комуникация и взаимодействие [22].

Обхватът на проекта определя границите на това което ще бъде включено в проекта. Той дефинира работата, която трябва да бъде извършена, за да се постигнат целите на проекта, определя критериите за успешно завършен проект. Обхватът на проекта е в основата на ефективното планиране и разпределение на ресурсите. Ясно определения обхват помага

да се избегнат непрекъснати промени в изискванията, които могат да забавят и оскъпят проекта. Обхватът трябва да се преразглежда периодично, за да се гарантира, че все още е актуален и отговаря на целите на проекта.

Времето е един от най-критичните фактори в управление на проекти, особено в контекста на интегрирания подход. Точното планиране, проследяване и управление на времевите рамки са от съществено значение за успешното изпълнение на проекта. Интегрираният подход позволява да се види проектът като цялостна система, където всички елементи са взаимосвързани. Това означава, че промените във времето на една задача могат да повлияят на целия проект.

Качеството в един проект се определя от степента до която проекта отговаря на предварително определените изисквания и очаквания на клиента. Това се постига с ясно дефинирани първоначални изисквания, постигане на консенсус между всички участници в проекта за визията на крайния продукт, отворена и честна комуникация между всички участници в проекта, редовно проследяване на напредъка на проекта и сравнението му с плана, непрекъснато подобряване на качеството.

Интегрираното управление на проекти изисква използването на разнообразни инструменти, които да подпомогнат ефективната координация, комуникация и контрол на всички аспекти на проекта. Изборът на инструменти зависи от конкретните нужди на организацията и от конкретния проект, няма универсален инструмент.

Интегрираното управление на проекти изисква не само ефективни процеси и инструменти, но и висококвалифицирани специалисти. Човешкият фактор е от решаващо значение за управление на подобни инициативи. Успешната работа в екип изисква отлични комуникационни умения, способност за сътрудничество и умение за решаване на конфликти. Членовете на екипа трябва да бъдат готови да се адаптират към променящите се условия и да приемат нови предизвикателства.

Интегрираният подход се прилага през всички пет фази на проекта представени в таблица 2. Целта е да се създаде по-цялостен подход, който да обхваща всички аспекти на проекта, който е по-гъвкав към управлението на процесите при неговото реализиране.

Таблица 2 Фази на проекта

Фаза на проекта	Характеристики
Инициализация	Определя се целият проект. Създава се план и се определят всички заинтересовани страни.
Планиране	Разработват се подробни планове за изпълнение, включително бюджет, срокове и ресурси.
Изпълнение	Стартира се работата по проекта. Извършва се действителната работа по проекта.
Мониторинг и контрол	Редовно се следи напредъкът и се сравнява с плана. Предприемат корекции при необходимост.
Закриване	Официално се завършва проектът, оценяват се резултатите и се архивират документите.

Увеличаване капацитета на летище Хитроу е инфраструктурен проект завършил в рамките на планувания бюджет и време, макар че се състои от 16 основни и 147 подпроекта. Проектът се управлява от интегриран екип, чиито членове работят съвместно за постигане на общи цели. Интегрираните екипи са от съществено значение за успеха на строителни проекти, тъй като обединяват различни компетенции и осигуряват синергия. Интегрираните екипи насърчават по-отворена комуникация, взаимно доверие и споделяне на информация между всички участници в проекта.

Чрез съвместно идентифициране, оценка и управление на рисковете, интегрираните екипи могат да намалят вероятността от нежелани събития и да подобрят устойчивостта на проекта. Интегрираните екипи подобряват по-добро вземане на решения, тъй като всички заинтересовани участници в процеса и могат да предоставят ценни идеи и перспективи. Те са по-добре подготвени да се адаптират към промените и да реагират на неочаквани събития.

Включването на клиента в процеса на вземане на решения гарантира, че проектът отговаря на неговите нужди и очаквания. Чрез насърчаване на сътрудничеството, комуникацията и споделянето на знания, интегрираните екипи могат да допринесат за по-успешното изпълнение на проекти [23].

Не трябва да се подценява ролята на държавата за създаване на благоприятни условия за интегрирано управление на транспортни проекти.

5. Финансиране на транспортни проекти

Съвременните тенденции във финансирането на транспортни инфраструктурни проекти отчитат влиянието на фактори като икономически условия, технологични иновации, променящи се политически условия и нарастващи обществени очаквания. Основният проблем тук е определяне на привлекателността на проекта. Транспортните инфраструктурни проекти са с дълъг срок на реализация и сериозни финансови ресурси, което ги прави непривлекателни за частни инвеститори [24].

Публично-частни партньорства – представляват споразумения между публичния и частния сектор при които частният сектор финансира, строи и/или експлоатира инфраструктурни обекти, като носи и съответните отговорности. По този начин държавата може да ускори реализацията на инфраструктурни проекти [25].

Извънбюджетни фондове – Специализирани финансови механизми, създадени с цел финансиране на специфични области или проекти, които не се покриват изцяло от държавния бюджет. Те се формират от различни източници като такси, държавни субсидии, приходи от частни инвестиции и други.

Европейски фондове – Това са финансови инструменти, създадени от Европейския съюз, които се разпределят между държавите членки въз основа на определени критерии. Могат да бъдат безвъзмездни средства, заеми или гаранции за заеми. Процесът на кандидатстване за финансиране по европейски фондове е сложен и изисква задълбочени познания за правилата и процедурите.

Заеми от банки – Често използван метод за осигуряване на средства за реализация на транспортни проекти. То предполага гъвкавост, бързина и възможност за значителни инвестиции.

За да се осигури устойчивото развитие на транспортната инфраструктура, е необходимо да се продължи търсенето на нови и иновативни решения за финансиране.

6. Често срещани проблеми при използване на интегрирано управление на проекти

Дублиране на усилия възниква, когато членовете на екипа, а понякога цели екипи работят върху една и съща задача, без да си сътрудничат. Това може да е причина за забавяне на проекта, за загуба на време и ресурси.

Загуба на ресурси е често срещан проблем в управлението на проекти, който може да доведе до забавяния, превишаване на бюджета и дори провал на проекта. Когато различните ресурси (финансови, човешки, материални, време и др.) не се използват ефективно или се губят по пътя, това може да има сериозни последици.

Липса на координация между различните екипи работещи по проекта води до забавяне.

Отделните екипи работят самостоятелно, без да си сътрудничат и без да имат ясна представа за общата цел и пречат на ефективната работа. Може да се дължи на използване на различни системи и процеси, което води до разпръскване и дублиране на информацията. Причината може да бъде при конкуренцията между отделите за ресурси или признание, което води до криене на информация.

Пълзенето на обхвата или известно като разширяване на обхвата се случва при проекти при които първоначално дефинираните цели, задачи и изисквания непрекъснато се увеличават.

Това означава, че с течение на времето проектът започва да включва все повече и повече елементи, които не са били предвидени в първоначалния план.

Пропускането на крайни срокове е често срещан проблем в управлението на проекти, който може да има сериозни последици за успеха на проекта. Причините могат да бъдат нереалистични срокове, непредвидени обстоятелства, липса на ресурси, неефективно управление на риска, лошо планиране, липса на комуникация.

Тези проблеми са разгледани в [26] и е посочено как при всеки от тях може да се приложи интегрираното управление на проекти за да се отстранят проблемите.

7. Заключение

Интегрираният подход към управление на транспортни проекти се оказва все по-необходим в съвременния динамичен свят. Чрез обединяване на различни дисциплини, заинтересовани страни в отделните етапи от жизнения цикъл на проекта, този подход гарантира по-висока ефективност, устойчивост и удовлетвореност на потребителите. С напредъка на технологиите и нарастващото обществено съзнание за опазване на околната среда, интегрираният подход ще продължи да играе ключова роля в създаването на транспортни решения, които отговарят на нуждите на настоящите и бъдещи поколения.

Въпреки постигнатите резултати, все още има място за подобрене, особено в областта на включването на гражданите в процеса на вземане на решения и използване на нови технологии. Бъдещите изследвания могат да се фокусират върху разработването на нови инструменти и методи за оценка на ефективността на интегрираните транспортни проекти.

8. Литература

1. Sekasi, J., Harrod, S., Andrade, V., Madsen, J. (2024). Performance controls and accountability in African transport infrastructure megaprojects: A systematic literature review. *Project Leadership and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2024.100123>
2. Maqbool, R., Bhuvaneshwaran, M., Rashid, Y., Altuwaim, A., Ashfaq, S. (2023). A Decision Approach for Analysing the Role of Modern Methods, Project Management and Integrated Approaches in Environmentally Sustainable Construction Projects. *KSCE Journal of Civil Engineering*. Volume 27, Issue 8, Pages 3175-3191. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-0701-0>
3. Jecmen, K., Moskova, D., Teichmann, D. (2024). Solving Transport Infrastructure Investment Project Selection and Scheduling Using Genetic Algorithms. *Mathematics*, 12, 3056. <https://doi.org/10.3390/math12193056>
4. Mehmood, S., Fan, J., Dokota, I., Nazir, S., Nazir, Z. (2024). How to Manage Supply Chains Successfully in Transport Infrastructure Projects. *MDPI Open Access Journals*. 16(2), 730. <https://doi.org/10.3390/su16020730>

5. Basheer, M., Elghaish, F., Brooks, T., Rahimian, F., Park, C. (2024). Blockchain-based decentralised material management system for construction projects. *Journal of Building Engineering*. Volume 82. 108263. ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108263>
6. Project Management Institute. Pulse of the Profession 2021. Beyond Agility. https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/learning/thought-leadership/pulse/pmi_pulse_2021.pdf
7. Afra, A., Kheirkhah, A., Ahadi, H. (2022). Systematic literature review of integrated project scheduling and material ordering problem: Formulations and solution methods. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 173. 108711, ISSN 0360-8352. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108711>
8. Šimičková, J., Buganová, K., Mošková, E. (2021). Specifics of the Agile Approach and Methods in Project Management and its Use in Transport. *Transportation Research Procedia*, Volume 55. Pages 1436-1443. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.130>
9. Safapour, E., Kermanshachi, S. and Jafari, A. (2020). Effective Project Management Principles and Strategies in Transportation Infrastructure Projects. *Proceedings of the Creative Construction e-Conference*. <https://doi.org/10.3311/CCC2020-023>
10. Malinari, L., Haezendonck, E., Mabillard, V. (2023). Cost overruns of Belgian transport infrastructure projects: Analyzing variations over three land transport model and two project phases. *Transport Policy*, Volume 134. Pages 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.02.017>
11. Roos, E. C., Siqueira de Souza, J., Kliemann Neto, F. J. (2024). Project risks and regulation in transport infrastructure: A study in Brazilian agencies concessions planning process. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. Volume 23, ISSN 2590-1982. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101031>
12. Everything you wanted to know about transportation risk management. <https://www.everstream.ai/articles/everything-you-wanted-to-know-about-transportation-risk-management/>
13. Jianping, L., Jin, Z., Weilan, S. (2019). Risk assessment in cross-border transport infrastructure projects: A fuzzy hybrid method considering dual interdependent effects. *Information Sciences*. Volume 488. Pages 140-157. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.028>
14. Inaç, H., Ayözen, Y.E. (2024). Integrated Infrastructure Investment Project Management System Development for Mega Projects Case Study of Türkiye. In: Şen, Z., Uygun, Ö., Erden, C. (eds) *Advances in Intelligent Manufacturing and Service System Informatics. IMSS 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6062-0_26
15. Hu, Y., Xu, Q., Field, B., Xia, B., Wu, G. (2024). Governing collaborative networks in mega transport projects development: Integrative findings from 34 cases worldwide. *Transport Policy*. Volume 150. Pages 162-173, ISSN 0967-070X, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.03.013>
16. Vargas, R., (2024). Will Project Management Careers End with AI? Beyond Hype. <https://app.getresponse.com/view.html?x=a62b&m=BiRS&Tb=mc=Ci&s=BiCWC1M&u=MCZOf&z=EFKLYLH&>
17. Bahnas, N., Adel, K., Khallaf, R., Elhakeem, A. (2024). Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management. *Automation in Construction*. Volume 165. 105484. ISSN 0926-5805. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105484>
18. What is integrated project management? (With a step-by-step guide). (2024). <https://uk.indeed.com/career-advice/finding-a-job/integrated-project-management>
19. Vargas, R., (2024). How AI is Disrupting Waterfall and Agile Project Management Models. <https://ricardo-vargas.com/newsletter/issue-8-how-ai-is-disrupting-waterfall-and-agile-project-management-models/>
20. Cohier E., The Complete Guide to Integrated Project Management, 2022, <https://www.workamajig.com/blog/integrated-project-management>
21. Dimitrov, D., Petrova, I. (2019). Strategic planning and development of transport infrastructures based on agile methodology. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. DOI:10.1088/1757-899X/664/1/012033
22. Kashyap, S. (2024). Project integration management – A complete guide 2025. <https://www.proofhub.com/articles/project-integration-management>
23. Onyia, U., Anwara, O., Madueme, N., Akanno, C. (2021). Evaluation of Integrated Teamworking Approach in Project Management: A Case Study of Heathrow Terminal 5 Project. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. p-ISSN: 2395-0072.
24. Serbian, O., Izmailova, D., Mashkin, A., Glagoleva, S. (2023). Assessment of the Reliability of the Development of Infrastructure Projects on Transport in the Russian Federation. *Transportation Research Procedia*. Volume 68. Pages 50-59. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.007>
25. Rodrigue, J. The Financing of Transportation Infrastructure. <https://transportgeography.org/contents/applications/financing-transportation-infrastructure/>
26. Barendscheer, T. (2024). Project Integration Management What is it and Why Does it Matter? https://www.teamly.com/blog/project-integration-management/#6_frequently_encountered_project_integration_management_problems_resolved

ТЕХНОЛОГИИТЕ В УПРАВЛЕНСКИЯ ЦИКЪЛ – СЪВРЕМЕНЕН И ТРАДИЦИОНЕН МЕТОД

TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT CYCLE – MODERN AND TRADITIONAL METHOD

Д-р Личева, Т.

Висше училище по сигурност и икономика, България
teodora_licheffa@abv.bg

Abstract: The report analyzes the traditional and modern stages of technology management. Traditional models rely on linear, centralized processes with fixed structures, manual operations and risk aversion, which leads to slow adaptation and decision-making. In contrast, modern approaches use agile, iterative methods with decentralized teams, real-time analytics, integrated digital platforms and optimization driven by artificial intelligence. They allow for faster adaptation and collaboration but require continuous employee training and change in work processes. The flexibility and data-driven management of the modern cycle improve efficiency and speed of response, although organizations face challenges related to organizational shock and the need for constant training and upskilling.

Keywords: TECHNOLOGY, DATA, SECURITY, MANAGEMENT CYCLE

1. Трансформацията на управлението в технологичната епоха

Ръководството на организациите винаги е било в процес на развитие, подчинено на социални, икономически и технологични иновации. През последните десетилетия, навлизането на модерни информационни и комуникационни технологии доведе до качествено ново разбиране не само за същността на управленските процеси, но и за цялостната организация на работния процес, гарантиращо сигурност на информацията¹. Ако в миналото традиционният управленски цикъл се характеризира с ясно структурирана, линейна логика, днес организациите са подвластни на глобалната дигитализация, ускорен ритъм на промяна и постоянна необходимост от адаптация.

Преходът от традиционния към съвременния управленски цикъл символизира не само смяна на оперативни техники, но и цялостна промяна на мисленето². Под въздействието на динамична конкурентна среда, голям обем данни и нови средства за комуникация, структурите са пред дилема: да се запази стабилен растеж, но бавен, или да поеме по пътя на гъвкавостта, с всички позитиви и рискове на една отворена и иновативна среда, но запазвайки най-ценното ѝ – опазване на данните.

В анализа ще проследя различията между традиционния и съвременния технологичен управленски цикъл, за да изясня не само еволюцията на управлението, но и предизвикателствата и възможностите, които са пред модерния мениджмънт. Ще структурирам изложението по ключови индикатори — структура на процеса, вземане на решения, внедряване на технологии, управление на риска, взаимодействие със заинтересовани групи и организационна структура, и в заключение ще аргументирам значимостта на прехода.

2. Структура на процеса

2.1 Традиционен модел

До съвсем близкото минало повечето организации използваша т.нар. линеен модел на управление, при който процесът върви стъпка по стъпка (планиране → изпълнение → проверка → актуализация), без възможност за връщане назад. Основната характеристика при него е последователността — всяка фаза трябва да бъде цялостно приключена преди започването на следващата.

Моделът се отличава с продължителни периоди на изпълнение (месеци или години), фиксирани цели и строга отчетност. От гледна точка на сигурност, такъв подход предоставя стабилност и предвидимост на процесите. Ограниченията произтичат от невъзможността да се реагира гъвкаво на променящи се вътрешни и външни фактори.

2.2 Съвременен модел

В настоящето доминиращи стават итеративните и агилни методологии — процесът е цикличен, с множество повтарящи се итерации, в рамките на които екипите изготвят прототипи, тестват, събират обратна връзка и подобряват продукта или услугата на всяка стъпка³.

Автоматизирани тестове и симулации са неизменна част от работния процес, което позволява своевременно идентификация на проблеми и гъвкава адаптация. Това скъсява жизнения цикъл на процесите и дейностите — от дни и седмици вместо месеци и години, както беше при традиционния модел.

2.3 Сравнителна оценка

Линейната структура носи стабилност, но е негъвкава; итеративната — адаптивност, като изисква повишена комуникация и кратки срокове за реакция. Съвременният модел зависи от внедряването на динамични комуникационни канали и постоянен диалог между отделите и структурните звена на организацията.

3. Вземане на решения

3.1 Централизиран (традиционен) модел

В основата на традиционния подход стои строга централизация на властта в ръцете на ръководството, специализирани комисии и работни групи. Тези структури са призвани да вземат ключови решения и да носят отговорност при грешки или провали. Всичко се движи по строга йерархия, а процесът на документооборот, съгласуване и одобрение често изисква много време.

3.2 Децентрализиран (съвременен) модел

В ерата на динамичните технологични възможности и бързия обмен на информация, управлението се демократизира. Децентрализираните структури са организирани около автономни екипи, които разполагат със самостоятелност да вземат решения на оперативно ниво, почти на момента, в реално време. Тези практики се основават на доверие, експертност и споделена отговорност.

¹ Личева, Т. „Модерна сигурност в управлението“, Изд. НТС по машиностроене „Индустрия 4.0“, София, 2023, стр. 23, ISBN 978-619-7383-30-0

² Радулов, Н., Сигурност 4.0, изд. 2019, НТС по машиностроене „Индустрия 4.0“, ISBN 978-619-7383-15-7, с. 44-47

³ Методът Scrum е типичен пример. При него работата се разделя на кратки „спринтове“, през които се генерира работещ продукт и веднага се тестват нововъведенията (бел.авт.)

Анализите се извършват в реално време с помощта на инструменти като алгоритмите на изкуствен интелект, анализ на големи данни и блокчейн⁴, с които са разработени вътрешни платформи. Всички данни и сигнали са на разположение на екипите, които могат мигновено да вземат необходимите решения, без да се чака централно одобрение. Този механизъм значително намалява риска от изпускане на критични възможности за иновация или реакция на външни заплахи.

3.3 Ключови разлики и предизвикателства

Децентрализацията носи със себе си и по-голяма гъвкавост, насоченост към клиента, бързина и индивидуална отчетност. Недостатък е рискът от разнопосочни решения и необходимостта от координация между екипите за избягване на дублиране на усилия и конфликт между отделните групи

4. Внедряване на технологии

4.1 Традиционен модел

Основен белег е силната механична ангажираност и отсъствие на интеграция между отделните системи — всяка единица използва свои инструменти, често несъвместими с тези на другите. Системите не комуникират помежду си, като обменът на информация става чрез ръчно въвеждане на данни, което създава предпоставки за грешки и забавяния.

Отчетността е статична — отчетите се събират и обработват веднъж месечно или по-рядко, с минимум възможности за навременна реакция. Използваните инструменти са ограничени по функционалност и рядко позволяват разширение или надграждане.

4.2 Съвременен подход

Дигиталната трансформация превръща технологиите в основен лост за конкурентоспособност. Използват се интегрирани облачни платформи с отворени интерфейси и динамичен обмен на данни. Интернет на нещата сензорите събират информация в реално време за всяка стъпка и процес, като предпазват от аварии, недостиг или качествени дефекти, а блокчейн⁵ гарантира сигурността им.

Изкуственият интелект и алгоритмите за машинно обучение автоматично анализират бази данни, идентифицират тенденции, оптимизират системите и предлагат решения за оптимално използване на ресурсите.

4.3 Преглед на предимства и предизвикателства

Съвременният модел предлага непрекъснат поток от данни, възможност за автоматизация и интеграция на различни процеси, което води до по-висока ефективност и по-нисък риск от грешки вследствие на човешка намеса⁶. Трудностите включват необходимостта от квалифицирани кадри, които да поддържат и развиват сложни системи, както и опасността от зависимости към определени технологични решения или доставчици.

5. Управление на риска

5.1 Традиционен модел

⁴ Генкин, А., Михеев, Ал. Блокчейн: Как это работает и что ждет вас завтра, Москва, 2018, 35

⁵ Allesie, D., Sobolewski, M., Vaccari, L., Blockchain for digital government. 2019. 18

⁶<https://www.techtarget.com/searchsecurity/Data-security-guide-Everything-you-need-to-know>

Преобладава стратегията за минимизиране на риска чрез избягване — изключително внимателен анализ на всички възможни заплахи, провеждане на мащабни проучвания и разчитане на минал опит. Подходът е консервативен — каквото е работило до момента, ще работи и занапред, въпреки бавните резултати и рискове.

Познати са ситуациите, при които, водени от страха да не допуснат грешка, организациите пропускат възможности за нововъведения. Стремелът е за стабилност на организацията, дори с цената на по-ниска ефективност и липса на иновации.

5.2 Съвременен модел

Новият управленски цикъл акцентира върху експеримента, бързото тестване на хипотези и приемането на риска като източник на иновационни решения. Управлението на риска се основава на сценарийно планиране, симулации, прогнозиране и натрупване на „уроци“, базирани на реални резултати.

Чрез софтуерни продукти се разиграват варианти на бъдещи развития и се прави оценка на ефектите от алтернативни действия. Неуспешните решения се отхвърлят, като организацията учи от тях, вместо да ги разглежда като провал.

5.3 Сравнителен анализ

Системното избягване на риска гарантира известна стабилност, но може да доведе до застои и дори до забавяне. Експериментирането носи иновации, но изисква толеранс към „контролирани неуспехи“ и способност за бързо учене. Този подход се подхранва и от достъпността до големи обеми данни и аналитични инструменти, които снижават вероятността за мащабни грешки

6. Взаимодействие със заинтересовани групи

6.1 Традиционен модел

В по-старите структури заинтересованите лица се разглеждат като външни на процеса, а взаимодействието е еднопосочно. Ефикасността на комуникацията е ниска — организацията информира за резултатите си и не търси обратна връзка, препоръки или мнения.

Максимумът на пасивното участие е включването им по време на отчетни кампании или публични представяния. Това създава усещане за дистанция и формализъм, което често води до неразбиране или дори конфликт с околната среда.

6.2 Съвременен модел

Модерният управленски цикъл залага на активно включване на всички ключови заинтересовани страни на всеки етап от процеса. Редовно се провеждат срещи, интервюта, анкетиране, работни ателиета и др., като участието не е ограничено до края на даден проект, а е непрекъснато.

Търсенето на обратна връзка се превръща в основа за подобряване и иновации, а заинтересованите лица често са инициатори на нови идеи или корективи. Комуникационни платформи и социални мрежи позволяват мигновено събиране на мнения и реакции, което значително ускорява решаването на възникващи проблеми.

6.3 Предимства и слабости

Този модел прави организацията по-адаптивна, ориентирана към пазара и клиента, и повишава лоялността към бранда. Като недостатък може да се определи навременната преценка кои препоръки или мнения са релевантни, и кои могат да доведат до размиване или разводняване на целта.

7. Организационна структура

7.1 Традиционен модел

Класическата организационна структура се характеризира с ясна йерархия, остри граници между отделите и стриктно разпределение на роли. Всяко звено има свои задачи, комуникацията между отделите често е минимална, а междуфункционалните екипи са рядкост.

Бюджетите са твърдо определени, сроковете — стриктно фиксирани, а контролните механизми са ориентирани към отчитане и избягване на аномалии.

7.2 Съвременен модел

Модерните организации се структурират хоризонтално – екипите работят динамично, със свобода за автономия и самоорганизация. Комуникациите са интензивни, често са онлайн и дигитални, а функционалните граници размиваеми.

Гъвкавите структури позволяват бърза реакция на промени и осъществяване на комплексни проекти с минимално забавяне. Особено ценно това става при организации, работещи на глобална среда, където динамиката и бързата реакция са най-високи.

7.3 Сравнение

Йерархията носи контрол, но забавя адаптацията, докато гъвкавите структури ускоряват процесите, но генерират необходимост от силна вътрешна координация и култура на доверие и отвореност.

Таблица 1. Сравнение между традиционен и сравнителен метод на управление.

Величина	Традиционен цикъл	Съвременен цикъл
Скорост	Месечни/годишни цикли	Дневни/седмични итерации
Гъвкавост	Фиксирани изисквания	Динамични промени при изпълнение
Технологии	Локални системи, няма интеграция	Облачни платформи, API интеграции
Рискове	Контрол чрез избягване	Управление чрез експерименти
Заинтересовани лица	Ограничено участие	Непрекъснато сътрудничество

8. Човешки фактор и организационна промяна

Внедряването на нови управленски модели и технологии не винаги минава безпроблемно. Често се наблюдава т.нар. „организационен шок“ – част от служителите изпитват несигурност или съпротива срещу новите изисквания, роли и технологии⁷. Това понякога води до спад в продуктивността, текучество или демотивацията им.

⁷ Личева, Т. (Юни 2025). Сигурност на е-досиета с блокчейн. Сигурност и отбрана(2), 114-128. <https://doi.org/10.70265/NKYH9976>

Ключов фактор за преодоляване на тази съпротива е изграждането на култура на непрекъснато надграждане на уменията, споделяне на знания и стимулиране на инициативност. Организациите са длъжни да осигуряват системно обучение и повишаване на квалификацията на служителите за работа с нови технологии.

9. Заключение

Еволюцията на управленския цикъл от традиционен към съвременен отразява не само технологичния напредък, но и фундаментални промени в разбиранията за ефективност, иновация и устойчивост.

Традиционният модел, базиран на линейни процеси, централизирано вземане на решения, ръчно управление на технологии и избягване на риска, гарантира предвидимост, сигурност и контрол – качества, особено ценени в стабилни, бавно променящи се среди.

Недостатъците му проличават обаче при нужда от адаптация, навременни действия и отговор на нестабилни или турбулентни пазари. Където се изискват скорост, гъвкавост и иновация, традиционният цикъл се оказва бавен, тежък и трудно пригодим.

Съвременният управленски цикъл залага на итеративни процеси, автономия, реално време, интегрирани дигитални платформи, експериментаторство и активно включване на заинтересованите страни. Той е приспособим, прогнозен и стреми да използва данните като ресурс за вземане на по-информирани решения.

Тази еволюция обаче крие свои рискове – нужда от високо квалифицирани кадри, опасност от загуба на синхрон между екипите, организационни сътресения и нарастващи изисквания към обучението на служителите.

Ключът към успешна трансформация е намирането на баланс между стабилност и гъвкавост, технологичен напредък и човешки подход, централизирана визия и децентрализирана реализация. Организациите, които успеят да се адаптират към новите реалности, инвестират в хора, технологии и култура, ще бъдат най-подготвени да посрещнат предизвикателствата на съвременния бизнес свят.

Преходът от традиционното към съвременното управление не е еднократен акт, а сложен, многоетапен процес на промяна в работните процеси, адаптация и иновация. Тези нововъведения водят до по-ефективни, адаптивни и интелигентни организации, способни не само да оцеляват, но и да просперират в условията на цифрова трансформация.

9. Литература

1. Генкин, А., Михеев, Ал. Блокчейн: Как это работает и что ждет вас завтра, Москва, 2018
2. Личева, Т. „Модерна сигурност в управлението“, Изд. HTC по машиностроене „Индустрия 4.0“, София, 2023, ISBN 978-619-7383-30-0
3. Личева, Т. (Юни 2025). Сигурност на е-досиета с блокчейн. *Сигурност и отбрана*(2), 114-128. <https://doi.org/10.70265/NKYH9976>
4. Радулов, Н., Сигурност 4.0, изд. 2019, HTC по машиностроене „Индустрия 4.0“, ISBN 978-619-7383-15-7
5. Allesie, D., Sobolewski, M., Vaccari, L., Blockchain for digital government. 2019
6. <https://www.techtarget.com/searchsecurity/Data-security-guide-Everything-you-need-to-know>

Irrigation regime and its impact on the yield of greenhouse tomatoes using an ecological and water-saving irrigation technique, for the Plovdiv region

Rumyana Kireva¹, Miho Mihov¹, Ivan Morteve¹, Viktoriya Kancheva¹, Daniela Ganeva², Ivanka Tringovska-Mendeva²,
Stanislava Grozeva-Tileva²

N. Poushkarov Institute for Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection, Agricultural Academy, Sofia, Bulgaria¹
Maritsa Vegetable Crops Research Institute, Agricultural Academy, Plovdiv, Bulgaria²
r.kireva@abv.bg

Summary: A study was conducted to determine the irrigation regime and its impact on the yield of three genotypes of greenhouse tomatoes in 2022 at the experimental field of MVCRI - Plovdiv in an unheated steel-glass greenhouse of the Venlo type. The experiment was conducted in three irrigation regimes:

Optimal 100%M, reduced by 25% and increased by 25%, using water-saving technology.

The size of the irrigation norms, the number of irrigations for the growing season and their distribution by development phases for the soil and climatic conditions of the Plovdiv region were determined.

The obtained results for irrigation of greenhouse tomatoes show that 18 irrigations were implemented during the growing season in order to maintain soil moisture between 85-100% of the maximum field moisture capacity for the conditions of Plovdiv from the beginning of May to the end of July.

The size of the irrigation rates by regimes varies from 14.9 to 24.7 mm, and the irrigation rates - from 268 to 447 mm. The maximum irrigation rates during the period with the most significant water consumption can be applied after 3-4 days and satisfy the needs of the plants. The analyzed results of the yields obtained from the three tomato genotypes at different irrigation rates show that the highest total yield of greenhouse tomatoes is formed in the variant with 125% implementation of the irrigation rate, followed by the variant with 100% irrigation rate, and the lowest, in the variant with 25% reduction in the irrigation rate.

Obtaining a good effect from irrigation and the most productive use of irrigation water is possible only when applying an optimal irrigation regime, consistent with the requirements of the crops grown.

A number of studies have been conducted in our country on the limiting factor - water. Their main goal is to establish the best efficiency of applying different irrigation regimes for irrigation under optimal and insufficient water supply. (Kireva et al 2020)

The best results in terms of water use in this crop are obtained when the soil moisture is above 85% of the WHC and is applied to water-saving irrigation techniques. This method fully meets the requirements for sustainable agriculture and ecological fruit production, including ensuring high yields and quality of production, reducing unwanted side effects. (Bucks et al.,1982; Kireva, 2020.)

The results obtained by (Mukherjee, S., et al. 2023) show that physiological characteristics, yield and water productivity are significantly influenced by the irrigation system and soil moisture regime, with drip irrigation improving the average yield of tomatoes by 25%.

It was found that reducing the optimal rate (100% M) with a water stress of 50% (50%M), a significant decrease in yield (13.16%) was observed in greenhouse tomatoes (Wu et al. 2022 ; Lu et al. 2019). Alternatively, Wu et al. (2022) stated that under optimal irrigation conditions, tomato plants produced more fruits than those grown under deficit irrigation.

With the studies of the mutual influence of different irrigation regimes on the yield of tomatoes grown in a polyethylene unheated greenhouse, it was found that the impact of irrigation on yield has a greater effect at higher levels of irrigation rate, (Stoyanova A. et al.,2020; Stoyanova A. et al. 2019).

Studies of the irrigation regime and its influence on the yields of tomatoes grown in plastic greenhouses using drip irrigation are quite scarce, and the studies carried out in our country are for the conditions of the Sofia Field (Aboamera M. 1992; Kireva,.; Kireva R.,2020) and for St. Zagora (Stoyanova An. et al. , 2020), which cannot be indicative of other agro-climatic regions of the country, which are characterized by different soil and meteorological conditions. Given the above, it is evident that research is needed to establish the complex influence of the irrigation regime on the quantity and quality of the yield of tomatoes grown in glass unheated greenhouses for the soil and climatic conditions of a region with developed vegetable production, such as Plovdiv. This will be achieved by using principal component analysis to assess the effects of tomato quality and the efficiency of water use and fertilization.

Study objective - determining the irrigation regime and its influence on the yields of greenhouse tomatoes for the region of the city of Plovdiv
KEY WORDS: IRRIGATION RATES, YIELDS, GREENHOUSES, TOMATOES, WATER PRODUCTIVITY, GENOTYPE, CLIMATE.

Methodology

The experimental studies were conducted in an unheated glass greenhouse of the Venlo type at the experimental field of MVCRI - Plovdiv under early production conditions to establish the irrigation regime of greenhouse tomatoes with indeterminate growth, with large fruits, with pink and red fruit coloration, resistant to economically important diseases and widespread among tomato producers in the country under drip irrigation.

The sowing of the seeds took place in mid-January, the mulch film was laid on the beds before planting the plants in the greenhouse permanently. In the second ten days of April, when the soil temperature in the greenhouse at a depth of 10 cm rose permanently above 10°C, the tomato plants were planted in the budding phase at a density of 3.5 plants/m².

The experiment was conducted with three irrigation regimes - optimal, reduced and respectively increased - 100%M, 75%M and 125%M, using water-saving irrigation technologies.

Irrigation variants

Pre-irrigation humidity – 85% of WHC

1.125% realization of the irrigation rate

2.100% realization of the irrigation rate

3.75% realization of the irrigation rate

The optimal irrigation rate (100%M) was calculated using the formula:

$$m = [10H.\alpha.(MFMC - \delta)].K,$$

where: m is the irrigation rate, mm;

α – soil bulk density, gr/cm³;

H – depth of the active soil layer, m;

MFMC – marginal field moisture content in % relative to the absolute dry weight of the soil;

δ – soil moisture before irrigation in % relative to the absolute dry weight of the soil;

K – the coefficient of reduction of the irrigation rate, taking into account the area occupied by plants in 1 dka, in the experiment K = 0.66%, i.e. 66% of the site is irrigated.

The time for the implementation of irrigations was determined by monitoring the soil moisture for the active soil layer to a depth of 40 cm, at which layer more than 85% of the main root system of tomatoes is located. Soil samples were taken every 10 cm to a depth of 40 cm in three repetitions and were processed by the weight-thermostat method. The limit values of the individual elements of the irrigation regime for tomatoes have been established experimentally. With drip irrigation, the size of the entire irrigation rate is not given, as with other irrigation methods. A reduction is necessary at the expense of the unirrigated area. For this purpose, the formula of (Frecman B., Carzoli. 1980) was used, taking into account the planting scheme

Results

The climatic conditions of each region are of essential importance for the normal vegetative development of plants and for obtaining high yields with excellent product quality. They are also a determining factor for the preparation and implementation of an irrigation regime. In this regard, based on a composite 65-term statistical series, the theoretical security curve averaging the empirical points for 2022 was calculated with the following parameters: $T_{av} = 3183.4^{\circ}\text{C}$, $C_v = 0.0425$ and $C_s = 0.0955$. The experimental year is warm with security of 10.0% and 3366.0 C0 accumulated temperature sum for the period May-September, (Fig. 1).

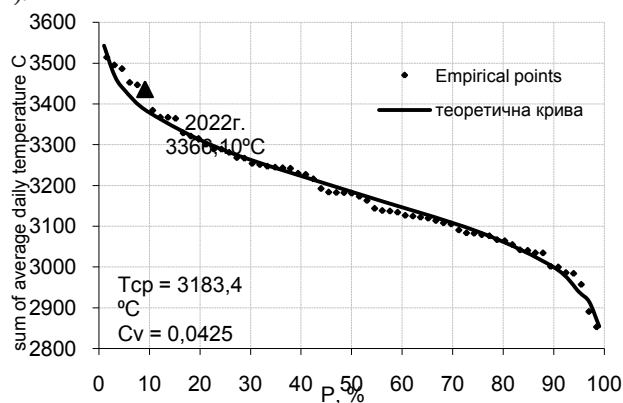


Fig. 1. Availability of average daily air temperature for the period May – September 2022.

Irrigation regime

Table 1. Number of irrigations, irrigation and irrigation rates of greenhouse tomatoes on the experimental field of the Maritsa Agricultural Research Center, Plovdiv for the growing season of the study -2022.

Variants of irrigation	Number of irrigations	Irrigation rate (mm)	Irrigation norm (mm)
125%M	18	24.7	446
100%M	18	19.8	357
75%M	18	14,9	268

Obtaining a good effect from irrigation and the most productive use of irrigation water is possible only when applying an optimal irrigation regime, consistent with the requirements of the grown crops.

The results of the implemented irrigations for greenhouse tomatoes show that to maintain soil moisture within the range of 85 -100% of WHC, 18 irrigations were implemented for the growing season of tomatoes. For the conditions of the city of Plovdiv, they were implemented for the period from the beginning of May to the end of July (Table 1).

The size of the irrigation rates by variant varies from 14.9 to 24.7 mm, and the irrigation rates from 268 to 447 mm. (Table 1).

The maximum irrigation rates during the period of the greatest water consumption can be applied every 3 - 4 days and satisfy the needs of the plants. At 1.5 atm pressure, they are implemented in 2 - 3 hours.

The established values of the irrigation rates can be used for sizing the irrigation network, and the irrigation rates when compiling the total water balance in the greenhouses.

The irrigation period for the active vegetation for 2022 of greenhouse tomatoes grown under greenhouse conditions for the Plovdiv region covers the time from the first ten days of May and continues to the end of the fruiting period - the first ten days of August (tab. 2)

Based on the biological characteristics and requirements of tomatoes for soil moisture, frequent irrigation with small irrigation rates is recommended, which reduces fluctuations in soil moisture, i.e. it remains at a relatively constant level. This ensures a uniform water supply to the plants, through the use of drip irrigation technology.

Table 2 Distribution of irrigations by development phases of tomatoes grown under greenhouse conditions on the experimental field of the Maritsa Agricultural Research Center, Plovdiv, 2022

Development Phases	Number of irrigations	Irrigation periods
Sowing	-	3rd ten days of January
Plunging	-	2nd ten days of March
Planting	Irrigation till root taking	1st ten days of April
Intensified growth	1-2	1st ten days of May
Beginning of flowering, Full flowering	3-4	2nd ten days of May
Ripening and harvest of fruits, Fruiting	4-5	3rd ten days of May
Active fruiting Harvesting	7-8	1st ten days of June

The irrigation time for active growth period of tomatoes grown in greenhouse conditions for the Plovdiv region covers the time from the first ten days of May. It continues until the end of the fruiting period - the first ten days of August (Table 2). Based on the biological characteristics of tomatoes and their requirements for soil moisture, frequent watering with low irrigation rates should be provided. In this way, fluctuations in soil moisture are reduced, i.e. it remains relatively constant. This ensures a uniform water supply to the plants.

Yields

The analyzed results of the yields obtained from the three tomato genotypes at different irrigation rates show that the highest total yield of greenhouse tomatoes is formed in the variant with 125% realization of the irrigation rate, followed by the variant with 100% irrigation rate, and the lowest, in the variant with 25% reduction of the irrigation rate. Reducing or increasing the irrigation rate leads to a corresponding change in the obtained yield, (Tab.3, Fig.2).

The highest total yield of greenhouse tomatoes is formed in the variant with 125% realization of the irrigation rate, which vary from 860 (Malduo and Pink) to 1410 kg/dka (Hayet), and the lowest in the variant with 25% reduction of the rate, which vary from 650 (Malduo and Pink) to 900 kg/dka (Hayet).

Table 3. Yields of three tomato genotypes kg/dka at different irrigation rates

Irrigation Options Genotype	Yields kg/dka
Malduo	
125 % M,	860
100% M	756
75% M	650
Pink	
125% M	860
100% M	800
75% M	650
Hayet	
125% M	1410
100% M	1120
75% M	900

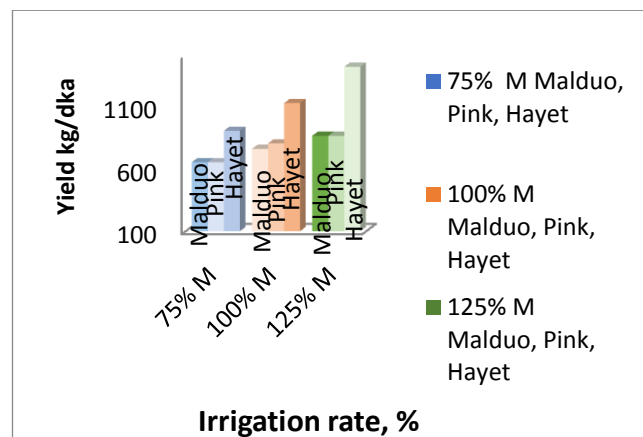


Fig.2. Yields of three tomato genotypes kg/dka at different irrigation rates

Conclusion

Our study is of great importance, since for the first time the irrigation regime of greenhouse tomatoes for the Plovdiv region has been studied, where greenhouse production is most widespread, due to the favorable weather conditions for growing the crop;

The amount of watering and irrigation norms, the number of waterings for the growing season of greenhouse tomatoes for the soil-climatic conditions of Plovdiv, the distribution of the number of waterings by phases of development of tomatoes grown under greenhouse conditions at the experimental field of IZK "Maritsa", Plovdiv, 2022, were determined.

The obtained results are the basis for determining the design irrigation regime and predicting the time for irrigation of the culture.

The highest total yield of greenhouse tomatoes is formed in the variant with 125% implementation of the irrigation rate, which varies from 860 (Malduo and Pink) to 1410 kg/dka (Hayet), and the lowest in the variant with 25% reduction of the rate, which varies from 650 (Malduo and Pink) to 900 kg/dka (Hayet).

The reduction of irrigation rates leads to a corresponding reduction of the possible maximum yield, but not proportionally. The reduction or increase of the irrigation rate leads to a corresponding change in the obtained yield.

Acknowledgments. The publication is a result of the work on Project KP-06-H 56/14 of 13 Dec 2021, funded Scientific Research Fund of the Ministry of Education and Science of Bulgaria.

References

- 1.Aboamera M. 1992.Irrigation Regime and Technology for Growing Some Vegetables in Unheated Plastic Greenhouses with Drip Irrigation, Dissertation, Sofia, 1992,срp.28-39.
- 2.Kireva, R. Irrigated regimes of vegetable crops, 2020. Monograph, p. 166. ed. Avangard Prima, Sofia, 2020, ISSN978-619-239-435-6.
- 3.Kireva R., (2020). Irrigation regimes of vegetable crops. – Monograph, p. 166, Avangard Prima, Sofia, ISSN978-619-239-435-6.
- 4.Kireva R., (2020). Irrigation regimes of tomatoes grown in greenhouses using environmentally friendly and water-saving irrigation techniques. Journal of Balkan Ecology, vol. 23, no. 1, pp. 39-45, ISSN1311-0527
- 5.Mukherjee, S., Dash, PK, Das, D. et al. (2023). Growth, yield and water productivity of tomatoes affected by deficit irrigation water management, Environmental Processes, Volume 10, <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00624-z>
- 6.Lu H, Li H, Ning H, Zhang X, Li S, Pang J, Wang G, Sun J (2019). Optimizing irrigation frequency and amount to balance yield, fruit quality, and water use efficiency of greenhouse tomatoes. Agric Water Management, Volume 226, 20, 105787. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105787>
- 7.Stoyanova An G. Kostadinov, M. Moteva, 2020, Influence of the controlled water deficit at different levels of fertilization on the yield of greenhouse tomatoes, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 26 (Suppl. 1) 2020, 9-18
- 8.Stoyanova, A., Kuneva, V., Valchev, N. (2019) The Influence Of Fertilization And Irrigation In The Tomatoes, Greenhouse Production. Scientific Papers. Series B, Horticulture, LXIII(1).
- 9.Wu Y, Yan S, Fan J, Zhang F, Zhao W, Zheng J, Guo J, Xiang Y, Wu (2022). Combined effects of irrigation rate and fertilization practice on yield, economic benefit, and water and nitrogen use efficiency in drip irrigation of greenhouse tomatoes, Agric Water Manag 262:107401. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107401>
- 10.Buks, D.A., F.S. Nakayman, A.W. Warrick. 1982. Principles, Practices, and Potentialities of Trickle (Drip) Irrigation. - In: D. Hillel et al., Advances in Irrigation 1, Academic Press, New York, 219-298.
- 11.Frekman B., Carzoli. 1980. Localized Irrigation. - FAO, Irrigation and Drainage, 36-

Analysis of graphic and UX design for Bulgarian tourist applications

Veselka Stoyanova¹, Ilian Lilov²

Artillery, AD and CIS faculty, National Military University V. Levski, Shumen, Bulgaria¹,
National Military University V. Levski, Veliko Turnovo, Bulgaria²
vtstoyanova@nvu.bg

Abstract: Four of most of popular Bulgarian application were selected, namely "100 Places Bulgaria", "I Love Bulgaria", "Опознай.bg" and "The one hundred national tourist sites of Bulgaria", and compare them. Data collection was performed through an electronic questionnaire, which was based on Google Forms. The article presents the need for a solid theoretical foundation for understanding the complexity and multi-layeredness of user experience (UX) and user interface (UI) in the context of digital transformation.

Keywords: GRAPHIC DESIGN, UX DESIGN, USER INTERFACE, TOURIST WEBSITES

1. Introduction

Graphic design is closely intertwined and of enormous importance in UX design and is widely spread due to its presence everywhere in the online space, as well as the continuous amateur and professional creation of graphic elements that enhance and develop perceptions. In the modern world, applications that look good and improve user experience and comfort in their use lead to repeated usage. The use of mobile applications with a pleasant and intuitive interface is a necessity and dictates their continuous improvement and the need for research to understand the ever-changing user and their increased demands. It is widely accepted that graphic design can be described as an art and a craft that gives aesthetic, functional, and organized structure to various types of texts and illustrations [1], [2].

Smartphones with touchscreen-based interfaces are increasingly used by non-technical groups including the elderly [10].

Travel websites are widely used by travellers for their travel bookings, but very little is known about sales performance and the emotional experiences for the customers [3].

From an economic point of view, graphic design contributes to:

- increased business profitability;
- improved brand image and presence in the international market;
- reduced marketing costs through effective communication;
- job creation in the creative industries;
- growth of exports of creative services.

Figure 1 shows the cycle of consumer experience: **user-problem-solution**.

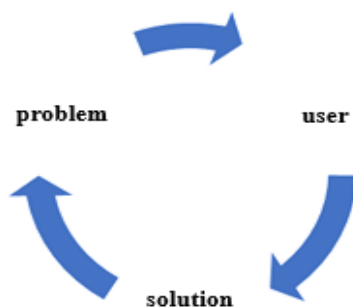


Fig. 1 Cycle between user-problem-solution

2. Basic methods for measuring user experience.

Qualitative and quantitative methods

According to [4], all user experience evaluation studies involve a participant performing certain tasks on one or more designs. In such a study, two types of data can be collected (Fig. 2):

- Qualitative data consisting of observational findings that identify easy or difficult to use design features.

- Quantitative data, in the form of one or more metrics (such as task completion rates or task completion times), that reflect whether the tasks were easy to complete.

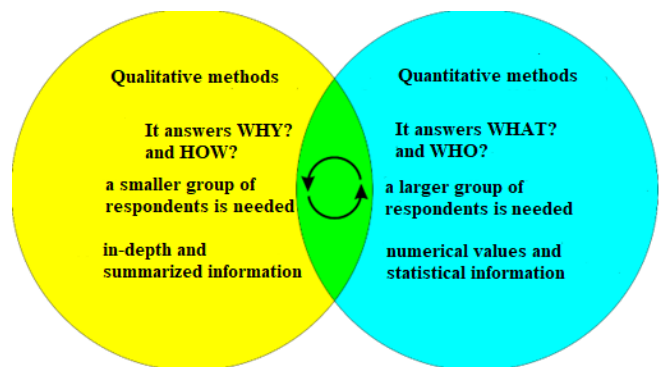


Fig. 2. Presentation of qualitative and quantitative methods

Researchers and user-centered design practitioners have described over 100 different methods for measuring user experience. These methods focus entirely on how users feel when interacting with the product, service, or system being evaluated. Measuring user experience is a multifaceted process that combines various research techniques to obtain a comprehensive picture of the interaction between the user and the system.

The total num digitalization is the basis for the development of a modern economy, and this process covers all aspects of management, including consumer behaviour in the environment [9].

Bulgarian tourist applications

The plan and consistency in managing a project and the knowledge of all possible stages is key to the success of any project[10]. According to [11] the group of users aged 40-50 often know the basic gestures used on smartphones (Tap, Scroll, Flick), but rarely use complex gestures such as Bundle and Multi-finger Drag. Younger users (21-24 years) similarly to adults perform the same actions and tasks, but their interaction is much more intuitive.

Figure 3a) shows the results of a Statista survey for 2024, which shows that 70% of tourists in Europe use mobile apps to search for objects, 52% use them for routing and logistics (Fig. 3b),

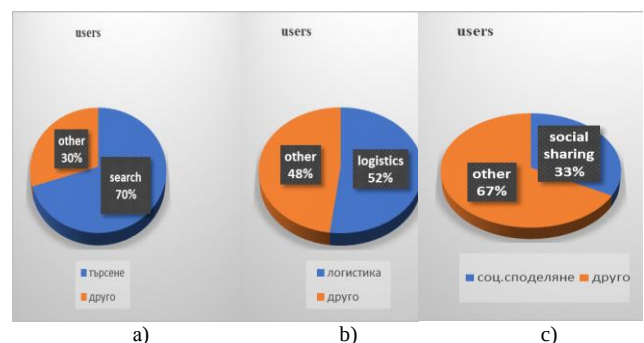


Fig.3. Mobile app usage by consumers in 2024

and Fig. 3c) shows that 33% use mobile apps for social sharing and "gamified" experiences (e.g. achievements, badges, loyalty).

Figure 4 presents the logos of the four applications studied, allowing for a breadth of impression and subsequent emotional impact. This allows for easy comparison and commentary on design possibilities.



a) Logo of 100 Places Bulgaria[8]



b) Logo of I Love Bulgaria[5]



c) Logo of The hundred national tourist sites of Bulgaria [6]



d) Logo of Опознай.bg [7]

Fig. 4. Logo of the applications

The application **100 Places: Bulgaria** [8] is a modern attempt to digitalize the popular tourist initiative known for its paper booklets for stamps. A main UX focus is placed on gamification and visual identity - the interface is built around a personal profile where the user marks the places they have visited and earns virtual badges. The design is vibrant, with graphic icons and colour palettes that create a sense of adventure.

The **I Love Bulgaria** app [5] is a digital travel guide combining cultural, natural and historical routes. It was developed with the cooperation of state and private institutions, which gives it the character of a national brand. Its interface is visually rich, with high contrast and intuitive icons that represent sites, routes and user progress.

Опознай.bg [7] is a mobile extension of the online platform of the same name, which provides detailed information about tourist sites, events and activities in Bulgaria. The application is oriented towards functionality and information richness, as the user can filter the results by category, location, reviews and accessibility. The UI design is minimalist, with predominantly neutral tones and a linear structure.

The latest application, **The Hundred National Tourist Sites of Bulgaria** [6], is an official digital interpretation of the classic tourism initiative of the Bulgarian Tourist Union (BTU).

Summary data

Game elements included in some of the applications use specific characteristics of the users to encourage them to use the respective application. The inclusion of gamification is of significant help in keeping the user's attention. The types of users according to the Bartle model [12] are achievers, explorers, socializers and competitors. It should be noted that not all users fit into one type, which makes it necessary to provide a variety of challenging experiences.

Table 1 presents a comparison of the applications by criteria regarding discoverability, application popularity, and most importantly, user satisfaction.

Table 1. Comparison of the studied applications

Application Criteria	100 Places Bulgaria	I Love Bulgaria	The Hundred National Sites of Bulgaria	Опознай.bg
Available on Google Commerce Ltd	+	+	+	+
Published on	11.04.2021 г	04.08.2016	13.08.2019	26.01.2016
Downloads:	over 1 000	over 10 000	over 10 000	over 100000
User rating on Google Play (user rating)	4.2 (37review)	3.8 (315 reviews)	4.7 (401 reviews)	4.3 (3000 reviews)

The results from the table 2 show the interpretation of how users react not only rationally, but also emotionally, which is key in UX/UI design in tourism applications.

Table 2: Summary data compared for emotional assessment

Applications	Position in the chart	Emotional assessment
100 Places Bulgaria	Excited Pleasant	Engaging and inspiring
I Love Bulgaria	The average between Excited и Average Pleasant	Moderately pleasant
The one hundred national tourist sites of Bulgaria	Calm Pleasant / Calm Neutral	Relaxed, balanced, a little boring
Опознай.bg	Average / Excited Unpleasant	Stressful, overwhelmed

Measuring emotions includes many well-known methods, such as Emocards or Emofaces, which overcome the intangible nature of measuring emotions by replacing verbal measurements with images. Evaluators describe their experience of using a product by choosing one of a number of predefined images.

3. Conclusions:

The article presents the need for a solid theoretical foundation for understanding the complexity and multi-layeredness of user experience (UX) and user interface (UI) in the context of digital transformation.

1. The analysis of the conceptual framework clearly showed that UX is an overarching concept focused on the overall user experience, while UI represents its visible and interactive part.
2. The connection between strategic design, visual impact and consumer behaviour highlights that design today is transforming from a purely aesthetic function into a strategic asset that directly influences brand perception, trust and consumer engagement.
3. Systematic and multifaceted research into the user experience is necessary to enable improvement and relevance, regardless of the time period.

4. Acknowledgement

The author would like to thanks that paper was supported by the NSP DS program, which has received funding from the Ministry of Education and Science of the Republic of Bulgaria under the grant agreement no. Д01-74/19.05.2022.

5. References:

1. Coney, M. B., & Steehouder, M. (2000). Role playing on the Web: Guidelines for designing and evaluating personas online. *Technical communication*, 47(3), 327-340
2. Цонев, А. (2021), 5 нива на потребителско изживяване. Основни елементи, <https://alystal.com/resursi/post/pet-niva-na-potrebitelsko-izjivavane>
3. Mincheva, S., & Stoyanova, V. (2025). Research on the Impact of the User Experience for the Success of a Virtual Product: Bulgarian Travel Agency Websites. In *Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference* (Vol. 2, pp. 237-241), <https://doi.org/10.17770/etr2025vol2.8591>, [Accessed: June. 30, 2025].
4. Raluca Budiu (2019). Quantitative vs. Qualitative Usability Testing <https://www.nngroup.com/articles/quant-vs-qual/> [Accessed: May. 02, 2025]
5. Plovebulgaria.eu, Местен уеб сайт за пътувания <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.loyalty&hl=en>, <https://ilovebulgaria.eu/> [Accessed: May. 02, 2025]
6. Стоте национални туристически обекта на България, Местен уеб сайт за пътувания, <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.benesoft.turist&hl=bg> [Accessed: May. 02, 2025]
7. Opoznaibg, Местен уеб сайт за пътувания <https://play.google.com/store/apps/details?id=bg.opoznai&hl=bg>, <https://opoznai.bg/> [Accessed: May. 02, 2025]
8. 100te обекта, Местен уеб сайт за пътувания, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.futurist_labs.bg_places&hl=en [Accessed: May. 02, 2025]
9. O. Mancheva-Ali, "The digital economy and its impact on consumption in the regions of Bulgaria". presented at 3rd International Conference Spatial Development of Territories (SDT 2020). Atlantis Press, 2021. p. 256-261. [Accessed: May. 02, 2025]
10. St. Mincheva, "Creation of a mind map and an algorithm for project management", *Proceedings of International Scientific Conference - Defense Technologies*, Shumen, (DefTech 2024), pp.851-858, ISSN 2367-7902, [Accessed: May. 12, 2025].
11. St. Mincheva, "Research on users interaction with a touchscreen", *Annals of Konstantin Preslavsky University of Shumen*, vol. XIV E, (2024), ISSN: 1314-8818 (print), ISSN: 2815-4703 (online), pp.195-200. <https://doi.org/10.46687/YT24SDM>, [Годишник ФТН 2024](#), [Accessed: May. 12, 2025].
12. Bartle's Player Types for Gamification, IxDF, 2024. Web Site. [Online]. Available from: https://www.interaction-design.org/literature/article/bartle-s_player-types-for-gamification. [viewed 2025-06-05].

Полюсите на четириъгълник – забележителни точки в него

Станислав Стефанов

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
stanislav.toshkov@abv.bg

Резюме. В статията се дефинират и се разглеждат свойствата на една двойка забележителни точки в произволен изпъкнал четириъгълник, наречени негови полюси. С дефиницията си те наподобяват повечето забележителни точки в триъгълника, задаващи се като пресечни точки на тройки прави през върховете му, наречени негови чевиани. Полюсите се определят като двойка точки, получаващи се при пресичането на две специални четворки прави в четириъгълника, наречени негови трансферзали. Оказва се, през тях минават и две специални двойки прави, минаващи също и през пресечните точки на продълженията на двойките срещуположни страни на четириъгълника. Характеризират се с интересни свойства: отсечката, която те определят, се разполювява от отсечката, определена от средите на диагоналите в четириъгълника и на свой ред дели тази отсечка в определено отношение. Правата, определена от полюсите е успоредна на правата, определена от пресечните точки на продълженията на двойките срещуположни страни. Лицето на четириъгълника с върхове двата полюса и средите на двата диагонала се изразява чрез лицето на изходния четириъгълник. В случая, когато изходният четириъгълник е вписан в окръжност, този четириъгълник също е вписан в окръжност. Ако в един вписан четириъгълник съществуват двойка точки, аналогични по дефиниция на точките на Брокер в триъгълника, то те се явяват негови полюси.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ИЗПЪКНАЛ ЧЕТИРИЪГЪЛНИК, ЗАБЕЛЕЖИТЕЛНИ ТОЧКИ, СВОЙСТВА, ВРЪЗКИ МЕЖДУ ТОЧКИТЕ.

The poles of the quadrangle – natable points in it

Stanislav Stefanov

Todor Kableshkov University of Transport
stanislav.toshkov@abv.bg

Abstract: The article defines and considers the properties of a pair of remarkable points in an arbitrary convex quadrilateral, called its poles. By definition, they resemble most of the remarkable points in the triangle, resulted like intersection points of three lines through its vertices, called its chevians. The poles are defined as a pair of points obtained at the intersection of two special quadruple lines in the quadrilateral, called its transferzals. It turns out that two special pairs of lines also pass through them, passing also through the intersections of the extensions of the pairs of opposite sides of the quadrilateral. They are characterized by interesting properties: the segment they define is divided into two equal parts by the segment defined by the midpoints of the diagonals in the quadrilateral, and in turn divides this segment in a certain ratio. The line defined by the poles is parallel to the line defined by the intersections of the extensions of the pairs of opposite sides. The area of the quadrilateral with vertices the two poles and the midpoints of the two diagonals is expressed by the area of the original quadrilateral. In the case where the original quadrilateral is inscribed in a circle, this quadrilateral is also inscribed in a circle. If in an inscribed quadrilateral there exist a pair of points analogous by definition to the Brocard points in the triangle, then they are its poles.

KEYWORDS: CONVEX QUADRILATERAL, REMARKABLE POINTS, PROPERTIES, RELATIONS BETWEEN THE POINTS.

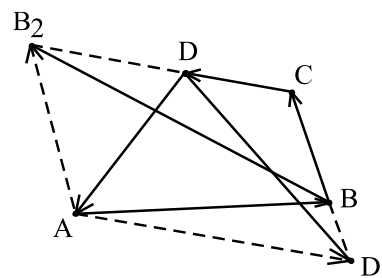
I. Въведение. Полюсите на четириъгълника са забележителни точки в него, които се характеризират с различни забележителни свойства. Най-интересни измежду тях са тези, които са свързани с четириъгълника с върхове тези полюси и средите на двата диагонала на изходния четириъгълник. Диагоналите на последния се делят от пресечната си точка в определени отношения, а лицето му се изразява чрез лицето на изходния четириъгълник по определена формула. В случая, когато изходния четириъгълник е вписан в окръжност, той също е вписан в окръжност. Интерес представлява факта, че в определени видове четириъгълници полюсите съвпадат с определени забележителни точки в тях. С всеки четириъгълник са свързани две двойки четириъгълници, имащи с него общ полюс.

II. Дефиниция и свойства на полюсите.

Преди да дефинираме полюсите на четириъгълника, ще въведем понятието паралела и трансферзала през негов връх:

Определение 1. Нека $ABCD$ е положително ориентиран изпъкнал четириъгълник (фиг. 1). Да разгледаме произволен негов връх, например върха A . Да построим насочената отсечка $\overrightarrow{AD_1}$ с начало този връх и край D_1 (лежаш върху следващата, непосредствено след A страна BC или върху нейното продължение) и имаща посока, обратна на посоката на

по-следващата страна CD . Тази отсечка $\overrightarrow{AD_1}$ ще наричаме положителна паралела на четириъгълника през върха A . Насочената отсечка $\overrightarrow{AB_2}$ с начало A и край B_2 (лежаш на предшестващата A страна DC или на нейното продължение), която е еднопосочна с още по-предната страна BC , ще наричаме отрицателна паралела през върха A .

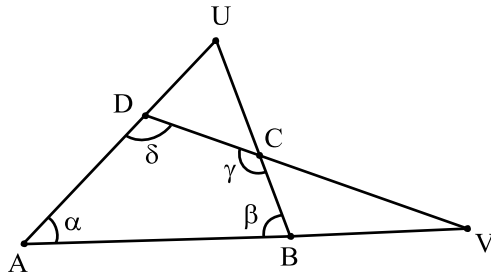


Фиг. 1

Определение 2. Правата, определена от кой да е връх на четириъгълника $ABCD$, например върха D и край D_1 на положителната паралела $\overrightarrow{AD_1}$ през следващия след D връх A (фиг. 1) ще наричаме положителна трансферзала през върха D .

Аналогично, правата, определена от кой да е връх на четириъгълника $ABCD$, например върха B и края B_2 на отрицателната паралела $\overrightarrow{AB_2}$ през върха A , предшестващ върха B , ще наричаме отрицателна трансферзала през върха B .

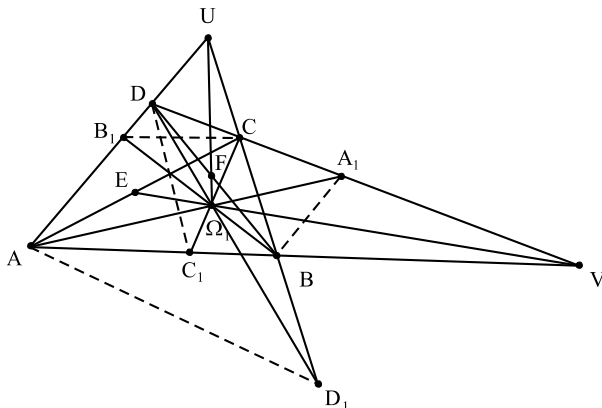
Да се уговорим отсега нататък да предполагаме, че в разглеждания четириъгълник $ABCD$ продълженията на срещуположните страни AD и BC се пресичат в точка, която ще означаваме с U , а тези на страните AB и DC – в точка, която ще означаваме с V , при което C лежи между U и B и между D и V (фиг. 2).



Фиг. 2

Определение 3. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и мерките на ъглите при върховете A , B , C и D са съответно α , β , γ и δ . Числото $k_0 = \frac{\sin \beta \cdot \sin \delta}{\sin \alpha \cdot \sin \gamma}$ ще наричаме изотомична константа на $ABCD$.

Както ще видим сега, четирите положителни и четирите отрицателни трансферзали на произволен четириъгълник са конкурентни помежду си четворка прави. Общите им точки ги делят в отношение k_0 , считано от определени краища. Освен това, последните съвпадат съответно с пресечните точки на две определени двойки прави през точките U и V :



Фиг. 3

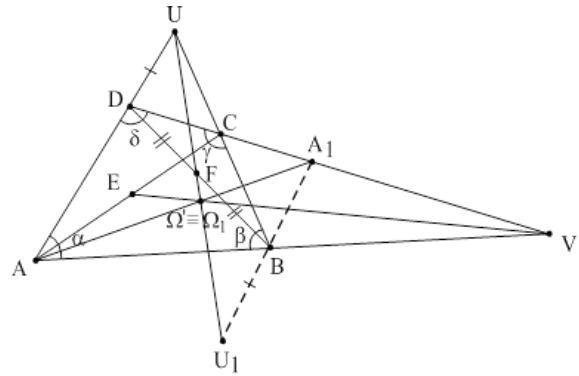
Теорема 1. Нека $ABCD$ е положително ориентиран изпъкнал четириъгълник и средите на диагоналите му AC и BD са съответно E и F (фиг. 3). Положителните трансферзали AA_1 , BB_1 , CC_1 и DD_1 и правите UF и VE се пресичат в една точка Ω_1 , при което са изпълнени равенствата:

$$(1) \quad \frac{A\Omega_1}{A_1\Omega_1} = \frac{B_1\Omega_1}{B\Omega_1} = \frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = \frac{D_1\Omega_1}{D\Omega_1} = k_0,$$

където k_0 е изотомичната константа.

Доказателство. Предварително ще докажем следната:

Лема 1. При означенията в теоремата е изпълнено равенството $CV = k_0 \cdot AV$.

Фиг. 3^a

Доказателство: Понеже A_1 е края на положителната трансферзала през върха A_1 , т.е. на положителната паралела през върха B , то $BA_1 \parallel AD$ (фиг. 3^a). Оттук имаме последователно:

$$\frac{CV}{AV} = \frac{CV}{DV} \cdot \frac{DV}{AV} = \frac{CV}{DV} \cdot \frac{AV}{BV} = \frac{CV}{BV} \cdot \frac{AV}{DV}.$$

От друга страна, по синусовата теорема от $\triangle BCV$ и $\triangle ADV$ получаваме:

$$\frac{CV}{BV} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}, \quad \frac{AV}{DV} = \frac{\sin \delta}{\sin \alpha}.$$

Следователно $\frac{CV}{BV} \cdot \frac{AV}{DV} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \alpha} = k_0$ и от последното

равенство следва, че $\frac{CV}{AV} = \frac{CV}{BV} \cdot \frac{AV}{DV} = k_0$, т.е. че

$$CV = k_0 \cdot AV. \text{ Лемата е доказана.}$$

Преминаваме към доказателството на теоремата. Първоначално ще докажем, че точката Ω_1 , която дели трансферзалата AA_1 в отношение k_0 , считано от A , лежи на всяка от правите VE и UF . Понеже $\frac{A\Omega_1}{A_1\Omega_1} = k_0$ (съгласно

избора на точката Ω_1), $\frac{AV}{CV} = \frac{1}{k_0}$ (по лемата) и $CE = AE$, то

е изпълнено равенството $\frac{A\Omega_1}{A_1\Omega_1} \cdot \frac{AV}{CV} \cdot \frac{CE}{AE} = 1$. По теоремата

на Менелай за $\triangle AA_1C$ можем да заключим, че точките E , Ω_1 и V лежат на една права т.е., че $\Omega_1 \in EV$. Ще докажем още, че $\Omega_1 \in UF$. Означаваме $AA_1 \cap UF = \Omega'$. Достатъчно е да

докажем, че $\Omega' \equiv \Omega_1$, т.е. че $\frac{A\Omega'}{A_1\Omega'} = k_0$. Нека

$U_1 = A_1B \cap UF$. Лесно се вижда, че $\triangle U_1BF \cong \triangle UDF$, откъдето получаваме: $BU_1 = DU$. Понеже $A_1U_1 \parallel AU$,

откъдето в частност следва, че $\frac{A_1B}{DU} = \frac{BC}{CU}$, отгук изразяваме

последователно:

$$\begin{aligned}\frac{A_1\Omega'}{A\Omega'} &= \frac{A_1U_1}{AU} = \frac{A_1B + BU_1}{AU} = \frac{A_1B}{AU} + \frac{DU}{AU} = \\ &= \frac{A_1B}{DU} \cdot \frac{DU}{AU} + \frac{DU}{AU} = \left(\frac{A_1B}{DU} + 1\right) \cdot \frac{DU}{AU} = \\ &= \left(\frac{BC}{CU} + 1\right) \cdot \frac{DU}{AU} = \frac{BU}{CU} \cdot \frac{DU}{AU} = \frac{BU}{AU} \cdot \frac{DU}{CU}.\end{aligned}$$

От друга страна, от $\triangle ABU$ и $\triangle DCU$ по синусовата теорема имаме:

$$\frac{BU}{AU} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad \frac{DU}{CU} = \frac{\sin \gamma}{\sin \delta}$$

и от последното равенство получаваме:

$$\frac{A_1\Omega'}{A\Omega'} = \frac{BU}{AU} \cdot \frac{DU}{CU} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} = \frac{1}{k_0},$$

т.е.

$$\frac{A\Omega'}{A_1\Omega'} = k_0.$$

Получихме, че точката Ω' дели трансферзалата AA_1 в отношение равно на k_0 , считано от A , следователно тя съвпада с точката Ω_1 . С това доказахме, че точката Ω_1 , която дели трансферзалата AA_1 в отношение k_0 , считано от A , съвпада с пресечната точка на правите UF и VE . По същия начин се доказва, че точките, които делят положителните трансферзали BB_1 , CC_1 и DD_1 в отношение k_0 , считано от съответни краища, също съвпадат с пресечната точка на правите UF и VE . Следователно и четирите трансферзали AA_1 , BB_1 , CC_1 и DD_1 и правите UF и VE се пресичат в една точка Ω_1 , която дели трансферзалите в отношение k_0 , считано от съответни краища.

Определение 4. Пресечната точка Ω_1 на положителните трансферзали AA_1 , BB_1 , CC_1 и DD_1 и правите UF и VE ще наричаме първи полюс на четириъгълника.

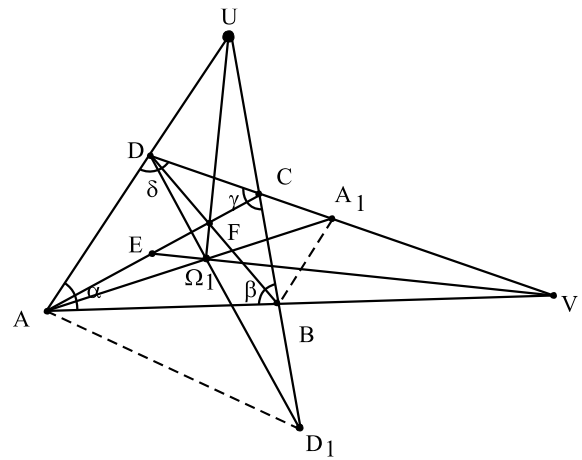
Аналогично се доказва, че отрицателните трансферзали AA_2 , BB_2 , CC_2 и DD_2 и правите UE и VF се пресичат в една точка Ω_2 , която дели трансферзалите в отношение k_0 , считано от съответни краища. Точката Ω_2 ще наричаме втори полюс на четириъгълника.

Сега ще определим отношенията в които полюсите на четириъгълника Ω_1 и Ω_2 делят вътрешно или външно отсечките UF , VE , VF и EU , определени от пресечните точки U и V на двойките срещуположни страни и средите E и F на диагоналите (фиг. 5):

Свойство 1. Полюсите Ω_1 и Ω_2 на четириъгълник $ABCD$ делят отсечките UF , EV , VF и EU в следните отношения (фиг. 4):

$$(2) \quad \begin{aligned}\frac{U\Omega_1}{F\Omega_1} &= \frac{2k_0}{k_0 - 1}, \quad \frac{E\Omega_1}{V\Omega_1} = \frac{k_0 - 1}{2}, \\ \frac{V\Omega_2}{F\Omega_2} &= \frac{2k_0}{k_0 - 1}, \quad \frac{E\Omega_2}{U\Omega_2} = \frac{k_0 - 1}{2}.\end{aligned}$$

Доказателство:



Фиг. 4

Нека DD_1 е положителната трансферзала през върха D , т.е. AD_1 е положителната паралела през върха A (фиг. 4). Тогава $AD_1 \parallel DC$. Първият полюс Ω_1 лежи върху DD_1 (по теорема 1). По теоремата на Менелай за $\triangle FUB$ и правата $D\Omega_1D_1$ имаме:

$$\frac{\Omega_1U}{\Omega_1F} \cdot \frac{DF}{DB} \cdot \frac{D_1B}{D_1U} = 1.$$

Понеже $DF = \frac{1}{2}DB$, отгук получаваме:

$$(3) \quad \frac{U\Omega_1}{F\Omega_1} = 2 \frac{UD_1}{BD_1}.$$

От друга страна, понеже $AD_1 \parallel DC$, имаме последователно:

$$\begin{aligned}\frac{UD_1}{BU} &= \frac{UD_1}{CU} \cdot \frac{CU}{BU} = \frac{AU}{DU} \cdot \frac{CU}{BU} = \\ &= \frac{AU}{BU} \cdot \frac{CU}{DU} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} = k_0,\end{aligned}$$

т.е.:

$$UD_1 = k_0 \cdot BU.$$

Отгук определяме:

$$\frac{UD_1}{BD_1} = \frac{k_0 \cdot BU}{UD_1 - BU} = \frac{k_0}{\frac{UD_1}{BU} - 1} = \frac{k_0}{k_0 - 1}.$$

Заместваме с получения резултат в дясната част на равенството (3) и непосредствено получаваме първото от доказваните равенства (2). Ще докажем сега второто от тези равенства. По теоремата на Менелай за $\triangle ECV$ и правата $A\Omega_1A_1$ имаме:

$$\frac{\Omega_1E}{\Omega_1V} \cdot \frac{A_1V}{A_1C} \cdot \frac{AC}{AE} = 1.$$

Понеже $\frac{AC}{AE} = 2$, отгук получаваме:

$$(4) \quad \frac{E\Omega_1}{V\Omega_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{AC}{AV}.$$

От друга страна, понеже $CV = k_0 \cdot AV$ (по лема 1) имаме:

$$AC = CV - AV = k_0 \cdot AV - AV = (k_0 - 1) \cdot AV.$$

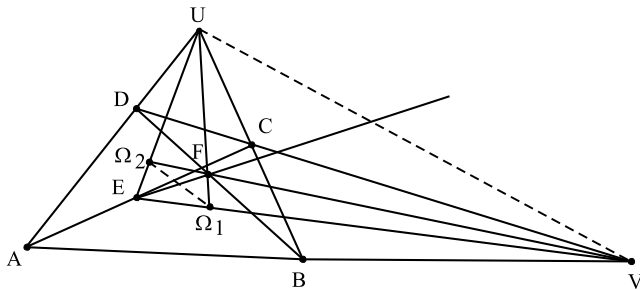
От (4) и последното равенство получаваме:

$$\frac{E\Omega_1}{V\Omega_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{AC}{AV} = \frac{(k_0 - 1) \cdot AV}{2AV} = \frac{k_0 - 1}{2}.$$

С това доказахме и второто от равенства (2). Аналогично се доказват и останалите две равенства.

Сега ще разгледаме връзката между правата $\Omega_1\Omega_2$, определена от полюсите на четириъгълника и правата UV , определена от пресечните точки на продълженията на срещуположните двойки страни:

Свойство 2. Правата $\Omega_1\Omega_2$, определена от полюсите на четириъгълник е успоредна на правата UV , определена от пресечните точки на продълженията на срещуположните двойки страни (фиг. 5).



Фиг. 5

Доказателство: От доказаните равенства (2) следва, че

$$\frac{U\Omega_1}{F\Omega_1} = \frac{V\Omega_2}{F\Omega_2} \quad (\text{фиг. 5}). \text{ Отгук получаваме:}$$

$$\frac{UF + F\Omega_1}{F\Omega_1} = \frac{VF + F\Omega_2}{F\Omega_2},$$

т.е.:

$$\frac{UF}{F\Omega_1} = \frac{VF}{F\Omega_2}.$$

Можем следователно да заключим, че $\Omega_1\Omega_2 \parallel UV$.

Сега ще докажем, че отсечката $\Omega_1\Omega_2$, определена от полюсите на четириъгълника, се разполюва от отсечката, определена от средите E и F на диагоналите:

Свойство 3. Средата на отсечката, определена от полюсите Ω_1 и Ω_2 на четириъгълника, лежи върху отсечката, определена от средите E и F на диагоналите.

Доказателство: Понеже $\Omega_1\Omega_2 \parallel UV$ (от свойство 2) (фиг. 5), четириъгълникът $VU\Omega_2\Omega_1$ е трапец с основи VU и $\Omega_1\Omega_2$. По теоремата на Шайнер можем да заключим, че пресечната точка F на диагоналите му $U\Omega_1$ и $V\Omega_2$, средата на основата му $\Omega_1\Omega_2$ и пресечната точка E на продълженията на бедрата му $U\Omega_2$ и $V\Omega_1$ лежат на една права. Изказано по друг

начин: средата на отсечката $\Omega_1\Omega_2$ лежи върху отсечката, определена от средите E и F на диагоналите AC и BD на $ABCD$.

С помощта на доказаните равенства (2) сега ще изразим лицето на четириъгълника $E\Omega_1F\Omega_2$ с върхове средите E и F на диагоналите и двата полюса Ω_1 и Ω_2 чрез лицето на изходния четириъгълник $ABCD$ (фиг. 5):

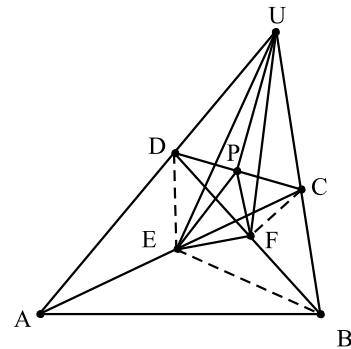
Теорема 2. Нека E и F са средите на диагоналите AC и BD на четириъгълника $ABCD$, а Ω_1 и Ω_2 са двата му полюса. Ако k_0 е изотомичната константа на $ABCD$ и S е лицето му, то е изпълнено равенството:

$$(5) \quad S_{E\Omega_1F\Omega_2} = \frac{k_0 - 1}{2(k_0 + 1)} S.$$

Доказателство. Предварително ще докажем следната лема:

Лема 2. В означенията на теоремата е изпълнено равенството:

$$(6) \quad S_{EFU} = \frac{1}{4} S.$$



Фиг. 6

Доказателство: Първо ще докажем, че $S_{DEFC} = \frac{1}{4} S$ (фиг. 6).

6). Начупената линия DEB разполюва лицето на четириъгълника $ABCD$, защото DE и BE са медиани, съответно в триъгълниците ACD и ACB , и следователно разполюват лицата им. Затова $S_{DEBC} = \frac{1}{2} S$. От своя страна, начупената

линия EFC разполюва лицето на четириъгълника $DEBC$, защото EF и CF са медиани, съответно в триъгълниците DEB и DCB , и следователно разполюват лицата им. Затова

$$S_{DEFC} = \frac{1}{2} S_{DEBC} = \frac{1}{4} S. \text{ Ще докажем сега равенството:}$$

$$(7) \quad S_{DUC} = S_{DEU} + S_{CFU}.$$

Означаваме средата на страната CD с P . Понеже $EP \parallel DU$ (EP – средна отсечка в $\triangle ACD$), имаме: $S_{DPU} = S_{DEU}$. Аналогично, понеже $PF \parallel CU$, имаме: $S_{CPU} = S_{CFU}$. Затова $S_{DUC} = S_{DPU} + S_{CPU} = S_{DEU} + S_{CFU}$, с което равенство (7) е доказано. От него следва, че

$$S_{DUC} + S_{DEFC} = S_{DEU} + S_{CFU} + S_{DEFC},$$

т.е. че:

$$S_{DEFCU} = S_{DEU} + S_{CFU} + \frac{1}{4} S.$$

Но от друга страна имаме:

$$S_{DEFCU} = S_{DEU} + S_{CFU} + S_{EFU}$$

От последните две равенства непосредствено следва доказаното равенство (6). Лемата е доказана.

Преминваме към доказателството на теоремата:

Средата на отсечката $\Omega_1\Omega_2$ лежи на правата EF (от свойство 3). Следователно (фиг. 5):

$$S_{E\Omega_1F} = S_{E\Omega_2F} = x.$$

С помощта на лема 2 оттук получаваме:

$$S_{E\Omega_1U} = S_{EFU} + S_{E\Omega_1F} = \frac{1}{4}S + x$$

и

$$S_{F\Omega_2U} = S_{EFU} - S_{E\Omega_2F} = \frac{1}{4}S - x.$$

От друга страна имаме:

$$\frac{S_{E\Omega_1U}}{S_{F\Omega_2U}} = \frac{UE \cdot U\Omega_1}{U\Omega_2 \cdot UF}.$$

Оттук и последните две равенства следва:

$$(8) \quad \frac{\frac{1}{4}S + x}{\frac{1}{4}S - x} = \frac{UE \cdot U\Omega_1}{U\Omega_2 \cdot UF}.$$

Същевременно, с помощта на равенства (2) от свойство 1 получаваме (фиг. 5):

$$\begin{aligned} \frac{UE}{U\Omega_2} &= \frac{U\Omega_2 + \Omega_2E}{U\Omega_2} = 1 + \frac{\Omega_2E}{U\Omega_2} = 1 + \frac{k_0 - 1}{2} = \frac{k_0 + 1}{2}, \\ \frac{U\Omega_1}{UF} &= \frac{U\Omega_1}{U\Omega_1 - \Omega_1F} = \frac{1}{1 - \frac{\Omega_1F}{U\Omega_1}} = \frac{1}{1 - \frac{k_0 - 1}{2}} = \frac{2k_0}{1 + k_0}. \end{aligned}$$

Заместваме с последните равенства в (8) и получаваме

$$\frac{\frac{1}{4}S + x}{\frac{1}{4}S - x} = k_0. \quad \text{Оттук определяме } x = \frac{1}{4} \cdot \frac{k_0 - 1}{k_0 + 1} S. \quad \text{Понеже}$$

$x = S_{E\Omega_1F} = S_{E\Omega_2F}$ (фиг. 5), получаваме:

$$S_{E\Omega_1F\Omega_2} = S_{E\Omega_1F} + S_{E\Omega_2F} = 2x = \frac{1}{2} \cdot \frac{k_0 - 1}{k_0 + 1} S.$$

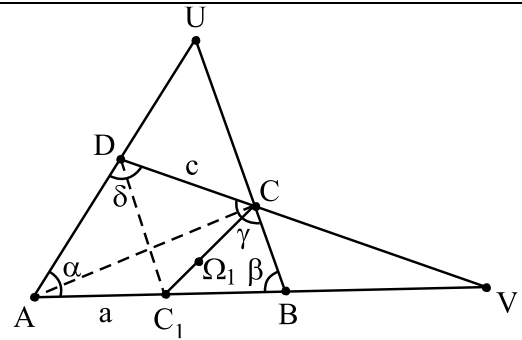
С това равенство (5) е доказано.

Сега ще разгледаме примери на четириъгълници в които полюсите съвпадат с различни забележителни точки в тях:

Пример 1. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и дължините на страните му AB и CD са съответно a и c , а мерките на ъглите при върховете A , B , C и D – съответно α , β , γ и δ (фиг. 7). Ако са изпълнени равенствата:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \delta} = \frac{\sin \beta}{2 \sin \gamma} = \frac{c}{a},$$

то първият полюс Ω_1 на $ABCD$ съвпада с медицентъра на $\triangle ABC$.



Фиг. 7

Доказателство: Първият полюс на четириъгълника $ABCD$ лежи на трансферзалата CC_1 и я дели в отношение

$$\frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = k_0, \quad \text{където } k_0 = \frac{\sin \beta \cdot \sin \delta}{\sin \alpha \cdot \sin \gamma} \quad (\text{по теорема 1}). \quad \text{Понеже}$$

DC_1 е паралела през D , имаме: $DC_1 \parallel BC$. Следователно

$$\frac{DC}{C_1B} = \frac{CV}{BV}. \quad \text{Но } \frac{CV}{BV} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \quad (\text{по синусовата теорема за } \triangle BVC)$$

$$\text{и понеже } \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{2c}{a} \quad (\text{по условие}), \quad \text{то } \frac{DC}{C_1B} = \frac{2c}{a}.$$

Оттук получаваме: $C_1B = \frac{a}{2}$. Следователно CC_1 е медиана в $\triangle ABC$.

Освен това, от по-горе имаме: $\frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = k_0 = \frac{\sin \beta \cdot \sin \delta}{\sin \gamma \cdot \sin \alpha}$. Като

използваме условията $\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{2c}{a}$ и $\frac{\sin \delta}{\sin \alpha} = \frac{a}{c}$, оттук

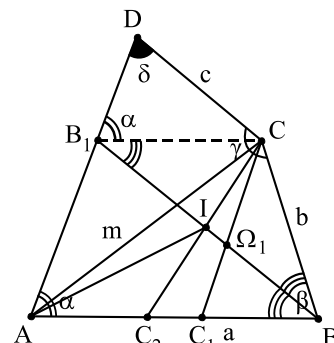
$$\text{получаваме: } \frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = \frac{2c}{a} \cdot \frac{a}{c} = 2. \quad \text{Получихме, че първият}$$

полюс Ω_1 на $ABCD$ лежи на медианата CC_1 на $\triangle ABC$ и я дели в отношение 2:1, считано от C . Следователно Ω_1 съвпада с медицентъра на $\triangle ABC$.

Пример 2. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и дължините на страните му AB , BC и CD , и на диагонала му AC са съответно a , b , c и m , а мерките на ъглите при върховете му A , B , C и D са съответно α , β , γ и δ (фиг. 8). Ако са изпълнени равенствата:

$$(9) \quad \frac{\sin \delta}{\sin \alpha} = \frac{b}{c}, \quad \frac{b+m}{a} = \frac{\sin \beta \cdot \sin \delta}{\sin \alpha \cdot \sin \gamma},$$

то първият полюс Ω_1 на $ABCD$ съвпада с центъра I на вписаната окръжност в $\triangle ABC$.



Фиг. 8

Доказателство: Да допуснем противното: нека първият полюс Ω_1 на четириъгълника $ABCD$ не съвпада с центъра I на вписаната в $\triangle ABC$ окръжност (фиг. 8). Първият полюс Ω_1 лежи на трансферзала BB_1 на $ABCD$. Ще докажем, че BB_1 е ъглополовяща на $\angle ABC$. Имаме $CB_1 \parallel AB$ (CB_1 – паралела през C), следователно: $\angle CB_1D = \angle BAD = \alpha$. Тогава от условието $\frac{\sin \delta}{\sin \alpha} = \frac{b}{c}$ и синусовата теорема за $\triangle DB_1C$ получаваме: $B_1C = c \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \alpha} = c \cdot \frac{b}{c} = b$. Затова $\triangle BB_1C$ е равнобедрен, откъдето следва, че $\angle ABB_1 = \angle CB_1B = \angle CBB_1$, т.е. BB_1 е ъглополовяща на $\angle ABC$. Центърът I на вписаната в $\triangle ABC$ окръжност лежи на ъглополовящата BB_1 на $\triangle ABC$. Означаваме $CI \cap AB = C_2$. По теоремата за ъглополовящата в триъгълника и условието (9) имаме:

$$\frac{CI}{C_2I} = \frac{CB}{C_2B} = \frac{CA}{C_2A} = \frac{CB+CA}{C_2B+C_2A} = \frac{b+m}{a} = \frac{\sin \beta \cdot \sin \delta}{\sin \alpha \cdot \sin \gamma}$$

От друга страна, полюсът Ω_1 на $ABCD$ лежи на трансферзала CC_1 през върха C и

$$\frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = k_0 = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin \gamma} \quad (\text{по теорема 1}). \text{ Получаваме}$$

$$\frac{CI}{C_2I} = \frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1}. \text{ Оттук следва, че } \Omega_1 I \parallel C_1C_2, \text{ което е}$$

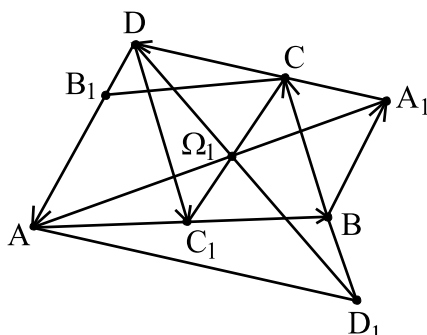
невъзможно. Следователно допускането е невярно и $\Omega_1 \equiv I$.

Сега ще покажем, че съществуват две двойки четириъгълници, свързани по определен начин с даден четириъгълник, които имат с него общ полюс.

Определение 5. Нека $ABCD$ е положително ориентиран изпъкнал четириъгълник и A_1, B_1, C_1 и D_1 са краищата на положителните му трансферзали AA_1, BB_1, CC_1 и DD_1 .

Четириъгълниците BA_1DC_1 и B_1AD_1C ще наричаме първа двойка асоциирани с $ABCD$ четириъгълници (фиг. 9). Аналогично, с помощта на отрицателните трансферзали се дефинира втора двойка четириъгълници, асоциирани с $ABCD$.

Теорема 3. Нека $ABCD$ е произволен изпъкнал четириъгълник. Първите асоциирани с него четириъгълници BA_1DC_1 и B_1AD_1C имат за първи полюс – първият полюс Ω_1 на $ABCD$ (фиг. 9).



Фиг. 9

Доказателство: Върховете A_1 и C_1 на четириъгълника BA_1DC_1 са краища на положителните трансферзали AA_1 и CC_1 на $ABCD$ (фиг. 9). Тогава $\overrightarrow{BA_1}$ и $\overrightarrow{DC_1}$ са съответно положителни паралели на $ABCD$ и $BA_1 \parallel AD$, $A_1 \in CD$ и $DC_1 \parallel CB$, $C_1 \in AB$. Ще покажем, че отсечките $\overrightarrow{A_1A}$ и $\overrightarrow{C_1C}$ са положителните трансферзали на четириъгълника BA_1DC_1 , съответно през върховете A_1 и C_1 . Понеже $DA \parallel A_1B$, $A \in BC_1$ и насочената отсечка $\overrightarrow{DA}$ е противоположна на $\overrightarrow{BA_1}$, то $\overrightarrow{DA}$ е положителната паралела на четириъгълника BA_1DC_1 през върха D . Именно затова $\overrightarrow{A_1A}$ е положителната трансферзала на BA_1DC_1 през върха A_1 . Аналогично, понеже $BC \parallel C_1D$, $C \in A_1D$ и насочената отсечка $\overrightarrow{BC}$ е противоположна на $\overrightarrow{DC_1}$, то $\overrightarrow{BC}$ е положителната паралела на BA_1DC_1 през върха B . Затова $\overrightarrow{C_1C}$ е положителната трансферзала на BA_1DC_1 през върха C_1 . Получихме, че отсечките $\overrightarrow{A_1A}$ и $\overrightarrow{C_1C}$ са положителни трансферзали на четириъгълника BA_1DC_1 , докато $\overrightarrow{AA_1}$ и $\overrightarrow{CC_1}$ са положителни трансферзали на четириъгълника $ABCD$. Първият полюс на BA_1DC_1 е обща точка на отсечките $\overrightarrow{A_1A}$ и $\overrightarrow{C_1C}$, а първият полюс на $ABCD$ е обща точка на отсечките $\overrightarrow{AA_1}$ и $\overrightarrow{CC_1}$, т.е. на отсечките със същите краища. Можем следователно да заключим, че тези първи полюси съвпадат. Аналогично се доказва и, че първият полюс на четириъгълника B_1AD_1C съвпада с първия полюс на $ABCD$.

Следствие 1. Асоциираните с даден четириъгълник четириъгълници BA_1DC_1 и B_1AD_1C са хомотетични помежду си (фиг. 9).

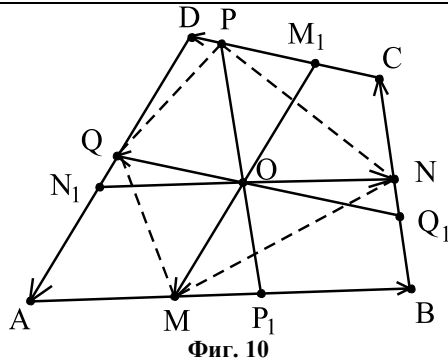
Доказателство: По теорема 1, всяка от правите AA_1, BB_1, CC_1 и DD_1 минава през полюса Ω_1 и са изпълнени равенствата:

$$\frac{A\Omega_1}{A_1\Omega_1} = \frac{B\Omega_1}{B_1\Omega_1} = \frac{C\Omega_1}{C_1\Omega_1} = \frac{D\Omega_1}{D_1\Omega_1} = k_0.$$

Това означава, че четириъгълникът AB_1CD_1 е образ на четириъгълника A_1BC_1D при хомотетията $h(\Omega_1, k_0)$.

Сега ще дефинираме понятието паралела през точка от вътрешността на изпъкнал четириъгълник:

Нека O е произволна точка от вътрешността на положително ориентиран изпъкнал четириъгълник $ABCD$ (фиг. 10). Да построим насочената отсечка $\overrightarrow{OM}$ с начало O и край M , лежащ върху страната AB или нейното продължение, която е еднорасположена с предходната страна $\overrightarrow{DA}$. Отсечката $\overrightarrow{OM}$ ще наричаме положителна паралела през точката O , успоредна на AD . Аналогично се дефинират и положителните паралели $\overrightarrow{ON}$, $\overrightarrow{OP}$ и $\overrightarrow{OQ}$ през точката O , успоредни съответно на страните AB, BC и CD .



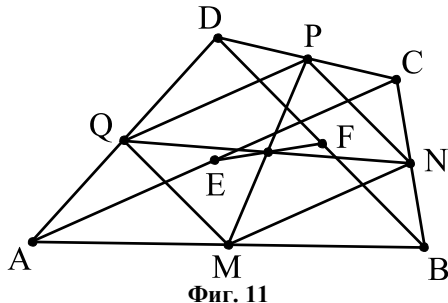
Фиг. 10

Да построим аналогично насочената отсечка $\overrightarrow{OM_1}$, с начало O и край M_1 , лежащ върху страната CD или нейното продължение, която е противоположна със следващата страна $\overrightarrow{DA}$. Отсечката $\overrightarrow{OM_1}$ ще наричаме отрицателна паралела през точката O , успоредна на страната AD . Аналогично се дефинират и отрицателните паралели през O , успоредни на страните AB , BC и CD .

Определение 6. Четириъгълникът $MNPQ$ с върхове краищата M , N , P и Q на положителните паралели през точката O ще наричаме първи паралелен четириъгълник за точката O спрямо четириъгълника $ABCD$, а четириъгълника $M_1N_1P_1Q_1$ с върхове краищата на отрицателните паралели – втори паралелен четириъгълник за точката O спрямо $ABCD$.

Преди да разгледаме свойствата на полюсите на четириъгълника, свързани с понятието паралела през вътрешна за четириъгълника точка, ще припомним понятието успоредник, „правилно“ вписан в даден на четириъгълник.

Определение 7. Ще казваме, че един успоредник $MNPQ$ е „правилно“ вписан в изпъкнал четириъгълник $ABCD$, ако страните му са съответно успоредни на диагоналите AC и BD (фиг. 11).



Фиг. 11

Съществува прост критерий един четириъгълник $MNPQ$, вписан в даден четириъгълник $ABCD$, да е „правилно“ вписан в него успоредник (за доказателство виж [4]):

Теорема 4. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и M , N , P и Q са точки съответно от страните му AB , BC , CD и DA (фиг. 11). Вписаният в $ABCD$ четириъгълник $MNPQ$ е „правилно“ вписан в него успоредник тогава и само тогава, когато са изпълнени равенствата:

$$(*) \quad \frac{AM}{BM} = \frac{CN}{BN} = \frac{CP}{DP} = \frac{AQ}{DQ} = k,$$

където k е определена величина, характеризираща успоредника $MNPQ$.

Величината k от равенства (*) се нарича Гаусова характеристика на успоредника $MNPQ$.

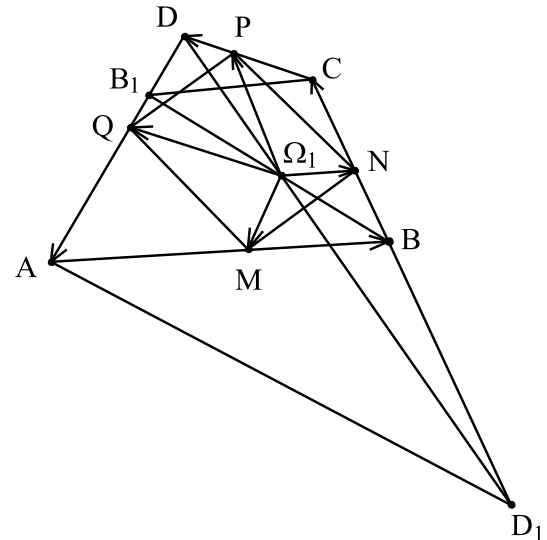
Едно важно свойство на „правилно“ вписан в даден четириъгълник успоредник, което ще използваме тук, се съдържа в следната теорема (доказана в [4]):

Теорема 5. Ако $MNPQ$ е „правилно“ вписан в даден четириъгълник $ABCD$ успоредник и Гаусовата му

характеристика е k , то пресечната точка на диагоналите му PM и QN лежи върху отсечката, определена от средите E и F , съответно на диагоналите AC и BD на четириъгълника $ABCD$ и я дели в отношение k , считано от E (фиг. 11).

Както ще видим, първият паралелен четириъгълник на първия полюс на произволен четириъгълник съвпада с втория паралелен четириъгълник на втория му полюс и е правилно вписан успоредник, с определена Гаусова характеристика.

Теорема 6. Първият паралелен четириъгълник $MNPQ$ на първия полюс Ω_1 на произволен изпъкнал четириъгълник $ABCD$ съвпада с втория паралелен четириъгълник на втория полюс Ω_2 и е правилно вписан в $ABCD$ успоредник, с Гаусова характеристика k_0 .



Фиг. 12

Доказателство: Нека BB_1 е положителната трансферзала

през върха B . Тогава $\Omega_1 \in BB_1$ и $\frac{B_1\Omega_1}{B\Omega_1} = k_0$ (по теорема 1)

(фиг. 12). Понеже векторът $\overrightarrow{\Omega_1 M}$ е еднопосочен с $\overrightarrow{DA}$ (по определение), по теоремата на Талес получаваме:

$$\frac{AM}{BM} = \frac{B_1\Omega_1}{B\Omega_1} = k_0. \text{ Понеже векторът } \overrightarrow{\Omega_1 N} \text{ е еднопосочен с } \overrightarrow{AB} \text{ (по определение), а } B_1C \parallel AB \text{ (} B_1C \text{ – паралела през върха } C \text{ на } ABCD\text{), то } \Omega_1 N \parallel B_1C \text{ и по теоремата на Талес}$$

имаме: $\frac{CN}{BN} = \frac{B_1\Omega_1}{B\Omega_1} = k_0$. Нека DD_1 е положителната трансферзала на $ABCD$ през върха D . Тогава $\Omega_1 \in DD_1$ и

$$\frac{D_1\Omega_1}{D\Omega_1} = k_0 \text{ (по теорема 1). Понеже } \Omega_1 P \parallel CB \text{ (по определение), по теоремата на Талес получаваме:}$$

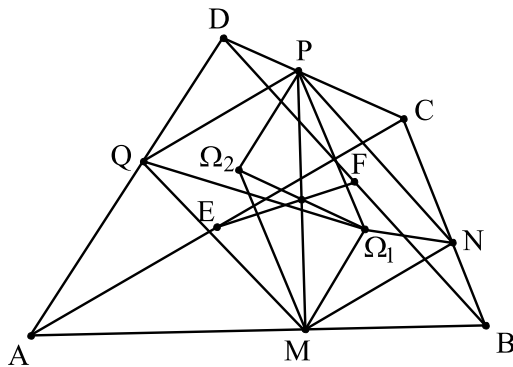
$$\frac{CP}{DP} = \frac{D_1\Omega_1}{D\Omega_1} = k_0. \text{ Отсечката } \overrightarrow{AD_1} \text{ е паралелата на } ABCD \text{ през върха } A, \text{ затова } AD_1 \parallel CD. \text{ Но отсечката } \overrightarrow{\Omega_1 Q} \text{ е}$$

еднопосочна на $\overrightarrow{CD}$ (по определение), затова $\Omega_1 Q \parallel AD_1$.

Тогава по теоремата на Талес имаме: $\frac{AQ}{DQ} = \frac{D_1\Omega_1}{D\Omega_1} = k_0$. Така

доказахме, че $\frac{AM}{BM} = \frac{CN}{BN} = \frac{CP}{DP} = \frac{AQ}{DQ} = k_0$. Съгласно

цитираната теорема 4 тогава четириъгълникът $MNPQ$ е правилно вписан в $ABCD$ успоредник, с Гаусова характеристика k_0 . По същия начин се доказва, че вторият паралелен четириъгълник на втория полюс Ω_2 също е правилно вписан успоредник, със същата Гаусова характеристика, т.е. че той съвпада с $MNPQ$.

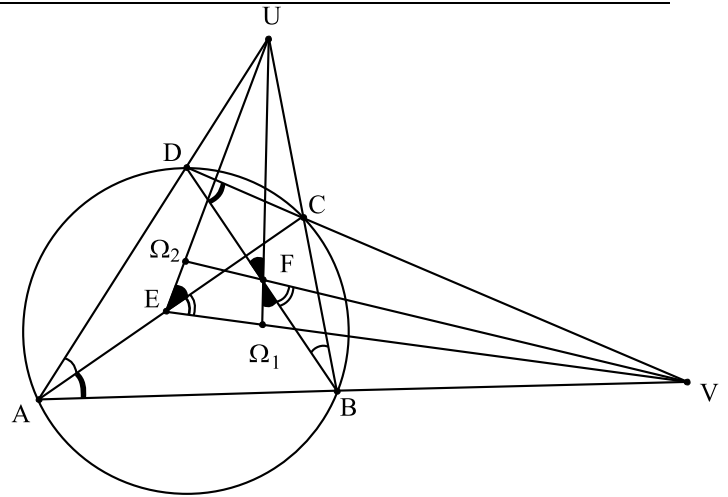


Фиг. 13

Следствие. Средата на отсечката $\Omega_1\Omega_2$, определена от полюсите Ω_1 и Ω_2 на произволен четириъгълник $ABCD$ дели отсечката EF , определена от средите E и F , съответно на диагоналите AC и BD , в отношение k_0 , считано от E . (фиг. 13)

Доказателство: Нека $MNPQ$ е правилно вписаният успоредник в четириъгълника $ABCD$, с Гаусова характеристика k_0 (фиг. 13). Съгласно доказаната теорема $MNPQ$ е първият паралелен четириъгълник за първия полюс Ω_1 на $ABCD$ и вторият паралелен четириъгълник за втория полюс Ω_2 . От определението на паралелните четириъгълници имаме, че $\Omega_1M \parallel AD$ и $\Omega_2P \parallel AD$, следователно $\Omega_1M \parallel \Omega_2P$. Аналогично имаме: $\Omega_1P \parallel BC \parallel \Omega_2M$. Затова четириъгълникът $M\Omega_1P\Omega_2$ е успоредник и средата на отсечката $\Omega_1\Omega_2$ е среда на отсечката PM , т.е. тя е пресечната точка на диагоналите на правилно вписания в $ABCD$ успоредник $MNPQ$, с Гаусова характеристика k_0 . Но по теорема 5 тази пресечна точка дели отсечката EF в отношение k_0 , считано от E . Така доказахме за втори път, че средата на отсечката $\Omega_1\Omega_2$ лежи на правата EF и дели отсечката EF в отношение k_0 , считано от E .

Сега ще докажем едно свойство на полюсите във вписан в окръжност четириъгълник:



Фиг. 14

Теорема 7. Във вписан в окръжност четириъгълник $ABCD$ средите E и F на диагоналите AC и BD и полюсите Ω_1 и Ω_2 лежат на една окръжност.

Доказателство: Понеже $\angle BAC = \angle BDC$ (вписани ъгли), триъгълниците ACV и DBV са подобни (фиг. 14). В тях VE и VF са медиани към съответни страни, затова $\angle VEC = \angle VFB$. Аналогично, понеже $\angle CAD = \angle DBC$, триъгълниците AUC и BUD също са подобни. В тях UE и UF са медиани към съответни страни, затова $\angle UEC = \angle UFD$. Събираме почленно получените две равенства:

$$\angle VEC + \angle UEC = \angle VFB + \angle UFD.$$

Но понеже $\angle VEC + \angle UEC = \angle VEU = \angle \Omega_1 E \Omega_2$ и $\angle VFB + \angle UFD = \angle VFB + \angle \Omega_1 F B = \angle \Omega_1 F V$, от последните равенства следва, че $\angle \Omega_1 E \Omega_2 = \angle \Omega_1 F V$.

Можем, следователно да заключим, че четириъгълникът $E\Omega_1 F\Omega_2$ е вписан, т.е. че точките E , Ω_1 , F и Ω_2 лежат на една окръжност.

Заключение. Свойствата на полюсите, които разгледахме в статията се оказват полезни при изучаването на свойствата на друга двойка забележителни точки в четириъгълника, аналогични на точките на Брокер в триъгълника. На това им приложение ще се спрем в отделна статия.

Литература:

- [1] Бойкина, Д. (2020). Неоднозначни геометрични задачи. Математика и информатика, 6, 639-649, ISSN 1310-2230.
- [2] Бойкина, Д. (2024). Приложение на метода обобщение за съставяне на задачи по геометрия. 53-та пролетна конференция на Съюза на математиците в България „Математика и математическо образование“, 1-5 април, 2024, Боровец. Сборник с доклади, 126-134, ISSN 1313-3330.
- [3] Желязкова, Цв. & Д. Бойкина (2024). Относно евристиката „Отделяне на подзадачи“ при решаване на геометрични задачи в 7 клас. 53-та пролетна конференция на Съюза на математиците в България „Математика и математическо образование“, 1-5 април, 2024, Боровец. Сборник с доклади, 141-148, ISSN 1313-3330.
- [4] Хаимов, Х. & Ст. Стефанов (2023). Геометрия на четириъгълника, „Партнер БГ“ ЕООД, София, ISBN: 978-619-7066-32-6.
- [5] Millousheva-Boykina, D. & V. Milloushev (2015). Forming Skills for the Application of Analysis and Synthesis in Solving Problems in Geometry. Science and Education a New Dimension: Pedagogy and Psychology, III(26), Issue: 50, 50-54, ISSN 2308-5258. (In Bulgarian)

Точки на Брокер в четириъгълник

Станислав Стефанов
Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
stanislav.toshkov@abv.bg

Резюме. В статията се решава напълно въпросът за съществуването на точните аналози в изпъкнал четириъгълник на точките на Брокер в триъгълника, имащи напълно идентична дефиниция с тях. Да припомним, че точки на Брокер в триъгълника ABC се наричат точките K_1 и K_2 от вътрешността му, за които са изпълнени равенствата (за повече виж [4]) (фиг. 1):

$$\angle K_1AB = \angle K_1BC = \angle K_1CA = \varphi_1 \text{ и } \angle K_2BA = \angle K_2CB = \angle K_2AC = \varphi_2.$$

По аналогия с тях, точките K_1 и K_2 от вътрешността на изпъкнал четириъгълник $ABCD$ (ако такива точки в него има), за които са изпълнени равенствата (фиг. 2):

$$\angle K_1AB = \angle K_1BC = \angle K_1CD = \angle K_1DA = \varphi_1 \text{ и } \angle K_2BA = \angle K_2CB = \angle K_2DC = \angle K_2AD = \varphi_2,$$

се наричат точки на Брокер на четириъгълника. Ъглите φ_1 и φ_2 се наричат Брокерови ъгли на четириъгълника.

Четириъгълници, притежаващи двете точки на Брокер K_1 и K_2 са открити още в началото 20 век – това са така наречените хармонични четириъгълници. Така се наричат вписаните четириъгълници, в които произведенията на двойките срещуположни страни са равни помежду си. Това, което е направено тук, е доказването, че четириъгълниците, притежаващи едновременно и двете точки на Брокер са единствено хармоничните четириъгълници. Освен това, доказано е, че вписаните четириъгълници, притежаващи поне едната от точките на Брокер, притежават и втората точка и следователно множеството им отново съвпада с множеството на хармоничните четириъгълници. При това, в последните четириъгълници точките на Брокер съвпадат с друга по-обща двойка забележителни точки, съществуващи във всеки (произволен) изпъкнал четириъгълник, наречени негови полюси (виж [5]). Като използваме свойства на последните, към добре известните свойства на точките на Брокер в хармоничните четириъгълници тук прибавяме нови.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ИЗПЪКНАЛ ЧЕТИРИЪГЪЛНИК, ТОЧКИ НА БРОКАР, ПОЛЮСИ, ХАРМОНИЧЕН ЧЕТИРИЪГЪЛНИК.

Brocard points in a quadrangle

Stanislav Stefanov
Todor Kableshkov University of Transport
stanislav.toshkov@abv.bg

Abstract: The article completely resolves the question of the existence of the exact analogues in a convex quadrilateral of the Brocard points in the triangle, having a completely identical definition to them. Let us recall that Brocard points in the triangle ABC are called the points K_1 and K_2 in its interior for which the equalities are satisfied (for more see [4]) (fig. 1):

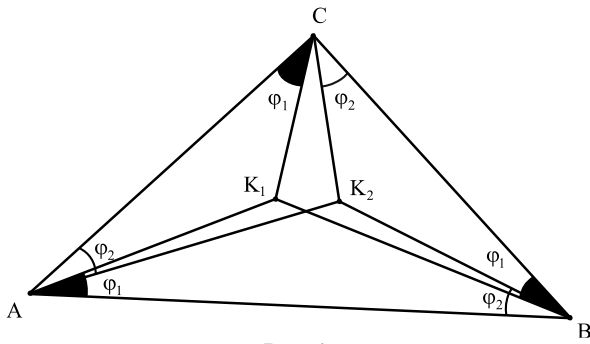
$$\angle K_1AB = \angle K_1BC = \angle K_1CA = \varphi_1 \text{ and } \angle K_2BA = \angle K_2CB = \angle K_2AC = \varphi_2.$$

By analogy with them, the points K_1 and K_2 from the interior of a convex quadrilateral $ABCD$ (if there are such points in it), for which the following equalities are satisfied (fig. 2):

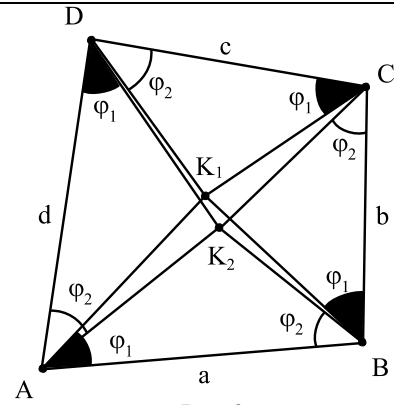
$$\angle K_1AB = \angle K_1BC = \angle K_1CD = \angle K_1DA = \varphi_1 \text{ and } \angle K_2BA = \angle K_2CB = \angle K_2DC = \angle K_2AD = \varphi_2,$$

are called Brocard points of the quadrilateral. The angles φ_1 and φ_2 are called the Brocar angles of the quadrilateral. Quadrilaterals possessing the two Brocard points K_1 and K_2 were discovered as early as the early 20th century – these are the so-called harmonic quadrilaterals. This is the name given to inscribed quadrilaterals in which the products of the pairs of opposite sides are equal to each other. What has been done in this article is the prove that quadrilaterals possessing both Brocard points simultaneously are only the harmonic quadrilaterals. Furthermore, it has been proven that inscribed quadrilaterals possessing at least the one of the Brocard points also possess the second point, and therefore their set again coincides with the set of the harmonic quadrilaterals. Moreover, in the latter quadrilaterals the Brocard points coincide with another more general pair of remarkable points existing in every (arbitrary) convex quadrilateral, called its poles (see [5]). Using properties of the latter points, in this article we add new ones to the well-known properties of Brocard points in the harmonic quadrilaterals.

KEYWORDS: CONVEX QUADRILATERAL, BROCARD POINTS, POLES, HARMONIC QUADRILATERAL.



Фиг. 1



Фиг. 2

I. Въведение. Точките на Брокер в четириъгълника са открити още през 1875 г. от френския инженер Анри Брокер. Откриването им дава силен тласък в развитието на геометрията на триъгълника. Появява се ново направление в нея, известно като Брокерова геометрия. Опити, резултатите от Брокеровата геометрия да се пренесат в четириъгълник, били направени в началото на 20 век. Дефиницията на точките на Брокер в триъгълника била автоматично пренесена и за изпъкнал четириъгълник. За да успеят да пренесат обаче възможно повече от свойствата на точките на Брокер в триъгълника за така дефинираните точки в четириъгълник, геометриците на 20 век били принудени да разглеждат само вписани четириъгълници и то в които произведенията на двойките срещуположни страни са равни помежду си, които нарекли хармонични четириъгълници. Това, което ще направим тук е, че ще покажем, че всъщност геометриците случайно или не са попаднали именно на общия случай на четириъгълници, притежаващи и двете точки на Брокер, т.е. ще покажем, че такива четириъгълници са само хармоничните. Ще покажем още, че точките на Брокер на тези четириъгълници са частен случай на по-обща двойка забележителни точки, съществуващи в произволен изпъкнал четириъгълник. Използвайки това и пренасяйки свойствата на общите точки в частния случай, ще получим ред нови свойства на точките на Брокер в четириъгълника, не наподобяващи свойства на тези точки, взаимствани от триъгълника.

II. Едно свойство на точките на Брокер в произволен четириъгълник.

Първото твърдение, което ще докажем тук е, че ъгълът на Брокер, както за едната, така и за другата точка на Брокер на четириъгълник (ако такава точка съществува), е еднозначно определен (и един и същ и за двете точки):

Теорема 1. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и дължините на страните му AB , BC , CD и DA са съответно a , b , c и d , а S е лицето му. Ако точката на Брокер в него K_1 (респ.

K_2) съществува, то съответният Бокеров ъгъл φ_1 (респ. φ_2) е равен на ъгъла φ , определен от равенството

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{4S}{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}.$$

Доказателство: Нека за четириъгълника $ABCD$ точката на Брокер K_1 съществува. По определението ѝ имаме:

$$\angle K_1 AB = \angle K_1 BC = \angle K_1 CD = \angle K_1 DA = \varphi_1$$

(фиг. 2). По формулата за лице на триъгълник, следваща от котангесовата теорема, тогава получаваме:

$$4S_{ABK_1} = (a^2 + AK_1^2 - BK_1^2) \operatorname{tg} \varphi_1,$$

$$4S_{BCK_1} = (b^2 + BK_1^2 - CK_1^2) \operatorname{tg} \varphi_1,$$

$$4S_{CDK_1} = (c^2 + CK_1^2 - DK_1^2) \operatorname{tg} \varphi_1,$$

$$4S_{DAK_1} = (d^2 + DK_1^2 - AK_1^2) \operatorname{tg} \varphi_1.$$

Като съберем почленно тези равенства и вземем предвид, че $S_{ABK_1} + S_{BCK_1} + S_{CDK_1} + S_{DAK_1} = S$, стигаме до равенството:

$$4S = (a^2 + b^2 + c^2 + d^2) \operatorname{tg} \varphi_1.$$

Оттук и следва, че $\varphi_1 = \varphi$, където $\operatorname{tg} \varphi = \frac{4S}{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$.

Аналогично се доказва, че ако в четириъгълника $ABCD$ съществува точката на Брокер K_2 , то $\varphi_2 = \varphi$.

Следствие. Ако в един четириъгълник съществуват и двете точки на Брокер, то Брокеровите ъгли φ_1 и φ_2 са равни помежду си.

III. Четириъгълници, в които съществуват и двете точки на Брокер.

Както ще видим сега, с помощта на теорема 1 се получава лесно, че ако в един четириъгълник и двете точки на Брокер съществуват, то той е вписан в окръжност. Предварително ще припомним следните определения:

Определение 1. Две прави, минаващи през върха на даден ъгъл, се наричат изогонални спрямо ъгъла, ако образуват равни ъгли с ъглополовящата му, а следователно с раменете му.

Определение 2. Две точки в равнината на триъгълник (четириъгълник) се наричат изогонално спрегнати спрямо него, ако лежат на изогонални прави спрямо всеки от ъглите му.

Съществува прост критерий една точка от вътрешността на изпъкнал четириъгълник да има изогонално спрегната точка:

Свойство 1. Точката K_1 в четириъгълника $ABCD$ има изогонално спрегната точка тогава и само тогава, когато е изпълнено равенството:

$$\angle AK_1 B + \angle CK_1 D = 180^\circ \text{ (фиг. 2).}$$

Теорема 2. Нека в четириъгълника $ABCD$ съществуват и двете точки на Брокер K_1 и K_2 . Тогава той е вписан в окръжност (фиг. 2).

Доказателство: За точките K_1 и K_2 по определение са изпълнени равенствата:

$$\angle K_1 AB = \angle K_1 BC = \angle K_1 CD = \angle K_1 DA = \varphi_1,$$

$$\angle K_2 BA = \angle K_2 CB = \angle K_2 DC = \angle K_2 AD = \varphi_2.$$

Но по теорема 1 имаме $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, където

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{4S}{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}. \text{ Тогава е изпълнено равенството}$$

$\angle K_1 AB = \angle K_2 AD = \varphi$. Това означава, че точките K_1 и K_2 лежат на изогонални прави спрямо ъгъл BAD . Аналогично се доказва, че те лежат на изогонални прави и спрямо другите три ъгъла на четириъгълника, следователно те са изогонално спрегнати спрямо него. Според свойство 1, приложено към точката K_1 (която има изогонално спрегната точка), тогава имаме:

$$(*) \angle AK_1 B + \angle CK_1 D = 180^\circ.$$

Същевременно от $\triangle ABK_1$ получаваме:

$$\angle AK_1 B = 180^\circ - \angle K_1 AB - \angle K_1 BA.$$

Понеже $\angle K_1 AB = \angle K_1 BC$ (по определението на точката на Брокер K_1), оттук следва:

$$\angle AK_1 B = 180^\circ - \angle K_1 BC - \angle K_1 BA = 180^\circ - \angle ABC.$$

Аналогично имаме:

$$\begin{aligned} \angle CK_1 D &= 180^\circ - \angle K_1 CD - \angle K_1 DC = \\ &= 180^\circ - \angle K_1 DA - \angle K_1 DC = 180^\circ - \angle ADC. \end{aligned}$$

С помощта на последните две равенства заместваем в равенство (*) и получаваме:

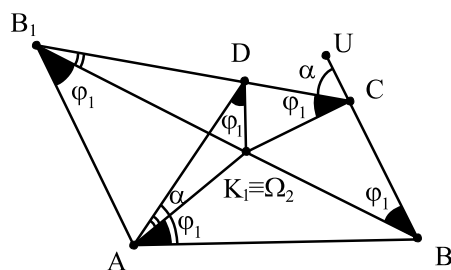
$$(180^\circ - \angle ABC) + (180^\circ - \angle ADC) = 180^\circ,$$

т.е. $\angle ABC + \angle ADC = 180^\circ$. Следователно четириъгълникът $ABCD$ е вписан в окръжност.

IV. Точките на Брокер във вписан четириъгълник – частен случай на по-обща забележителни точки в произволен четириъгълник.

Както ще видим сега, ако в един вписан в окръжност четириъгълник съществува точка на Брокер K_1 (респ. K_2), то тя съвпада с друга забележителна точка в него – така наречения негов полюс Ω_2 (респ. Ω_1), съществуващ в произволен изпъкнал четириъгълник:

Теорема 4. Ако във вписания четириъгълник $ABCD$ точката на Брокер K_1 съществува, то тя съвпада с втория му полюс Ω_2 .



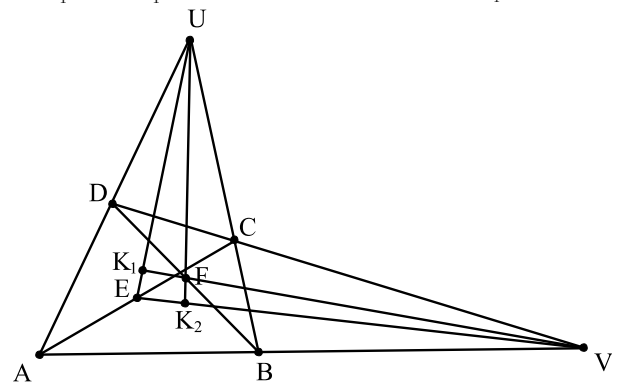
Фиг. 3

Доказателство: Както ще покажем първо, ако точката на Брокер K_1 във вписания в окръжност четириъгълникът $ABCD$ съществува, то правата BK_1 пресича страната CD или нейното продължение в точка B_1 , за която е изпълнено условието

$AB_1 \parallel BC$ (фиг. 3). Наистина, по дефиницията на точките на Брокер в четириъгълника са изпълнени равенствата:

$$\angle K_1 AB = \angle K_1 BC = \angle K_1 CD = \angle K_1 DA = \varphi_1.$$

Нека U е произволна точка от продължението на страната BC . Понеже четириъгълникът $ABCD$ по условие е вписан в окръжност, имаме: $\angle DCU = \angle BAD = \alpha$. От $\triangle BB_1C$ с помощта на теоремата за външен ъгъл получаваме $\angle BB_1C = \angle DCU - \angle B_1 BC = \alpha - \varphi_1$. От друга страна имаме: $\angle K_1 AD = \angle BAD - \angle BAK_1 = \alpha - \varphi_1$. Като сравним десните части на последните две равенства, получаваме: $\angle BB_1C = \angle K_1 AD$, т.е. $\angle K_1 B_1 D = \angle K_1 AD$. Можем да заключим, че четириъгълникът $AK_1 DB_1$ е вписан в окръжност, откъдето следва: $\angle AB_1 K_1 = \angle ADK_1 = \varphi_1$. Но същевременно и $\angle B_1 BC = \angle K_1 BC = \varphi_1$, следователно $\angle AB_1 K_1 = \angle B_1 BC$, т.е. $\angle AB_1 B = \angle B_1 BC$. Оттук и получаваме, че $AB_1 \parallel BC$.



Фиг. 4

Да отбележим сега, че отсечката BB_1 в четириъгълника $ABCD$, такава че $B_1 \in DC$ и $AB_1 \parallel BC$ в [5] нарекохме отрицателна трансферзала на четириъгълника $ABCD$ през върха B . При тази терминология, доказаното дотук означава, че ако точката на Брокер K_1 на четириъгълника $ABCD$ съществува, то тя лежи на отрицателната трансферзала на този четириъгълник през върха B . По същия начин получаваме, че точката K_1 лежи на отрицателните трансферзали на $ABCD$ през другите му върхове. Следователно K_1 е обща точка на четирите трансферзали на четириъгълника $ABCD$, която обща точка в [5] нарекохме втори полюс на $ABCD$. С това доказахме, че ако във вписания четириъгълник $ABCD$ точката на Брокер K_1 съществува, то тя съвпада с неговия втори полюс Ω_2 .

Следствие. Нека $ABCD$ е вписан четириъгълник, в който продълженията на страните AD и BC се пресичат в точка U , а тези на страните AB и DC – в точка V (фиг. 4). Ако E и F са средите съответно на диагоналите AC и BD и в четириъгълника $ABCD$ съществува точка на Брокер K_1 , то тя съвпада с пресечната точка на правите VF и UE .

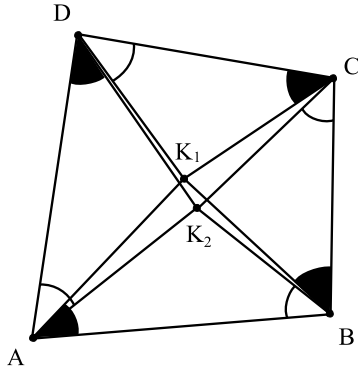
Доказателство: По доказаната теорема, ако точка на Брокер K_1 на четириъгълника $ABCD$ съществува, то тя съвпада с втория му полюс Ω_2 . Но както доказахме в [5], вторият полюс на $ABCD$ съвпада с пресечната точка на правите VF и UE (фиг. 4). Следователно на свой ред точката на Брокер K_1 съвпада с тази пресечна точка.

V. Вписан четириъгълник, в който съществува поне една точка на Брокер.

Сега ще докажем, че ако във вписания четириъгълник $ABCD$ съществува поне една от двете точки на Брокер, то в него съществува и втората точка на Брокер. В доказателството ще използваме следното свойство на изогонално спрегнатите точки в четириъгълник:

Свойство 2. Нека K_1 и K_2 са две изогонално спрегнати точки от вътрешността на изпъкнал четириъгълник $ABCD$ (фиг. 5). Изпълнено е равенството:

$$\angle AK_2B = \angle ADK_1 + \angle BCK_1.$$



Фиг. 5

Теорема 3. Нека във вписания четириъгълник $ABCD$ съществува точката на Брокер K_1 . Тогава точката K_1 има изогонално спрегната точка K_2 и тя е също точка на Брокер на четириъгълника.

Доказателство: Ще докажем първо следната:

Лема. Нека K_1 е първата точка на Брокер във вписан четириъгълник $ABCD$. Изпълнени са равенствата:

$$(1) \angle AK_1B = \angle ADC, \angle CK_1D = \angle ABC.$$

Доказателство: Понеже $\angle K_1AB = \angle K_1BC$ (по определението на точката на Брокер K_1), имаме последователно:

$$\begin{aligned} \angle AK_1B &= 180^\circ - \angle K_1AB - \angle K_1BA = \\ &= 180^\circ - \angle K_1BC - \angle K_1BA = \\ &= 180^\circ - \angle ABC = \angle ADC. \end{aligned}$$

Доказахме първото от равенства (1). Аналогично се доказва и второто равенство.

Преминуваме към доказателството на теоремата. Като използваме лемата, получаваме равенството:

$$\angle AK_1B + \angle CK_1D = \angle ADC + \angle ABC = 180^\circ.$$

Съгласно свойство 1 тогава можем да заключим, че точката K_1 има изогонално спрегната точка. Поради $\angle ADK_1 = \angle K_1CD$ (по определението на точката на Брокер K_1), съгласно свойство 2 е изпълнено равенството:

$$\begin{aligned} \angle AK_2B &= \angle ADK_1 + \angle BCK_1 = \\ &= \angle K_1CD + \angle BCK_1 = \angle BCD = 180^\circ - \angle BAD, \end{aligned}$$

т.е.

$$\angle BAD = 180^\circ - \angle AK_2B.$$

Оттук и следва:

$$\begin{aligned} \angle K_2AD &= \angle BAD - \angle BAK_2 = \\ &= (180^\circ - \angle AK_2B) - \angle BAK_2 = \angle K_2BA. \end{aligned}$$

Получихме, че за точката K_2 е изпълнено едно от равенствата от определението на точката на Брокер K_2 . Аналогично се доказва, че за нея са изпълнени и останалите равенства от определението. Следователно K_2 е точка на Брокер за четириъгълника. Така доказахме, че ако във вписания четириъгълник $ABCD$ съществува точката на Брокер K_1 , то тя има изогонално спрегната точка K_2 и последната също е точка на Брокер на четириъгълника.

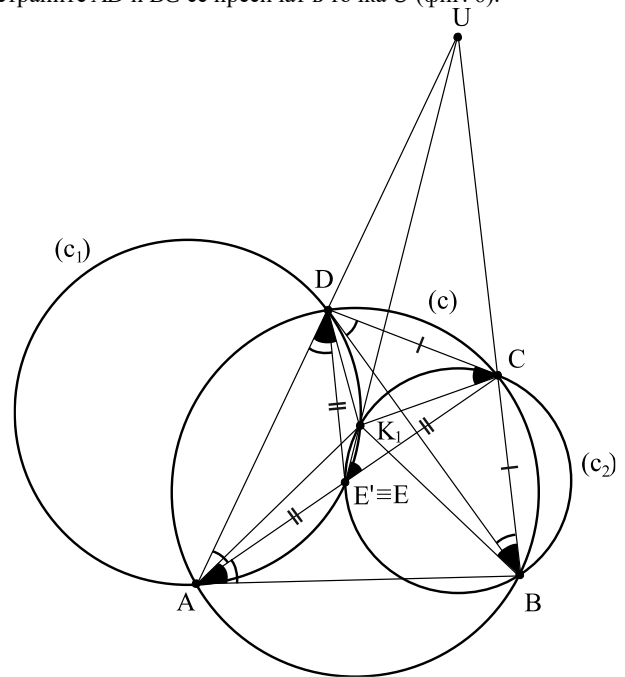
VI. Вписан в окръжност четириъгълник, в който съществува точка на Брокер.

Сега ще отговорим на въпроса при какво необходимо условие за вписания четириъгълник точките на Брокер в него съществуват:

Теорема 5. Ако във вписания четириъгълник $ABCD$ точката на Брокер K_1 съществува, то е изпълнено равенството:

$$BC \cdot AD = AB \cdot CD \quad (\text{фиг. 6}).$$

Доказателство: Лесно се проверява, че ако разглежданият вписан четириъгълник $ABCD$ е успоредник и следователно правоъгълник и точката на Брокер в него съществува, то той е квадрат и равенството $BC \cdot AD = AB \cdot CD$ е изпълнено. По-нататък можем без ограничение на общността да предполагаем, че продълженията на страните AD и BC се пресичат в точка U (фиг. 6).

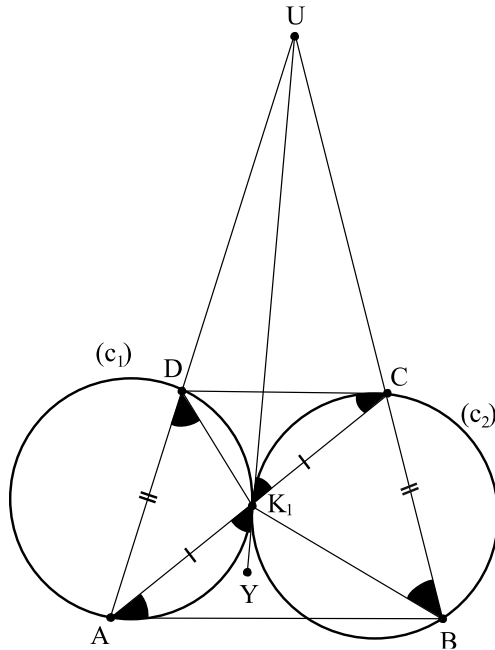


Фиг. 6

Означаваме с (c_1) и (c_2) описаните окръжности около триъгълниците ADK_1 и BCK_1 , а описаната окръжност около четириъгълника $ABCD$ с (c) . Нека E' е втората обща точка на окръжностите (c_1) и (c_2) . Понеже точката U лежи на общата секуща AD на окръжностите (c_1) и (c) , т.е. на радиалната им ос и на общата секуща BC на окръжностите

(c_2) и (c) , т.е. и на тяхната радиална ос, то U е радикалният център на окръжностите (c_1) , (c_2) и (c) и следователно лежи и на радиалната ос на окръжностите (c_1) и (c_2) , т.е. на общата им секуща $E'K_1$ (при $E' \neq K_1$) или на общата допирателна към тях в точката K_1 (ако $E' \equiv K_1$). Ще разгледаме първо случая, когато UK_1 е допирателна към окръжностите (c_1) и (c_2) в точката K_1 (фиг. 6^a). Нека Y е произволна точка от продължението на отсечката UK_1 . Понеже точките Y , K_1 и U лежат на една права, имаме:

$$(2) \quad \angle YK_1A + \angle AK_1U = 180^\circ.$$



Но $\angle YK_1A = \angle ADK$ (вписан и периферен ъгъл в (c_1)) и понеже $\angle ADK_1 = \angle K_1BC$ (по определението на точката на Брокер K_1), то $\angle YK_1A = \angle K_1BC$. От друга страна $\angle K_1BC = \angle UK_1C$ (вписан и периферен ъгъл в (c_2)) и следователно $\angle YK_1A = \angle UK_1C$. С помощта на последното равенство заместваме в (2) и получаваме:

$$\angle UK_1C + \angle AK_1U = 180^\circ$$

Последното равенство означава, че точката K_1 лежи на диагонала AC , а тогава от равенството $\angle K_1AB = \angle K_1CD$ (по определението на точката на Брокер K_1) следва, че $AB \parallel CD$. Понеже по условие четириъгълникът $ABCD$ е вписан, то тогава той е равнобедрен трапец и $AD = BC$, $AC = BD$. От $\angle K_1DA = \angle K_1CD$ (по определението на точката на Брокер K_1) следва, че $\triangle K_1AD \sim \triangle DAC$, откъдето имаме:

$$\frac{K_1A}{AD} = \frac{AD}{AC}, \quad \text{т.е.} \quad AD^2 = K_1A \cdot AC.$$

Аналогично от $\angle K_1AB = \angle K_1BC$ (по определението на точката на Брокер K_1) следва, че $\triangle BAC \sim \triangle K_1BC$, откъдето имаме:

$$\frac{BC}{AC} = \frac{K_1C}{BC} \quad \text{т.е.} \quad BC^2 = K_1C \cdot AC.$$

От получените равенства $AD^2 = K_1A \cdot AC$ и $BC^2 = K_1C \cdot AC$ и равенството $AD = BC$ (от по-горе) следва, че $K_1A \cdot AC = K_1C \cdot AC$, т.е.:

$$K_1A = K_1C. \quad \text{Тогава} \quad K_1A = \frac{AC}{2} \quad \text{и от равенството}$$

$$AD^2 = K_1A \cdot AC \quad \text{получаваме:}$$

$$AD^2 = \frac{AC}{2} \cdot AC.$$

Като вземем предвид, че очевидно: $AD^2 = AD \cdot BC$ (поради $AD = BC$) и че $\frac{AC}{2} \cdot AC = \frac{1}{2} BD \cdot AC$ (поради $AD = BC$), от последното равенство получаваме:

$$AD \cdot BC = \frac{1}{2} BD \cdot AC.$$

Но $BD \cdot AC = AD \cdot BC + AB \cdot CD$ (по теоремата на Птоломей) и като заместим в последното равенство, стигаме до равенството:

$$AD \cdot BC = \frac{1}{2} (AD \cdot BC + AB \cdot CD).$$

Оттук и следва желаното равенство $AD \cdot BC = AB \cdot CD$.

Сега ще разгледаме случая когато K_1E' е секуща на окръжностите (c_1) и (c_2) , т.е. когато $E' \neq K_1$ (фиг. 6). По доказаното по-горе, секущата K_1E' минава през точката U , т.е. точката E' лежи на правата UK_1 . Понеже $\angle K_1E'C = \angle K_1BC$ (вписани ъгли в (c_2)) и $\angle AE'K_1 = 180^\circ - \angle K_1DA$, имаме:

$$\angle K_1E'C + \angle AE'K_1 = \angle K_1BC + (180^\circ - \angle K_1DA).$$

Поради $\angle K_1BC = \angle K_1DA$ (по определението на точката на Брокер K_1), оттук следва, че $\angle K_1E'C + \angle AE'K_1 = 180^\circ$, т.е. че точката E' лежи на диагонала AC . Получихме, че точката E' лежи както на правата UK_1 , така и на диагонала AC . Но по следствието от теорема 4, точката K_1 лежи на правата UE , където E е средата на диагонала AC . Изказано по друг начин, точката E също лежи на правата UK_1 . Получаваме, че както точката E' , така и точката E лежат едновременно и на правата UK_1 и на диагонала AC , следователно $E' \equiv E$. Понеже $\angle K_1AB = \angle K_1DA = \varphi_1$ (по определението на точката на Брокер K_1), то както следва от теоремата за периферен и вписан ъгъл с обща принадлежаща дъга, правата AB се допира до окръжността (c_1) в точка A . Оттук следва, че $\angle EAB = \angle ADE$ (вписан и периферен ъгъл в (c_1)). От друга страна имаме $\angle EAB = \angle CAB = \angle CDB$ (ъгли, вписани в (c)) и тогава $\angle ADE = \angle CDB$. Същевременно $\angle EAD = \angle CAD = \angle CBD$ (ъгли, вписани в (c)). Получихме, че $\angle EAD = \angle CBD$ и $\angle ADE = \angle CDB$. Можем

да заключим, че $\triangle EAD \sim \triangle CBD$. Тогава $\frac{BC}{BD} = \frac{AE}{AD}$, т.е.

$$BC \cdot AD = BD \cdot AE \quad \text{или} \quad BC \cdot AD = \frac{1}{2} BD \cdot AC. \quad \text{Но}$$

$$BD \cdot AC = BC \cdot AD + AB \cdot CD \quad (\text{по теоремата на Птоломей}),$$

$$\text{затова } BC \cdot AD = \frac{1}{2} (BC \cdot AD + AB \cdot CD). \quad \text{Оттук и следва,}$$

че $BC \cdot AD = AB \cdot CD$. Така отново стигнахме до желаното равенство.

Като вземем предвид дефиницията на хармоничен четириъгълник, доказаната теорема можем да изкажем по следния начин: Ако във вписания четириъгълник $ABCD$ точката на Брокер K_1 съществува, то той е хармоничен. Оттук и от теорема 2, според която, ако в един четириъгълник съществуват и двете точки на Брокер, то той е вписан следва, че ако в един четириъгълник съществуват и двете точки на Брокер, то той е хармоничен. Изказано по друг начин, хармоничните четириъгълници са единствените, в които съществуват и двете точки на Брокер.

VII. Нови свойства на точките на Брокер в хармоничен четириъгълник.

Съгласно теорема 4, точките на Брокер във вписан, а следователно и в хармоничен четириъгълник съвпадат с така наречените негови полюси. Като използваме доказаните в [5] свойства на полюсите получаваме нови свойства на точките на Брокер. Тук само ще ги формулираме, а ще ги докажем в друга статия:

Свойство 1. Правата K_1K_2 , определена от двете точки на Брокер, е успоредна на правата UV , определена от пресечните точки на продълженията на срещуположните двойки страни (фиг. 4).

Свойство 2. Нека $ABCD$ е изпъкнал четириъгълник и дължините на страните му AB , BC , CD и DA са съответно a , b , c и d , а мерките на ъглите му при върховете A и B са съответно α и β . Ако l_3 е разстоянието между средите на диагоналите, а φ и ψ са мерките на ъглите между продълженията на срещуположните му двойки страни - съответно AD и BC , и AB и DC , то разстоянието между точките му на Брокер K_1 и K_2 (ако последните съществуват) се определя по формулата:

$$K_1K_2 = \frac{ac \sin^2 \psi + bd \sin^2 \varphi}{2l_3 \sin \varphi \sin \psi} \cdot \frac{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta + \sin^2 \alpha}.$$

Определение 3. Нека в хармоничния четириъгълник $ABCD$ K_1 и K_2 са точките на Брокер, а E и F са средите съответно на диагоналите AC и BD . Четириъгълникът EK_2FK_1 ще наричаме Брокеров четириъгълник на $ABCD$ (фиг. 4).

Свойство 3. Лицето S_1 на Брокеровия четириъгълник EK_2FK_1 на хармоничния четириъгълник $ABCD$ се определя по формулата (фиг. 4):

$$S_1 = \frac{(\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha)}{2(\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta)} \cdot S.$$

където S е лицето на $ABCD$, а α и β са мерките на ъглите му при върховете A и B .

Свойство 4. Нека EK_2FK_1 е Брокеровият четириъгълник на хармоничния четириъгълник $ABCD$. Диагоналът му EF

разполювява диагонала K_1K_2 и от своя страна се дели от него в

отношение $\frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \alpha}$, считано от E (където α и β са мерките

на ъглите при върховете A и B) (фиг. 4).

Свойство 5. Нека $ABCD$ е хармоничен четириъгълник с лице S , в който продълженията на страните AD и BC се пресичат в точка U , а тези на страните AB и DC - в точка V . Нека дължините на страните AB , BC , CD и DA са съответно a , b , c и d , а мерките на ъглите AUB и CVD - съответно φ и ψ .

Ъгълът $\bar{\varphi}$ между диагоналите K_1K_2 и EF на Брокеровия

четириъгълник EK_2FK_1 се определя от равенството:

$$\sin \bar{\varphi} = \frac{2 \sin \varphi \sin \psi \cdot S}{ac \sin^2 \psi + bd \sin^2 \varphi}.$$

Свойство 6. Ако в хармоничния четириъгълник $ABCD$ точката A_1 от правата DC е такава, че $BA_1 \parallel AD$, а точката C_1 от правата AB - такава, че $DC_1 \parallel BC$, то четириъгълниците AD_1C_1B и $ABCD$ имат обща втора точка на Брокер K_2 .

Определение 4. Нека Ω е произволна точка от вътрешността на изпъкнал четириъгълник $ABCD$. Четириъгълникът $MNPQ$, вписан в $ABCD$, където $M \in AB$, $N \in BC$, $P \in CD$ и $Q \in DA$ и $\Omega M \parallel AD$, $\Omega N \parallel AB$, $\Omega P \parallel BC$ и $\Omega Q \parallel CD$ ще наричаме паралелен четириъгълник за точката Ω спрямо $ABCD$.

Свойство 7. Паралелният четириъгълник $MNPQ$ на точката на Брокер K_1 на хармоничния четириъгълник $ABCD$ спрямо него е успоредник със страни, успоредни на диагоналите AC и BD на $ABCD$.

Заключение. В статията дефинирахме точки на Брокер в четириъгълник и определихме четириъгълниците, в които те съществуват. Освен това, към познатите свойства на тези точки прибавихме нови. В следваща статия ще разгледаме още техни свойства и ще докажем, че в хармоничните четириъгълници точките на Брокер съществуват и притежават изложените за тях тук свойства.

Литература:

- [1] Бойкина, Д. (2020). Неоднозначни геометрични задачи. Математика и информатика, 6, 639-649, ISSN 1310-2230.
- [2] Бойкина, Д. (2024). Приложение на метода обобщение за съставяне на задачи по геометрия. 53-та пролетна конференция на Съюза на математиците в България „Математика и математическо образование“, 1-5 април, 2024, Боровец. Сборник с доклади, 126-134, ISSN 1313-3330.
- [3] Желязкова, Цв. & Д. Бойкина (2024). Относно евристиката „Отделяне на подзадачи“ при решаване на геометрични задачи в 7 клас. 53-та пролетна конференция на Съюза на математиците в България „Математика и математическо образование“, 1-5 април, 2024, Боровец. Сборник с доклади, 141-148, ISSN 1313-3330.
- [4] Паскалев, Г., И. Чобанов. Забележителни точки в триъгълника, Народна просвета, София, 1985.
- [5] Стефанов, Ст. Полюсите на четириъгълник - забележителни точки в него, 13-та Международна научна конференция „Техника. Технологии. Образование. Сигурност“, 01-04 септември, 2025, Варна. Сборник научни трудове, ISSN 2535-0315. (Приета за печат)
- [6] Хаимов, Х. & Ст. Стефанов (2023). Геометрия на четириъгълника, „Партнер БГ“ ЕООД, София, ISBN: 978-619-7066-32-6.
- [7] Millousheva-Boykina, D. & V. Milloushev (2015). Forming Skills for the Application of Analysis and Synthesis in Solving Problems in Geometry. Science and Education a New Dimension: Pedagogy and Psychology, III(26), Issue: 50, 50-54, ISSN 2308-5258. (In Bulgarian)

НОВИ ХОРИЗОНТИ: ИЗКУСТВЕНИЯТ ИНТЕЛЕКТ И КУЛТУРНОТО НАСЛЕДСТВО

NEW HORIZONS: AI AND CULTURAL HERITAGE

Atanassova Dessislava
E-mail: yankovad@gmail.com

Abstract: This article explores the emerging role of Artificial Intelligence (AI) in the field of cultural heritage. From digital restoration and virtual reconstructions to automated metadata analysis and user engagement tools, AI is reshaping how we preserve and experience the past. While the potential benefits are significant, including improved access, efficiency, and scalability, the article also addresses critical challenges such as ethical considerations, data bias, and questions of authenticity. Drawing on recent examples and practices, the article provides a concise yet balanced overview of AI's impact on cultural heritage and calls for responsible, inclusive approaches to its implementation.

KEYWORDS: AI AND CULTURAL HERITAGE, DIGITAL RESTORATION, VIRTUAL HERITAGE, DIGITIZATION OF CULTURAL ARTIFACTS, ETHICAL AI IN HUMANITIES

1. Увод

Светът се гордее с богато и разнообразно културно наследство, но то е заплашено от модернизацията, глобализацията и социалните промени. Езици изчезват, традиции се разпадат, а историческите артефакти са в огромен риск. Технологиите се развиват с невероятна скорост, променяйки начина, по който възприемаме, преживяваме и съхраняваме културното наследство (КН). В контекста на тази динамична трансформация, изкуственият интелект (ИИ, AI – *Artificial Intelligence*) се превръща във важен инструмент за опазване, проучване и популяризиране на културните богатства.

Макар да не представлява единственото и може би не най-новото технологично постижение в областта на културното наследство, той безспорно се нарежда сред най-трансформиращите. През последните десетилетия секторът възприе редица иновации – от цифрови архиви и триизмерно сканиране до приложения на виртуалната и добавената реалност. ИИ обаче въвежда качествено ново равнище на автоматизация, аналитичен капацитет и творчески възможности, които променят съществено парадигмите за съхранение, изследване и социална ангажираност с културното наследство.

2. Резултати и дискусия

Изкуственият интелект намира широко приложение в опазването и изследването на културното наследство чрез разнообразни технологии и методи. Интеграцията на AI в процеса на дигитализация се превръща в мощен инструмент за съхранение, анализ и широко разпространение на ценни исторически артефакти и текстове. ИИ алгоритми подобряват качеството на стари или увредени визуални материали, премахват шум, възстановяват липсващи части и дори дават предположения относно стила, жанра или автора на произведенията. Технологиите с изкуствен интелект се използват за дигитализация на обширни музейни колекции по целия свят, като позволяват виртуални турове и онлайн изследване на културни обекти и артефакти. Например проектът „Arts & Culture“ на Google си партнира с музеи като Лувъра, за да предоставя виртуален достъп с висока резолюция до техните колекции.

Различни инструменти базирани на ИИ като компютърното зрение позволяват автоматично разпознаване и класифициране на артефакти, скулптури и архитектурни

елементи, като се улеснява каталогизацията на музейни колекции и извличането на метаданни. Езиковите модели подпомагат превода на древни и съвременни текстове, транскрипцията на ръкописи и споделянето на културна информация между различни езици. Освен това автоматичният текстов анализ и семантичната индексация на исторически документи дават възможност за обработка на големи текстови масиви и извличане на нови знания за миналото. Така, ИИ се утвърждава като ключов инструмент за дигитализация, реконструкция и глобално достъпно представяне на културното наследство.

С помощта на ИИ и анализ на изображения, артефактите се класифицират по стил, материал и техника, като системите подпомагат и разкриването на фалшификати. Моделите за машинно обучение се използват в археологията за разпознаване на символи и модели върху артефакти и текстове.

По отношение съхранението и реставрацията на културни обекти, ИИ предлага иновативни решения, които допълват традиционните методи и често ги надграждат чрез автоматизация и висока прецизност. Нови модели, базирани на машинно обучение и компютърно зрение, могат да анализират съществуващите визуални и структурни характеристики на дадено произведение и да генерират предложения за възстановяване. Например, изследователи от MIT (Massachusetts Institute of Technology) и NVIDIA (Software maker Nvidia) използват дълбоки невронни мрежи за реконструкция на повредени части от класически картини, като обучават алгоритми върху обширни бази данни от изображения със сходна стилистика и епоха. [1]

При проекти като възстановяването на римски фрески от Помпей, ИИ се използва за дигитално попълване на липсващи фрагменти, като алгоритмите правят исторически обосновани предположения въз основа на стилови и цветови аналогии. Подобен подход е приложен и в проекта „Vesuvius Challenge“, където ИИ се използва за разчитане на овъглени папируси от Херкуланум, без физическо отваряне на свитъците. [2]

Не по-малък е приносът му към архитектурното наследство и разрушени или увредени стенописи, където ИИ подпомага реконструкцията на разрушени или частично съхранени обекти. Например, инициативата „Iconem“ използва фотограметрия, комбинирана с ИИ, за създаване на 3D модели на разрушени исторически сгради в Сирия и Ирак. [3]

Обработката на естествен език (Natural Language Processing), например, улеснява автоматичното транскрибиране, превод и анализ на древни и исторически текстове, което позволява по-бързо и по-точно разчитане на ръкописи и други писмени източници. Проектът Transkribus използва NLP технологии за разпознаване на ръкописен текст от различни епохи, предоставяйки възможност за дигитална обработка. Системите за обработка на естествен език (NLP) анализират големи масиви от исторически документи, откривайки семантични връзки, тематични модели и хронологични зависимости, които традиционните методи не могат да идентифицират лесно. Това насърчава нови хипотези и по-дълбоко разбиране на културните процеси. [4] Посредством изграждането на бази знания и семантични графи ИИ спомага създаването на взаимовръзки между исторически събития, личности, обекти и места. NLP алгоритми са приложени при дешифриране и семантичен анализ на текстове от Месопотамия, разкривайки нови аспекти от културата и историята на региона. [6]

CV (Computer Vision) дава възможност за автоматизирано каталогизиране и създаване на метаданни към колекции чрез анализ на изображения и визуални характеристики. Музеят Смитсониян ползва базирани на ИИ системи за разпознаване на артефакти. Той активно участва и в проекта AI4LAM (Artificial Intelligence for Libraries, Archives and Museums), чиято цел е улесняване на бързото и прецизно описване на обекти, което от своя страна позволява по-ефективно търсене и достъп до дигиталните архиви.

Изкуственият интелект участва пълноценно в оптимизирането на процесите не само по изследване и анализ, но и по интерпретация. Посредством употребата на инструменти като ML (Machine Learning) и CV (Computer Vision) системите базирани на ИИ позволяват разпознаването и категоризирането на артефакти по стил, период, регион или авторство. Някои модели могат при анализ на стилови или атрибутивни характеристики да определят съответните категории. Това е особено приложимо при изследване на анонимни или спорни творби и създава възможности за откриване на нови художествени тенденции и влияния [5]

Разработките на проекти като The Art Genome Project (открива и анализира взаимовръзки между произведения на изкуството) и DeepArt (създава визуални интерпретации, които откриват скрити стилови влияния и предлагат нови прочити на класически творби) са поредното доказателство за изключителните възможности, които предоставя ИИ в сферата на КН на изследователите и широката публика. [12, 13] Пример за други успешни инициативи са Europeana – паневропейската дигитална платформа за културно наследство, която прилага алгоритми за автоматична категоризация и търсене, Google Arts & Culture, която използва ИИ за висока резолюция на изображенията, виртуални турове и откриване на стилови прилики между произведения на изкуството. [11]

Въпреки значителния потенциал на изкуствения интелект за дигитализация и популяризиране на културното наследство, неговото приложение е свързано и с редица рискове. Сред тях са възможността за създаване на подвеждащо или фалшифицирано съдържание (напр. deepfakes), което може да подкопае автентичността и доверието към културните артефакти. Съществуват и опасения, свързани с въвеждането на алгоритмични пристрастия (bias), които могат да изкривят историческите наративи или да маргинализират по-малко

представени култури. Освен това прекомерната автоматизация може да доведе до загуба на контекстуални и експертни интерпретации, които са от съществено значение за разбирането на културните ценности. Липсата на ясни и хармонизирани регулации поставя въпроси относно отговорността и етичните стандарти при използването на ИИ, особено в сфери като реставрацията или създаването на нови, генерирани от изкуствен интелект произведения, които могат да се възприемат като автентични артефакти.

Използването на изкуствен интелект в областта на културното наследство все още не е регулирано от единна правна рамка, а се основава на комбинация от етични насоки, закони за защита на личните данни, правила за интелектуална собственост и специфични политики за опазване на културните ценности. Съществуващите регулации варират в зависимост от националните законодателства и секторните практики (музеи, архиви, творчески индустрии) и често се намират в процес на развитие. При дигитализация и обработка на културни колекции чрез ИИ водеща роля имат законите за защита на данните (например GDPR - General Data Protection Regulation в ЕС), както и авторскоправните норми, свързани с възпроизвеждането на защитени произведения или създаването на производни съдържания. В допълнение, културното наследство е обект на специализирани национални закони и международни конвенции (напр. ЮНЕСКО), които регулират неговото съхранение и достъп. Етичните принципи, формулирани от организации като ICOM и ЮНЕСКО, насочват към прозрачност, автентичност и отговорна употреба на технологиите, докато вътрешните секторни политики определят допустимите практики за прилагане на ИИ в контекста на реставрация, куриране и публична достъпност. [8, 9, 10] Докато, проекта AI for Cultural Heritage установява строги правила за прозрачност при използването на AI алгоритми, както и етични насоки за участие на общности при дигиталното представяне на техните традиции и култури. Това подпомага процеса по избягване на подвеждащи интерпретации и защита на чувствителни данни [7]

3. Заключение

Въпреки някои спънки, неразбиране и регулаторни рамки, които са все още в процес на разработване изкуственият интелект може да бъде разглеждан като мощен инструмент за демократизация на достъпа до културното наследство, като преодолява географски, социални и икономически бариери. Чрез автоматизирани процеси за дигитализация, виртуални турове и интелигентни системи за препоръки, ИИ позволява на широката публика да се докосне до произведения, които иначе биха останали недостъпни, а на специалистите възможност за по-задълбочено изучаване и разбиране на културните артефакти. Подобни технологии не само улесняват образованието и научните изследвания, но и стимулират създаването на нови културни наративи и взаимодействия между аудитории и институции. Той надгражда човешките усилия, отваря нови възможности за интердисциплинарно сътрудничество и повдига важни въпроси за автентичността, етиката и авторството по отношение начина, по който се съхранява и представя миналото.

4. Литература

1. Zhou, B., Lapedriza, A., Khosla, A., Oliva, A., & Torralba, A. (2017). Places: A 10 million image database for scene recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,

- <http://olivalab.mit.edu/Papers/Places-PAMI2018.pdf> последно посетен: 10.07.2025, 20.10
2. Piercy, L. (2023). BREAKTHROUGH: Discovery made from within 2,000 year-old Herculaneum scrolls <https://uknow.uky.edu/research/breakthrough-discovery-made-within-2000-year-old-herculaneum-scrolls> последно посетен: 14.06.2025, 09.12
3. Iconem. (n.d.). Digitizing endangered cultural heritage., <https://iconem.com/iconem.com> последно посетен: 10.06.2025, 10.34
4. Mühlberger, G., et al. (2019). Handwritten text recognition and natural language processing in historical documents. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9041761> последно посетен: 21.06.2025, 14.50
5. Spratt, E., & Elgammal, A. (2015). Computational Beauty: Aesthetic Judgment at the Intersection of Art and Science. https://www.researchgate.net/publication/311470952_Computational_Beauty_Aesthetic_Judgment_at_the_Intersection_of_Art_and_Science последно посетен: 28.07.2025, 23.30
6. Jeans, S., (2023). Machine learning reveals the contents of ancient scrolls and stone tablets <https://dailyai.com/2023/10/machine-learning-reveals-the-contents-of-ancient-scrolls-and-stone-tablets/> последно посетен: 29.07.2025, 10.30
7. Floridi, L., et al. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. Minds and Machines, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11023-018-9482-5> последно посетен: 17.07.2025, 08.20
8. UNESCO (2021). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137> последно посетен: 12.07.2025, 08.45
9. European Commission (2021). Coordinated Plan on Artificial Intelligence 2021 Review. Brussels: European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/coordinated-plan-artificial-intelligence-2021-review> последно посетен: 07.07.2025, 14.30
10. ICOM (2022). ICOM Code of Ethics for Museums (AI and Digital Heritage Addendum). Paris: International Council of Museums. <https://icom.museum/wp-content/uploads/2018/07/ICOM-code-En-web.pdf> последно посетен: 10.06.2025, 15.00
11. Europeana Foundation (2025). Europeana and Artificial Intelligence: Opportunities and Challenges for Cultural Heritage. Europeana Pro Reports. <https://pro.europeana.eu/tags/artificial-intelligence> , <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/359880c1-a4dc-11ec-83e1-01aa75ed71a1/language-en> последно посетен: 10.06.2025, 21.10
12. What is The Art Genome Project? Seven Facts about the Discovery and Classification System That Fuels Artsy (2016) <https://www.artsy.net/article/the-art-genome-project-seven-facts-about-the-art-genome-project>
13. DeepArt: Connecting the World of Art and Tech <https://medium.com/ai-simplified-in-plain-english/deepart-connecting-the-world-of-art-and-tech-9c0a48494d25> DeepArt and

Ecological sustainability in written heritage preservation practices: contemporary approaches and challenges

Iskra Tsvetanska, Ivanka Yankova

University of Library Studies and Information Technologies - Sofia, Bulgaria,

i.cvetanska@unibit.bg, i.yankova@unibit.bg

Abstract: *In the context of global environmental changes and the need for sustainable cultural policies, the preservation of written heritage is taking on a new dimension – combining effective conservation with a commitment to the environment. This report examines the principles of environmental sustainability in contemporary practices for the conservation and restoration of written collections, focusing on the application of so-called “green” methodologies – biodegradable materials, enzymatic solutions, anoxic disinfection, as well as energy-efficient technologies in repositories. Special attention is paid to the concept of “green heritage”, understood not only as conservation with a minimal carbon footprint, but also as a strategic model for the long-term management of cultural resources. Examples from international practice that integrate sustainable solutions are analyzed. The report also highlights the challenges associated with the shortage of environmentally friendly materials, the need for a transdisciplinary approach and the need for educational policies aimed at building cultural and environmental sensitivity among specialists and the general public. In conclusion, the thesis is advocated that ecological sustainability is not an additional aspect, but an indispensable part of a new ethic in the preservation of written heritage – an ethic of respect for the past and responsibility for the future with care for the planet.*

The report is under project No. KII-06-H90/6 dated 10.12.2024 on the topic: "Ecologically sustainable conservation strategy for written heritage" from the Scientific Research Fund, Competition for funding of fundamental scientific research - 2024. Supervised by Chief Asst. PhD Eng. Iskra Tsvetanska.

Keywords: WRITTEN HERITAGE, PRESERVATION, ECOLOGICAL SUSTAINABILITY.

1. Introduction

Written cultural heritage occupies a central place in the preservation of the identity, memory and knowledge of humanity. Archives, manuscripts, old printed books and documents from different eras are not just carriers of text - they are testimonies of the past, reflecting social, cultural, religious and scientific processes. Each document is a bridge to understanding human development and transformations in societies over the centuries. Therefore, their preservation is of utmost importance both for historical research and for future generations.

The need for sustainable preservation in conditions of climate change and limited resources [1]. In the modern world, written cultural heritage faces a number of threats. One of the most serious is related to climate change, which leads to extreme temperatures, high humidity, floods and fires - all of which pose a serious risk to the vulnerable paper, parchment and textile materials used in historical documents. Fluctuations in humidity, for example, lead to deformation, the appearance of mold and accelerated degradation of materials. At the same time, cultural institutions often face limited financial and human resources, which makes it difficult to implement modern methods of conservation and digitization. Small archives and libraries often have outdated equipment and a shortage of qualified staff. That is why it is imperative today to develop and implement sustainable strategies for the preservation of written cultural heritage. This includes the integration of innovative technologies (such as environmental monitoring and artificial intelligence), cross-sectoral cooperation, raising awareness and training of specialists. Sustainable preservation is not just a technical issue - it is an ethical responsibility to the future.

2. Synthesis between cultural value and environmental responsibility

In the contemporary context of sustainable development, the concept of “green heritage” is increasingly used, reflecting the need for a new approach to the management and conservation of cultural heritage. It denotes the integration between the preservation of cultural values and the implementation of ecological and sustainable practices that minimize the negative impact on the natural environment. The concept stems from the desire to achieve a balance between the protection of cultural sites and the protection of the environment. Traditional approaches to conservation often do not pay enough attention to the resources used, the carbon footprint of activities or the long-term impact on ecosystems. Therefore, the concept of “green heritage” is needed as an ethical, innovative and responsible approach to conservation, in which we preserve not only memory, but also life itself.

Archives, libraries and museums can reduce their carbon footprint by optimizing lighting, heating and air conditioning, using renewable energy sources, as well as through “smart” environmental monitoring systems. The use of non-toxic, recyclable and durable materials in restoration and conservation processes helps to protect the environment. The transition to digital copies and virtual archives not only protects originals from physical wear and tear, but also reduces the need for travel and transportation related to scientific research or access to documents. Cultural institutions can be platforms for promoting environmental awareness, showing through exhibitions, programs and campaigns how traditional practices have been linked to nature and sustainability.

The need for adaptation to climate change, including the development of disaster response strategies, as well as long-term plans to adapt the infrastructure of cultural institutions to new climate realities. Green heritage is not just a concept, but a necessary evolution of our attitude towards cultural memory. It calls for a broader perspective — to preserve the past without endangering the future. Only through a synthesis between cultural and environmental responsibility can we achieve lasting, humane and sustainable development.

3. Green methodologies and good practices

The use of biodegradable materials and enzymatic technologies marks a transition to greener and more responsible practices in cultural heritage. Such innovative methods achieve effective conservation with minimal environmental impact, which is fully in line with modern principles of sustainable development. The sustainable conservation of manuscripts and documents requires the use of materials and techniques that do not harm cultural objects and the environment. Therefore, in recent years, there has been an increased interest in biodegradable, non-toxic and environmentally friendly alternatives to traditional conservation agents.

The National Library of France is among the institutions that are experimenting with and implementing enzymatic cleaning solutions instead of aggressive chemical agents.[2] Enzymes are biological catalysts that act specifically on contaminants such as grease, glue, wax or biological residues (e.g. mold), without affecting the ink, paper or parchment. The advantages of enzymatic solutions: non-toxic, selective action, i.e. degrade only specific contaminants, biodegradable and gentle. Such an approach is particularly useful for delicate and rare documents, where traditional chemical intervention carries a risk of permanent damage.

Biopolymer gels and coatings for moisture protection and biological agents are natural or synthetically modified substances produced from renewable raw materials, such as cellulose, chitin,

alginates, starch and gellan. They are used in the form of gels, films or protective coatings in restoration and preventive conservation activities. For example, cellulose-based nanogels or agar-agar are used for local stain removal. Biopolymer films as hydrophobic protection coatings protect the paper from moisture penetration without disturbing its structure. Some biopolymers have antimicrobial properties (such as chitosan, extracted from crustacean shells), natural fungicidal and bactericidal action, which makes them ideal for protection against mold and biological attack. The advantages of biopolymers: environmentally friendly – completely biodegradable in nature, safe for documents, easy to remove – if necessary, can be removed without residue, compatible with long-term storage – do not lead to yellowing or oxidation of the paper. [3]

Anaerobic disinfection (anoxia) is a modern, “green” method that demonstrates how science and ecology can partner in the name of cultural preservation. The Vatican Library shows how sustainable management of cultural resources can be both effective, economical and safe for people and nature. Anaerobic disinfection, also known as anoxia, is an innovative method for treating cultural objects by eliminating oxygen from the environment. The goal is to destroy pests (insects, larvae, fungi and bacteria) that cannot survive in anoxic conditions. The procedure is carried out in closed chambers or special packages, where the air is replaced by inert gases such as nitrogen (N₂), argon (Ar), carbon dioxide (CO₂). Advantages of anaerobic disinfection: non-toxic to the environment, does not damage paper, inks, parchment, leaves no residues and is suitable for reuse.

The Vatican Apostolic Library, one of the oldest and most valuable libraries in the world, is an example of good practice in implementing anaerobic disinfection as part of its preventive conservation program. [4] They use specially designed anaerobic chambers to treat manuscripts, incunabula and parchments, especially when new collections are received or when contamination is detected. The technology is part of the library's environmentally oriented restoration policy, funded by international cultural programs and foundations. The results and advantages are effective pest control without risk to documents, no chemical residues that would affect long-term storage, saving resources and a minimal environmental footprint, and the possibility of mass treatment of objects without the need for personalized chemical treatment.

Sustainable storage materials - the use of recyclable, acid-free, and long-lasting storage materials is a key component of the sustainable management of written cultural heritage. The Library of Congress is demonstrating how a major institution can combine environmental responsibility with high standards of preservation, thereby creating a role model for the global community. Every part of the cultural heritage preservation process must be sustainable – including the materials used to preserve documents, manuscripts, and books. Protective packaging (boxes, folders, envelopes) plays a critical role in: controlling light, dust, temperature, and humidity; protecting against mechanical damage and injury; reducing the risk of biological attack (mold, insects); and extending the life of cultural objects. Sustainable solutions include materials that are: acid-free – do not cause paper degradation; buffered – with a neutral or slightly alkaline pH; recyclable and biodegradable – minimize waste and pollution; made from renewable sources, e.g. FSC-certified cardboard.

The Library of Congress, one of the largest and most prestigious libraries in the world, is an example of sustainable practice. For years, it has implemented a comprehensive sustainability policy that includes the use of recyclable packaging and boxes. [5] The archival boxes are made of 100% recycled and acid-free cardboard, produced in a low-carbon manner. They use prefabricated solutions that allow for easy replacement or repair without the need for additional resources. The folders and boxes are made of museum-certified materials (meeting the PAT – Photographic Activity Test standard). The advantages are: durability and long life – a box can serve for decades without replacement; minimal environmental impact, both during production and recycling; safety for documents

– they do not emit harmful fumes or acids; flexibility – modules adapted to different sizes and types of documents are used.

4. Challenges to the sustainable preservation of written cultural heritage

The challenges to the sustainable preservation of written cultural heritage are not only technical – they are systemic, educational and institutional. Solutions require a long-term vision, cross-sectoral engagement and investment in people – the professionals who will ensure that cultural memory is passed on to future generations in a responsible and sustainable manner.

Shortage of trained professionals in sustainable practices

One of the most serious obstacles to the sustainable preservation of cultural heritage is the lack of personnel with knowledge and skills in environmentally-oriented conservation and management. Most archivists, restorationists and librarians are still trained in traditional programs that rarely include modules related to environmental standards for preservation and digitization, green materials and methodologies, energy efficiency and carbon footprint, and sustainable resource management. The solutions are the introduction of interdisciplinary programs in universities, professional development through internships, exchanges and training under European programs (e.g. Horizon Europe, Erasmus+), and the promotion of young professionals through scholarships and targeted projects.

Need for intersectoral cooperation

Sustainable conservation cannot be achieved within a single sector. It requires close interaction between different fields, each of which contributes with specific expertise: For example, the archival and restoration sector with its contribution to knowledge of materials, techniques and long-term preservation, information technology (IT) with digitization, creation of access platforms, environmental monitoring, the ecology and energy efficiency sector with environmental impact assessment and sustainable solutions, the tourism and cultural management sector with the integration of cultural heritage into sustainable tourism practices. Without cooperation between these fields, institutions often operate in a fragmented manner, leading to inefficiency, duplication of efforts and gaps in sustainability.

Funding and institutional support

Many cultural institutions operate with limited budgets, which makes it difficult to invest in energy-efficient equipment (HVAC systems, LED lighting), purchase of biodegradable or innovative materials, development of digital infrastructures and online access. There is also a lack of stable long-term policies at national and local level to promote sustainable initiatives in the sector. Priorities are often short-term, and cultural heritage is not always perceived as part of the state's “green” policy.

5. Prospects for the sustainable preservation of written cultural heritage

The sustainable preservation of cultural heritage is no longer a marginal topic, but is becoming a central element of future policies. Global climate challenges, technological progress and public expectations for environmental responsibility require a new vision of the role of cultural institutions – not only as guardians of memory, but also as active participants in the transition to sustainable development.

The prospects for the sustainable preservation of written cultural heritage are optimistic, but require a systematic approach: political will, funding, training, international cooperation and innovation. Only by integrating cultural institutions into the global green transition can we ensure that historical memory will be preserved and accessible – in a responsible and environmentally friendly way.

Development of green policies in cultural institutions

More and more archives, libraries and museums are starting to formulate and implement institutional sustainability strategies that include:

- Energy efficiency – modernization of air-conditioning and lighting systems, implementation of automated microclimate management;
- Green infrastructure planning – use of eco-materials in renovation and construction of buildings;
- Minimal impact conservation – transition to biodegradable, non-toxic and recyclable conservation agents;
- Reporting and transparency – measurement of the institution's carbon footprint and commitment to its reduction.

For example, some national archives are already adopting policies based on ESG (Environmental, Social, and Governance) criteria and include cultural heritage in climate change adaptation plans. [6]

Training and knowledge transfer

One of the most important aspects for a sustainable future is investment in human capital. Without well-trained specialists, no "green" policy can be sustainable. The main directions are:

- Integration of sustainable practices in education – inclusion of disciplines such as "eco-conservation", "climate adaptation of archives" and "green management of cultural heritage" in university curricula;
- Improving qualifications – through courses, workshops and international exchanges (e.g. through ICOM, ICA, ICCROM);
- Intergenerational knowledge transfer – promoting the connection between experienced restorers and new specialists with digital and environmental skills.

The modern approach is based on the creation of training centers at national cultural institutions, in cooperation with universities and non-governmental organizations.

Support for innovation and research in the field of eco-conservation

Innovation is the engine of sustainable development. In the field of written heritage conservation this means:

- Development of new materials – biodegradable packaging, antimicrobial biopolymers, adaptive gels and coatings;
- Technological solutions for monitoring and managing microclimate – sensors, IoT systems, AI-based analyses;
- Methods for "smart" digitization – with a low carbon footprint, long-term storage and easy access;
- Mobile laboratories for sustainable conservation – for remote or endangered sites.

For example, European projects such as Horizon Europe – Green Deal Call, include support for innovative solutions in the conservation of cultural heritage. [7]

6. Conclusion

Environmental sustainability in the preservation of written cultural heritage is not only an ethical commitment, but also a strategic priority. In the context of global climate change, urbanization and limited resources, traditional methods of storage and conservation are no longer sufficient. Responsible cultural management requires the implementation of sustainable practices that combine the preservation of historical memory with environmental care.

The application of green technologies and methodologies – such as biodegradable materials, anaerobic disinfection, energy-efficient systems and digital solutions – is not just an option, but a necessity. They ensure the long-term protection of documents, reduce the environmental footprint of institutions and demonstrate a commitment to sustainable development, in line with global goals (e.g. UN Goal 11.4: "Protect the world's cultural and natural heritage"). [8]

However, securing the future of cultural memory does not depend only on technology. It is also necessary to reformulate institutional policies, promote intersectoral cooperation, as well as invest in training, research and innovation. Only in this way can cultural institutions become active participants in the green transition, rather than passive guardians of the past.

In this context, written heritage is not only a witness to history, but also a driving force for a sustainable, responsible and humane future. Its preservation – with care for nature and with a thought for generations – is a duty that goes beyond archives and libraries, and concerns the whole of society.

3. References

1. UNESCO. (2021). Keeping Heritage Alive: Sustainability and Cultural Heritage. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org>
2. Bibliothèque nationale de France. (n.d.). Sustainable preservation practices. Retrieved from <https://www.bnf.fr>
3. Strlič, M., & Kolar, J. (Eds.). (2005). Ageing and Stabilisation of Paper. National and University Library of Slovenia.
4. Vatican Apostolic Library. (n.d.). Conservation and Preservation Projects. Retrieved from <http://www.vaticanlibrary.va>
5. Library of Congress. (n.d.). Preservation Directorate. Retrieved from <https://www.loc.gov/preservation/>
6. International Council on Archives. (n.d.). Environmental Sustainability in Archives. Retrieved from <https://www.ica.org>
7. European Commission. (n.d.). Horizon Europe and Green Deal Cultural Heritage Initiatives. Retrieved from <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>
8. United Nations. (n.d.). Sustainable Development Goal 11.4: Strengthen efforts to protect and safeguard the world's cultural and natural heritage. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals/goal11>

The importance of the economic and social dimension of the public sector in the Republic of N. Macedonia for employee motivation and job satisfaction

Maja Georgioska^{1*}, Dragan Gruevski²

University "St. Kliment Ohridski" - Bitola, Faculty of tourism and hospitality - Ohrid, Republic of N. Macedonia¹

email: maja.georgioska@uklo.edu.mk*

University "St. Kliment Ohridski" - Bitola, Faculty of Information and Communication Technologies - Bitola, Republic of N. Macedonia²

Abstract: *Work in the public sector reflects democratic, economic, and social values as a whole. All institutions share the responsibility to deliver better value for citizens and businesses, thereby ensuring appropriate and meaningful sustainable economic and social development - i.e., prosperity for the Republic of N. Macedonia overall. For these reasons, this paper aims to define, establish, and highlight the importance of the public sector's economic and social dimension, and to examine how, in both of its forms, that dimension affects motivation and job satisfaction among public-sector employees in the Republic of N. Macedonia.*

Keywords: PUBLIC SECTOR, ECONOMIC AND SOCIAL DIMENSION, MOTIVATION, JOB SATISFACTION, WORKPLACE

1. INTRODUCTION

It is widely recognized that the public sector is part of the socio-political system and the point of contact between citizens and institutions, where constitutionally guaranteed civil rights are realized. It is also the area most frequently discussed in terms of reform, with debates focusing on the size of the public sector itself, its economic and social dimension, and the number of employees; comparatively little attention is paid to the structure and quality of services delivered by employees [1]

Many believe that employment in the public sector guarantees a job with all the benefits, social respect, secure and relatively solid pay (salary paid by mid-month), and a much lower risk of income loss compared to the private sector or self-employment, plus weekends and public holidays. To some extent this proves true, because for many employees public service is less about serving citizens and more about fulfilling personal ambitions and, with that, their own economic and social needs. It is therefore unsurprising that many young people dream of public-sector employment, given the widely acknowledged fact that the workload and pressure differ from those in the private sector.

Against this backdrop, the aim of this paper is to provide a brief analysis of the influence and importance of the economic and social dimension in the public sector, and how, in both of its forms, it affects motivation and job satisfaction among public-sector employees in the Republic of North Macedonia.

2. The public sector in N. Macedonia: concept and legal provisions

Since independence, the Republic of N. Macedonia has sought to build an efficient public sector aligned with citizens' needs. A reformed and modernized public sector is a prerequisite for the proper functioning of the state. Continued development requires institutional stability; substantial administrative and professional capacity at all levels of the public system; and economic prosperity with social inclusion for all citizens. [2]

In its broader sense, the public sector encompasses public administration and all public institutions that perform public functions and activities and are established by the state or municipalities. As a rule, they are financed by public funds, either the state or municipal budgets. Thus, the public sector includes only public institutions (including the professional services of the Government, Parliament, and judicial bodies), and not private institutions (private hospitals, schools, kindergartens) or private companies that provide public services. Public-sector employees are subject to the Law on Public Sector Employees, [3] relevant special laws, by-laws enacted on the basis of those laws, and collective agreements. By exception, [3] only certain provisions of the law apply to military and civilian personnel in the service of the Army of the Republic of N. Macedonia; to authorized officers in the Ministry of Defense and the Ministry of Interior; the Bureau for Public Security; the National Security Agency; the Intelligence

Agency; the Operational-Technical Agency; the Financial Police Directorate; and the Financial Intelligence Office, while general labor legislation and collective agreements apply to auxiliary and technical staff.

Public-sector employees perform their duties in accordance with the general principles governing public-sector employment and in line with the Constitution of the Republic of North Macedonia, [4] laws, other regulations enacted on the basis of laws, and international treaties ratified pursuant to the Constitution. They are entitled to wages, rest and leave, adequate organizational, spatial, and technical conditions for carrying out their tasks, and continuous professional development pursuant to special laws, general labor regulations, and collective agreements.

3. Motivation and job satisfaction in the public sector

Work motivation drives, directs, and sustains employee behavior. It can be defined as a composite process responsible for the intensity, direction, and persistence of efforts to achieve a given goal. Workplace motivation, the will to achieve results, originates internally and may operate in two ways. First, employees can self-motivate by seeking, finding, and performing work that meets their needs or at least gives them hope that their goals will be realized. Second, managers can motivate employees through methods such as pay, allowances, promotion, awards, and bonuses.

Beyond these, so-called intrinsic motivation plays a major role: it is evident when employees do something out of their own desire with no external reinforcement. Intrinsic motivation is associated with high achievement and satisfaction, [5] which is the oldest and most studied variable in the public sector. Job satisfaction itself includes three significant components: values, the salience of those values, and perception. [6] [7]

Values are subjective needs that exist in the human mind, and job satisfaction is complemented by the meaning (importance) of those values. Employees differ not only in the values they hold but also in how important those values are to them, and such differences greatly affect the degree of their job satisfaction. The third component, perception reflects how employees view their situation and their values. Perception need not be an accurate reflection of objective reality; when it is not, attention must be paid to observing individuals in specific situations to correctly understand their personal reactions. [8]

Motivation and job satisfaction pull rather than push people toward goal attainment. Employee expectations continue to rise regardless of the public sector's performance. For these reasons, motivation can be considered one of the key factors for measuring job satisfaction, and it follows that behaviors contributing to strategy execution and the achievement of public-sector goals should be encouraged. For most employees, job satisfaction is most often driven by opportunities for training, task variety, autonomy,

and control. In other words, many prefer work that is challenging and stimulating over work that is predictable and routine.

If all public-sector employees were true professionals with modern tools and methods at their disposal, fewer people could sometimes achieve more, compared with larger teams where some do not work efficiently. It is thus crucial to hire competent, satisfied, and motivated people who can transform the public sector into a high-quality, effective, and efficient institution.

4. The economic and social dimension of the public sector and its impact on motivation and job satisfaction in the Republic of N. Macedonia

Unfortunately, from the early years of independence, North Macedonia has faced a steady increase in the number of public-sector employees. It is estimated that several hundred (between 800 and 1,000) individuals are on the payroll without actually attending work; their sole “work activity” is withdrawing their salary from ATMs.

According to analyses, calculations, and reports from the National Bank of the Republic of North Macedonia, [9] complemented by those of the State Statistical Office, [10] the average wage paid in 2024 recorded relatively high annual growth in both net and gross terms, especially in Q4 2024; however, this growth slowed compared to Q3 2024. Data show nominal annual growth in average net and gross wages of 9.0% and 9.2%, respectively (versus higher growth of 11.8% and 12.1% in the previous quarters). [11]

This growth is more moderate compared to 2023 (14.9% and 15.3%, respectively) and is influenced by the carry-over effect of public-sector wage increases [12] in September 2023, as well as the 12.2% increase in the minimum gross wage in March 2024. [12] In addition, the new collective agreement for the public sector from July 2023 contributed to an upward trend in average paid wages in parts of the public sector in 2024: public-sector wages rose by 10% in September 2023 and by a further 0.7% in September 2024; wages for primary and secondary education staff increased by 5% in October 2024, [13] and wages for healthcare workers by 10% in November 2024. [14]

These movements are consistent with legal provisions on wage growth when the annual inflation rate in the first six months of 2024 exceeds 3% (the basic gross wage increases by the percentage difference up to 3%). Analyses show annual net-wage growth across all sectors, with the highest growth observed in public administration and defense; compulsory social security (15.9%), education (also 15.9%), and arts, entertainment, and recreation (15.2%). [12] Under the latest amendments concerning the minimum wage in the Republic of North Macedonia, [15] as of March 2025 the minimum net wage increased by MKD 1,812, setting the gross minimum wage at MKD 36,037 from March 2025 through February 2026 (previously MKD 33,352), [16] and the net minimum wage at MKD 24,379 (previously MKD 22,567).

Current reports from relevant institutions indicate that a considerable share of public-sector positions does not require appropriate knowledge, effort, or measurable results, yet they guarantee a stable job or position. This stems from employment policy being embedded in political party strategies as a tool to stabilize the electorate, rather than to meet the needs of an efficient public sector, creating a “secure and loyal” voting base through clientelism (one party-key employee generating three reliable family votes).

In terms of competitiveness indicators in 2024 and Q1 2025, the National Bank notes some improvement; a growth of 2.2%, driven by faster economic activity relative to employment growth. By sector, industry and agriculture made a small negative contribution, while services, including public-sector services remained the steady engine of growth. Due to wage growth outpacing productivity, nominal unit labour costs in 2024 were 10.6% higher, [12]

primarily because of increased costs in services, and to a lesser extent in industry and agriculture.

Labor productivity is often assessed and measured at various levels and determines, in part, an institution’s profitability and, indirectly, a country’s standard of living. From an economic and social perspective, public-sector institutions use resources and deliver services that can be consumed domestically or exported, thereby raising productivity and living standards.

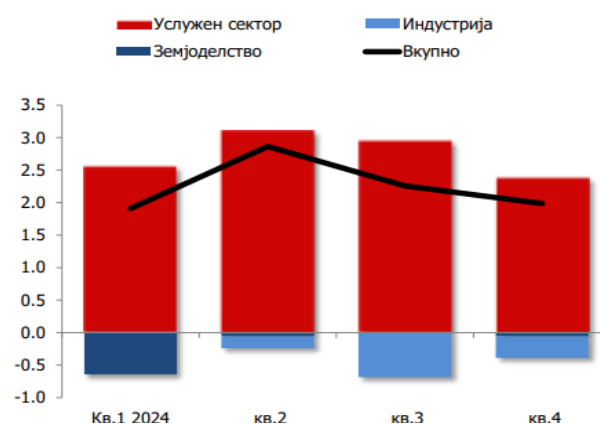


Fig. 1 Labor Productivity [12]

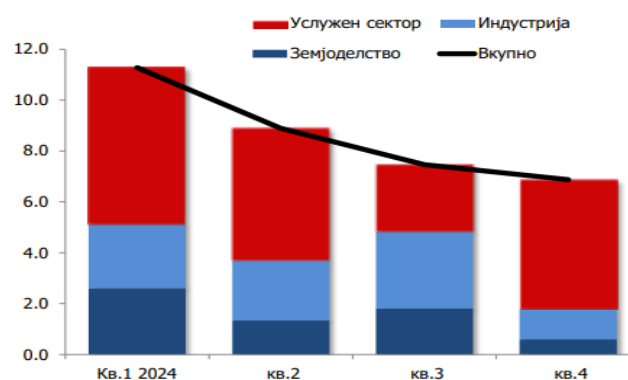


Fig. 2 Unit Labor Costs [12]

Measuring public-sector productivity is, however, considerably more difficult than in the private sector and other institutions. It largely depends on the feasibility of applying quantitative methods, such as feasibility analyses for returns on investment in transport infrastructure, energy, and water supply, where direct, indirect, tangible, intangible, and other costs and revenues are evaluated. Where this is not possible, other methods may be used: cost-benefit analysis, PPB (Programming-Planning-Budgeting), ZBB (Zero-Based Budgeting), or the so-called Sunset Legislation Method. [17]

When considering the impact and importance of the economic and social dimension on work motivation and job satisfaction, perhaps the most common misconception is that they are determined primarily by pay, at least in the long term, they are not. Naturally, everyone expects fair compensation for effort and time, but do money and benefits alone lead us to work with dedication, quality, and passion?

Like productivity, motivation cannot be directly measured, but it can be inferred from job satisfaction, employee behavior, levels of effort, persistence, and work outcomes. One of the most important indicators of motivation is job performance. [18] In analyzing individual performance, one must consider employees’ needs and abilities and their different ways of satisfying those needs. Performance depends on the level and intensity of the interaction between ability and work motivation, represented as: [19]

$$\text{job performance} = \text{ability} \times \text{work motivation}$$

Anyone who has interacted with the public sector can attest that, rather than facilitating matters, employees often complicate them and amplify problems, causing negative consequences for development, especially in a country like North Macedonia. Considerable effort, time, and creativity are required to adapt the experiences of developed countries to local conditions, given national culture, tradition, and character. At the same time, there are widely accepted economic and social dimensions (social resources, solidarity, and the fight against poverty) that underpin motivation and improved job satisfaction.

CONCLUSION

The impact and importance of the public sector's economic and social dimension on motivation and job satisfaction in the Republic of North Macedonia are considerable. This is supported by the widespread belief that public-sector employment means a guaranteed job with benefits, social respect, secure and relatively solid pay (mid-month), and a lower risk of income loss than in the private sector or self-employment, plus weekends and public holidays. To some extent this is true, because public-sector employment often serves employees' personal ambitions more than citizen service. Nonetheless, employees' expectations keep rising regardless of outcomes. In other words, many prefer challenging work over routine work.

For the public sector to become a high-quality institution that reflects democratic values and continually increases its effectiveness and efficiency, it needs confident employees who are satisfied with their work and ready at any moment to refine core competencies, problem-solving and decision-making within their remit, communication, delivering results, collaboration/teamwork, strategic awareness, stakeholder orientation, leadership, and financial management through theoretical and practical education. In doing so, they will deliver better value to citizens and businesses and ensure appropriate, meaningful, and sustainable economic and social development.

REFERENCES

- [1] Georgioska M. *Motivation and satisfaction from the workplace in the public administration employees in the Republic of Macedonia*, doctoral dissertation, FICT-Bitola (2020)
- [2] Public Administration Reform Strategy in the Republic of Macedonia (2023-2030) with Action Plan 2023 - 2026, Skopje, 12 (2023)
- [3] <https://kvalitet.mioa.gov.mk/wp-content/uploads/2024/05/strategi%D1%98a-za-reforma-na-%D1%98avna-administraczi%D1%98a-2023-2030-so-akcziski-plan.pdf>
- [4] *Law on Public Sector Employees*, Official Gazette of RM no. 27/2014, Official Gazette of RNM no. 143/2019, and its amendments (the last in 2024) (New Public Sector Employee Draft Law will start to apply from 01.01.2026, still in the draft version - https://ener.gov.mk/Default.aspx?item=pub_regulation&subitem=view_reg_detail&itemid=84687)
- [5] *Constitution of the Republic of N. Macedonia*, Official Gazette of RM no. 52/1991 from 22.11.1991 and its amendments (the last in 2019), <https://www.sobranie.mk/odluke-za-proglasuvanje.nsp>
- [6] Rue W. L., Byars L.L. *Management: Skills and Application*, Irwin Burr Ridge, Illinois, 89-90 (1992)
- [7] Gruevski D., Markovska M. *The motive of achieving the student population from Ss. Kliment Ohridski in Bitola for their professional and career development*, MANU, Skopje (2014)
- [8] <http://www.filozofskodrustvors.org/wp-content/uploads/2012/09/05.-Aleksandar-Savanovic-Lokova-teorija....pdf>, 13
- [9] Greenberg J., Baron A.B.: *Behavior in organizations*, Zelnid, Beograd, 162-163 (1998) see in <http://www.vps.ns.ac.rs/SB/2008/4.20.pdf>
- [10] <https://www.nbrm.mk/>
- [11] <https://www.stat.mk/>
- [12] National Bank of N. Macedonia, *Quarterly Report 2025*, May, 2025
- [13] National Bank of N. Macedonia, *Annual Report for 2024*, April, 2025
- [14] <https://vlada.mk/node/37254>
- [15] <https://a1on.mk/macedonia/vrabotenite-vo-javnoto-zdravstvo-dobivaat-povisoki-plati/>
- [16] *Law on Minimum Wage in the Republic of North Macedonia*, Official Gazette of RM no. 11/2012, its amendments (the last in 2019), and Decree for Declaration of the Law Amending the Law on Minimum Wage in the Republic of North Macedonia, Official Gazette of RNM no. 67/2025 from 28.03.2025 <https://msfi.com.mk/wp-content/uploads/2025/03/Objava-SLU-BEN-VESNIK-NA-RSM-br.-67-od-28.03.2025.pdf>
- [17] Bexheti A. *Public Finance*, UEJL, June 2007, Tetovo, see in Bexheti A., Uzunov V. *The economic and social dimension of the public administration in the Republic of Macedonia - the number of employees and budget expenditures for their salaries versus productivity*, Forum for Public Administration, Skopje, 15 (2015)
- [18] Bahtijarevic S.F. *Management of human resources*, Golden marketing, Zagreb, 557 (1999), see in Prodanovska V., Mitreva E. *Providing quality of the business processes through motivation and establishing efficient communication with the employees*, Economic Development, issue: 3/2009, 139-155 (2009)
- [19] Zimanji V., Stangl S.G. *Organizational behavior*, Faculty of Economics, Subotica, 81 (2005), see in Prodanovska V., Mitreva E. *Providing quality of the business processes through motivation and establishing efficient communication with the employees*, Economic Development, issue: 3/2009, 139-155 (2009)

ИНТЕРПРЕТИРАНЕ НА ДИРИЖИРАНЕТО ПО ОТНОШЕНИЕ НА СУГЕСТИВНИТЕ УПОТРЕБИ НА ДИРИГЕНТСКАТА ТЕХНИКА

INTERPRETING CONDUCTING IN TERMS OF SUGGESTIVE USES OF CONDUCTING TECHNIQUE

Христо А. Атанасов

РЕЗЮМЕ: В доклада се разкрива концепцията за диригентската сугестия и използването на диригентската техника за внушение или предаване на емоционално-експресивната същност на музикалното произведение и емоционалното взаимодействие в процесите на невербална комуникация с изпълнителския състав.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ДИРИЖИРАНЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, ОБЩУВАНЕ, ДИРИГЕНТСКИ ЖЕСТ, СУГЕСТИЯ

ABSTRACT: The report reveals the concept of conductor suggestion and the use of conductor technique to suggest or convey the emotional-expressive essence of the musical work and the emotional interaction in the processes of non-verbal communication with the performing ensemble.

KEYWORDS: CONDUCTING, INTERACTION, COMMUNICATION, CONDUCTING GESTURE, SUGGESTION

В контекста на разглежданата тематика, сугестивния аспект на диригентската техника следва да се потърси в познанията на редица научни области и тясното им обвързване, както със самия акт на дирижиране, така и с различни дейности от диригентската практика. Разгледана в по-широк смисъл сугестията (внушението) може да ни послужи при разкриването на същността на „психологическото влияние на един човек върху друг, при което се осъществява некритично възприемане на информация“, т.е. цялата несъзнавана психическа активност, включваща всичко, което е извън съзнанието за даден момент, дефинирано от множество автори като подсъзнание или несъзнавано.

Според Г. Лозанов това се проявява в различни форми и методи за косвено въздействие. В този смисъл, внушението включва:

- *внушение*: процес на психическо въздействие, при който човек безкритично възприема информация.
- *намек*: косвено указание за нещо, принуждаващо човек да мисли и да прави определени заключения.
- *емоционално въздействие*: способността на художествените образи да предизвикват ярки емоционални преживявания у човек.
- *въздействие върху въображението*: способността на образите и сюжетите да предизвикват ярки образи и асоциации у читателя или зрителя.

Средствата на внушението могат да обслужват всеки един от типове комуникация, а ролята им зависи от нивото на авторитарност, като от общо четирите определени от него интереса за нас представляват:

- *свободната комуникация* – без да могат да се избегнат множеството нормални влияния, които постоянно изпитваме (съзнателно или несъзнателно);
- *насочената неманипулативна комуникация* – при свободна организация на множество нормални въздействащи фактори като: изкуство, престиж, периферни перцепции, емоционален фон и др., със запазване свободата на личността да избира. Този тип комуникация се използва в последния вариант на сугестопедията [4].

В областта на подсъзнателната комуникация относно съзнателно и несъзнателно възприятие английския психолог Антъни Марсел [14] въз основа на неговите и на други открития доказва, че когато визуални стимули като лица и картини, представени в среда, където може да е трудно да се отдели един стимул от друг, възприемащият все още има възможността да ги разграничава и да реагира различно на тях.

Възприемането на една фотография или изображение е активен, но и автоматичен процес на мозъка. Както индивидите имат еднаква предразположеност към приемането на визуална информация, така и личният опит формира

последвалата реакция. Изображенията като цяло, постигат това, което самостоятелен текст не успява. Те повишават възможностите за разбиране, припомняне и запаметяване. Визуалните указания помагат да се декодира даден текст, да се привлече внимание, също така повишават вероятността публиката да запомни видяното и прочетеното.

Визуалните стимули въздействат върху подсъзнанието и могат да повлияят върху реакциите на даден индивид, а постоянният обмен на визуална информация е един от факторите за непрекъсната промяна на средата [2].

От друга страна трябва да се вземе под внимание и факта, че процесът на дирижиране има специфична форма на неречево общуване, т.е. безсловесни (невербални) внушения – мимика, израз на очите, идеомоторни движения, природен и социален декор и др. [3], при които взаимодействието между изпълнители и диригент се основава на зрителните, слуховите и психологическите контакти, спомагащи взаиморазбирането [5, с.14].

На основание на постановките на С. Л. Рубинщайн и Г. А. Балзис, Ю. Панова разглежда диригентската жестикуляция като единствено по рода си музикално-изпълнителско средство, което реално и действено (физически) се разполага в пространството и се развива във времето, прави видимо „движението на звука“ и предизвиква определено звучене. „Възприемането на обективното съществуване на музикалното пространство е свързано с психологическия факт, че пространството се възприема предимно (ако не и само) зрително. Но слуховото възприятие, също не е откъснато от пространственото. В действителността никога не се възприема абстрактен звук, а само конкретни звукове и/или звукови съотношения. Тази конкретност предполага и изисква локализация на звуковия източник, идентифициране на тембъра, различаване на височината, силата и трайността на звука“ [1]. От друга страна сливането на звуковата „материя“ с времето се дължи на факта, че не може да съществува звук без движение, а движението не може да съществува отделно от пространството и времето. Това определя физичния аспект на музикалния звук като форма на движението. В този смисъл „...локализираме ли звука, изхождайки от слухови или зрителни данни, ние локализираме не слухови и зрителни усещания и образи, възприети в слухово или зрително „поле“, а реални явления, изобразени в нашите усещания, чрез възприятия в реалното пространство.“ [6]. За това източника на звука се определя не само от слуховите, но и от зрителните възприятия въобще, в съвкупност с всички данни, служещи за ориентиране в реалното пространство. Физическото изобразяване на тези реални явления, чрез движения, разположени в реалното пространство и развиващи се във времето, е в основата на формиране на диригентската жестикуляция, като форма на зрителна обективизация на звучността на музикалното

произведение, неговата специфична *пространствено-времева* цялостност [5].

В този аспект норвежкия музиколог Ролф Инге Годой определя, че именно движението/жестът, позволява на човек да запомни музиката. Изследванията на Годой (наред с други изследователи) показват, че жестът/движението създава отпечатък в мозъка и по този начин обуславя реакция, която ще бъде запомнена и ще предизвика същата реакция следващия път, когато човек види същото движение/жест.

Откриването на „огледални неврони“ (Галезе, Рицолати) доказва, че подсъзнанието очевидно играе много по-голяма роля във взаимодействието на огледалните неврони и физически движения/жестове. Те имат способността да декодират движенията/жестовите на някой друг, така че едновременно можем да се научим да ги правим сами и да регистрираме мислите и волята зад тези жестове [9] [15].

Учените посочват изключително тясната връзка между способността ни да общуваме лингвистично и огледалните неврони. Значението на жестовите, изражението на лицето и напредналите движения на устните на диригента, следователно имат непосредствен смисъл за певеца, без участието на съзнателна интерпретация – можем да видим изговорената и неизказаната дума.

Изглежда, че подсъзнателните процеси (от ума и тялото на диригента до огледалните неврони на изпълнителя) биха могли да надделеят над по-рефлексивния процес на съзнателно ниво, просто защото е по-бърз. Освен това изглежда, че колкото повече време има певецът, за да декодира жест, толкова по-очевиден става евентуалният конфликт между това, което жестът очевидно показва на подсъзнателно ниво, и това, което той предава, след като е бил регистриран, анализиран и интерпретиран от съзнанието. Нашето съзнание е – както вече установихме – много по-бавно от подсъзнанието, което означава, че когато певецът е осъзнал жеста, подсъзнанието вече го е обработило и е създадо реакция у него, независимо какво ще си помисли за жеста след това на съзнателно ниво [12].

Жестът на диригента – според изследователски доклади – ще се нуждае от около 0,5 секунди, за да достигне пълно съзнателно разбиране на движението и целта зад него [10]. В процеса на жеста комуникация, между диригента и певците, това обикновено отнема твърде много време. Но когато огледалните неврони се активират, те обработват жеста само за 50 милисекунди в подсъзнанието.

Когато диригентът създава жестикулационна среда, жестовите могат да изглеждат доста идентични за съзнателния поглед, но между които подсъзнанието на изпълнителя може да разграничава, сортира и дава различни отговори [12].

При изразяването на емоционално-мисловната субстанция на изпълняваното произведение диригентският жест притежава и дава достатъчно точна информация не само относно техническото му реализиране, но и създава алегорични символи, насърчаващи инстинктивни или условни модели на реакция на изпълнителите.

Всичко това, както и анализът на изследваната литература, дава основание да се направи допускането, че при дирижирането като непрекъснато променяща се жестикулационна среда, постоянният обмен на визуална информация (диригентски жест, мимика...), както и контролирането и обработването на визуално възприетата комуникация (от изпълнителите) очертават особена психическа реалност, имаща своите закономерности, реализиращи се във взаимодействието между диригент и изпълнители. Това дава възможност дирижирането да се тълкува в аспект на подсъзнателна (визуалната) комуникация, която „...повлиява неволево върху емоциите и нагласите на изпълнителите. Тя ангажира и въображението, като се повишава креативното мислене, чрез стимулиране на всички части в мозъка (което води до по-задълбочено преживяване на настоящето). Емоциите влияят върху взимането на решения. Те въздействат на рационалното мислене. Визуалните възприятия имат

моментално влияние, защото не изискват съзнателна обработка в сравнение с текста“ [2, с. 2].

Съответно диригентският жест се определя като сугестивен, тогава когато кара въображението на изпълнителите да работи интензивно, предизвиква ярки емоционални преживявания, разкрива нов мироглед или обновява стария. Така под сугестивни употреби на диригентския жест ще разбираме използването му за внушение или предаване в психодинамическа форма на личностно-значимите характеристики на хоровото звучене, съответстващи на индивидуално-изпълнителската концепция и го превръща в невербално средство за общуване на диригента с изпълнителския състав.

Може да има различни нива, на които изпълнителят реагира на подсъзнателната комуникация на диригента. Причините за това могат да бъдат следните:

- *Колко добре обучен е изпълнителят (обусловен от знания).* Колкото по-обучен и опитен е изпълнителят - разчитайки на знанията си - толкова повече певецът ще действа въз основа на това, което е научил в собственото си лично обучение, повече или по-малко съзнателно, пренебрегвайки жестовите на диригента. Той ще се отнася към жестовите по съзнателен и рационален начин и собственото лично обучение на певеца представява неговата основна опора в музикалния процес.
- *Авторитет и уважение.* Колкото по-голямо уважение има един изпълнител към авторитета на диригента, толкова по-склонен ще бъде той/тя да остави настрана собственото си лично обучение/знание и да си позволи да бъде временно обусловен от жестовото ръководство на диригента. Това важи и за висококвалифицираните изпълнители. Традиционният не толкова добре обучен изпълнител-аматьор постоянно и винаги ще търси напътствие и сигурност, а диригентът естествено представлява този авторитет.
- *Асоциативно обуславяне,* определени жестове са предусловени за определен музикалноизпълнителски процес, където нивото на обучение на изпълнителя или уважението към авторитета имат по-малко влияние.

Както виждаме, има редица фактори, които могат да повлияят на степента, до която изпълнителите се оставят да бъдат повлияни от подсъзнателната комуникация. По-обучен певец вероятно ще регистрира същото ниво на подсъзнателна комуникация, но може би няма да позволи да бъде повлиян в същата степен.

Това е нещо, което е привлякло интереса на Диксън през 1971 г.: „Дискусията е дали визуален стимул, невидим за съзнателното око, все още може да повлияе на установено и иначе стабилно възприятие.“ [8]. Напълно е възможно бъдещите изследвания и открития да намалят необходимостта от разграничаване между обучени и аматьорски изпълнители – че въздействието на такава комуникация/възприятие е горедолу еднакво силно, независимо от обучението.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Най-голямото предизвикателство за бъдещите учени е без съмнение до каква степен могат да се постигнат задоволителни и измерими ефекти от подсъзнателното взаимодействие. В тази перспектива – в очакване на научно одобрени открития – несигурността до каква степен подсъзнателното взаимодействие наистина има ефективно „несъзнателно“ влияние ще остане въпрос на дефиниция, докато за опитния диригент все още остава безспорен емпиричен факт, че подсъзнателното взаимодействие наистина има влияние върху изпълнителите.

По отношение на съзнателната измеримост, трябва да се вземат предвид аспекти като:

- социално-психологическо влияние (напр. как другите изпълнители взаимодействат социално и музикално помежду си);

- асоциативно обуславяне (напр. определени жестове са предварително обусловени от определен музикалноизпълнителски процес).

Разбираемо е, че тези фактори не се оценяват лесно, и следователно човек се сблъсква с реалността, тъй като феномените, които не са обект на измерване, никога не могат да бъдат приети като научни факти. Днес, за съжаление, ще се сблъскаме с пропаст между убеждението, с което живее диригентът, и това, което науката трудно признава като валидно комуникативно явление.

Изкушаващо е да се предположи, че тази реалност очертава особен вид подсъзнателна комуникация, която представлява комуникативната основа за всички форми на изкуство – комуникация със или без думи, където картини, форма, цветове, размер, темпо, ритъм, пулс, звук, динамика, интонация и т.н. са самите инструменти, използвани за въздействие върху възприемачия. В този аспект можем да установим разбирането, че подсъзнателната комуникация и възприятие не са нито ново, нито революционно явление. Изглежда просто, че не е направена връзка между историческия емпиризм и откритията от последните психологически и неврологични изследвания с това, което диригенти и изпълнители, преживяват и разбират основно на подсъзнателно ниво.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдзис, Г. А. Социално-историческата природа на музикалното съзнание като вид художествено съзнание. Дисертация, София, 1992
2. Георгиева, Емилиана. Механизъм на визуалното възприятие и естеството на визуалната интелигентност. Сп. „Реторика и комуникации“, брой 38, януари 2019 г., ISSN 1314-4464.
3. Лозанов, Г. Сугестология – монография. Изд. „Наука и изкуство“, София, 1971, стр. 260
4. Лозанов, Г. Сугестопедия – Десугестивно обучение. Комуникативен метод на скритите в нас резерви (Лекционно резюме 1995 – 2004), Университетско изд. „Св. Климент Охридски“, София, 2005, ISBN 954-07-2137-7 (издадено и на английски)
5. Панова, Ю. Музикално-педагогически проблеми на обучението по дирижиране от клавири на студентите от

- специалност Педагогика на обучението по музика. Дисертация, Шуменски университет, 2013, с.12
6. Рубинщайн, С. Л. *Основы общей психологии*, Москва, Педагогика 1989
7. Цовякова, И. А. *Ассоциативный подход в процессе обучения дирижированию*, Автореферат, Москва 2009
8. Dixon, N. F (1971). *Subliminal Perception: The Nature of a Controversy*. New York. McGraw Hill. University of Oslo (2006). *The Musical Gestures Project*. Downloaded from: <http://www.hf.uio.no/imv/forskning/forskningsprosjekter/musicalgestures/index.html>
9. Gallese, V., Goldman, A., *Mirror Neurons and the Simulation Theory of Mind-Reading*. Trends in Cognitive Science, Vol. 2, № 12.
10. Illustrerad Vetenskap (Illustrated Science) (2005, No 11 p. 38 - 39). Scientific magazine for science, nature and technique. Downloaded from: <http://www.illustreradvetenskap.com/polopoly.jsp?d=147&a=2641>
11. Godøy, Rolf Inge (2004). *Gestural Imagery in the Service of Musical Imagery*. In Camurri, Antonio & Volpe, Gualtiero (Ed.), *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction: 5th International Gesture Workshop, GW 2003, Genova, Italy, April 15-17, 2003, Selected Revised Papers, LNAI 2915*. Springer. p. 55–62.
12. Kaplin T. - Subliminal interaction – the secret behind musical leadership? – how the conductor’s musical mind manifests itself in the body language and the singers in the choir, лекция, University of Pretoria, April 2006 and Febr. 2007
13. Lozanov, G., *Suggestopedia/Reservopedia Theory and practice of the liberating-stimulating pedagogy on the level of the hidden reserves of the human mind*, St. Kliment Ohridski University Press, Sofia, 2009, ISBN 978-954-07-2936-7, с. 18-24
14. Marcel, A. J. (1983). *Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition*. Cognitive Psychology, 15(2), 197-237.
15. D. Rizzolatti, C. Sinigaglia. *Mirrors in the Brain. How our Mind Shared Actions and Emotions*. Oxford University Press. 2006
16. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%B3%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F>

САМООЦЕНКА НА ЛИЧНОСТНИ КАЧЕСТВА НА БЪДЕЩЕТЕ УЧИТЕЛИ ПО МУЗИКА

SELF-ASSESSMENT OF PERSONALITY TRAITS OF TRAINEE MUSIC TEACHERS

д-р Панчева-Георгиева А. Н.
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
Педагогически факултет
a.pancheva@shu.bg

Abstract: The report offers theoretical foundation of the nature of self-assessment in connection with research into the artistic performance competence of trainee music teachers. Taking into account the specific activities of the trainees, self-assessment is considered an important factor in the music performance process, which in turn provides interaction with music art. The criteria and parameters used in a questionnaire for self-assessment of personal and professional qualities are presented. Conclusions are drawn on the basis of the analysis of the obtained results.

KEYWORDS: NATURE AND CHARACTERISTICS OF SELF-ASSESSMENT OF PERSONAL AND PROFESSIONAL QUALITIES, TRAINEE MUSIC TEACHERS

1. Увод

Съвременната педагогическа реалност налага все по-високи изисквания пред бъдещите професионалисти. Все по-решаващ фактор за успешната реализация на бъдещите педагози се явяват наличието както на професионални, така и на личностни качества.

Спецификата в работата на музикалния педагог се характеризира с тясно взаимодействие на педагогическа и музикално-изпълнителска дейности. В процеса на педагогическо взаимодействие, като едно от най-успешните средства за въвеждане в света на музикалното изкуство, се определя музикалното изпълнение. Въпросът за ефективността, качеството и успеха при реализиране на музикално-изпълнителската дейност извежда на преден план необходимостта на учителя по музика от способност за самооценяване на самото изпълнение, като метод за корекция и път за усъвършенстване, „способност да се виждат проблемите, възникващи в действителност, и да се намират начини (методи) за тяхното ефективно решение“ [2]. Самооценяването (наблюдение, анализиране, сравнение/проверка) дава възможност да се съпоставят качеството на изпълнение в настоящия момент и качеството, което е необходимо, към което има стремеж. Така самооценката е предпоставка и води до коригиране, саморазвитие, самоусъвършенстване.

2. Същност на изследвания проблем

Предвид спецификата на работата на бъдещите учители по музика е проведено изследване на проблема за художествено-изпълнителската култура на студентите от специалност „Педагогика на обучението по музика“ в Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“. Един от компонентите в модела на художествено-изпълнителската култура, аргументиран за целите на изследването, е самооценката [6].

Самооценката се определя като съществен компонент на характера на личността, дава възможност за *оценка на собствените способности, мотиви и цели на поведение*. Субектът сравнява собствените сили и постижения спрямо определени изисквания и съобразно с това си поставя цели и задачи. Възниква на основата на оценка на резултатите от собствената дейност [4]. Определя се като „ценност, значимост, с които личността се определя цялостно и спрямо отделни страни на своята личност, дейност, поведение“; чрез нея се възприема собственият успех или неуспех, достигнатите цели спрямо определено ниво. Формира се на основата на оценка от другите, резултатите от собствената дейност или на основата на съотношението за реална и идеална представа на личността [7].

В основата на процеса на реализиране на музикалния образ чрез дейността на музикалния изпълнител, Людмила

Арчажникова определя като два водещи компонента търсенето на средства за решаване на художествените задачи и *самооценката на постигнатите резултати* [1].

Джералд Клишайн счита, че умението за самооценка дава възможност да се поучим от собствения си опит и е начин за усъвършенстване, за постигане на увереност в процеса на изпълнителството [12].

Самооценката още се разглежда като компонент в структурата на самоконтрола и се свързва с „анализа на съответствие или несъответствие на изпълнителското изпълняване с творческия замисъл“ [8].

Самооценката се характеризира с две функции – познавателна и регулативна. Предизвикана от самия субект или от външен източник, самооценката се явява регулатор на дейността на човека. Регулативната функция се осъществява благодарение на познанието за себе си и другите.

В структурата на самооценката се включват три компонента – когнитивен, емоционално-оценъчен, действено-практически. Когнитивния компонент включва знания за себе си, за своите умения, способности. Емоционално-оценъчния компонент включва отношението към самия себе си и се свързва със степента на удовлетвореност или неудовлетвореност от собствените действия; включва възможност за оценка на собствените минали, настоящи и бъдещи постижения – ретроспективна, актуална и идеална. Действено-практическият компонент включва възможността да се действа на основата на първите два компонента – знание за себе си и оценка за себе си [10].

Видовете самооценка могат да се определят по различни параметри. Според нивото самооценката бива висока, средна, ниска; според съотношението с реалната успешност – адекватна и неадекватна; според особеностите на структурата – конфликтна и безконфликтна; според времеви критерий – прогностична, актуална, ретроспективна [7; 9].

В процеса на обучение трябва да се обърне внимание на формиране у студентите на адекватна самооценка, тъй като тя осигурява оптимално решаване на музикално-творческите задачи, рационално използване на наличния технологичен ресурс, своевременно определяне на перспективите за развитие на собствената изпълнителска култура [5].

Друга характеристика на същността на самооценката е нейната локализация. Свързва се със отговорността на личността, със субективното обяснение на резултатите от собствените действия. При разглеждане локализацията на контрола се определят два вида – вътрешен и външен (интернал и екстернал). В първия случай (интернали) се приема, че случващото се е следствие и зависи от собствения контрол, а във втория случай (екстернали) определящи са външни фактори и обстоятелства. Това

обяснява и влиянието на локализацията на контрола върху мотивационната сфера на личността (в контекста на изследването на студентите) [3; 10; 13].

Представените теоретични постановки за значението, същността, видовете и характеристиките на самооценката дават основание в контекста на изследването да се направят следните изводи:

- Самооценката е съществен компонент на личността, осигуряващ оценка на собствените способности, постижения, мотиви и планиране на бъдещите действия;

- Самооценката е важен компонент в процеса на музикално-изпълнителската дейност;

- Чрез осъзнаването на субективното състояние по отношение на локализацията на контрола се осигурява възможност за целенасочени действия;

- Най-положително влияние за развитието и дейността на личността имат адекватната и висока самооценка;

- Нивото на самооценка е определящо за процеса на формиране на изпълнителска култура на студентите.

За целите на изследването на художествено-изпълнителската култура е проведена анкета за самооценка на Н. Алексеев, модифициран вариант на А. Георгиева.

Анкетата е насочена към установяване на важни личностни и професионални качества и характеристики на студентите, свързани с художествено-изпълнителската култура на бъдещите музикални педагози. Самооценката е важен критерий (оценка на личността за себе си, своите възможности и качества), който дава възможност да се направи съпоставка на реалните характеристики и тези, които са цел. В този смисъл тя става предпоставка за корекция, саморазвитие и самоусъвършенстване.

Анкетата е съставена от десет твърдения. Чрез самооценяване студентите трябва да посочат степента на изразеност на съответното твърдение, каквато мислят, че е в момента (отбелязано с О) и степента на изразеност, каквато мислят, че трябва да бъде (отбелязано с Х). Оценяването се извършва по десетобална система. Изчислява се балът за всяка една от десетте самооценки (реална и желана) на посочените твърдения.

С помощта на методиката се изследва самооценката на студентите към собствени личностни и професионални характеристики, свързани с изпълнителската култура и важни за бъдещата музикално-педагогическа професия:

ниво на знания, умения, компетентности;

увереност в себе си;

самостоятелност;

целенасоченост за бъдещо развитие;

самоорганизация;

стремеж (интерес, желание, мотиви) към

саморазвитие и творческа активност;

познаване на себе си (лични и професионални качества);

правилна преценка за професионалната подготовка.

Обработването на резултати се извършва по следния алгоритъм:

1. Изчисляват се балът на реалната (S_a) и идеалната (S_p) самооценка за всяко едно от десетте твърдения в % (всеки бал е 10% от скалата) и средно за всички (отново в %);

2. Изчислява се стойността на несъответствие за всяко твърдение, т.е. степен на адекватност на самооценката – разликата между идеалната и реалната самооценка (в %): S = S_a - S_p;

3. Получените стойности се интерпретират, както следва:

-12% ≤ S ≤ +12% – адекватна самооценка;

S > +12 – неадекватна завишена самооценка;

S > -12 – неадекватна занижена самооценка.

В следващата Таблица № 1 са представени всички резултати – за реалната и идеалната самооценка, както и за адекватността на самооценката на студентите.

Таблица № 1

Резултати от самооценката на личностни и професионални качества на всички изследвани студенти

	I курс 2020			II курс 2020			IV курс 2022			IV курс 2023		
	Р	И	АД	Р	И	АД	Р	И	АД	Р	И	АД
V 1	87 %	94 %	A	69 %	92 %	H3	77 %	95 %	H3	83 %	92 %	A
V 2	81 %	87 %	A	77 %	85 %	A	82 %	86 %	A	83 %	92 %	A
V 3	75 %	94 %	H3	77 %	92 %	H3	82 %	95 %	H3	75 %	83 %	A
V 4	87 %	94 %	A	85 %	92 %	A	95 %	82 %	3H	75 %	92 %	H3
V 5	94 %	81 %	3H	92 %	85 %	A	86 %	82 %	A	83 %	92 %	A
V 6	75 %	94 %	H3	69 %	92 %	H3	68 %	91 %	H3	75 %	92 %	H3
V 7	69 %	87 %	H3	77 %	92 %	H3	82 %	91 %	A	75 %	83 %	H3
V 8	94 %	81 %	3H	92 %	77 %	3H	82 %	86 %	A	83 %	92 %	A
V 9	75 %	94 %	H3	62 %	92 %	H3	73 %	91 %	H3	75 %	92 %	H3
V 10	81 %	94 %	H3	77 %	92 %	H3	82 %	91 %	A	83 %	92 %	A

Легенда: v – въпрос; Р – реална самооценка; И – идеална самооценка; АД – адекватност на самооценката; А – адекватна самооценка; H3 – неадекватна занижена; 3H – неадекватна завишена.

Резултатите в Таблица № 1 показват, че при 47,5 % от отговорите самооценката на изследваните студенти е неадекватна занижена, свързана с:

- Своите стремеж, желание, способности, качества за 1) саморазвитие, самоусъвършенстване по отношение на изпълнителската култура и 2) творческа активност;

- Личните си и професионални качества, своите знания, умения и компетентности;

- Увереността в собствените изпълнителски способности и правилната преценка по отношение на своята професионална подготовка;

- Мотивацията и желанието във връзка с публичните изяви, целенасочеността по отношение на бъдещото развитие;

- Своята самостоятелност – самоорганизация, самоподготовка, самооценка.

Тази занижена самооценка вероятно се дължи на: липса на увереност; отсъствие на качества у студентите за постигане на желания идеален резултат; анализ и осъзнаване на възможностите във връзка с изследваните лични и професионални качества; разбиране на необходимостта от развитие и усъвършенстване в личен и професионален план.

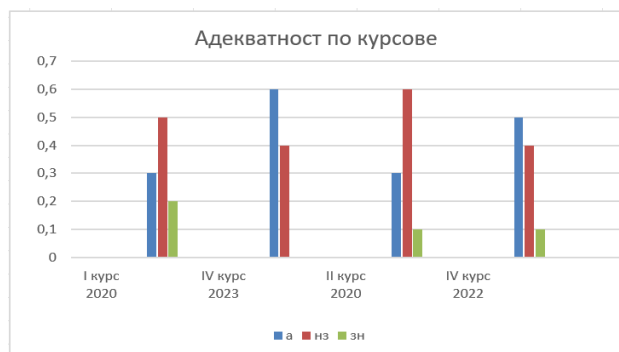
При 42,5 % от отговорите на студентите се наблюдава адекватност по отношение на: усвоените знания, умения, компетентности; самоувереност и познаване на себе си – лични, професионални качества и подготовка; своите желания и мотиви за развитие, усъвършенстване и реализация.

Неадекватните завишени самооценки са 10 % – свързани с увереност в способността за изпълнителска дейност и способността за нейното самооценяване, комуникативните качества. Вероятно тази неадекватност е свързана с надценяване на собствените качества и способности и неосъзнаване на изискванията и проблемите на изпълнителската дейност в крайния етап на обучение.

От данните в Таблица № 1 се вижда, че неадекватно занижената самооценка на изследваните студенти е свързана предимно с тяхната обща музикална култура и готовност за музикална и учебна импровизация. Най-адекватно преценяват себе си по отношение на интереса и мотивацията за публично изпълнение, и комуникативните си качества за аудиторията. Най-ниските стойности за реалната самооценка на студентите са във връзка с нивото на общата им музикална

култура, техническата подготовка, репертоара, артистизма, готовността за импровизация, а най-високите стойности за идеалната самооценка са свързани с желанието за усъвършенстване на изпълнителската култура, усвояването на нови знания, умения, компетентности, увереността в способностите за изпълнителска дейност, готовността за импровизиране, нивото на обща музикална култура, самоподготовката.

Динамиката на развитие на изследваните студенти във връзка с тяхната самооценка на личностни и професионални качества, свързани с изпълнителската култура, е отразена в диаграмата на *Фигура № 1*:



Фиг. № 1: Динамика на самооценката на студентите от I, II, IV курс 2022 и IV курс 2023 г.

Анализът на представените данни, свързани със самооценката на студентите, дава основание да се обобщят следните изводи:

1. При съпоставянето на резултатите на I-IV и II-IV курс се наблюдават положителни тенденции – нарастват стойностите за адекватните самооценки и намаляват стойностите за неадекватните занижени самооценки. Тези промени са по-ясно изразени при сравнението на I-IV курс (където и нивото на неадекватни завишени самооценки спада до нула) и по-слабо се установяват при II-IV курс (където нивото на неадекватни завишени самооценки се запазва). Въпреки тази положителна тенденция при около половината студенти в IV курс се наблюдават неадекватни занижени самооценки. Това показва, че те заявяват неувереност, колебание, недостатъчно развитие на личностните и професионални качества в етапа на обучение или нарастване на изискванията към себе си (във връзка с променените по-високи цели и критерии).

2. Тези резултати дават основание да се насочи вниманието към повишаване на адекватността на самооценката на студентите. Необходимо е да се потърсят различни форми на работа за:

- насърчаване на увереността;
- максимално развитие на личностните и професионални качества в процеса на обучение;
- развиване на способностите за познаване на себе си и своите качества, възможности, знания, умения, компетентности;
- постигане на възможно най-добри резултати във връзка с поставените по-високи цели и критерии.

Повишаването на адекватната самооценка е предпоставка и съдейства за ефективното решаване и преодоляване на проблемни професионални ситуации [11], за активна, целенасочена работа в процеса на усъвършенстване на изпълнителската култура.

3. Заключение

Проведеното изследване на самооценката на студентите е от съществено значение за цялостно проучване, свързано с проблема за формиране на художествено-изпълнителска култура на бъдещите учители по музика.

Анализът на установените резултати и представените изводи могат да послужат като основа в процеса на професионалната подготовка на компетентни специалисти, стремящи се към личностно и професионално саморазвитие и самоусъвършенстване в пътя си на изграждане като музикални педагози.

Литература

1. **Арчажникова, Л.** Професия-учител музика: Книга за учителя. Просвещение, М., 1984., с. 38.
2. **Атанасов, Хр.** Хоровото пеене и дирижиране като интерактивно образователно пространство. В: VIII Международна научна конференция „Техника. Технологии. Образование. Сигурност“, Велико Търново, 2024, с. 84-86.
3. **Гоцева, А.** Локализация на контрола. Електронен журнал Психология, 2007, бр. 41.
4. **Десев, Л.** Речник по психология. „Булгарика“, С., 2008., с. 506.
5. **Линсян, У.** Специфика формирования исполнительской культуры музыканта в вузе, Вестник МГУКИ 5, 2013, с. 193-197.
6. **Панчева-Георгиева, А.** Образователният потенциал на музикалното изкуство за формиране на художествено-изпълнителска култура у бъдещите учители по музика. Дисертационен труд, Шуменски университет, 2022., с. 20, 64-65.
7. **Психологическият словарь.** Ред. колегия. „Педагогика пресс“, М., 1966., с. 343.
8. **Рускова, Я.** Музикално-изпълнителска дейност. В: Музикална психология. А. Атанасова-Вукова, УИ „Епископ Константин Преславски“, Ш., 2014., с. 220.
9. **Рускова, Я.** Професионализъмът на бъдещия учител по музика. Антос, Ш., 2015., с. 60-63.
10. **Рускова, Я.** Професионално-личностно развитие на студентите – бъдещи учители по музика. Професионално самоопределение. УИ „Еп. К. Преславски“, Ш., 2020., с. 31.
11. **Тодорова, Л.** Аспекти на самооценката. Научни трудове на Русенския университет, 2011, т. 50, серия 6.2.
12. **Klickstein, G.** The Musician's Way: A Guide to Practice, Performance, and Wellness. N Y, Oxford University Press, 2009.
<https://www.musiciansway.com/blog/2012/01/becoming-a-confident-performer/>
13. **Rotter, J.** Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. Psychological Monographs. 1996, 80.

A Data-Driven Perspective on Demographic Changes in Veliko Tarnovo (1878–2024) Using Power BI

Daniela Pencheva¹
University of Economics - Varna, Bulgaria¹
Science and Research Institute¹
d.pencheva@ue-varna.bg¹

Abstract: This study presents a data-driven exploration of the demographic evolution of Veliko Tarnovo from 1878 to 2024. By compiling population data from official census records and statistical yearbooks, the project builds a unified dataset covering nearly 150 years of urban development. The analysis focuses on population dynamics by gender and total population growth, identifying key periods of expansion and decline. The visualizations were developed using Power BI, providing an interactive and intuitive dashboard that enables users to explore trends, compare periods, and observe long-term demographic shifts. The study highlights a sharp population increase during the socialist era (1950s–1980s), followed by a significant decline in the post-1990 period, interpreted in the context of socio-economic transformations and migration processes. The research offers both historical insight and a modern methodological approach, demonstrating how business intelligence tools can be effectively applied in urban demographic analysis and digital heritage projects.

Keywords: VELIKO TARNOVO, URBAN POPULATION, POWER BI, HISTORICAL DATA, DATA VISUALIZATION, BUSINESS INTELLIGENCE

1. Introduction

Understanding long-term demographic dynamics is essential for planning, cultural heritage studies, and sustainable urban development. This project explores the historical population changes in the city of Veliko Tarnovo, Bulgaria, covering the period from 1878 to 2024. By collecting and transforming official census data into a unified dataset, we used Power BI for visual analysis and storytelling. The result is an interactive demographic dashboard that enables the identification of historical population peaks, gender distribution patterns, and shifts in governance structures over different periods. This data-driven approach facilitates a clearer understanding of local historical trends and also demonstrates the potential of modern digital tools in preserving and interpreting urban demographic memory. The findings provide valuable insights for historians, urban planners, and educators, presenting a model suitable for similar studies in other historical cities. This study is guided by the following research question:

How can historical census data for Veliko Tarnovo (1878–2024) be transformed and visualized using Power BI in order to reveal key demographic trends and support data-driven storytelling?

2. Problem discussion

Demographic data often exist in different unstructured formats, stored in static documents or placed across various institutional sources. In the case of Veliko Tarnovo, historical population records dating back to the Liberation of Bulgaria (1878) are accessible primarily through archives and periodic census publications [1]. These materials include early statistical books published by the General Directorate of Statistics, which are now digitally available as scanned documents. However, many of these publications were produced in inconsistent formats, often without structured metadata or standard terminology.

Figure 1 presents the title page of the General Results of the Census of the Population in the Kingdom of Bulgaria, dated 31 December 1905, published in 1911 by the State Printing House. This and similar sources were used in the initial data collection phase of the study.

Despite their historical value, such records lack an integrated structure, preventing a integrated analysis of long-term demographic trends, gender distribution, and shifts in governance. To the best of our knowledge, no unified system or publicly available platform has been identified that consolidates, cleans, and visualizes demographic data for Veliko Tarnovo over the entire period from 1878 to the present. This limits the ability of researchers, educators, and policymakers to interpret patterns of population growth, decline, and social change in a meaningful, interactive way.

3. Objective and research methodologies

The main objective of this study is to compile, structure, and visualize demographic data for the city of Veliko Tarnovo, covering the period from 1878 to 2024. The project aims to transform static historical records into an interactive digital format by leveraging Power BI [2] as a tool for data modeling, exploration, and storytelling. The main goal is to provide a clearer understanding of urban population dynamics and gender distribution across significant historical periods, using a digital approach that supports both analytical depth and accessibility.

The research methodology follows a structured, multi-step process [3]:

Data Collection: Historical data were gathered from official publications of the National Statistical Institute (NSI) of Bulgaria and archived census reports. The majority of the sources were available as scanned statistical yearbooks and census tables, which required manual transcription into tabular format. Inconsistent formatting across sources and missing metadata posed challenges in extracting accurate and comparable values.

Data Structuring: The raw population data were cleaned, normalized, and integrated into a unified dataset, designed to support consistent analysis across multiple decades. A simple star schema model was constructed, comprising a fact table for population values and dimension tables for gender and year. This structure allows for effective filtering, comparison, and aggregation of data over time.

Visualization and Modelling: Power BI was used to build an interactive dashboard containing dynamic filters (slicers), time-series charts, and categorical comparisons by gender. The visual layout was designed for intuitive navigation and immediate insight. Custom DAX formulas were developed to calculate relative

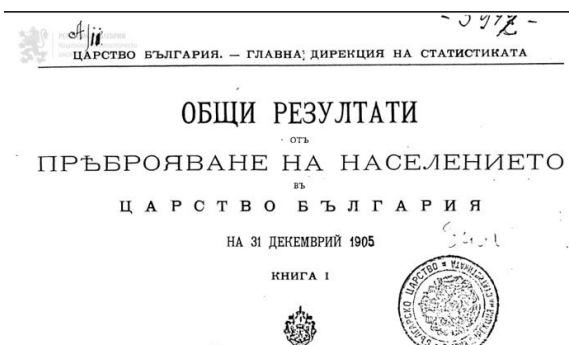


Fig. 1 Title page of the General Results of the Population Census in the Kingdom of Bulgaria, 1905 [1]

population shares and ensure robust calculations across different time slices, even in the presence of incomplete data.

Exploratory Analysis: Through visual interaction with the dashboard, key demographic patterns were identified such as growth periods, post-war declines, gender imbalances, and turning points linked to social or political change. The use of interactive charts facilitated deeper examination of demographic transitions that are less visible in static tables.

This methodological framework combines manual historical data processing with modern business analytics tools, offering a replicable approach that can be applied to other historical cities and demographic datasets.

4. Results and visualization

The demographic analysis of Veliko Tarnovo for the period 1878–2024 is presented through a series of visualizations developed in Power BI. The dashboard provides an overview of long-term population trends, gender-based distribution, and temporal variations across census years. These visual representations support a deeper understanding of the demographic transformations in the city and illustrate the potential of interactive tools for interpreting historical statistical data.

The demographic data for Veliko Tarnovo (1878–2024) used in this study were manually compiled from archival sources and official statistical publications provided by the National Statistical Institute of Bulgaria. Since the original records were available in inconsistent formats and scattered across multiple documents, considerable effort was required to extract, verify, and normalize the data into a coherent structure. The final dataset includes total population values, gender breakdowns, and standardized time dimensions, ensuring consistency across all census years. In addition, several calculated indicators were developed in Power BI to highlight demographic trends and improve the interpretability of the visual analysis.

The underlying data model was organized using a classic star schema approach, consisting of fact tables for population metrics and dimension tables for time, gender, period type, and source metadata (see Fig. 2). This structure was selected due to its proven effectiveness in supporting fast, scalable, and flexible analytical queries, especially within business intelligence environments [4, 5]. The separation of facts and dimensions enables dynamic filtering, aggregation across time slices, and the creation of reusable DAX measures for relative comparisons such as gender share or population growth.

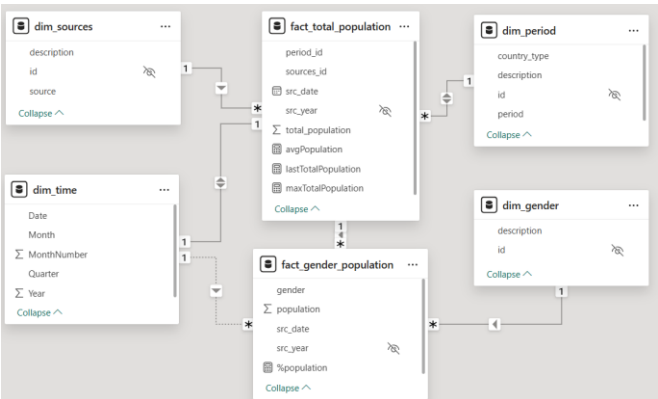


Fig. 2 Power BI data model for visualizing demographic trends

The population data for Veliko Tarnovo from 1878 to 2024 reveal several distinct phases of demographic change (see Fig. 3). Following the Liberation in 1878, the town had 11,314 inhabitants, with relatively slow growth throughout the early decades of the 20th century. By 1946, the population had reached 16,223. A notable increase occurred after 1946, driven by industrialization, internal

migration, and state policies during the socialist period. This growth peaked in 1991 with 74,165 residents.

Since 1992, the population has been steadily declining, influenced by economic transition, negative natural growth, and migration trends. Despite short periods of stabilization in the early 2000s, the downward trend continued, and by 2024, the population has dropped below 60,000. The visual representation of this long-term demographic trajectory allows for a clearer understanding of the turning points and structural shifts over time, making it easier to interpret complex patterns in historical context.

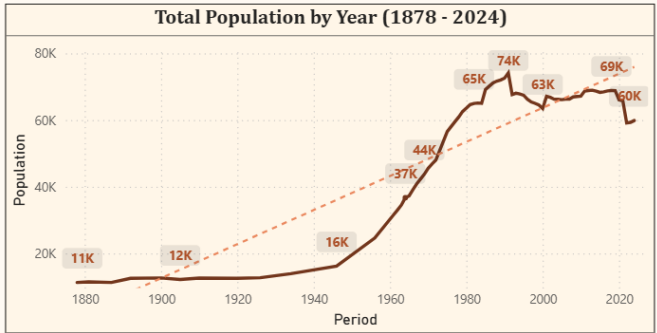


Fig. 3 Veliko Tarnovo total population by year (1878 – 2024)

Figure 4 presents the proportion of female and male population over time, based on historical census data. Throughout the entire period, the female population consistently remains slightly above 50%. The visualization highlights the relative demographic stability in gender balance, with only minor deviations around the mid-20th century.

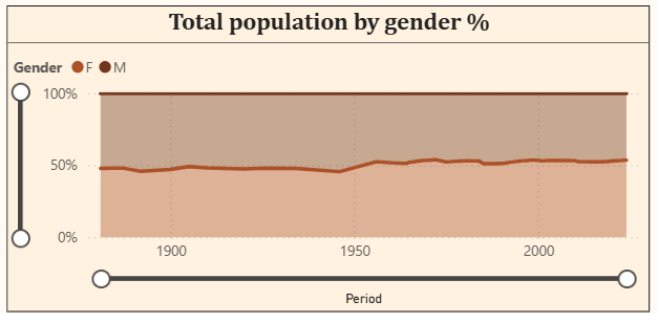


Fig. 4 Veliko Tarnovo total population by gender %

The percentage values were calculated using a custom DAX measure in Power BI, designed to compute the share of each gender relative to the total population for each year.

$${}_{(1)} \% \text{ Population} = \text{DIVIDE}(\text{SUM}(\text{fact_gender_population}[\text{population}]), \text{CALCULATE}(\text{SUM}(\text{fact_gender_population}[\text{population}]), \text{ALL}(\text{dim_gender})))$$

The formula applies the DIVIDE function to ensure accurate and robust calculations, even in cases with missing or zero values, and uses the ALL function to remove any gender-based filters and provide a normalized comparison across time.

Figure 5 presents the total population by gender and year for the period 1990–2024. The use of gender-specific icon filters at the top of the report enhances user interaction by allowing for intuitive switching between male and female population trends. Additionally, a time slider enables dynamic filtering of the data by year, facilitating focused temporal analysis of population changes. This visualization supports comparative analysis and highlights long-term demographic tendencies. Notably, the population of both genders follows a relatively stable trajectory until the early 2020s, after which a noticeable decline can be observed. The clarity of the

layout and the interactive features contribute to the accessibility and interpretability of demographic data.

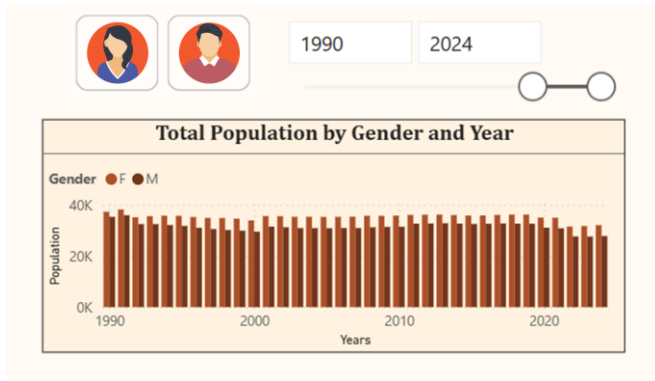


Fig. 5 Veliko Tarnovo total population by gender and year

In summary, the visuals in this section offer a comprehensive and accessible overview of Veliko Tarnovo's demographic development across nearly a century and a half. By combining historical data with dynamic indicators, the charts highlight key population trends and gender dynamics. These results not only support the analytical objectives of the study but also demonstrate the effectiveness of data modeling and visualization tools in uncovering meaningful patterns within historical demographic records. Interactive visualizations enrich the interpretation of long-term demographic patterns and reflect established academic principles regarding the value of graphical methods in historical and behavioral research [6].

5. Key findings and discussion

Figure 6 presents the main output of this study an interactive demographic dashboard that integrates multiple dimensions of historical population data for Veliko Tarnovo (1878–2024). The visualization combines total population trends, gender distribution, and governance periods into a unified visual framework. This layout enables users to explore the city's demographic evolution in a comparative and intuitive manner, highlighting key turning points and long-term shifts. The interactive dashboard also acts as a visual summary of the research findings, bridging historical data with modern interpretation.

The dashboard highlights a sequence of demographic transformations in Veliko Tarnovo, marked by key historical milestones. After the Liberation in 1878, the city had 11,314 inhabitants, and growth in the following decades remained relatively moderate. By 1946, the population had increased to 16,223. This restrained expansion during the pre-socialist era may be attributed to the decentralized nature of economic development. Local communities relied on agriculture, animal husbandry, and traditional crafts, supported by targeted rural development policies. Although Veliko Tarnovo held administrative importance, it did not attract substantial migration inflows. A major demographic shift occurred during the socialist period, driven by state-led industrialization and urbanization. The policy of centralizing labor resources in urban centers prompted significant internal migration from villages to towns. As a result, Veliko Tarnovo's population grew rapidly, peaking at 74,165 in 1991. In the post-socialist period, however, this trend reversed due to political and economic uncertainty, emigration, and declining birth rates. By 2024, the city's population had declined to 59,870. These long-term changes reflect broader national trends in Bulgaria, including socialist-era urbanization followed by external migration and population aging [7].

Gender distribution remained relatively balanced throughout the observed period, with only minor fluctuations. The dashboard supports comparative analysis between census years, highlighting structural shifts related to wars, regime changes, and administrative reforms. Power BI enabled a multi-dimensional exploration of the data, allowing users to apply filters, visualize time-series trends, and identify inflection points in the city's demographic evolution. This interactive approach fosters both quantitative insight and interpretive depth, enhancing the capacity of researchers and educators to engage with long-term historical processes.

Beyond numerical analysis, the visualized data provides valuable context for cultural heritage studies and sustainable urban planning. Understanding the evolution of population size and structure across key historical periods from the post-Liberation era to the post-socialist transition enables more informed decisions in heritage preservation, educational programming, and regional development. The ability to trace demographic change across nearly 150 years deepens our understanding of the socio-historical identity of Veliko Tarnovo and illustrates the value of interdisciplinary research at the intersection of history, data science, and urban studies.

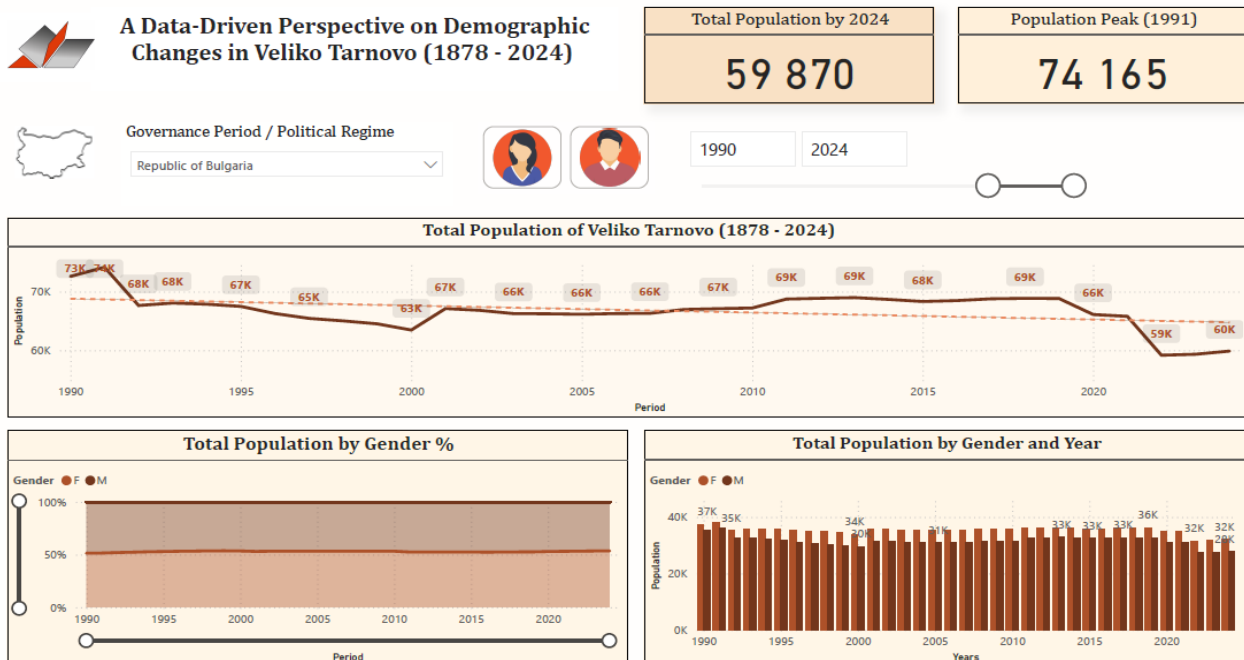


Fig. 6 Interactive Demographic Dashboard of Veliko Tarnovo (1878–2024): Population Trends, Gender Distribution, and Governance Periods

6. Conclusion

The presented visual framework provides a long-term overview of the demographic evolution of Veliko Tarnovo from 1878 to 2024, highlighting both total population dynamics and gender distribution. By integrating historical data into an interactive dashboard in Power BI, the project demonstrates how business intelligence tools can be successfully applied in the analysis of historical processes. The visualizations allow for an accessible and comparative interpretation of demographic shifts, which would be difficult to extract from traditional tabular records alone.

This study offers a model for digital transformation in historical-demographic research, combining archival data with modern visualization techniques. It reveals how periods of growth and decline align with political and socio-economic transitions, thus enhancing the contextual understanding of population dynamics. The dashboard also holds value as an educational and communication tool, supporting further use in schools, local museums, and community heritage initiatives.

In future work, the model can be expanded with additional indicators, such as age structure, migration data, or educational levels, provided that such information becomes available. A comparative analysis with other historical cities in Bulgaria could also offer valuable regional perspectives. Ultimately, this project highlights the potential of data-driven storytelling for preserving and communicating local history in the digital age.

6. References

1. National Statistical Institute. Population census and demographic data for Veliko Tarnovo (1878–2024). – B: Digital Statistical Library (accessed 2024). Available at: <https://statlib.nsi.bg/bg>
2. Microsoft. Power BI Desktop: Business analytics software for data modelling and visualization. – B: Microsoft Corporation (accessed 2024). Available at: <https://powerbi.microsoft.com>
3. Liu, J., J. Ren, B. Yang, M. Wang, Q. Li. Statistical analysis and visualization of demographic changes using BI tools. – Scientific Reports, Vol. 14, 2024, p. 11749. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68857-y>
4. Kimball, R., M. Ross. The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling. New York, Wiley, 2013.
5. Golfarelli, M., S. Rizzi. Data Warehouse Design: Modern Principles and Methodologies. New York, McGraw-Hill, 2009.
6. Friendly, M., D. J. Denis. The early origins and development of the statistical graphics. – Journal of the History of the Behavioral Sciences, Vol. 41, 2005, No. 2, pp. 103–121. <https://doi.org/10.1002/jhbs.20078>
7. National Statistical Institute (NSI). Demographic and Social Statistics – Population and Demographic Processes 2021. Sofia, NSI, 2022. Available at: <https://www.nsi.bg>

СЪВРЕМЕННИ ОБРАЗОВАТЕЛНИ И ПРОФЕСИОНАЛНО-ПРИЛОЖНИ МЕТОДИ ПРИ ОБУЧЕНИЕТО НА СТУДЕНТИТЕ ПО ХОРОВО ПЕЕНЕ И ДИРИЖИРАНЕ

MODERN EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL-APPLICATION METHODS IN TRAINING STUDENTS IN CHORAL SINGING AND CONDUCTING

Hristo A. Atanasov

РЕЗЮМЕ: Доклада е насочен към разкриване на интерактивната същност на хоровото пеене и дирижиране, като сложна музикална практика, която включва набор от знания, умения и компетенции. Вниманието се насочва към прилагането на образователни и професионално-приложни методи при работа с хор от студентите при обучението им по хорово пеене и дирижиране, което се налага от естеството на музикално-изпълнителските дейности (певчески и инструментални) в бъдещата им работи в часа по музика училище, които в по-голямата си част са колективни дейности.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: ИНТЕРАКТИВНО ОБУЧЕНИЕ, МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГИИ, ДИРИЖИРАНЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ,

ABSTRACT: The report is aimed at revealing the interactive nature of choral singing and conducting, as a complex musical practice that includes a set of knowledge, skills and competencies. Attention is drawn to the application of educational and professional-applied methods when working with a choir by students in their training in choral singing and conducting, which is required by the nature of the musical-performing activities (singing and instrumental) in their future work in music classes at school, which are mostly collective activities.

KEYWORDS: INTERACTIVE LEARNING, METHODS, TECHNOLOGIES, CONDUCTING, INTERACTION,

Една от важните области в развитието на съвременната музикална култура е запазването и усъвършенстването на традициите на музикалното изпълнение, включително хоровото, което не би могло да се постигне без професионално образование и подготовка на диригенти (хормайстори), учители по музика, ръководители на музикално-изпълнителски групи.

Професионалното обучение на бъдещи диригенти и ръководители на музикално-изпълнителски състави е сложен и многостранен процес, включващ както придобиването на голям обем знания, умения и способности, така и личностно развитие на музиканта, призван да стане учител на творческа група, да я ръководи, да открие значителни творчески перспективи пред членовете ѝ, да създаде група, обединена от общи творчески стремежи.

Сред изведените методи и подходи на обучението при подготовката на диригентските кадри се обособяват главно *рефлексивно-практическият подход* (Schon, Parsons and Brown), *комуникативния подход* (Ehmann, Stanton, Thomas, Roe, Busch Decker and Kirk, Kaplan, McElhern, Wis, Durrant), *асоциативния подход* (Lakoff and Johnson, Poggi, Bräm & Bräm, И. А. Цвянова) *абстрактно-образния подход* (Wis.) *интерактивния подход* (Jean Molino, Lizz Garnet) *рефлексивно-практическият подход* [Ehmann, W. *Choral directing*. Minneapolis, Minnesota: Augsburg, 1968]. Всеки диригент постига своите артистични виждания чрез определено ниво и качество на личната си диригентска техника. Този факт, затруднява опитите да се класифицират, анатомизират, анализират всички варианти на диригентските жестове. С еднаква сила това важи и за изследванията и проучванията на подходите, принципите и методите на обучението и подготовката на диригентите във висшите училища - университети, колежи и т.н. [7].

И тъй като учителят по музика в педагогическата си дейност съвместява функциите на преподавател, диригент (хормайстор) и музикант-изпълнител той се превръща в „определящ фактор в процеса на взаимодействие с музикалното изкуство и при формиране на музикална култура на обучаваните“ [6]. В този аспект новият прочит на традиционните методи на преподаване, както и комбинацията им със съвременните педагогически технологии и методи при работа с хор дава възможност на учителят-диригент да формира и развива устойчив познавателен интерес на учениците както и интерактивна образователна среда в пространството на взаимодействие с музикалното изкуство.

Именно изучаването и овладяването на хоровото пеене и дирижиране дава възможност за формиране на знания и умения относно постоянно усъвършенстване на учебният

процес, усвояване на примери от музикалното творчество, получаване на специални историко-теоретични знания, допринасящи за музикалната култура на бъдещия музикален педагог.

При обучението на бъдещите педагози по музика „...активността на студентите, съсредоточена върху трите типа познавателни процеси: визуален, слухов и кинестетичен се основава на всички видове активност: общуване, изследване, познание, практическо приложение...“ [2] и изисква при осъществяването на образователния процес да се прилагат три основни групи *методи: образователни, интерактивни и професионално-приложни.*

1. Образователни методи.

Формирането на хорова изпълнителска култура е дълга и старателна работа и се реализира в компресирано времево пространство. Това налага търсенето на целесъобразни форми на организация на учебния процес, гарантиращи пълноценното усвояване на учебното съдържание, стимулиращи мисловните дейности, подпомагащи саморегулацията и развитието на диригентските и хорово-изпълнителските способности на студентите. За постигането на поставените цели и ефективността на този процес широко се използват образователни методи, които значително активират овладяването и затвърждаването на диригентските и хорово-изпълнителските умения на студентите, дават нов стимул на творческата колективна работа, създават атмосфера на сътрудничество. Чрез тези методи процесът на учене се насочва не само към *усвояване на определен вид знания и умения*, но и към *начините на тяхното прилагане*. Неговата творческа насоченост осигурява *условия* за активиране на съзнателността и самостоятелността на обучаемите.

При обучението на студентите, бъдещи педагози по музика, тези образователни методи детерминират условията за изграждането на *умения относно:*

- *овладяване на ново знание*, като резултат от преобразуването и реконструирането на наличните знания у студента на основа на личния опит;
- *използване на овладени знания и умения* от изучаваните дисциплини и обобщаването и използването им при решаването на конкретни задачи;
- *самостоятелно търсене на информация*, усвояване на новите знания, изследване на фактите, правене на изводите и обобщенията;
- *самостоятелно вземане на решения* и „откриване“ на нови начини на действия и конкретизиране на знанията;

• *разбиране на връзката между музикално-теоретичните знания на студентите и приложението им в хоровите и диригентските дейности, свързани с практическото реализиране на партитурата на музикалното произведение* [4].

2. **Интерактивни методи** – *ситуационни, дискуссионни и опитни (емпирични)*, подпомагат развитието и усъвършенстването на логическото мислене, активизиране на вниманието, паметта, въображението, волята, емоциите и чувствата. В същото време те осигуряват процеса на изграждане на:

- двигателните навици, усъвършенстване на диригентската техника и изграждане на навици за управление на музикалното изпълнение;
- певчески и хорово-изпълнителски навици.

Говорейки за използването на интерактивни методи, е необходимо още веднъж да се подчертае, че часовете по хорово пеене вече са интерактивен метод на обучение.

Методът на хорово интерактивно действие използва свойството на гласните струни да копират честотата на звуковите вибрации, чути от човек. Връзките на учащ се с интонационен дефект започват да вибрират в честотата на звука, който чува, под въздействието на хоровата среда. Фактът че студентите със слаби певчески умения при пеене в хор значително ги подобряват е едно от важните доказателства за интерактивността на хоровото обучение.

Формите на колективна работа, прилагани в учебния процес, през целия курс на хоровите занятия, позволяват по-широко използване на методи, свързани с:

- наблюдение и анализ на диригентския жест, пресъздаващ музикалното съдържание;
- изпълнителско демонстриране;
- колективен диалог;
- дидактически игри.

Изпълнителско демонстриране – методи, свързани с изграждането на диригентската техника и включващи практическото ѝ онагледяване, чрез лично изпълнение и демонстрация от страна на преподавателя и студентите.

Чрез **колективния диалог** се осъществява обмяна на информация, общуването „преподавател-студент“, „студент-студент“ и усвояването на учебния материал, чрез речева дейност на ниво „личностна адаптация“. В хода на диалогическото общуване, съвместно се обсъждат и решават теоретичните проблеми, разкриват се противоречията, формира се практическия опит, намират се алтернативните варианти при реализация на музикалното произведение при участието на аналитичното мислене у студентите.

Дидактическите игри помагат за преодоляване на неудачите, повишаване на самооценката и др., като осигуряват постигане на успех в учебно-познавателните дейности, устойчив интерес към хоровото изкуство и педагогическата дейност [4].

Така студентите, освен като изпълнители, трябва не само да пеят, но и постоянно да следят качеството на хоровото пеене, да идентифицират вокални и технологични грешки, да анализират причината за тяхното възникване, колективно и въз основа на формираните идеи и вокално-хорови умения, да намират начини за решаване на възникналите проблеми и да се стремят да коригират допуснатите грешки. Дори по време на кратка работа с една от хоровите партии, останалите членове на хора трябва да следят и да анализират интонационния или текстовия ансамбъл, качеството на вокалното изпълнение, да го сравняват с изпълнението на този фрагмент от произведението от други партии, да идентифицират чрез изпълнение (по време на кратко колективно обсъждане) най-доброто изпълнение на изучавания пасаж.

3. **Професионално-приложни методи** – фокусират организацията на отделните части на репетиционния процес и решението на отделни дидактически и възпитателни задачи; формулиране на отделни понятия, принципи и подходи; възможност за разнообразяване на учебната дейност с хоровите

изпълнители. Чрез използването на професионално-ролеви методи при работата с хора студентите усвояват основните видове дейности, включващи:

- обясняване базисните позиции;
- възпитаване и укрепване на вокални и хорови умения, постигайки еднаквост в хоровото звучене;
- разучаване на нови произведения, давайки кратка информация за техните автори;
- осъществяване контрол върху постигнатите резултати;
- разширяване хоровите техники и средства на изпълненията;
- работа над художествената изразителност на изпълнението, стремеж към усъвършенстване на изпълнителското майсторство на хоровия колектив.

През академичния период на обучение съдържанието им се свежда до това, че на студентите се предлага да изпълняват ролята на диригент на хора, акомпанятори, транскриптори на хорово произведение, чуто на запис или на концерт, хоров аранжор и дори като хоров композитор.

Резултатите от работата при прилагането на разглежданите методи са: активиране на творческата дейност на студентите, разширяване на професионалния кръгзор, формиране на творчески умения и способности, развитие на когнитивната дейност, формиране на професионални компетенции. В търсенето и разработването на учебно съдържание и методи на преподаването, които да помагат на студентите в усвояването на знания, умения и поведения, формирането на вокално-педагогическата и изпълнителската компетентност и съответните и компетенции у студентите е естествения подход при предефиниране на техните перспективи, с оглед бъдещата им реализация.

Прилагането на професионално-приложните методи при работата с хор, от страна на студентите, формират знанията, уменията и способностите им относно:

- специфични изпълнителски способности, които допринасят за постигането на единството на интонационно-образното възприемане, отношение към изпълнителството като творчески процес; способността да се оцени качеството на изпълняваната музика на базата на личните представи за красотата на певческото звучене, изпълнителска интерпретация на произведенията [1];

• вокално-изпълнителските изисквания, проявяващи се в музикално-педагогическата дейност като комплексно образование;

• умело, правилно съчетаване и съобразяване с нивото на общо музикално развитие и певческите навици, методи на преподаване при основните компоненти на певческата дейност – разпяване, разучаване и художествено изработване на песен;

• познаване, разбиране и владение на методите на работа с певческите гласове в различните възрастови групи;

• овладяване на достатъчно ниво артистизъм в словесното и музикално художествено общуване при излагане на концепциите и поставянето на задачите при работа с изпълнителите [5].

Вокално-изпълнителска работа на студентите с певците трябва да е насочена към развиване на единни вокално-хорови изпълнителски умения на групата. Единна вокална позиция, единен стил на звукопроизвеждане, който запазва оригиналното и уникално звучене на младежкия хор, както и единно формиране на гласни звуци.

От голямо значение във вокално-хоровата работа е създаването на общ хоров ансамбъл, който се състои от редица различни видове хорови ансамбли (вокално-технически, частни, полухармонични, динамични, метро-ритмични, текстови, артистични и изпълнителски).

Специално място във вокалната работа се отделя на развиването на способността за използване на певческо дишане.

Важен момент в ансамброво-хоровата работа е изграждането на вокално-хоров слух у студента, който му позволява пълноценно и обективно да оцени качеството на хоровия звук, фино да улови неговото усъвършенстване за по-нататъшно затвърждаване. Неразделна част от такъв слух е способността да се чува (да се отдели от общия звук) всяка хорова партия и дори отделни гласове на хорови изпълнители по темброви характеристики за провеждане на пълноценна ансамблова и индивидуална вокална работа.

Върху *емоционално-художествения израз на музикалното съдържание* и изразителността на изпълнението на произведението, най-дълбокото предаване на неговия художествен образ, заложен от композитора, се улеснява значително от използването на *емоционални и художествено-приложни методи*.

На базата на формираните знания и умения относно анализ на хорово произведение методите на работа се насочват към идентифициране на музикални фрази и конструкции, кулминацията на момента, цезурите, темпото, динамиката и агогичните указания на автора. Всичко това е необходимо за развитието на музикалното мислене у студентите, което позволява в бъдеще най-точно и изразително да се предаде художественият език и образната структура на изпълняваното произведение. Те се нуждаят от достатъчно време и свободно (във вокално и техническо отношение) овладяване на музикалния материал, за да „свикнат“ напълно с разкрития образ, да разберат и предадат на слушателите художествената концепция на автора.

За емоционално-артистичното и експресивно пеене не е достатъчно само точното изпълнение на текста и подчертаване на нюансите. Необходимо са дълбоко „потопяне“ в характера на изпълнителя, творческа емпатия, чувство за участие в процеса на създаване и предаване на смисъла на произведението и неговото образно съдържание.

Необходимо е да се подчертае, че в този сложен емоционален процес ролята на преподавателя е особено голяма. Неговата воля, талант, вдъхновение, способността му да завладее и обедини целия екип с единно разбиране на авторската концепция, единна изпълнителска идея, единен творчески импулс, трябва да допринесат за максимално разкриване на артистичната зрялост на хора.

Резултатът от използването на емоционални и художествено-приложни методи е растежът на творческите художествени и изпълнителски умения на студентите - бъдещи учители по музика, гъвкавостта и изразителността на изпълнението, способността да се предаде на слушателя образната и емоционална структура на произведението, заложена от автора.

В заключение, важно е да се отбележи, че прилагането на образователни и професионално-приложни методи при работа с хор от студентите, в бъдещата си работи в часа по музика, се налага от естеството на музикално-изпълнителските дейности (певчески и инструментални) в училище, които в по-

голямата си част са колективни дейности. Това прави изключително необходимо използването на музикално-хоровите методи и технологии при изграждането на хорово-певческите умения и навици на учениците и реализирането на ефективна певческа дейност.

„Актуалността на проблема е продиктувана от идеята, че за подготовката на съвременния учител е важно не увеличаване количеството натрупана нова информация, а наличието на умения за опериране с новата информация, която да намери своя проекция в реална педагогическа дейност“ [3]. В този аспект новият прочит на традиционните методи на преподаване, както и комбинацията им със съвременните педагогически технологии и методи дава възможност при обучението на бъдещите педагози по музика фокусът на образователния процес да бъде насочен към иновативни и интерактивни образователни методи, които позволяват на бъдещия специалист да развива по най-добрия начин уменията, способностите и компетенциите си, необходими за успешната му бъдеща дейност.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абдулин, Е., Николаева Е. Теория музикального образования. М. „Академия“. 2004. В: Панчева-Георгиева, Анна Н. За изпълнителската култура на бъдещите учители по музика. SocioBrains ISSN 2367-5721. 2004.
2. Иванов И. Интерактивни методи <https://angelsto.files.wordpress.com/2015/07/1.pdf>
3. Марчева, П. Музикалнопедагогическите умения на бъдещите начални учители – оценяване и самооценяване. Университетско издателство ВТУ „Св. св. Кирил и Методий“. Велико Търново. 2018. с.185; В: Панова, Ю. Хоровото пеене и дирижиране като интерактивна образователна среда в обучението на студентите - бъдещи учители по музика. SocioBrains Issue 2021. ISSN 2367-5721.
4. Панова, Ю. Музикално-педагогически проблеми на обучението по „Дирижиране от клавиър“ на студентите от специалност Педагогика на обучението по музика. Дисертация. ШУ „Епископ К. Преславски“. 2013.
5. Панова, Ю. Концептуални виждания относно вокално-педагогическа компетентност на студентите – бъдещи учители по музика. В: SocioBrains Issue 2021. ISSN 2367-5721.
6. Панчева-Георгиева, Анна. Образователният потенциал на музикалното изкуство за формиране на художествено-изпълнителска култура у бъдещите учители по музика. Дисертация. Шуменски университет „Еп. Константин Преславски“. 2022. с. 9
7. Manternach Jeremy N. – Preparatory Gesture Direction on Upper Body Movement of Individual Singers, Submitted to the graduate degree program in Music Education and Music Therapy and the Graduate Faculty of the University of Kansas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Music Education, April 13, 2009

Content Analysis Of Research In The Field Of Emotional Intelligence In Military Leadership

Eva Kozáková^{1,*}, Miroslav Polach²
University of Defence, Brno, Czech Republic
eva.kozakova@unob.cz, miroslav.polach@unob.cz

Abstract: The article presents a literature review on the development of emotional intelligence in military leadership from 2020–2025, providing a comprehensive and objective view of the research area. Emotional intelligence and military leadership are a connection that is currently appearing in research activity and doctrinal army documents. The authors try to find and evaluate the benefits and limits of EI in the field of preparing military personnel. The study aims to identify research topics and suggest further research options for military leadership. For objective processing, the method of content analysis according to the established criteria and the method of synthesis were used to identify the main research.

Keywords: EMOTIONAL INTELLIGENCE, EMOTIONS, MILITARY LEADERSHIP, DEVELOPMENT

1. Introduction

The Army of the Czech Republic (ACR), like the armed forces of other former Warsaw Pact countries, has undergone significant and dynamic changes since the end of the Cold War. These changes have been driven by the need to shift from a conscription-based, Soviet-style military structure to a professional, NATO-compatible force. The reform process has included structural reforms, doctrinal updates, modernization of equipment, and the adoption of Western standards in leadership, training, and operational planning. This development reflects not only a change in strategic direction but also a wider effort to improve the credibility and interoperability of the ACR within the collective defence framework of NATO.

Their efforts went beyond downsizing and modernization of the armed forces to include the transition to NATO standards in command and control, which was crucial for ensuring interoperability. Continuous evaluation and exploration of new approaches to personnel training modernization are vital for fulfilling the tasks of the Armed Forces of the Czech Republic and maintaining NATO standards.

Given the ACR development concept, which anticipates an annual increase of approximately 2,400 new soldiers, the area of personnel training and development is a top priority. A key role in recruiting candidates for service at the lowest officer ranks will be played by the University of Defence in Brno (hereinafter referred to as UO), as well as by direct recruitment and career progression [1].

Definition of the term "leadership": "Within the context of the Armed Forces of the Czech Republic (ACR), leadership represents the commander's ability to motivate, persuade, and engage individuals in their environment to actively contribute to the fulfilment of shared tasks, whether predetermined or anticipated shortly. The art of leading is one of the most essential qualities of any commander, and it is indispensable for effective command" [2].

This definition implies that, within the ACR, the concept of leadership is understood in the command-and-control system as a leadership style characterized by strong value orientation and motivational focus, embodied by the commander as a leader.

It follows, therefore, that in the ideal case, the values upheld by the ACR should correspond with the personal attributes of the individual commander-leader. The development of such personal qualities is the result of a complex interplay of upbringing, training, and education—factors that mutually influence one another and are closely linked to the process of individual maturation and the accumulation of both life and professional experience.

Current research suggests that the construct of emotional intelligence represents one of the potential avenues for developing the essential competencies of commanders, particularly in facilitating their interactions with subordinates. Emotional intelligence encompasses the ability to accurately identify emotions in oneself and others, to understand emotions and their underlying language, to regulate emotions both internally and externally, and to

utilize emotions to support cognitive processes and motivate adaptive behaviour. It offers a wide range of practical applications.

The concept of emotional intelligence may help prevent social and interpersonal conflicts and increase the chances of success in relationships. It can positively affect the conditions needed to build stable, harmonious social bonds between soldiers and their commanders, especially in small military units. Scholarly literature and military leadership doctrines increasingly acknowledge the importance of emotional intelligence and its role in guiding military personnel. Recent research shows that emotional intelligence, along with the social environment, significantly influences the development of military commanders.

The concept of emotional intelligence is currently the subject of intensive research, not only within the domain of leadership. The term was first introduced by American psychologists Peter Salovey and John D. Mayer, building upon the work of Howard Gardner. These authors sought to highlight the prevailing societal tendency to perceive emotions as disruptive elements in cognitive processes—elements that must be controlled. They defined emotional intelligence as a subset of social intelligence, encompassing the ability to monitor one's own and others' emotions, to differentiate among them, and to use this information to guide one's thinking and actions [4].

Emotional intelligence constitutes a fundamental aspect of human behaviour, distinct from intellectual capacity (Bradberry & Greaves, 2013). The concept gained widespread public attention through the work of American psychologist Daniel Goleman, who emphasized that emotional dispositions and personality traits—particularly those influencing the quality of interpersonal relationships—play a decisive role in personal and professional success [5].

Consideration is being given to how the development of emotional intelligence can be integrated into the education, training, and development of leaders within the Armed Forces of the Czech Republic. The Czech Armed Forces define three fundamental levels of leadership as usual as other NATO countries:

a) Direct Leadership Direct leadership is characterized by a higher degree of certainty, lower complexity, and direct contact between the leader and subordinates. It focuses on specific tasks, linear problems, and the immediate application of competencies. Key elements development and high-performing teams with a combat ethos, effective communication, leading by example, trust, respect, subordinate development, and fostering a positive unit climate. Direct leaders simplify complex situations, establish clear intent, and set expectations for outcomes.

b) Organizational Leadership Organizational leadership is marked by greater problem complexity, a larger number of subordinates, and a higher degree of uncertainty. It is applied at the operational level of command, addressing short- to medium-term organizational issues, planning joint operations, developing organizational structures, and supporting professional growth. It functions

indirectly through subordinate leaders, the establishment of principles and values, and the shaping of organizational climate. The core focus is to motivate subordinates to fulfill strategic objectives, set priorities, create vision, and allocate resources effectively in accordance with operational requirements.

c) Strategic Leadership Strategic leadership is exercised at the highest levels of command within the Czech Armed Forces and the Ministry of Defence. It operates under conditions of high risk and uncertainty, addressing complex problems with long-term impacts that extend beyond the military sphere. It focuses on leading change, national defence, aligning alliances and national interests, operating across multiple domains, and decision-making in uncertain environments. Strategic leaders must develop key competencies while considering security developments, political decisions, budgetary constraints, technological advancements, and the experiences of partner nations [6].

This review article aims to systematically map the development of research on the role of emotional intelligence in military leadership during the period 2020–2025. Based on an analysis of scholarly studies indexed in the Web of Science database, the article identifies the main research directions and methodological approaches. The review also highlights existing research gaps and offers recommendations for future inquiry in this domain. Equally important are the practical implications for military education and commander training, as the characteristics and trends of the contemporary security environment compel higher military education institutions to place significant emphasis on preparing future military leaders. Among the most critical competencies for commanders and staff officers are those related to effective leadership and personnel development.

2. Methods and data

Based on the analysis of selected articles, thematic areas were identified, to which specific articles were assigned according to the conducted research. Table 1 lists an overview of the number of articles on emotional intelligence that can be developed in military leadership in 2020–2025.

Table 1: The overview of the number of articles on emotional intelligence in military leadership in 2020–2025

Research domains	Number of articles
2025	6
2024	10
2023	12
2022	14
2021	8
2020	5

3. Results

Garcia Zea et al. (2020) examined the impact of emotional intelligence (EI) within the military context. They identified protective variables that may mitigate the effects of stress on the emotional well-being and behavioural issues of military personnel. Their findings indicate that EI training and EI-focused interventions contribute to enhancing and moderating individuals' ability to adapt to and cope with stress and traumatic experiences [7].

Silver et al. (2023) developed a course titled “*Adventure and Experiential Learning*” aimed at fostering interpersonal leadership skills among cadets. The results demonstrated a significant increase in emotional intelligence (EI) among course participants. Outdoor

experiences may serve as an effective means of training EI-related skills. The research conducted by Silver et al. (2023) offers valuable insights into the potential of experiential learning as a tool for developing emotional intelligence (EI) in military training contexts. By integrating outdoor activities with leadership development, the study highlights a novel and engaging approach to enhancing interpersonal competencies among cadets. The observed increase in EI underscores the importance of incorporating non-traditional, experience-based methods into structured training programs. These findings support the growing recognition that emotional and social skills are critical components of effective leadership, particularly in high-stress environments such as the military [8].

Ayoko et al. (2023) investigated how a leader's perception of follower behaviour may influence the follower's perception of the leader's behavior, which can be associated with the evaluation of interpersonal relationship quality. When leaders effectively regulate their emotions, the positive impact of followers' perceptions on the quality of interpersonal relationships is enhanced. This study highlights the reciprocal nature of leader–follower dynamics, emphasizing that emotional regulation by leaders not only shapes their behaviour but also strengthens the relational feedback loop. It suggests that emotionally intelligent leadership can foster more positive and resilient interpersonal connections within organizations [9].

Cioranu et al. (2024) examined general competencies within the discipline of military leadership, aligning their analysis with competency-based learning outcomes. For the discipline “Military Leadership,” they propose the inclusion of the following broadly defined thematic areas: military leadership (doing the right things, management vs. leadership, efficiency vs. effectiveness); definitions, theories, types, and principles of military leadership; emotional intelligence in leadership; critical thinking in leadership; vertical development of leadership; competencies and traits associated with leadership; and military leadership as a primary element in the integration of capability domains [10].

The military environment is characterized by high levels of stress and unpredictability, which activate psychobiological stress responses and may adversely affect both the health and performance of military personnel. Perceived stress, understood as a subjective sense of uncontrollability and uncertainty, tends to accumulate particularly under prolonged occupational strain. Within the framework of positive psychology, attention shifts from problem-focused approaches to the development of protective factors, among which emotional intelligence plays a pivotal role [10].

Individuals with a high level of EI can perceive stressful situations as challenges rather than threats, thereby reducing the negative psychological and physiological consequences. Emotional intelligence thus serves as a significant protective mechanism that facilitates coping with demanding circumstances and contributes to the reduction of perceived stress in military settings. In alignment with this perspective on emotional intelligence, a study was conducted by Feng et al. in 2025.

Drawing upon the frameworks of allostatic load and social self-preservation theory, this study investigates the role of emotional intelligence in shaping self-esteem through the mediating effect of perceived stress among a sample of 143 military personnel. The salivary alpha-amylase (sAA)/cortisol ratio was employed as a moderating variable to assess physiological stress regulation. Results from a conditional process analysis revealed a significant indirect pathway: individuals with higher emotional intelligence reported lower levels of perceived stress, which in turn correlated with elevated self-esteem. Notably, the sAA/cortisol ratio moderated this relationship—participants exhibiting higher ratios,

indicative of dysregulation in the psychobiological stress system, demonstrated a stronger indirect effect. Under such conditions, emotional intelligence emerged as a particularly robust protective factor for self-esteem [11].

These findings underscore the dynamic interaction between psychological stress appraisal and neuroendocrine functioning, illustrating how biological stress responses can modulate the impact of emotional competencies on self-perception. The study contributes to integrative models of stress resilience by advocating for the inclusion of physiological indicators alongside psychological traits in understanding adaptive functioning within high-stress environments [11].

Emotional intelligence was assessed using the Chinese adaptation of the Wong-Law Emotional Intelligence Scale (Wong & Law, 2002), comprising 16 items rated on a seven-point Likert scale (1 = strongly disagree to 7 = strongly agree). An example item is: "I am able to control my temper and handle difficulties rationally." The scale demonstrated high internal consistency, with a Cronbach's alpha of 0.92 [11].

Druham et al. (2023) present a study on the development and validation of an online training program aimed at enhancing EI in adults, grounded in theoretical and empirical foundations.

A total of 326 participants from the general population were randomly assigned to either the EI training group ($n = 168$) or a placebo control group ($n = 158$). Both programs consisted of 10–12 hours of online content, completed over one or three weeks. Participants in the EI training group showed significant improvements in both self-reported and performance-based EI measures, including emotion recognition, understanding, and regulation. These gains were sustained six months post-training. The program was also rated as engaging and helpful. The online EI training program is empirically grounded, well-received, and effective in enhancing emotional intelligence. Its scalability makes it suitable for diverse applications in personal and professional development [12].

Psychological stress significantly impacts the mental and physical health of military personnel. In a cross-sectional study involving 452 Chinese Navy soldiers, we examined the associations between stress, optimistic intelligence, and emotion regulation using standardized self-report measures. Findings revealed that higher stress levels were linked to lower perceived happiness and reduced capacity to cope positively with adversity, while showing positive correlations with emotion regulation strategies such as cognitive reappraisal and expressive suppression. These results underscore the importance of implementing positive psychology-based interventions to mitigate stress, promote well-being, and strengthen operational effectiveness within naval forces [13].

Author Ledzianowski discusses the importance of emotional intelligence in his work. He introduces the Wise Commander-Leader (MDL) model, designed in response to the evolving demands of modern military leadership. It outlines the preferred command structures, operational systems, essential competencies, and behavioral attributes required of today's commanders. The MDL model serves as a framework for cultivating leadership competencies within the armed forces. Additionally, the paper proposes a structured process for developing these competencies, offering practical guidance for achieving the MDL standard. Drawing on the experiences and accomplishments of a military academy, the study highlights effective approaches to leadership development tailored to the needs of contemporary military operations [14].

True et al. (2020) present a study in a military medicine journal. Physicians increasingly serve as leaders, prompting interest in leadership development within Graduate Medical Education (GME). Although not required by ACGME, some U.S. programs have begun incorporating leadership training. This study evaluated the impact of a pilot leadership course for internal medicine residents. In 2017, senior military residents participated in a four-part course covering leadership basics, emotional intelligence, teamwork, and conflict resolution. Feedback was collected through an 18-question survey. The project was approved as a quality improvement initiative. Out of 54 residents, 26 responded (48.1%). Most found the training useful (84.6%) and felt better prepared for leadership roles (80.8%). Additionally, 73.1% planned to pursue further leadership development. All agreed internists should lead clinical teams and that leadership should be taught during residency. Even brief training can positively influence residents' views on leadership. Based on these results, leadership education was integrated into all GME programs at the institution. A national ACGME requirement could support broader implementation and sharing of best practices [15].

In the USA army was conducted. The study confirmed a link between emotional intelligence (EI) and safety citizenship (SC) among Army pilots, with potential implications for improving aviation safety. Understanding how adaptability and self-esteem influence safety behavior could enhance pilot selection and training.

The research was based on a limited sample of military pilots, who may not represent the broader aviation community. Further studies involving general and commercial aviation pilots are recommended. A notable finding was the negative association between optimism and SC, which warrants deeper investigation. Future research should focus on training methods that strengthen adaptability and self-esteem in aviation settings [16].

Unfortunately, several articles are not available for free access, so they were not able to report in this article. The number of articles is not so high and shows 0 results in the Czech army.

4. Conclusion

Contemporary literature provides the professional community with evidence-based findings demonstrating that a high level of emotional intelligence is positively associated with decision-making, the establishment of constructive relationships, and effective leadership. Training in emotional intelligence and the development of its individual components—namely, emotional perception, emotional utilization, emotional understanding, and emotional regulation—would be beneficial for enhancing the ability to leverage emotions in support of cognitive processes, fostering creativity and more effective problem-solving, and managing emotions to promote personal growth [17].

Learning effective strategies for managing our own emotions, as well as assisting others in regulating theirs, is essential for establishing a strong foundation for the development of positive interpersonal relationships and fostering a constructive social climate within the unit. The ability to build positive relationships effectively across diverse environments is a key attribute of intercultural competence, which can be enhanced through emotional intelligence training.

The modern soldier is exposed to immense professional and emotional pressure within today's complex operational environment. The preparation of commanders should encompass the development of self-awareness, awareness of others, emotional regulation strategies, and techniques for coping with stressful

situations. Incorporating education in emotional intelligence is, without question, a step forward [18].

The development of emotional intelligence within the military remains a subject of ongoing research and discussion, with its benefits and limitations continually being explored. Findings indicate that a high level of emotional intelligence is positively associated with decision-making, the formation of constructive relationships, and effective leadership. Training in emotional intelligence and the enhancement of its individual components—namely, emotional perception, emotional utilization, emotional understanding, and emotional regulation—would be beneficial for the ability to harness emotions to support cognitive processes, improve problem-solving effectiveness, and manage emotions in ways that promote personal growth.

The authors' aim soon is to develop a methodology designed to enhance the individual components of emotional intelligence—namely, emotional perception, emotional utilization, emotional understanding, and emotional regulation—among participants, and to cultivate their ability to apply these competencies in practical command roles within the Armed Forces of the Czech Republic in all levels of leadership.

Acknowledgment

This work was conducted and financed within the framework of the project „Conduct of land operations (LANDOPS)”

5. References

1. Concept of Force Development 2030 of the Armed Forces of the Czech Republic, Prague: Ministry of Defence (2019).
2. Ministry of Defence of the Czech Republic. Doctrine of the Armed Forces of the Czech Republic. Prague: Ministry of Defence of the Czech Republic, (2004).
3. M. Penrod, Marie. Army Continuing Education System: The Role of Emotional Intelligence in Army Education Leadership as It Pertains to Team Performance. Georgia Southern University (2010).
4. J. Mayer, P. Salovey, & D. Caruso, Models of emotional intelligence. In R. J. Sternberg (Ed.), *The handbook of intelligence* (pp. 396-420). New York, NY: Cambridge University Press, (2000).
5. D. Goleman, *Emotional intelligence*. Prague: Metafora, (2011). ISBN 978-80-7359-334-6
6. M. Marek and A. Tesař. Leadership Development in the Conditions of the Army of the Czech Republic. (*Military Perspectives*, 31(4), pp. 050–070. (2022).
7. Zea G., D.; Sankar, S. A. Isna, . The Impact of Emotional Intelligence in the Military Workplace. Online. *Human Resource Development International*. Volume **26** (1), S. 85-101. (2023) ISSN 1367-8868.
8. Silver, A. I.; Marshall, R.; Huston, Dave A. Gentry, G. Development of Emotional Intelligence During an Adventure and Experiential-Based Learning Course. Online. *Journal of Experiential Education*. **volume 47**, s. 341-357. (2024) ISSN 1053-8259.
9. O. Ayoko, P. Tan, Pao P a LI, Yiqiong. Leader–follower interpersonal behaviors, emotional regulation, and LMX quality. *Journal of Management and Organization*. **volume 19**, (3), s. 553-570. (2023)
10. I. Cioranu, I. A., L. Cucinschi, L. Scipanov, Professional Training and Personal Development: Essential Complementarity in the Military Educational Process. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, **volume 16**, č. 4, s. 509-541. (2024).
11. Yuting Feng, Bin Liu, Zhongying Wu, Zhuqing Ma, Lei Song, Lin Zhang, Li Guo, Xiaodong Zhao, Hongchang Sun, Yinchuan Jin, Qun Yang, Emotional intelligence, self-esteem, and psychobiological stress: conditional indirect associations in military personnel, *Personality and Individual Differences*, **volume 244**, (2025), ISSN 0191- 8869.
12. Durham MRP, Smith R, Cloonan S, Hildebrand LL, Woods-Lubert R, Skalamera J, Berryhill SM, Weihs KL, Lane RD, Allen JJB, Dailey NS, Alkozei A, Vanuk JR, and Killgore WDS, Development and validation of an online emotional intelligence training program. *Front. Psychol.* **volume 14**, (2023) .
13. Cui, Y., Zhang, X., Liu, N., Liu, Q., Zhang, L., & Zhang, Y. A correlation study of military psychological stress, optimistic intelligence quotient, and emotion regulation of Chinese naval soldiers. *Social Behavior and Personality: an international journal*, **volume 50**(5), 1–14. (2022).
14. Ledzianowski, J., & Stachowicz, J. (2020). In K. S. Soliman (Ed.), *Education excellence and innovation management: A 2025 vision to sustain economic development during global challenges* (pp. 14786–14792). Proceedings of the 35th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), Seville, Spain, (2020). International Business Information Management Association.
15. M.W. True, I. Folaron, J. A. Colburn, J. L. Wardian, J. S. Hawley-Molloy, J. Hartzell, Leadership Training in Graduate Medical Education: Time for a Requirement, *Military Medicine*, **volume 185**, Issue 1-2, January-February, Pages 11–16, (2020).
16. Dugger, Z. T., & McCrory, B. Emotional Intelligence and Safety Citizenship among Army aviators. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, **volume 8** (1). (2021).
17. K. Hudson, Emotional Intelligence and Self-Efficacy in Military Leaders. USA: Bradman University, (2016).
18. J. Moriarty, Leadership in focus: Emotional Intelligence, Leadership and Resilience. (2018).

Application of a Cyber Training Ground as a Solution for Training Cybersecurity Specialists to Ensure the Functionality of the National Situation Center and Crisis Management Center

Veselina Gagamova^{1,*}, Elitsa Pavlova², Violeta Vasileva³
 G. S. Rakovski National Defence College Sofia, Bulgaria¹
 University of National and World Economy /UNWE/, Sofia, Bulgaria²
 Future Innovation Labs³

v.gagamova@rndc.bg, epavlova@unwe.bg, violetta.ziv@gmail.com

Abstract: Cyber education is one of the global challenges in recent years. Attacks are becoming increasingly sophisticated and ensuring a safe working environment is difficult. Hyper-realistic virtual environments, called cyber training grounds, help to raise the level of cybersecurity training. The report analyses applicable methods, software and implemented solutions, which are cyber training grounds. The purpose of the study is to outline the types of cyber training grounds and their characteristics, functionalities and requirements for training through a cyber training ground, according to EU regulations, with the aim of applying them as a solution for training cybersecurity specialists to ensure the functioning of the National Situation Center and Crisis Management Center.

Keywords: CYBER TRAINING GROUNDS, CYBER SECURITY LABORATORY, ARCHITECTURE, CYBERSECURITY TRAINING

1. Introduction

Cyber training grounds are one solution for training cybersecurity professionals to ensure the functionality of the National Situation Center (NSC) and Crisis Management Center (CMC). Whether it's simulations, competitions or labs, cyber training grounds visualize what students are learning in theory. "It's this virtual environment where you can practice skills and simulate attacks safely," says Rebecca Michael, executive director of Ohio Cyberspace, University of Cincinnati. Once basic skills are acquired, students can use simulations to not only focus on penetrating systems, but also be prepared to defend themselves against such attacks.

The study "Cyber Ranges and test platforms for education, training and research"[1] shows that most cyber training grounds are used for research, training and exercises. Security challenges are SQL injection, malware analysis, risk management, information security economics, IT governance.

The purpose of this report is to create a conceptual model (CM) that will be used as a tool for developing interactive approaches for training cybersecurity specialists to ensure the functioning of the National Situation Center and Crisis Management Center. The main users may be students studying in specialties related to the field of IT and cybersecurity, as well as employees holding leadership positions in important structural units. The study is based on various approaches to e-learning.

The implementation of new approaches in training, information exchange and teamwork will improve and transform all processes and services in training cybersecurity specialists to ensure the functioning of the National Situation Center and Crisis Management Center. The need for trained people, by combining practical experience with educational courses and cybersecurity competitions, continues to outstrip supply.

The literature search covers the databases of Science Direct, Springer, MDPI, IEEE Explore, Wiley, Research Gate, Google Scholar, as well as previous studies and related research projects, with the aim of identifying the main characteristics of cyber training grounds. The focus is on the most recent publications, with an emphasis on those from the last five years. The keywords used for the search are cybersecurity training, cyber training grounds, cyber laboratory.

The Cyberspace Federation project aims to build a cyberspace across the EU. The ECHO project, launched by the European Commission, has the vision of creating and managing a network of competence in the field of cybersecurity. The construction of a Cyber Range depends on design features such as flexibility, scalability, isolation, interoperability, efficiency, service-based

access and risk assessment. Examples of successfully used Cyber Ranges are KYPO Platform, TELECOM Nancy, RISE, Airbus, RI CODE, Virginia.

2. The Essence of Cyber Range

A review of existing definitions identifies two ways to define a cyber training ground, as a simulation environment and as a platform. A simulation environment is defined in a static way because it is designed to meet specific use cases and requirements. A platform is defined as a group of technologies that are used as the foundation for other applications and processes. This view of a cyber training ground is more dynamic because there are different functionalities in using the simulation environment.

Cyber training grounds are used as a safe place to train through exercises and test employees on how to respond to cyber-attacks. Training includes simulations of secure software, risk assessment, incident management, social engineering, and network attacks.

According to the National Institute of Standards and Technology (NIST)[6], Cyber polygons are defined as interactive systems, tools and applications. They provide a safe environment for gaining practical experience and can operate independently or with other cyber polygons, supporting certain network services. In the Cybersecurity Guide, cyber polygons are described as "tools for simulating possible attacks against IT infrastructure, networks, software platforms, applications, firewalls and other [2].

The European Cybersecurity Organization provides an overview of hyper realistic virtual platform, focusing on their functionalities and capabilities, the technologies used for development, and the limitations of their integration [5]. The organization characterizes Cyber platforms according to different types of users: institutions, security professionals, military agencies, security operations centres, educators, students, researchers, etc. A study "Cyber Ranges and Security Testbeds" defines a taxonomy that includes their capabilities, functions, scenarios, tools, and architecture [8].

According to the report "The Spider Cyber Range", the type of Cyber Range is determined by its goals and the roles that participants adopt [7]. Cyber Ranges can be used for security research, testing, and certification, security training and competency building, and national and international cybersecurity competitions. Educational and certification courses require instructors and cybersecurity experts to conduct cybersecurity courses. The role of instructors is to monitor the efforts of learners and intervene when learners are struggling. The role of cybersecurity experts is to perform technical tasks, such as configuring, infrastructure, debugging, and injecting vulnerabilities. Participants in different courses may assume different roles, working individually or in

teams. The development and operation of Cyber Ranges require significant resources in terms of funding, skilled people, and working time [5].

Technical requirements - applicable methods, software and implemented solutions:

- Tools for various security testing techniques
- Simulation environment of high-scale scenarios with support for various IoT devices with different technical characteristics.
- Tools to support modelling and risk assessment.
- Automated security-testing tools.
- Network tools for packet sniffing and port analysis.
- Attack simulation.
- Intrusion detection and monitoring tools.
- Common cryptographic and protocol libraries.
- Specific tools for programming IoT devices.
- Tutorials and guides for using the tools.
- Debugging environment

Requirements for the communication equipment on which the exercises are conducted or which is used as an environment for the exercises:

- Resilience to maintenance failures.
- Encrypted communications.
- Lifecycle support, including software updates and patches.
- User accounts.

Some of the requirements for executing the attacks used in the work environment include automated execution and detailed reporting of the attack results. Requirements for the personnel who plan and execute the exercises include good knowledge of security testing and assessment and common attacks.

3. Cyber Range Architecture

Hyper realistic virtual platforms can be classified into three main categories according to their technical characteristics. Simulation platforms use software tools to form the Cyber Range network without the need for physical network equipment. These systems are scalable and flexible. Overlay Cyber Ranges operate on physical network devices and computing equipment. They provide greater accuracy than simulation Cyber Ranges but involve hardware costs and possible changes to the existing infrastructure. Emulation mimics the physical infrastructure of specific business networks, providing a high level of realism and repeatability of performance. They can usually be optimized by sharing resources and using virtualization technologies.

The infrastructure encompasses all physical and virtual hardware and software resources used in the development of the platform. Infrastructure elements include the physical layer, cloud, virtualization and isolation. Cyber platform implementation can be implemented through a public cloud, private cloud or hybrid model. In the public cloud, the management of the infrastructure is entirely performed by the cloud service provider, and users receive access to services without commitment to infrastructure management. A private cloud provides complete control and privacy over applications and data stored in the cloud infrastructure. A hybrid cloud infrastructure combines control over data security with infrastructure scalability.

Virtualization allows for the dynamic allocation of computing resources to virtual machines, as well as the reconfiguration and reconfiguration of the network infrastructure. Isolation means separating projects and exercises from the operating system, virtual machines, and containers running on the same hardware. For security and control, projects must be isolated from external networks and systems.

Davis and Magrath's study shows the available options for building and managing Cyber Ranges [4]. Researchers categorize Cyber Ranges as simulations using software models of real-world scenarios, overlays if they use real-world production equipment and emulations if they run real-world applications on separate equipment. Cyber Ranges can be classified based on their infrastructure – public (e.g. CISCO), private, or federal (e.g. Cyber Ranges such as CRD, CRATE, NATO, and Raytheon).

Hyper realistic virtual platform can be implemented on an infrastructure that uses multiple networks with different topologies, computers, and other devices. The infrastructure consists of the physical layer (workstations, servers, mobile devices, network devices, operating systems, database management systems, etc.), cloud computing technologies, virtualization technologies, and isolation technologies that enable a fully configurable and integrated environment. Cyber Range policies can include rules that prohibit specific tools, techniques, and activities, such as attacking the workspace and platform.

The study „Cyber Ranges and Security Testbeds” identifies the architecture [8]. The architecture shown in Fig. 1 and includes scenario, infrastructure, teams, management, evaluation, monitoring. The scenario unites the type and purpose of the exercise, the storyline and the environment in which it is conducted. The selection of teams depends on the scenario. Management includes resources, scope and role. All areas of the architecture are consistent and interconnected.

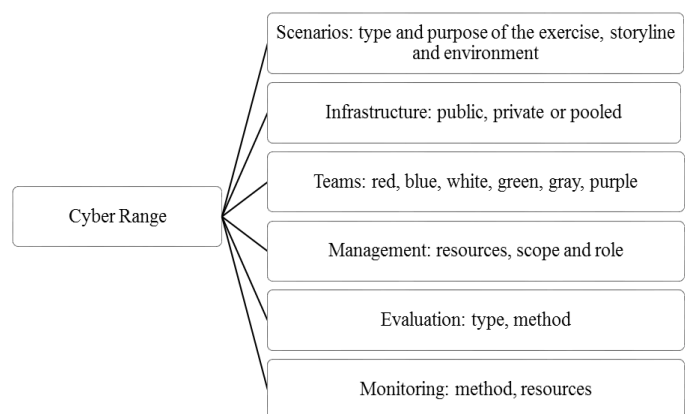


Fig. 1 Cyber Range Architecture.

Source: Cyber Ranges and security testbeds: Scenarios, functions, tools and architecture [3].

The proposed architecture of the Cyber Range includes a working platform, user interface, scenarios, projects and infrastructure. The user interface forms a realistic cyberspace consisting of real devices and virtual machines. The scenarios involve developing the workspace and defining the objects describing the elements, as well as the conditions and vulnerabilities that need to be included. The scenario defines the steps that the participants must follow to complete the exercise. Teamwork is extremely important to evaluate the attack scenarios in real conditions.

4. Conclusion

In conclusion, it can be summarized that in the conditions of escalating and increasingly sophisticated cyber threats using cloud technologies and collaborative systems with applications in the defence of the state and the security of society, the need for effective and sustainable solutions for training cybersecurity specialists is gaining critical importance. The analysis showed that

hyper realistic virtual environments are a strategic tool for building knowledge, skills and operational readiness, consistent with European regulatory requirements. The studied types of Cyber Ranges, their functionalities, architecture and organizational requirements prove that their implementation in the training of personnel is a key factor for the effective functioning of the National Situation Center and the Crisis Management Center. In this context, Cyber Ranges not only help to improve the quality of training, but also ensure technological superiority and sustainable protection of critical infrastructure in the face of global challenges.

Acknowledgements

This report was written thanks to funding from the Ministry of Education and Science in implementation of the National Strategy for Research Development 2017-2030 under the National Scientific Programme "Security and Defence", adopted by Decision of the Council of Ministers No. 731 of 21 October 2021.

5. References

1. Chouliaras, Nestoras, George Kittes, Ioanna Kantzavelou, Leandros Maglaras, Grammati Pantziou, and Mohamed Amine Ferrag. "Cyber Ranges and TestBeds for Education, Training, and Research." *Applied Sciences* 11 (February 2021): 1809. <https://doi.org/10.3390/app11041809>.
2. Cybersecurity Guide. "What Is a Cyber Range?" Accessed March 29, 2023. <https://cybersecurityguide.org/resources/cyber-ranges/>.
3. CYBERWISER.Eu. "Cyber Range & Capacity Building in Cybersecurity." 2025. <https://cyberwiser.eu/>.
4. Davis and Magrath. "A Survey of Cyber Ranges and Testbeds." *Semanticscholar.Org*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Cyber-Ranges-and-Testbeds-Executive-Davis-Magrath/687ff7737f9e32b85cf885db88341b73892aa8ae>.
5. ECSO. "European Cyber Security Organisation." ECSO. <https://ecs-org.eu/publications>.
6. paul.hernandez@nist.gov. "Cybersecurity." Text. NIST, June 30, 2016. <https://www.nist.gov/cybersecurity>.
7. Rebecchi, Filippo, Antonio Pastor, Alberto Mozo, et al. "A Digital Twin for the 5G Era: The SPIDER Cyber Range." *Zenodo*, March 11, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6347532>.
8. Yamin, Muhammad Mudassar, Basel Katt, and Vasileios Gkioulos. "Cyber Ranges and Security Testbeds: Scenarios, Functions, Tools and Architecture." *Computers & Security* 88 (January 2020): 101636. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101636>.

Electromagnetic support using software-defined radio

Ivan Ivanov, Sevdalin Spasov
Bulgarian Defence Institute Sofia, Bulgaria
i.p.ivanov@di.mod.bg, s.spasov@di.mod.bg

Abstract: The essence and main characteristics of Electromagnetic Support (ES) are examined, as well as its place in Electromagnetic Warfare (EW). The main elements of ES such as electromagnetic reconnaissance, direction finding and threat warning are examined. A definition and basic terms for software-defined radio (SDR) are given. The architecture and main characteristics of SDR are examined. Has been made a prototype of SDR used in electromagnetic support.

Keywords: ELECTROMAGNETIC WARFARE (EW), ELECTROMAGNETIC SUPPORT (ES), DIRECTION FINDING (DF), SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR), GNU RADIO - THE OPEN SOURCE SDR DEVELOPMENT ENVIRONMENT

1. Introduction

The first decades of the 21st century do not differ significantly from the last decades of the last century – new ones are emerging and a large number of old, smoldering ones continue. A wide variety of means of warfare are used in these conflicts. Classical systems and means of fire destruction, such as artillery and missile systems, together with small arms remain the main means of warfare. However, along with them, a number of systems and means of destruction of the enemy's electronic equipment are increasingly being used. This is quite natural, because the opposing forces used their best communication systems. During this time, the most powerful armies continue to dominate the electromagnetic spectrum over opponents who do not have the ability to challenge their technological superiority. However, in recent years, some of the regional powers have demonstrated great capabilities in hybrid operational environments, including in the electromagnetic spectrum. These capabilities are also being demonstrated in the ongoing conflict in Ukraine in the form of jamming communications, the global navigation satellite system (GNSS), and the control systems of military drones.

Systems and means designed to defeat enemy electronic equipment belong to the arsenal of the electromagnetic warfare (EW). Since most modern military equipment uses electronic devices and systems, their defeat is becoming an increasingly important and responsible task in the course of combat operations. EW refers to military actions involving the use of electromagnetic and directed energy to provide situational awareness and achieve offensive and defensive results, and ensure superiority in the electromagnetic spectrum [1, 2]. This leads to the conclusion that in modern conflicts of medium and high intensity, electromagnetic warfare is one of the main areas of combat operations.

2. Materials and Methods

2.1. Electromagnetic Support as an element of the Electromagnetic Warfare. Essence, tasks and basic elements of Electromagnetic Support.

1) Electromagnetic Support (ES) as an element of the Electromagnetic Warfare

Electromagnetic Warfare [3-5] consists of three main elements: Electromagnetic Attack (EA), Electromagnetic support (ES) and Electromagnetic Protection (EP). These three elements are inextricably linked, as they are mutually dependent and are applied in a certain sequence. For example, information about the parameters of radio signals and the location of enemy radio assets, acquired by electromagnetic support, is used to synthesize jamming signals emitted by the transmitters of the electromagnetic attack.

Electromagnetic attack includes actions to prevent or reduce the effective use of the electromagnetic spectrum by the enemy through the use of electromagnetic energy. Electromagnetic attack consists of three main elements: electromagnetic jamming (EJ), electromagnetic deception (ED) and electromagnetic neutralization (EN).

Electromagnetic Protection (EP) is a complex of technical and organizational measures using electromagnetic energy to provide protection and effective use of the electromagnetic spectrum by allied forces, carried out in order to ensure the stable operation of their own systems and means of controlling troops and weapons, in conditions of electronic effects from the enemy. Electromagnetic protection is divided into active and passive.

Electromagnetic support (ES) is a component of electromagnetic warfare, which includes actions to search, intercept and identify electromagnetic emissions and locate their sources, in order to immediately recognize the threat and build situational awareness [6]. The essence and the main features of ES are discussed further.

Тази информация се използва след това за започване на двата основни процеса, показани на фиг.1. Conducting EW, during the course of the operation, usually begins with basic electromagnetic support (ES) actions such as: electromagnetic reconnaissance of the main parameters of transmitters (Electromagnetic Reconnaissance), direction finding of opponent's transmitters (Direction Finding), and threat warning (Threat Warning) – if one exists. This information is then used to initiate the two main processes shown in Fig. 1.

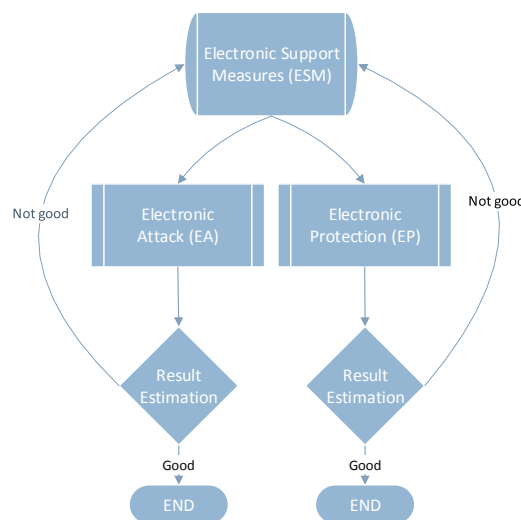


Fig. 1. EW processes in the course of the operation

The first process is related to electromagnetic attack actions and is depicted on the left side of the figure. It uses the results of electromagnetic support actions. After the basic parameters of the enemy emission sources are known and their direction is determined, electromagnetic attack (EA) actions follow such as emission of interference, electromagnetic deception actions or electromagnetic neutralization. The next step in this cycle is to evaluate the results of the electromagnetic attack and if they satisfy the set task, the execution of the process is stopped. If the results do not satisfy the set task, the process starts over with electromagnetic

reconnaissance. This process is repeated cyclically until the set EA task is fulfilled.

The second process is depicted on the right side of the figure and again begins with the execution of the three main actions of electromagnetic support (ES). As a result, the main parameters of electromagnetic interference emitted to our radio equipment by the adversary are determined and a decision is made on electromagnetic protection (EP). Then the selected electromagnetic protection measures are implemented, such as: control of own emissions (Emission control), reduction of own emissions (signature) in different frequency ranges of EM waves (Electromagnetic masking) or increasing the resistance to interference of own radio equipment (Electromagnetic hardening). The next step in this process is the evaluation of the results of electromagnetic protection (EP) and if they satisfy the set task, the execution of the process is stopped. If the results do not satisfy the set task, the process starts over with electromagnetic reconnaissance. This process is repeated cyclically until the set task of electromagnetic protection is fulfilled.

2) Essence, tasks and basic elements of Electromagnetic Support

Essence of the Electromagnetic Support

Electromagnetic Support (ES) is a branch of electromagnetic warfare, involving actions assigned by or under the direct control of the operation commander to search for, intercept, identify, and/or locate sources of intentional and unintentional radiated electromagnetic energy for immediate threat recognition, targeting, planning, and conducting future operations [2]. It provides a source of information necessary for immediate decision-making for electronic countermeasures and other tactical actions.

The main tasks of electromagnetic support are commanded by the operation commander and include performing some of the electromagnetic reconnaissance activities, direction finding of electromagnetic radiation sources and warning of electromagnetic threats.

Basic elements of Electromagnetic Support

The main elements of electromagnetic support are determined by its main tasks and include (Figure 2):

- a) Electromagnetic Reconnaissance (with a limited scope of activities) including the following tasks:
 - ✓ detection;
 - ✓ assessment of basic parameters of electromagnetic emissions such as carrier frequency (or bandwidth/hopping), type of modulation, pulse sequence parameters (if pulse signals) and others, if necessary.
- b) Direction finding to determine the following parameters:
 - ✓ bearing;
 - ✓ elevation;
 - ✓ position determination (if necessary and using a multi-position ES system).
- c) Electromagnetic Threat Warning:
 - ✓ determining the type of electromagnetic radiation (classification);
 - ✓ identification of sources of electromagnetic radiation (if sufficient information and time are available to do so);
 - ✓ warning of imminent or potential threat.
- d) Electromagnetic Warfare Reprogramming.

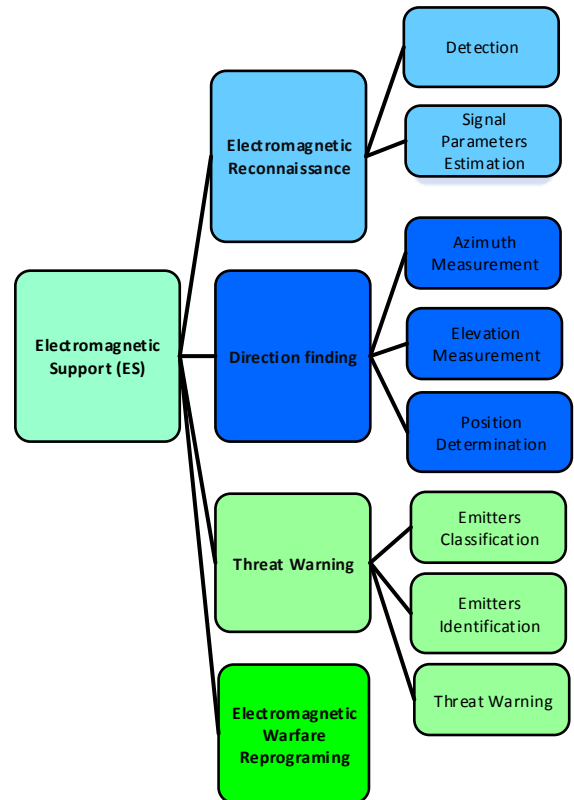


Fig. 2. Components of Electromagnetic support

The process of Electromagnetic Warfare Reprogramming has been included as a new element of the electromagnetic support. Electromagnetic Warfare Reprogramming is the deliberate alteration or modification of electromagnetic warfare or target sensing systems, or the tactics and procedures that employ them, in response to validated changes in equipment, tactics, or the electromagnetic environment. [6]. Several types of changes constitute EW reprogramming. These changes fall into three major categories of EW reprogramming. They are:

- ✓ Tactics. Include changes in procedures, equipment, settings, or EW systems mission-planning data. These changes are usually conducted at the Service level and implemented at the unit level using organic personnel and equipment.
- ✓ Software. Include changes to the programming of computer-based EW and target sensing software. This type of change requires software vendors to alter programmed look-up tables, threat libraries, or signal sorting routines.
- ✓ Hardware. Hardware changes or long-term system development are necessary due to tactics and software changes installed to resolve deficiencies. These changes usually occur tactical, and software changes are of such complexity that it requires hardware modifications or upgrades.

The goal of Electromagnetic Warfare Reprogramming is to maintain high efficiency of one's own electromagnetic warfare activities. These basic activities are carried out for the purpose of immediate threat recognition, target designation, planning and conducting electromagnetic countermeasures during the operation. In this way, ES contributes to the implementation of electromagnetic countermeasures and the creation of an electronic battle formation. Since modern operations are dynamic and fleeting, the above-mentioned basic ES activities are carried out for a relatively short time of the battle (operation). In addition, for the purpose of timeliness and effectiveness of ES and EA, the volume of activities is limited. For example, they measure only the basic parameters of electromagnetic radiations sources such as frequency and type of modulation, and only the bearing is determined, not the exact location.

From all that has been said so far, it follows that ES has two main features:

- ✓ short-term – only for the battle (operation) duration;
- ✓ limited scope of activities.

It is precisely these two main features of ES that distinguish it from electromagnetic intelligence, which has a much wider range of activities and it is carried out over a longer period of time.

It is necessary to receive, digital process, analyze and storage of radio signals in a wide frequency range when conducting electromagnetic warfare. In addition, in order to be able to conduct electromagnetic support, it is necessary to perform electromagnetic reconnaissance, determine the main parameters of the intercepted signals and measure the directions to the sources of these emissions. All technical activities such as reception, digital processing, analysis and synthesis of signals can be performed using software-defined radio [7] (SDR).

2.2 General information about software-defined radio (SDR)

Software-defined radio is a modern paradigm for the practical implementation of radio communication systems. The foundations of the “software-defined radio” (software-defined radio - SDR) paradigm are associated with the research of DARPA and the US Air Force under the SpeakEasy project in the early 1980s on the creation of a prototype radio station covering the range from 2 MHz to 2 GHz and implementing about 10 communication standards [8]. Part of the results obtained in the field of system architecture were published by Mitola in the early 1990s, where the author [9] introduced the concepts [10] “software radio” and “software-defined radio” [11].

Each professional organization attempts to define a common framework of terms and definitions to allow for easy communication among professionals working in a common field. In the field of software-defined radio communications, the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), through its working group P1900.1, has created definitions (Table 1) to ensure that everyone in the field has a common terminology [12]. A key definition in this brief ontic is that of “software-defined radio”: a radio in which some or all of the physical layer functions are software-defined.

Table 1: Ontic of concepts in the field of software-defined radio communications

Concept	Definition
Radio	1. A technology for the wireless transmission or reception of electromagnetic signals enabling the transfer of information. 2. A system or device incorporating technology as defined in (1). 3. A general term applied to the use of radio waves.
Radio Node	A radio point of presence, including a transmitter and/or receiver.
Software	Modifiable instructions executed by a programmable processing device
Physical Layer	The layer within a wireless protocol that processes radio frequency (RF), intermediate frequency (IF), or baseband signals, including performing channel coding. It is the lowest layer of the 7-layer ISO model adapted for wireless transmission and reception.
Data Link Layer	The protocol responsible for the reliable transmission of frames over a

Concept	Definition
	wireless link by using appropriate error detection and control procedures and media access control.
Software Controlled	Software control refers to the use of software processing in the radio system or device to select operating parameters.
Software Defined	Software-defined refers to the use of software processing in the radio system or device to perform operational (but not control) functions.
Software Controlled Radio	A radio in which some or all of the physical layer functions are software controlled.
Software-Defined Radio	A radio in which some or all of the physical layer functions are software defined.
Transmitter	Equipment producing radio frequency energy for radio communication purposes.
Receiver	A device that receives a radio signal and provides information extracted from it.
Air Interface	A subset of waveform functions designed to establish communication between two radio terminals. This is the equivalent of the wireless physical layer and wireless data layer waveforms.
Waveform	1. The set of transformations applied to the information to be transmitted and the corresponding set of transformations to convert the received signals back to their information content. 2. Representation of the signal in space. 3. Representation of the transmitted radio frequency signal plus additional radio functions, including all network layers.

The definitions introduced allow not only to standardize the concept of SDR, but also to create a context in which this concept “lives”. This allows the formation of other contexts in which SDR can be attributed to different entities.

A structural-functional block diagram of such a radio is shown in Fig. 3.

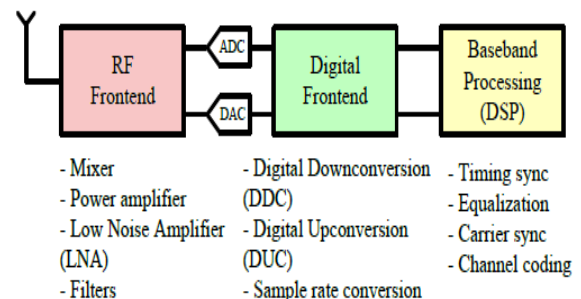


Fig. 3. Software-defined radio architecture

One of the main differences between the architecture of a software-defined radio and an ideal one is the presence/need of a radio frequency front-end operating in the analog space and implementing such functions as mixing, low-noise amplification, analog filtering, etc. Another architectural feature of modern SDRs is the implementation of digital processing by two digital blocks – a

digital front-end and a baseband digital signal processing block. The first block performs all conversions from transmitted to baseband (and vice versa) and those related to the clock frequency (frequency compression, expansion, etc.). The second block performs all conversions to baseband and is typically implemented by a general-purpose computer or a single-board microcomputer.

Typically, in current products on the market that allow experimentation and prototyping in the field of SDR, the analog RF front-end, ADC, DAC and digital front-end are combined into a common building block – RF digital front-end. This leads to the generalized, mass, modern SDR architecture shown in Fig. 4.

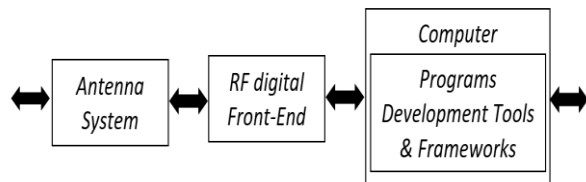


Fig. 4. Generalized mass architecture of SDR

The main characteristics of popular radiofrequency front-ends used to build SDRs are summarized on the Table 2.

Table 2: Main characteristics of popular radiofrequency front-ends used to build SDRs

Platform	Frequency range	Channel bandwidth	Digital converters bit resolution	Digital interface	Radio channel number
Hack RF One	10 MHz - 6GHz	20 MHz	8 bit	USB 2.0	1 Rx/1 Tx
Adalm PLUTO	325 MHz - 3.8 GHz	20 MHz	12 bit	USB 2.0	1 Rx/1 Tx
Ettus B210	70 MHz - 6 GHz	56 MHz	12 bit	USB 3.0	2 Rx/2Tx
Ettus N210	10 MHz - 6 GHz	40 MHz	14-bit ADC 16-bit DAC	1G Ethernet	2 Rx/2Tx
Ettus X210	50 MHz - 2,2 GHz 400 MHz - 4.4 GHz 1.2 GHz - 6 GHz	120 MHz	14-bit ADC 16-bit DAC	10G Ethernet, PCIe	2 Rx/2 Tx, 4 R x
Ettus X310	10 MHz до 6 GHz	160 MHz	14-bit ADC 16-bit DAC	10G Ethernet, PCIe	2 Rx/2 Tx, 4 Rx
Lime SDR	100 kHz - 3.8 GHz	61.44 MHz	12 bit	USB 3.0	6 Rx/4 Tx
Pico SDR	70 MHz - 6 GHz	56 MHz	12 bit	PCIe	4 Rx/4 Tx 8 Rx/8 Tx
RTL-	24 – 1766	3.2 MHz	8 bit	USB 2.0	1 Rx

Platform	Frequency range	Channel bandwidth	Digital converters bit resolution	Digital interface	Radio channel number
SDR	MHz	(2.4 MHz typical)			

The analysis of the data in Table 2 shows the availability of capabilities for supporting a wide frequency range – part of HF, VHF and UHF, a wide bandwidth of the processed radio channel – up to 120 MHz, high data exchange speed with computer platforms – up to 10 GBit/s, support for multiple coherent radio channels, etc. These characteristics allow the implementation of technologies such as GSM, LTE, DVB, FMCW Radar, MIMO, etc. The SDR technology is supported by numerous software packages for computer modeling and simulation. The most famous of them are: Matlab, GNU Radio, LabVIEW, etc. The advantage of using such packages is the rapid transition from a computer module to a practical implementation.

3. Results and discussion

3.1. Usage of SDR as a tool for Electromagnetic Reconnaissance

A basic use case for SDR is monitoring frequency bands intended for national security purposes, such as VHF (30-88 MHz) or UHF (230 – 400 MHz). The analysis of the data in Table 2 shows the capabilities of commercially available mid-range RF front-ends for monitoring such frequency bands. There are many open source applications that allow monitoring of the frequency spectrum, compatible with different RF front-ends. Among the most famous are gqrx, SDR++, SDRangel, openwebrx, gr-fosphor, etc.

Figure 5 shows a snapshot of the gqrx program working while monitoring the FM broadcast band status.

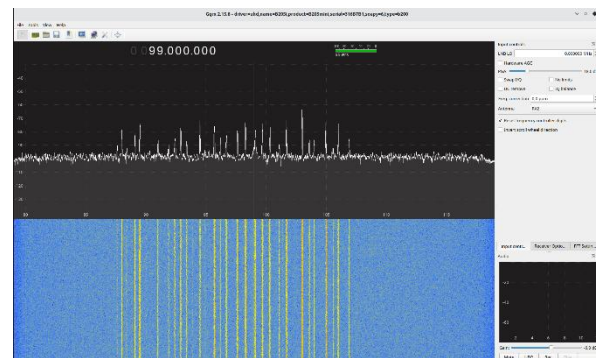


Fig. 5. Snapshot of the gqrx program working while monitoring the FM broadcast band status

In the upper box, a spectral diagram of the spectrum state is visualized, and below the spectrum is visualized through a waterfall diagram. The application allows manual modification of the operating frequency, the width of the frequency range for observation, a wide set of configuration parameters for the views, demodulation of FM signals, etc.

For cases where the instantaneous bandwidth of the RF frontend is not sufficient to monitor wider frequency bands, for example the entire NATO band IV (4.4 – 5.0 GHz), it is necessary to use several radio frequency modules in parallel or use one of them and a scanning program.

Figure 6 shows a structural view of the developed prototype of a software-defined scanning radio receiver for spectrum monitoring and control. The system architecture is according to Fig. 4 and consists of a general-purpose computer, the GNU Radio application framework, the USRP B210 radio frequency digital front-end and an antenna system. The technical capabilities of the specific RF front-end are given in Table 2, where they can be compared with

those of other similar products. The architecture of the SDR is flexible and allows the use of other RF front-ends supported by the application framework, as well as switching to other frameworks. Thanks to the SDR concept, the specific final functionality of the system is determined by the application developed in the GNU Radio environment.



Fig. 6. A structural view of the developed prototype of a software-defined scanning radio receiver for spectrum monitoring and control

Figure 7 shows an implementation of a software-defined scanning radio receiver for spectrum monitoring and control in the GNU Radio environment. Functionally, the application consists of an interface with an RF front-end, a user interface for managing control parameters, and a visualization.

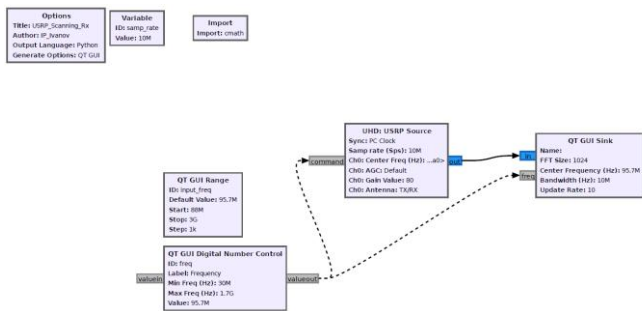


Fig. 7. User application of a software-defined scanning radio receiver for spectrum monitoring and control in the GNU Radio environment

The interface with the RF front-end is implemented by the USRP Source block. It is used to set such parameters as the operating frequency, sampling frequency, gain of the low-noise preamplifier, etc., as shown in Fig. 8. The block has an additional Command input, through which control parameters can be changed in run-time mode. The data on this input is formed by the Digital Number Control block. The QT GUI Range block provides a slider in the human-machine interface, through which the user can move along the frequency range

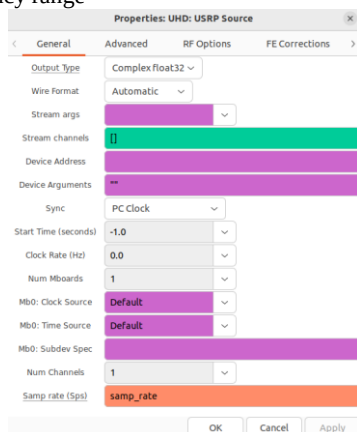


Fig. 8. Menu screen for configuring the RF digital front-end via the USRP Source block

The visualization of the output data of the USRP Source block is done through the QT GUI Sink. This block offers, through a tabbed menu selection, the display of the signal in the time, frequency and vector domains.

For cases where there is asynchronous information transmission, the detection of the moment of emission, estimation

of basic parameters of the radio channel and, if necessary, recording of the radio signal are of interest. The SDR concept allows the development of devices with a convenient interface for programming this task. Fig. 9 shows a screen of an application running in the GNU Radio environment, including an energy detector and an estimator of the width of the radio channel. The detection level, the average operating frequency, the width of the observed spectrum, etc. parameters are configurable.

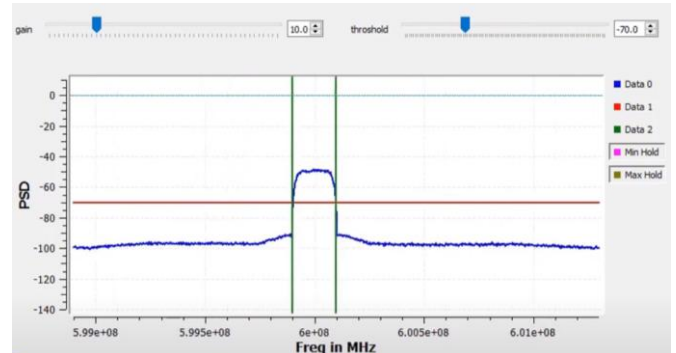


Fig. 9. Screenshot of an application in the GNU Radio environment for Electromagnetic Warfare Reprograming.

In case the Electromagnetic Reconnaissance object is a transmitter with a known radio protocol, then even with COMSEC measures applied, the SDR concept allows for monitoring of radio traffic and extraction of meta-information. Numerous applications are available for analysis of:

- 2G/3G/4G/5G cellular systems – SRS RAN, gr-lte, Open5GS, OpenLTE, OpenBTS-UMTS, LTE-Cell-Scanner, etc.;
- wireless computer networks - gr-ieee802-11, gr-ieee802154, gr-lora, etc.;
- navigation systems - gr-air-modes, gr-ais, GNSS-SDR, etc.

One of the difficult computational tasks in Electromagnetic Reconnaissance is the classification of the observed radio channel and the identification of the protocol. To solve such a task, reverse engineering applications are available: Baudline, Inspectrum, Dsppectrum, etc. Significant progress in solving this task has been made with the use of AI [13].

3.2. Usage of SDR as a tool for Direction Finding

The availability of multi-channel RF front-ends on the market makes SDR technology a convenient tool for solving the Direction Finding problem. One popular solution in this area is the KrakenSDR product, shown in Fig. 10. The architecture is based on the KrakenSDR RF front-end, a Raspberry PI single-board computer, and a general-purpose mobile phone/computer.

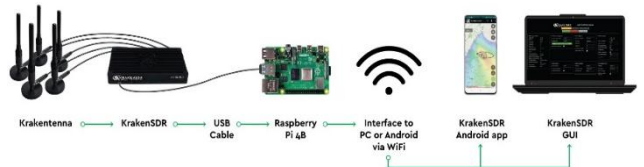


Fig. 10.: Architecture of a multi-channel software-defined radio receiver with spatially distributed elements [14]

Another SDR solution for Direction Finding is the GNU Radio add-on package – gr-aoa [15], which has developed a set of building blocks for developing an application for angle of arrival (AOA) estimation. Fig. 11 shows a view of the application using the Multiple Signal Classification (MUSIC) algorithm.

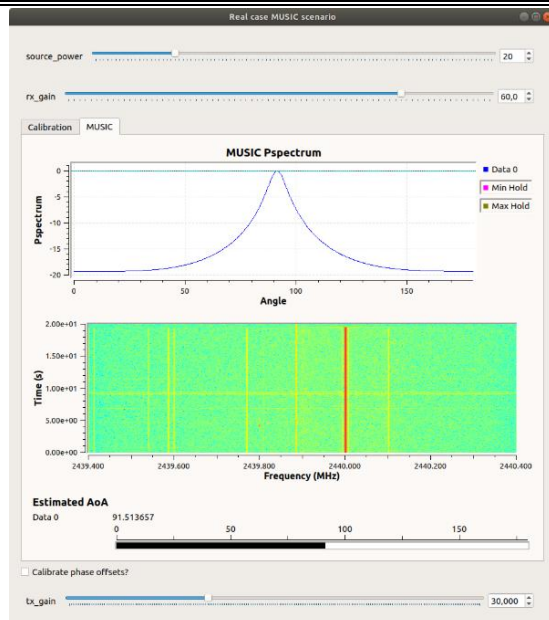


Fig. 11.: Example of AOA estimation with usage of application gr-aoa

The gr-aoa package also provides blocks necessary to provide phase synchronization of USRP devices.

3.3. Threat Warning and classification of electromagnetic emissions

The threat warning task includes electromagnetic reconnaissance broadcast recognition and their protocols. The presence of general purpose input/output (GPIO) ports facilitates application development for this purpose.

3.4. Electromagnetic Reprogramming

The SDR architecture, in its fundamental essence, is based on the programming of functional elements and naturally helps to realize this doctrinal requirement.

4. Conclusions

SDR can be used as a tool to perform many of the tasks of Electromagnetic support.

One of the main use cases of SDR was demonstrated - monitoring of frequency bands intended for national security needs, for example in the VHF or UHF frequency ranges. Mid-range RF front-ends available on the market have capabilities for monitoring such frequency bands. There are many open source applications that allow monitoring of the frequency spectrum, compatible with various RF front-ends.

The availability of multi-channel RF front-ends on the market makes SDR technology a convenient tool for solving the Direction Finding task. For this purpose, ready-made products such as KrakenSDR can be used or other solutions such as the GNU Radio add-on package - gr-aoa, which contains many blocks for developing an application for estimating the angle of arrival (AOA).

The SDR architecture, by its fundamental nature, is based on the programming of functional elements and naturally facilitates the implementation of Electromagnetic Warfare Reprogramming.

The Threat Warning task requires the recognition of emissions and protocols in Electromagnetic Reconnaissance. Measuring the parameters of electromagnetic emissions, recognizing their protocols, and automatically classifying them requires appropriate algorithms and a large amount of computing power. This is one of the directions for future work.

5. References

1. US Department of the Army, *Cyberspace operations and Electromagnetic Warfare FM 3-12*, (2021)
2. US Air Force, *Air Force Doctrine Publication 3-85, Electromagnetic Spectrum Operations*, (2023)
3. NATO, *Allied Administrative Publication AAP-6*, p.93, (2004)
4. NATO, *Electromagnetic warfare*, https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_80906.htm, (2023) (last visited 07.2025)
5. US Joint Chiefs of Staff, *Joint Electromagnetic Spectrum Operations JP 3-85*, (2020)
6. S. Spassov, K. Paraskov, P. Kokudeva, J. Petrov, *Concept of use and operational requirements for passive defense software-defined radar systems, ARTDEF*, p. II-105 – II-118, (2023)
7. H. Pirayesh, H. Zeng, *Jamming Attacks and Anti-Jamming Strategies in Wireless Networks: A Comprehensive Survey*, IEEE Comm. Surveys & Tutorials, **Vol. 24**, Issue: 2, (2022)
8. NATO, *Allied Joint Doctrine for Electronic Warfare AJP-3.6*, (2020)
9. R. Lackey, D. Upmal, *"Speakeasy: The Military Software Radio"*, IEEE Comm. Mag., (1995)
10. J. Mitola III, *"Software Radios: Survey, critical evaluation and future directions"*, IEEE Aerosp. and Electr. Syst. Mag., **Vol. 8**, Iss. 4, pp. 25, (1993)
11. J. Mitola III, *"The Software Radio Architecture"*, IEEE Comm. Mag., pp. 26–38, May (1995)
12. A. Margulies, J. Mitola III, *"Software Defined Radios: A Technical Challenge and a Migration Strategy"*, Proc. of the IEEE 5th Int. Symp. on Spread Spectrum Technologies, pp. 551–556, Sept. (1998)
13. Y. Sun, W. Wu., *Survey of Research on Application of Deep Learning in Modulation Recognition*, Wireless Pers. Comm., **133 (3)**, pp. 1483–1515, (2023)
14. KrakenSDR. *A phase-coherent software-defined radio with five RTL-SDRs*, <https://www.crowdsupply.com/krakenrf/krakensdr> (last visited 07.2025)
15. <https://github.com/MarcinWachowiak/gr-aoa> (last visited 07.2025)

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛЕВИТЕ КАМУФЛАЖНИ ОБЛЕКЛА. АНАЛИЗ ПО ПОКАЗАТЕЛИТЕ „ФИЗИОЛОГИЧНОСТ”

Николова Валентина¹, Янева Светлана²

Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аеродинамика – Българска академия на науките,

България, гр. София, бул. „Шипченски проход“ № 67 ¹

Технически Университет - София, бул. „Климент Охридски“ №8 ²

valya_g@abv.bg¹, svetlana_ianeve@tu-sofia.bg²

A RESEARCH THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF FIELD CAMOUFLAGE CLOTHING. ANALYSIS OF THE INDICATOR "PHYSIOLOGICAL PROPERTIES"

Nikolova Valentina¹, Yaneva Svetlana²

Institute of Metal Science, Equipment and Technology with Hydroaerodynamic Center at Bulgarian Academy of Sciences, 67 Shipchenski

Prohod Street, 1574 Sofia, Bulgaria ¹

Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria ²

valya_g@abv.bg¹, svetlana_ianeve@tu-sofia.bg²

Анотация: Докладът е част от поредица, разглеждаща изследване проведено сред бойци от българския контингент на сухопътните войски, участвали в операция по поддържане на мира в Афганистан, относно функционалните характеристики на използваните от тях полеви камуфлажни облекла. В доклада са представени резултатите от извършения анализ относно физиологичните свойства на облеклата. Анализът е направен на база на събраните и обработени данни от анкетни карти, попълнени от бойците.

Ключови думи: СУХОПЪТНИ ВОЙСКИ, ПОЛЕВО КАМУФЛАЖНО ОБЛЕКЛО, АФГАНИСТАН, АНАЛИЗ, ФИЗИОЛОГИЧНИ СВОЙСТВА НА ОБЛЕКЛАТА

Abstract: The report is part of a series examining the research conducted among soldiers from the Bulgarian contingent of the ground forces, who participated in the peacekeeping operation in Afghanistan, regarding the functional characteristics of the field camouflage clothing they used. The report presents the results of the performed analysis regarding the physiological properties of the clothing. The analysis is based on the collected and processed data from the questionnaires filled out by the soldiers.

Key words: GROUND FORCES, FIELD CAMOUFLAGE CLOTHING, AFGHANISTAN, ANALYSIS, PHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF THE CLOTHING

1. Въведение

Настоящия доклад е част от поредица доклади [1-6], разглеждащи изследване проведено сред бойци от българския контингент на сухопътните войски, участвали в операция по поддържане на мира в Афганистан, които за целите на настоящото изследване се явяват извадка от генералната съвкупност (бойците от сухопътните войски, участващи в операции по поддържане на мира в Афганистан за всички периоди). Анкетирани са общо 329 бойци от сухопътни войски, мъже и жени, изпълняващи различни задачи – патрулиращи, щабна дейност и др. (логистични дейности и поддръжка на техниката). От тях 116 бойци от базата, намираща се в гр. Кабул и 214 бойци от базата в гр. Кандахар. Същите са попълнили доброволно предварително раздадена им анкетна карта.

Обобщените резултати от направените до момента анализи показват, че има значително голям процент отрицателни отговори относно функционалността на новото полево камуфлажно облекло. Това налага извършването на по-задълбочен анализ на резултатите от анкетните карти с цел установяване на зависимостите на отговорите от някои качествени променливи, както и да бъде направена оценка на характеристиките на облеклата по определени показатели.

Определени са две качествени променливи:

- качествена променлива „пол“ – мъже и жени;

- качествена променлива „изпълнявани задачи“ – щабни дейности, патрулиране, други, комбинация от задачи.

Функционалните характеристики на изследваните полеви камуфлажни облекла ще бъдат оценени по следните показатели:

- ергономични свойства;
- физиологични свойства;
- маскировъчни свойства;
- физикомеханични, химичните и др. показатели на облеклата и тъканите.

За всеки от определените показатели са въведени критерий, по които да бъде извършена дадената оценка. Въведените критерии са зададени като допълнителни въпроси на анкетираните бойци.

В процеса на анализа при проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи [7] по всеки от въведените критерии са извършени следните действия:

- Дефиниране на хипотези (определяне на нулева хипотеза H_0 и алтернативна хипотеза H_1) за всеки от разглежданите критерии.
- H_0 - мнението на бойците изпълняващи различни задачи не се различава, т.е. не е в зависимост от изпълняваните задачи;

- H_1 - мнението на бойците изпълняващи различни задачи се различава, т.е. е в зависимост от изпълняваните задачи.
- Избор на нивото на значимост - $\alpha = 0,05$.
- Метод на проверка - χ^2 :
- Проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимост между отговорите на бойците от изпълняваните от тях задачи;
- Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимост между отговорите на бойците изпълняващи патрулиране и тези на бойците изпълняващи „различни задачи“.
- Анализ на получените резултати.
- Извеждане на изводи.

В настоящия доклад са показани таблично и графично резултатите от направения анализ и изведените изводи по определените критерии за показателя „физиологичност“.

2. Анализ по показателя „физиологичност“

Задачата на анализа е да се установи зависимостта между бойците изпълняващи „различни задачи“, като елементи на качествената променлива „изпълнявани задачи“ и физиологичните показатели на облеклото. По разглеждания показател качествена променлива „пол“ не се отчита.

За да се отговори на поставените задачи, са дефинирани следните пет критерия за определяне на физиологичните изисквания на облеклото.

- **Кр.1.** Запазване на телесната температура в студено време и силен вятър;
- **Кр.2.** Полушубата и клинът осигуряват комфорт при изпълнение на напрегнати физически дейности (бързо отвеждане на пот);
- **Кр.3.** Осигуряване на надеждна защита при валежи от дъжд;
- **Кр.4.** Има ли усещане за дискомфорт при контакт на облеклата непосредствено с кожата;
- **Кр.5.** Усещане за твърдост на яката на ризата и шубата. Възникване на кожни раздразнения.

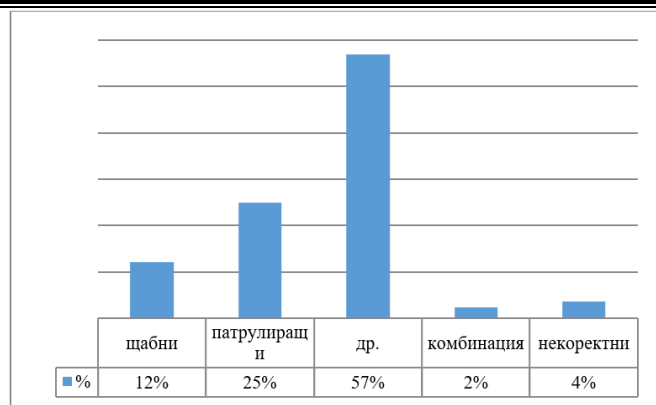
Дефинираните критерии са зададени на бойците под формата на въпроси. Отговорите са анализирани и са изведени изводи.

2.1. Зависимост между качествената променлива „изпълнявани задачи“ и показателя „физиологичност“ на облеклото

От участвалите в анкетата 329 бойци от сухопътните войски, 40 (12%) са изпълнявали щабни дейности; 82-ма (25%) - патрулиране; 187 (57%) - други дейности (логистични дейности, обслужване на техниката); 8 (2%) са извършвали комбинация от задачи; 12 бойци (4%) - не са посочили вида на изпълняваните от тях задачи и не са включени в анализа.

Така общият брой на анализирани анкетни карти [8] е 317. По някои от критериите общият брой на анкетирани намалява, поради неадекватни отговори от бойците на съответните въпроси.

На фиг. 1 е представено графично процентното съотношение на бойците в зависимост от изпълняваните от тях задачи.



Фиг. 1. Процентно съотношение на бойците в зависимост от изпълняваните задачи

2.1.1. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ПЪРВИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

В Табл. 1 са представени отговорите на бойците по първи критерии за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 1

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Запазване на телесната температура в студено време и силен вятър	31	7	48	34	148	31	7	1	307

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода стойността χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 19,4349$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че запазването на телесната температура в студено време и силен вятър от полеовото облекло се възприема различно от бойците и е в зависимост от изпълняваните от тях задачи.

В табл. 2 са представени обобщените отговори по първи критерии за допълнителна проверка.

Табл. 2.

Наименование	Различни задачи		Патрулиращи		Всичко
	да	не	да	не	
Запазване на телесната температура в студено време и силен вятър	187	38	48	34	307

Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на бойците изпълняващи патрулиране и бойците изпълняващи „различни задачи“.

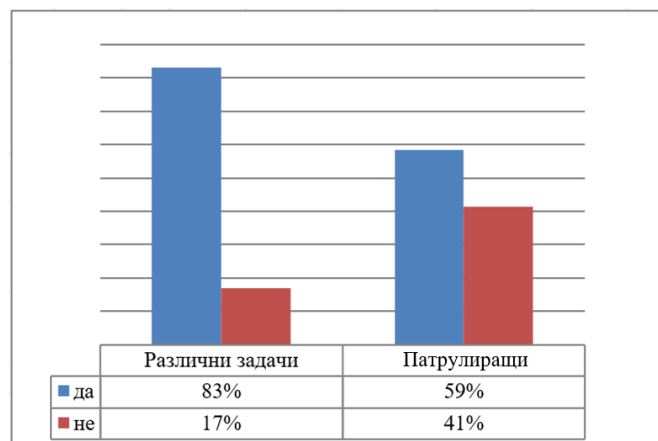
В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степен на свобода, стойността за χ^2 е 3,8415. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 20,216$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че запазването на телесната температура в студено време и силен вятър от полеовото облекло, се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и патрулиращите бойци.

Възприемането на облеклото по първи критерий от бойците изпълняващи „различни задачи“ е оценено с 83% положителни отговори и с 17% отрицателни. Патрулиращите бойци са дали 59% положителни отговори и 41% -

отрицателните. Като цяло мнението по този критерий е положително.

На фиг. 2 графично е изобразено процентното разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите „различни задачи“.



Фиг.2. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите различни задачи по първи критерий

2.1.2. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ВТОРИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

В Табл. 3 са представени отговорите на бойците по втори критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 3.

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Полушубата и клинът осигуряват комфорт при изпълнение на напрегнати физически дейности (бързо отвеждане на пот)	24	13	43	39	122	58	5	3	307

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 5,74987$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че осигуряването на комфорт от полушубата и панталона при изпълнение на напрегнати физически дейности, не се оценява различно от бойците.

В табл. 4 са представени обобщените отговори по втори критерий за допълнителна проверка.

Табл. 4.

Наименование	Различни		Патрулиращи		Всичко
	да	не	да	не	
Полушубата и клинът осигуряват комфорт при изпълнение на напрегнати физически дейности (бързо отвеждане на пот)	151	74	43	39	307

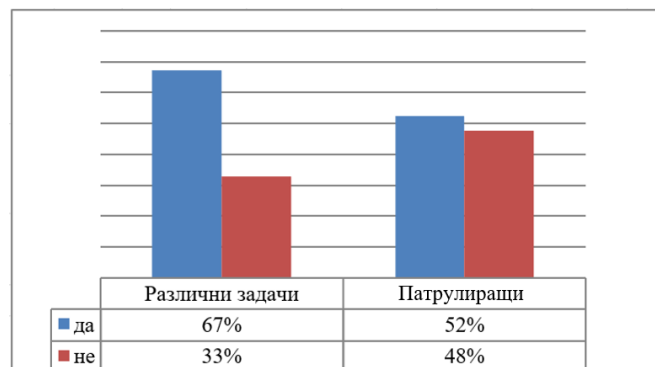
Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на бойците изпълняващи патрулиране и бойците изпълняващи „различни задачи“:

В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степени на свобода стойността за χ^2 е 3,8415. Получената в резултат на теста

стойност $\chi^2 = 5,562$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че осигуряването на комфорт от полушубата и панталона при изпълнение на напрегнати физически дейности, се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и от патрулиращите бойци.

От фиг. 3 става видно, че по този критерий, бойците изпълняващи „различни задачи“ са дали 67% положителни отговори и 33% - отрицателни, докато отговорите на патрулиращите бойци са 52% положителни и 48% - отрицателни. Като цяло мнението по този критерий е положително.



Фиг.3. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите различни задачи по втори критерий

2.1.3. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ТРЕТИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

В Табл. 5 са представени отговорите на бойците по трети критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 5.

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Осигуряване на надеждна защита при валежи от дъжд	26	14	47	35	144	37	7	1	311

В този разглеждания случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 15,832$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 -тест може да се заключи, че осигуряването на надеждна защита при валежи от дъжд от полеовото облекло, се оценява различно от бойците и е в зависимост от изпълняваните задачи.

В табл. 6 са представени обобщените отговори по трети критерий за допълнителна проверка.

Табл. 6.

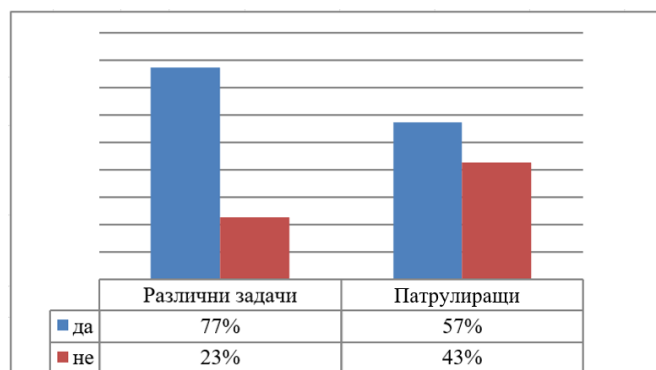
Наименование	чни		Патрулиращи		Всичко
	да	не	да	не	
Осигуряване на надеждна защита при валежи от дъжд	177	52	47	35	311

Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на бойците изпълняващи патрулиране и бойците изпълняващи „различни задачи“:

В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степен на свобода, стойността за χ^2 е 3,8415. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 11,9574$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че надеждната защита на облеклото при валежи от дъжд, се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и от патрулиращите бойци.

Възприемането на облеклото по трети критерий от бойците изпълняващи различни задачи е 77% положително и 23% отрицателно. Патрулиращите бойци са с 57% положителни отговори и с 43% отрицателни (фиг. 4). Като цяло мнението по този критерий е положително.



Фиг.4. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите различни задачи по трети критерий

2.1.4. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ЧЕТВЪРТИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

В Табл. 7 са представени отговорите на бойците по четвърти критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 7.

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Имали усещане за дискомфорт при контакт на облеклата непосредствено с кожата	8	31	68	11	11	174	3	5	311

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 174,607$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза е отхвърлена.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че усещането за дискомфорт при контакт на облеклото непосредствено с кожата се оценява различно от бойците и е в зависимост от изпълнявани задачи.

В табл. 8 са представени обобщените отговори по трети критерий за допълнителна проверка.

Табл. 8.

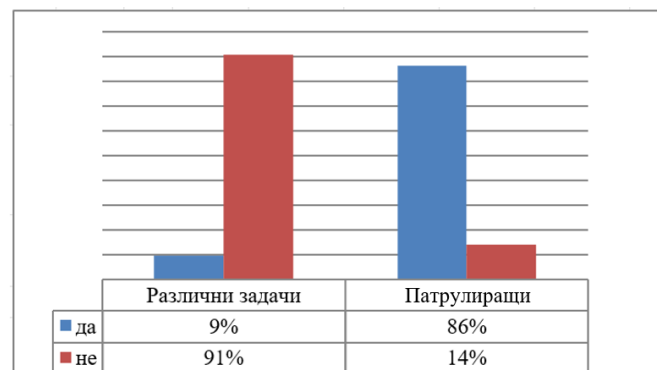
Наименование	Различни задачи		Патрулиращи		Всичко
	да	не	да	не	
Имали усещане за дискомфорт при контакт на облеклата непосредствено с кожата	22	210	68	11	311

Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на бойците изпълняващи патрулиране и бойците изпълняващи „различни задачи“:

В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степен на свобода стойност за χ^2 е 3,8415. Получената стойност в резултат на теста $\chi^2 = 168,1207$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че усещането за дискомфорт при контакт на облеклото непосредствено с кожата се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и патрулиращите бойци.

По този критерий 9% от бойци изпълняващи „различни задачи“ са дали положителна оценка и 91% - отрицателна, т.е., че не усещат дискомфорт. При патрулиращите бойци отговорите са 86% положителни и 14% отрицателни (фиг.5). Като цяло мнението по този критерий е положително за бойците изпълняващи „различни задачи“ и отрицателно за патрулиращите.



Фиг.5. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите различни задачи по четвърти критерий

2.1.5. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ПЕТИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

В Табл. 9 са представени отговорите на бойците по пети критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 9.

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Усещане за твърдост на яката на ризата и шубата. Възникване на кожни раздразнения	9	31	23	59	31	156	2	6	317

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 4,8292$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че усещането за твърдост на яката на ризата и полушубата и възникване на кожни раздразнения се оценява еднакво от бойците.

В табл. 10 са представени обобщените отговори по пети критерии за допълнителна проверка.

Табл. 10.

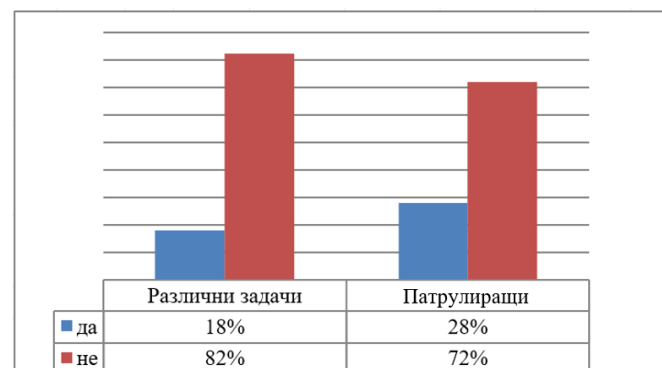
Наименование	Различни задачи		Патрулиращи		Всичко
	да	не	да	не	
Усещане за твърдост на яката на ризата и шубата. Възникване на кожни раздразнения	42	193	23	59	317

Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на бойците изпълняващи патрулиране и бойците изпълняващи „различни задачи“:

В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степен на свобода стойността за χ^2 е 3,8415. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 3,69$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

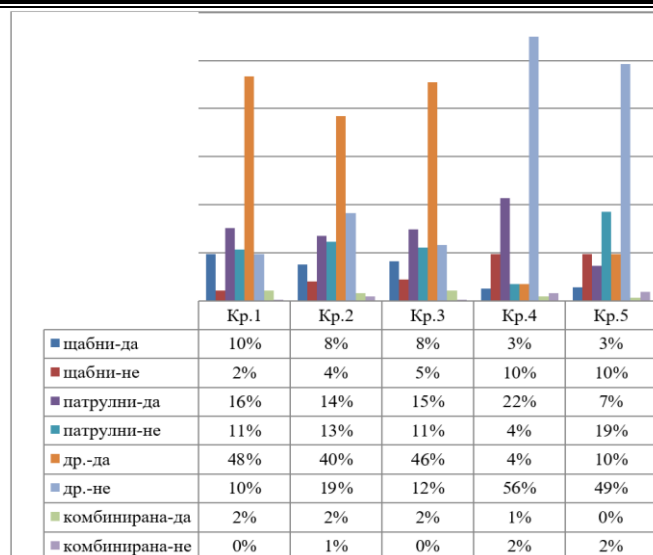
Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че усещането за твърдост на яката на ризата и полушубата и възникването на кожни раздразнения, не се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и патрулиращите бойци.

От фиг. 6 става видно, че 82% от бойците изпълняващи „различни задачи“ и 72% от патрулиращите бойци не са имали усещане за твърдост на яката на ризата и полушубата и при тях не са възниквали кожни раздразнения. Мнението по този критерий е положително.



Фиг. 6. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите различни задачи по пети критерий

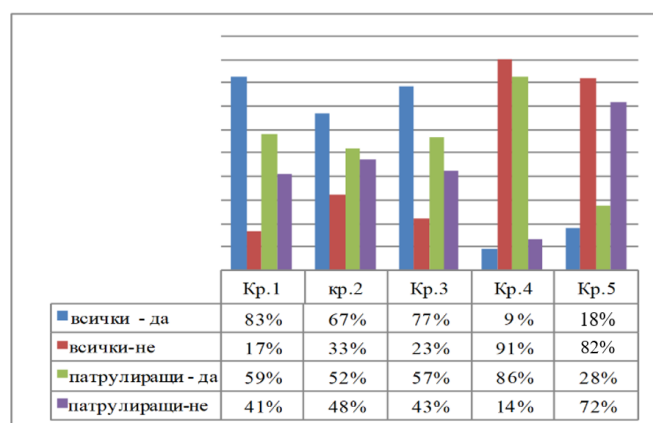
Мнението на анкетирания изпълняващи различни задачи – шабни, патрулиращи, др. комбинация от задачи, се различава относно конструкцията, комфорта, удобството или общо ергономичността на полеовото камуфлажно облекло, което става видно и от графиката представена на фиг. 7.



Фиг. 7. Процентно разпределение на мненията на анкетирания по дефинираните критерии в зависимост от изпълняваните задачи

*Забележка: Процентният сбор по критерии може да се различава от 100, поради закръглянето да цяло число на процентите на отговорите по изпълняваните задачи)

На фиг. 8 графично и таблично е представено процентното съотношение на отговорите дадени от изпълняващите „различни задачи“, условно записани като „всички“ и тези на патрулиращите бойци за всеки от дефинираните пет критерия.



Фиг. 8. Съпоставка на мненията на изпълняващите „различни задачи“, условно записани като „всички“ към тези на патрулиращите бойци

3. Заключение

На база на направеното проучване и анализ на събраните данни по отношение на физиологичните показатели на полеовото камуфлажно облекло могат да бъдат изведени следните общи изводи:

По отношение на свойствата на полеовото облекло да запазва телесната температура в студено време и силен вятър бойците изпълняващи „различни задачи“ изразяват с 23% повече положителна оценка, отколкото патрулиращите бойци.

Бойците изпълняващи „различни задачи“, които са на мнение, че полушубата и клинът осигуряват комфорт при изпълнение на напрегнати физически дейности и адекватно „отвеждат“ отделената пот са с 15% повече от патрулиращите бойци, който са на същото мнение.

С 20% повече са бойците, изпълняващи „различни задачи“ считати, че полеовото облекло им осигурява надеждна защита при валежи от дъжд в сравнение с патрулиращите бойци.

Преобладаващото мнение на бойците изпълняващи „различни задачи“ е, че нямат усещане за дискомфорт при контакт на облеклото непосредствено с кожата, докато това на патрулиращите е противоположно, т.е. те съобщават за усещане за дискомфорт.

Общото мнение на всички бойците е, че нямат усещане за твърдост на яката на ризата и полушубата и не възникват кожни раздразнения от тях. При бойците изпълняващи патрулиране процентът на положителните отговори е с 11% по-голям, т.е. при тях усещането за твърдост на яките е по-голямо и кожните раздразнения са по-често срещани.

Като цяло по всички зададени критерии патрулиращите бойци са по-малко удовлетворени, от физиологичните показатели на полеовото облекло, в сравнение с бойците изпълняващи „различни задачи“, като по четвърти критерии дори са неудовлетворени.

Отчетена е необходимост от внасяне на корекции в състава на тъканите и в конструкцията на изследваното полево облекло, с цел подобряване на физиологичните му показатели, както и задоволяване на нуждите на патрулиращите бойци, в съответствие със спецификата на изпълняваните от тях задачи.

8. Литература

1. Nikolova V., Yaneva S., Requirements to field camouflage clothing arising from the characteristics of the battle environment and the tasks performed, Proceedings of ISC "Technics. Technologies. Education. Safety. 2023", Year VII, Issue 1 (16), June 2023, Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.123-126
2. Nikolova V., Yaneva S., Main concepts and theoretical statements in statistics used in a research the functional characteristics of field camouflage clothings, ISC "Technics. Technologies. Education. Safety. 2023", Year VII, Issue 1 (16), June 2023, Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.127-129
3. Nikolova V., Yaneva S., Research the functional characteristics of field camouflage clothing. Methodology for processing and analysis of survey cards, Proceedings of VII International Scientific Conference CONFSEC, Year 7, ISSUE 1 (9), December 2023, Sofia, Industry-4.0, ISSN (print) 2603-2945, ISSN (online) 2603-2953, p.82-85
4. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Environmental conditions, object and method of the research, Proceedings of VII International Scientific Conference CONFSEC, Year 7, ISSUE 1 (9), December 2023, Sofia, Industry-4.0, ISSN (print) 2603-2945, ISSN (online) 2603-2953, p.76-81
5. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of survey cards, Proceedings of XII International scientific conference "Technics. Technologies. Education. Safety. 2024" September 2024, Varna, Bulgaria, Year VIII, Issue 1 (17), Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.146-152
6. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of the indicator "ergonomics", Proceedings of VIII International Scientific Conference CONFSEC, 09-12 December 2024, Borovets, Bulgaria, Year 8, ISSUE 1 (10), Publisher: Scientific Technical Union Of Mechanical Engineering Industry-4.0, Sofia, ISSN (PRINT) 2603-2945, ISSN (ONLINE) 2603-2953, p.87-94
7. Въндев, Д., Записки по Приложна статистика 1, СУ „Св. Кл. Охридски“, Факултет по математика и информатика, Вероятности, Операционни изследвания и Статистика, София, 2002
8. 329 бр. анкетни карти

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛЕВИТЕ КАМУФЛАЖНИ ОБЛЕКЛА.

АНАЛИЗ ПО ПОКАЗАТЕЛИ - МАСКИРОВЪЧНИ, ФИЗИКОМЕХАНИЧНИ И ХИМИЧНИ СВОЙСТВА

Николова Валентина¹, Янева Светлана²

Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аеродинамика – Българска академия на науките,

България, гр. София, бул. „Шипченски проход“ № 67¹

Технически Университет - София, бул. „Климент Охридски“ №8²

valya_g@abv.bg¹, svetlana_ianeveva@tu-sofia.bg²

A RESEARCH THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF FIELD CAMOUFLAGE CLOTHING.

ANALYSIS OF THE INDICATORS - CAMOUFLAGE, PHYSICOMECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Nikolova Valentina¹, Yaneva Svetlana²

Institute of Metal Science, Equipment and Technology with Hydroaerodynamic Center at Bulgarian Academy of Sciences, 67 Shipchenski

Prohod Street, 1574 Sofia, Bulgaria¹

Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria²

valya_g@abv.bg¹, svetlana_ianeveva@tu-sofia.bg²

Анотация: Докладът е част от поредица, разглеждаща изследване проведено сред бойци от българския контингент на сухопътните войски, участвали в операция по поддържане на мира в Афганистан, относно функционалните характеристики на използваните от тях полеви камуфлажни облекла. В доклада са представени резултатите от извършения анализ относно маскировъчните, физикомеханични и химични свойства на облеклата. Анализът е направен на база на събраните и обработени данни от анкетни карти, попълнени от бойците.

Ключови думи: СУХОПЪТНИ ВОЙСКИ, ПОЛЕВО КАМУФЛАЖНО ОБЛЕКЛО, АФГАНИСТАН, АНАЛИЗ, МАСКИРОВЪЧНИ, ФИЗИКОМЕХАНИЧНИ И ХИМИЧНИ СВОЙСТВА

Abstract: The report is part of a series examining the research conducted among soldiers from the Bulgarian contingent of the ground forces, who participated in the peacekeeping operation in Afghanistan, regarding the functional characteristics of the field camouflage clothing they used. The report presents the results of the performed analysis regarding the camouflage, physicomachanical and chemical properties of the clothing. The analysis is based on the collected and processed data from the questionnaires filled out by the soldiers.

Keywords: GROUND FORCES, FIELD CAMOUFLAGE CLOTHING, AFGHANISTAN, ANALYSIS, CAMOUFLAGE, PHYSICOMECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

1. Въведение

Настоящия доклад е част от поредица доклади [1-7], разглеждащи изследване проведено сред бойци от българския контингент на сухопътните войски, участвали в операция по поддържане на мира в Афганистан, които за целите на настоящото изследване се явяват извадка от генералната съвкупност (бойците от сухопътните войски, участващи в операции по поддържане на мира в Афганистан за всички периоди). Анкетирани са общо 329 бойци от сухопътни войски, мъже и жени, изпълняващи различни задачи – патрулиращи, щабна дейност и др. (логистични дейности и поддръжка на техниката). От тях 116 бойци от базата, намираща се в гр. Кабул и 214 бойци от базата в гр. Кандахар. Същите са попълнили доброволно предварително раздадена им анкетна карта.

Обобщените резултати от направените до момента анализи показват, че има значително голям процент отрицателни отговори относно функционалността на новото полево камуфлажно облекло. Това налага извършването на по-задълбочен анализ на резултатите от анкетните карти с цел установяване на зависимостите на отговорите от някои качествени променливи, както и да бъде направена оценка на характеристиките на облеклата по определени показатели.

Определени са две качествени променливи:

- качествена променлива „пол“ – мъже и жени;
- качествена променлива „изпълнявани задачи“ – щабни дейности, патрулиране, други, комбинация от задачи.

Функционалните характеристики на изследваните полеви камуфлажни облекла ще бъдат оценени по следните показатели:

- ергономични свойства;
- физиологични свойства;
- маскировъчни свойства;
- физикомеханични, химичните и др. показатели на облеклата и тъканите.

За всеки от определените показатели са въведени критерий, по които да бъде извършена дадената оценка. Въведените критерии са зададени като допълнителни въпроси на анкетирания бойци.

В процеса на анализа при проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи [8] по всеки от въведените критерии са извършени следните действия:

- Дефиниране на хипотези (определяне на нулева хипотеза H_0 и алтернативна хипотеза H_1) за всеки от разглежданите критерии.

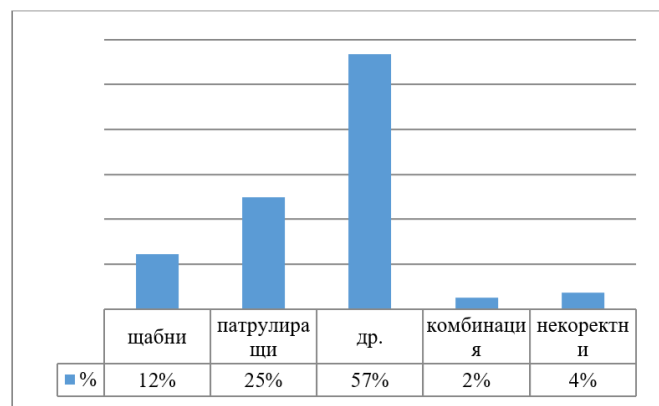
- H_0 - мнението на бойците изпълняващи различни задачи не се различава, т.е. не е в зависимост от изпълняваните задачи;
- H_1 - мнението на бойците изпълняващи различни задачи се различава, т.е. е в зависимост от изпълняваните задачи.
- Избор на нивото на значимост - $\alpha = 0,05$.
- Метод на проверка - χ^2 :
- Проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимост между отговорите на бойците от изпълняваните от тях задачи;
- Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимост между отговорите на бойците изпълняващи патрулиране и тези на бойците изпълняващи „различни задачи“.
- Анализ на получените резултати.
- Извеждане на изводи.

В настоящия доклад са показани таблично и графично резултатите от направения анализ и изведените изводи по определените критерии за показателите маскировъчни, физикомеханични и химични свойства.

От участвалите в анкетата [9], 329 бойци от сухопътните войски, 40 (12%) са изпълнявали щабни дейности; 82-ма (25%) - патрулиране; 187 (57%) - други дейности (логистични дейности, обслужване на техниката); 8 (2%) са извършвали комбинация от задачи; 12 бойци (4%) - не са посочили вида на изпълняваните от тях задачи и не са включени в анализа.

Така общият брой на анализирания анкетни карти е 317. По някои от критериите общият брой на анкетирания намалява, поради недадени отговори от бойците на съответните въпроси.

На фиг. 1 е представено графично процентното съотношение на бойците в зависимост от изпълняваните от тях задачи.



Фиг. 1. Процентно съотношение на бойците в зависимост от изпълняваните задачи

2. Анализ по показателя „маскировъчни свойства“

Задачата на анализа е да се установи зависимостта между бойците изпълняващи „различни задачи“, като елементи на качествената променлива „изпълнявани задачи“ и маскировъчните свойства на облеклото. По разглеждания показател качествена променлива „пол“ не е от значение и не се отчита.

За да се отговори на поставените задачи, са дефинирани следните три критерия за определяне на маскировъчните свойства на облеклото.

- **Кр.1.** Издаване на демаскиращи шумове при движение.

- **Кр.2.** Предизвикване на отблясъци при слънчево греење.

- **Кр.3.** Създаване на статично електричество.

Дефинираните критерии са зададени на бойците под формата на въпроси. Отговорите са анализирани и са изведени изводи.

2.1. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ПЪРВИ КРИТЕРИЙ за качествена променлива „изпълнявани задачи“

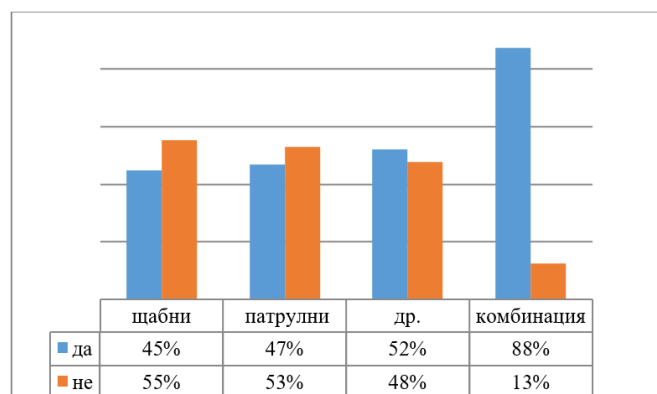
В Табл. 1 са представени отговорите на бойците по първи критерии за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 1

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация от работи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Издаване на демаскиращи шумове при движение	17	21	38	43	97	89	7	1	313

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 5,4954$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се направи извода, че при движение възникването на демаскиращи шумове от полевото облекло, се оценява еднакво от бойците изпълняващи различни задачи. Повече от половината бойци изпълняващи други дейности (52%) считат, че камуфлажното облекло издава демаскиращи шумове при движение. Такова е мнението и на 88% от бойците изпълняващи комбинация от дейности. От изпълняващи щабни дейности 45% са на същото мнение, а от патрулиращите - 47% (Фиг.2). С оглед на получените резултати и данните представени на Фиг. 1. и Фиг. 2. оценката по този критерии може да се приеме за отрицателна.



Фиг.2. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните задачи по първи критерий

2.2. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ВТОРИ КРИТЕРИЙ

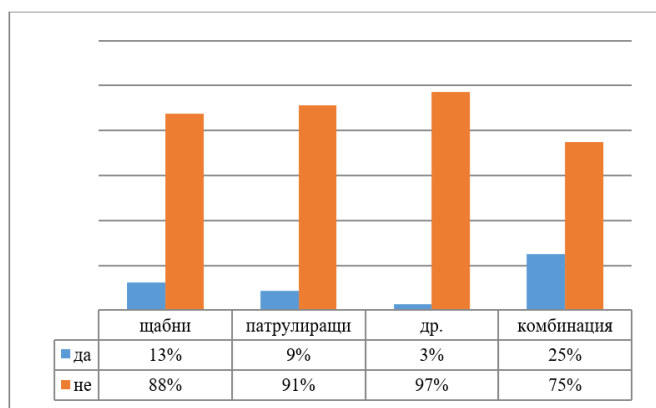
В Табл. 2 са представени отговорите на бойците по втори критерии за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 2

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. дейност		Комбинация от работи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Предизвикване на отблясъци при слънчево греење	5	35	7	74	5	180	2	6	314

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойност за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 2,5846$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че предизвикването на отблясъци от полеовото облекло при слънчево греење не се оценява различно от бойците изпълняващи различни задачи. От фиг. 3 става видно, че преобладаващата част от бойците, независимо от изпълняваните задачи, са на мнение, че полевите облекла не предизвикват отблясъци при слънчево греење, следователно мнението по този критерий може да се приеме за положително.



Фиг.3. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по втори критерий

2.3. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ТРЕТИ КРИТЕРИЙ

В Табл. 3 са представени отговорите на бойците по трети критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

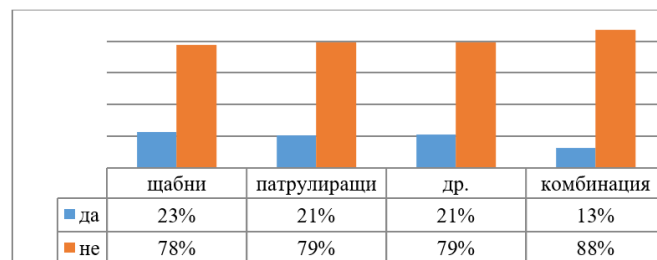
Табл. 3

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация от задачи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Облеклата предизвикват ли статично електричество (наелектризиране)	9	31	17	65	39	148	1	7	317

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 0,04049$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се приеме, че възникването на статично електричество от полеовото облекло се оценява еднакво от бойците изпълняващи различни задачи. От фиг.4 става видно, че преобладаващата част от бойците, (78% от изпълняващите щабни дейности, 79% от патрулиращите, 79% от бойците изпълняващи други задачи и 88% от бойците изпълняващи комбинация от задачи) са на мнение, че полевите облекла не предизвикват статично

електричество, следователно мнението по този критерий може да се приеме за положително.



Фиг.4. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по трети критерий

3. Анализ по показателя „физикомеханични и химични свойства“ на облеклото

Задачата на анализа е да се установи зависимостта между бойците изпълняващи „различни задачи“, като елементи на качествена променлива „изпълнявани задачи“ и физикомеханичните и химични свойства на облеклото. По разглеждания показател качествена променлива „пол“ не е от значение и не се отчита.

За да се отговори на поставените задачи, са дефинирани следните четири критерия за определяне на и физикомеханичните и химични свойства на облеклото.

- **Кр.1.** Наличие на бързо претриване на тъканите в определени участъци.
- **Кр.2.** Достатъчна здравина на шевове и съединителните елементи (ципове, лепящи ленти, копчета, шнурове, илици и др.).
- **Кр.3.** Наличие на извършван „ремонт“ на полеовото облеклото.
- **Кр.4.** Наличие на свойството „негоримост“.

Дефинираните критерии са зададени на бойците под формата на въпроси. Отговорите са анализирани и са направени изводи.

3.1. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ПЪРВИ КРИТЕРИЙ

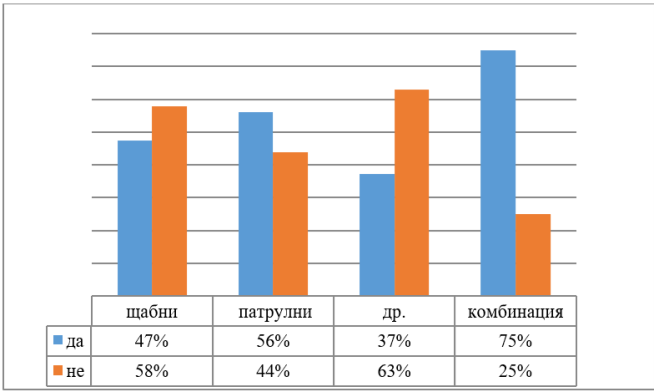
В Табл. 4 са представени отговорите на бойците по първи критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 4

Наименование	Щабни задачи		Патрулиращи		Др. задачи		Комбинация от задачи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Бързо претриване на тъканите в определени участъци	18	22	46	36	68	115	6	2	313

В този разглеждан случай степените на свобода са 3. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 11,4769$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се направи извод, че бързото претриване на тъканите в определени участъци се оценява различно от бойците изпълняващи различни задачи. 56% от патрулиращите бойци и 75% от бойците, изпълняващи комбинация от задачи са на мнение, че полеовото камуфлажно облекло бързо се претрива в определени участъци. На обратното мнение са 58% от бойците изпълняващи щабни дейности и 63% от тези, изпълняващи други задачи (Фиг.5).



Фиг.5. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по първи критерий

В табл. 5 са представени обобщените отговори по първи критерии за допълнителна проверка.

Табл. 5

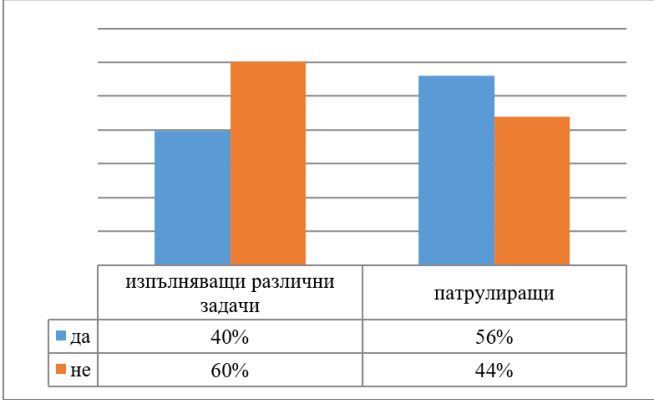
Наименование	Различни задачи		Патрулиране		Всичко
	да	не	да	не	
Бързо претриване на тъканите в определени участъци	92	139	46	36	313

Допълнителна проверка за стойността на χ^2 при търсене на зависимостта на патрулиращите бойци и бойците изпълняващи „различни задачи“.

В този разглеждан случай степента на свобода е 1. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с една степен на свобода, стойността за χ^2 е 3,8415. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 6,4993$ за извадката е по-голяма от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се направи извода, че бързото претриване на тъканите в определени участъци се оценява различно от бойците изпълняващи „различни задачи“ и патрулиращите бойци.

Повече от половината от патрулиращите бойци - 56% и 40% от бойците изпълняващи „различни задачи“ са на мнение, че тъканите на полеовото камуфлажно облекло се претриват бързо в определени участъци. Вероятната причина за така дадените отговори е повишената физическа дейност на патрулиращите бойци. На фиг. 5 графично е изобразено процентното разпределение на мненията на патрулиращите и изпълняващите „различни задачи“.



Фиг.6. Процентно разпределение на мненията на патрулиращите и на бойците изпълняващи „различни задачи“ по първи критерий

3.2. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ВТОРИ КРИТЕРИЙ

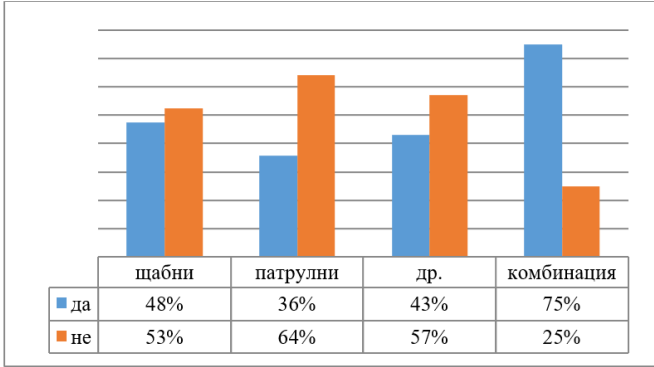
В Табл. 6 са представени отговорите на бойците по втори критерии за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

Табл. 6

Наименование	Щабни задачи		Патрулиране		Др. задачи		Комбинация от задачи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Здравина на шевове и съединителните елементи (ципове, лепленти, копчета, шнурове, илици и др.)	19	21	29	52	80	106	6	2	315

При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 5,3722$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че здравината на шевове и съединителните елементи на облеклото се оценява еднакво от бойците изпълняващи различни задачи. От фиг.7 става видно, че по-голямата част от бойците (съответно 53% от тези изпълняващи щабни дейности, 64% от патрулиращите и 57% от бойците изпълняващи други дейности) са на мнение, полеовото камуфлажно облекло не притежава достатъчна здравина на шевове и съединителните елементи. 75% от бойците изпълняващи комбинация от дейности са на обратното мнение, тъй като бойците изпълняващи комбинация от задачи се явяват само 2% от цялата извадка (фиг. 1), то в случая тяхното мнение може да не бъде взето под внимание. В резултат, на което може да заключим, че мнението на анкетирания бойци по този критерий е по-скоро негативно.



Фиг.7. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по втори критерий

3.3. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ТРЕТИ КРИТЕРИЙ

В Табл. 7 са представени отговорите на бойците по трети критерии за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

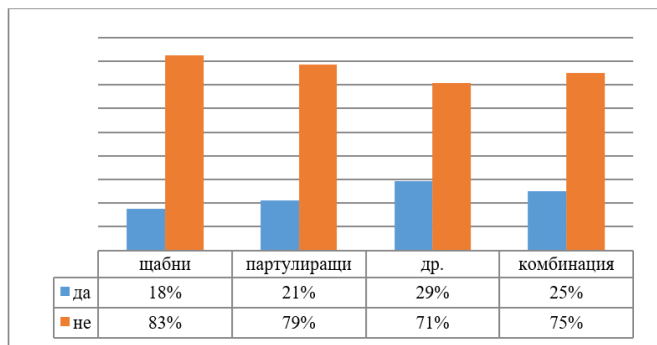
Табл. 7

Наименование	Щабни задачи		Патрулиране		Др. задачи		Комбинация от задачи		Всичко
	да	не	да	не	да	не	да	не	
Извършван ли е ремонт на бойното облеклото	7	33	17	63	54	131	2	6	313

При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с три степени на свобода, стойността за χ^2 е 7,8147. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 3,4289$ за извадката е по-малка от стойността на

χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че извършването на ремонт на полево облекло се оценява еднакво от бойците изпълняващи различни задачи. От фиг. 8 става видно, че преобладаващата част от анкетираните бойци (съответно 83% от тези изпълняващи шабни дейности, 79% от патрулиращите, 71% от бойците изпълняващи други дейности и 75% от тези, изпълняващи комбинация от дейности) не са извършвали „ремонт“ на полево си облекло. Следователно мнението по този критерий може да бъде прието за положително.



Фиг.8. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по трети критерий

3.4. Проверка на статистическа хипотеза относно независимостта на разпределенията на случайните променливи по ЧЕТВЪРТИ КРИТЕРИЙ

В Табл. 8 са представени отговорите на бойците по четвърти критерий за качествена променлива „изпълнявани задачи“.

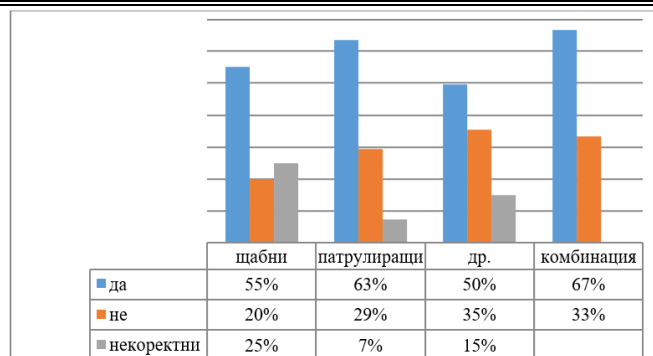
Табл. 8

Наименование	Шабни задачи			Патрулиране			Др. задачи			Комбинация от задачи			Всичко
	да	не	нек.	да	не	нек.	да	не	нек.	да	не	нек.	
Свойството "Негоримост"	22	8	10	52	24	6	93	66	28	4	2	2	317

В този разглеждан случай степените на свобода са 8. При ниво на значимост $\alpha = 0,05$ с осем степени на свобода стойността за χ^2 е 15,5073. Получената в резултат на теста стойност $\chi^2 = 11,3676$ за извадката е по-малка от стойността на χ^2 за приетото ниво на значимост. Следователно нулевата хипотеза не се отхвърля.

Въз основа на проведения χ^2 тест може да се заключи, че наличието на свойството „негоримост“ на полевите облекла се оценява еднакво от бойците изпълняващи различни задачи. От фиг. 8 става видно, че преобладаващото мнение на анкетираните бойци е, че полево облекло притежава свойството „негоримост“. Около 1/3 от анкетираните са на обратното мнение. Тук се забелязва и голям процент не попълнени отговори (отчетени като „некоректни“ на фиг. 9). Като причина за не дадени отговори по този въпрос бойците са посочили, че не се е налагало да тестват облеклата на такива условия и не могат да преценят.

На база на получените резултати мнението по този въпрос може да бъде прието за положително.



Фиг.9. Процентно разпределение на мненията на бойците в зависимост от изпълняваните по четвърти критерий

4. Заключение

На база на проведения анализ на данните получени от анкетните карти на бойците може да се заключи следното:

- По отношение на показателя „маскировъчни свойства“ на полево облекло:
 - Полево камуфлажно облекло издава демаскиращи шумове при движение;
 - Полево камуфлажно облекло не предизвиква отблясъци при слънчево греене;
 - Полево камуфлажно облекло не предизвиква възникване на статично електричество.
- По отношение на показателя „физикомеханични и химични свойства“ на облеклото:
 - Полево камуфлажно облекло се претрива бързо в определени участъци;
 - Полево камуфлажно облекло не притежава достатъчна здравина на шевове и съединителните елементи;
 - Полево камуфлажно облекло не е имало нужда от „ремонт“;
 - Полево камуфлажно облекло притежава свойството „негоримост“.

Анализът установи, че изследваното полево камуфлажно облекло има по-малка маса в сравнение с предходните облекла, но то не покрива основни функционални изисквания, поради което не е целесъобразно използването му като единно облекло за изпълнението на всички видове задачи, изпълнявани от сухопътните войски в рамките на операциите по поддържане на мира.

Авторите предлагат да се внесат корекции в конструкцията на изследваното полево камуфлажно облекло с елементи, които да задоволяват нуждите на патрулиращите бойци и жените; при проектиране на нови облекла да бъдат взети под внимание установените по време на анализа недостатъци по различните показатели; изследваното полево камуфлажно облекло да се използва само в определени условия, като за изпълнение на ежедневните дейности се разработи ново облекло от тъкани с по-високо съдържание на памук.

8. Литература

- Nikolova V., Yaneva S., Requirements to field camouflage clothing arising from the characteristics of the battle environment and the tasks performed, Proceedings of ISC "Technics. Technologies. Education. Safety. 2023", Year VII, Issue 1 (16), June 2023, Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.123-126

2. Nikolova V., Yaneva S., Main concepts and theoretical statements in statistics used in a research the functional characteristics of field camouflage clothings, ISC "Technics. Technologies. Education. Safety. 2023", Year VII, Issue 1 (16), June 2023, Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.127-129

3. Nikolova V., Yaneva S., Research the functional characteristics of field camouflage clothing. Methodology for processing and analysis of survey cards, Proceedings of VII International Scientific Conference CONFSEC, Year 7, ISSUE 1 (9), December 2023, Sofia, Industry-4.0, ISSN (print) 2603-2945, ISSN (online) 2603-2953, p.82-85

4. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Environmental conditions, object and method of the research, Proceedings of VII International Scientific Conference CONFSEC, Year 7, ISSUE 1 (9), December 2023, Sofia, Industry-4.0, ISSN (print) 2603-2945, ISSN (online) 2603-2953, p.76-81

5. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of survey cards, Proceedings of XII International scientific conference "Technics. Technologies. Education. Safety. 2024" September 2024, Varna, Bulgaria, Year VIII, Issue 1 (17), Industry-4.0, ISSN 2535-0315 (print), ISSN 2535-0323 (online), p.146-152

6. Nikolova V., Yaneva S., A research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of the indicator "ergonomics" Proceedings of VIII International Scientific Conference CONFSEC, 09-12 December 2024, Borovets, Bulgaria, Year 8, ISSUE 1 (10), Publisher: Scientific Technical Union Of Mechanical Engineering Industry-4.0, Sofia, ISSN (PRINT) 2603-2945, ISSN (ONLINE) 2603-2953, p.87-94

7. Nikolova V., Yaneva S., Research the functional characteristics of field camouflage clothing. Analysis of the indicator "physiological properties" Предстоящо публикуване 2025 г. в същото списание!

8. Въндев, Д., Записки по Приложна статистика 1, СУ „Св. Кл. Охридски“, Факултет по математика и информатика, Вероятности, Операционни изследвания и Статистика, СОФИЯ, 2002

9. 329 бр. анкетни карти

Взаимодействие на блокчейн с високите технологии в екосистемата на Сигурност 5.0

Interaction of Blockchain with Advanced Technologies in the Security 5.0 Ecosystem

Nikolay Radulov, Teodora Licheva
New Bulgarian University
n.stefanov5@gmail.com, teodora_licheffa@abv.bg

Summary: Blockchain technology is emerging as a foundational element of modern security systems, offering unique advantages through its core characteristics: decentralization, immutability, and transparency¹⁶⁷. Under the Security 5.0 framework, blockchain operates not in isolation but in synergy with other advanced technologies, forming an integrated ecosystem that redefines approaches to national and public security

Keywords: BLOCKCHAIN, SYNERGY, BIG DATA, INTELLIGENCE, COUNTERINTELLIGENCE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BIG DATA

1. Въведение

1.1. Фундаментални принципи на блокчейн в сигурността

Характеристики на блокчейн технологията: Децентрализация - елиминира централизираните точки на уязвимост; Криптографска защита - осигурява високо ниво на сигурност на данните; Неизменяемост - записаните данни не могат да бъдат манипулирани или подправени; Прозрачност - всички транзакции са видими за упълномощените участници; Консенсусни механизми: Гарантират валидността на записаните данни.

Приложения в сигурността: Защита на критична инфраструктура; Управление на дигитални идентичности; Проследяване на вериги за доставки; Защита на интелектуална собственост; Сигурен обмен на разузнавателна информация.

1.2. Синергия между блокчейн и други високи технологии

Блокчейн и Големи данни (Big Data). Механизми на взаимодействие - блокчейн осигурява надеждност и интегритет на събраните големи данни; Създава верифициран и непроменен одитен запис на всички транзакции - гарантира произхода и автентичността на данните; Позволява сигурно споделяне на данни между организации. Практически приложения: Разузнавателен анализ - създаване на неподправими записи на разузнавателна информация; Управление на сигурността на границите - проследяване и верифициране на трансгранични движения; Анализ на киберзаплахи: Споделяне на данни за атаки между различни организации без риск от компрометиране. Пример: Разузнавателните агенции в САЩ разработват система, базирана на блокчейн, наречена "Sentinel Chain"¹, която проследява и записва трансграничните движения на лица от интерес, като същевременно позволява сигурен обмен на разузнавателна информация между съюзнически държави, без да разкрива чувствителни методи за събиране на данни.

Блокчейн и Изкуствен интелект (AI). Механизми на взаимодействие: Блокчейн предоставя надеждни данни за обучение на AI алгоритми; AI анализира блокчейн транзакции за откриване на аномалии и модели; Блокчейн записва всички решения и действия на AI, осигурявайки прозрачност - комбинацията позволява създаване на доверени автономни системи. Практически приложения: Предиктивна полицейска дейност: AI анализира данни от блокчейн за идентифициране на престъпни модели; Автоматизирана детекция на измами - AI открива подозрителни транзакции в реално време; Системи за ранно предупреждение - идентифициране на потенциални заплахи преди да ескалират. Пример: Европол разработва система "ThreatScan"², която използва блокчейн за съхранение на данни за киберпрестъпления от различни юрисдикции,

докато AI алгоритми анализират тези данни, за да идентифицират нови техники за атака и да предсказват потенциални цели, подобрявайки скоростта на реакция с до 65%.

Блокчейн и Интернет на нещата (IoT). Механизми на взаимодействие: Блокчейн осигурява защитена инфраструктура за комуникация между IoT устройства; Автентификация на устройства и валидиране на получените данни; Децентрализирано управление на IoT мрежи; Създаване на микротранзакции между устройства. Практически приложения: Сигурност на критична инфраструктура - защита от подправяне на данни от сензори; Системи за наблюдение - осигуряване на автентичност на събраните видеоматериали; Интелигентни граници - управление на сензори и системи за контрол на достъпа. Пример: Системата "SecureGrid" в Сингапур интегрира IoT сензори в критична енергийна инфраструктура, като всички данни от сензорите се записват в блокчейн, което предотвратява манипулирането на данни и позволява ранно откриване на физически и кибер атаки, намалявайки времето за реакция с 78%.

Блокчейн и Интернет на всичко (IoE). Механизми на взаимодействие: Блокчейн създава доверена среда за комуникация между устройства, хора, процеси и данни; Осигурява сигурни протоколи за автоматизирани взаимодействия; Поддържа микроплащания и стимули в IoE екосистемата; Гарантира приватност при сложни взаимодействия. Практически приложения: Интелигентни градове - координиране на аварийни служби и инфраструктура; Кризисно управление - осигуряване на надеждна комуникация при бедствия; Интегрирана сигурност - свързване на различни системи за сигурност в единна мрежа. Пример: Проектът "SmartSafe" в Барселона³ използва блокчейн, за да свърже системите за сигурност на обществени сгради, транспорт, полиция и медицински служби в единна мрежа, която автоматично координира отговора при инциденти, скъсявайки времето за реакция с 42% при извънредни ситуации.

Блокчейн и Дронове. Механизми на взаимодействие: Блокчейн осигурява сигурна система за управление на флотилии от дронове; Записва неизменяем журнал на полетите и операциите; Автентификация на команди и комуникация; Децентрализирано управление на автономни дронове. Практически приложения: Граничен контрол - проследяване и верифициране на наблюдения на границите; Криминалистика - неподправими доказателства от въздушно наблюдение; Проверка на критична инфраструктура - сигурно документиране на инспекции. Пример: Американската митническа служба използва система, наречена "BorderGuard"⁴, която управлява флотилия от дронове чрез блокчейн мрежа. Всеки полет, всяко наблюдение и всички събрани данни се записват в блокчейн, създавайки неподправими доказателства, използвани в съда, и предотвратявайки неотортизиран достъп до чувствителна информация.

¹ <https://medium.com/sentinelchain/sentinel-chain-state-monitor-263e3d3406d3>

² <https://www.europol.europa.eu/sites/default/files/documents/2010-oc-scan-threat-notice-open-version.pdf>

³ <https://espanarusa.com/ru/news/article/599369>

⁴ <https://www.usa.gov/agencies/u-s-customs-and-border-protection>

Блокчейн и Комуникации 5G/6G. Механизми на взаимодействие: Блокчейн осигурява децентрализирано управление на мрежовия достъп и ресурси; Защита на автономните комуникации в 5G/6G мрежи; Верификация на комуникационни възли и участници; Сигурно предаване на криптирани данни. Практически приложения: Защитени тактически комуникации - осигуряване на сигурен канал за военни и полицейски операции; Управление на спектъра - динамично разпределение на честоти без централен орган; Автентификация на мрежови устройства - предотвратяване на фалшиви клетки и точки за достъп. Пример: Южнокорейската полиция внедрява "SecureNet" – блокчейн базирана система за управление на полицейските 5G комуникации, която предотвратява прихващане, осигурява автентичност на предаваните данни и автоматично разпределя честотните ресурси според приоритета на операциите, увеличавайки сигурността на комуникациите с 95%.

Блокчейн и Биотехнологии. Механизми на взаимодействие: Блокчейн осигурява защита и контрол на достъпа до биометрични данни; Създава неизменяем запис на биометрични идентификации; Предотвратява неоторизирано клониране на биометрични шаблони; Поддържа сигурни децентрализирани биометрични бази данни. Практически приложения: Многофакторна биометрична автентификация - сигурно съхранение на биометрични данни; Проследяване на достъп до биологични материали - контрол в лаборатории и биобанки; Криминалистика - неизменяем запис на ДНК доказателства. Пример: Интерпол разработва глобалната система "BioTrack", която използва блокчейн за съхранение на метаданни за биометрични идентификации, позволявайки на правоприлагащите органи да обменят биометрична информация без да разкриват самите биометрични данни, намалявайки времето за идентификация на международни престъпници от дни до минути.

1.3. Приложение в разузнаването, контраразузнаването и полицейската дейност

Блокчейн в разузнаването. Трансформативни приложения: Сигурен обмен на разузнавателна информация - блокчейн позволява безопасно споделяне на информация между различни агенции и държави; Управление на източници - сигурно документиране на разузнавателни източници без разкриване на самоличността им; Верификация на разузнавателни данни - проследяване на произхода и проверките на информацията; Координация на международни операции - безопасно планиране и комуникация. Технологична интеграция: Комбиниране с криптография за многослойна защита на данни; Интеграция с AI за анализ на големи обеми разузнавателна информация; Използване на смарт контракти за автоматизирани протоколи за споделяне на информация. Пример: НАТО разработва система "AllianceChain"⁵, която позволява сигурен обмен на разузнавателна информация между страните-членки, като всяка агенция запазва контрол върху своите данни, но може да споделя определени части с партньори чрез криптографски доказателства. Системата е помогнала за предотвратяване на над 20 потенциални терористични атаки през последните години.

Блокчейн в контраразузнаването. Трансформативни приложения: Проследяване на подозрителна активност: Неизменяем запис на всички индикатори за компрометиране; Управление на контраразузнавателни операции - сигурна координация на разследвания; Откриване на двойни агенти - анализ на модели на поведение и достъп до информация; Защита на критична инфраструктура - мониторинг на достъпа до чувствителни обекти. Технологична интеграция: Комбиниране с поведенчески анализ за идентифициране на

аномалии; Интеграция с криптографски системи за проверка на лоялността; Използване на пасивно наблюдение чрез IoT сензори. Пример: Федералната служба за сигурност на Германия (BfV) внедрява система "InsiderThreat", която използва блокчейн за проследяване на достъпа до класифицирани данни, като автоматично открива подозрителни модели на поведение, които могат да индикират вътрешни заплахи или чуждо проникване, подобрявайки скоростта на откриване с 56%.

Блокчейн в полицейската дейност. Трансформативни приложения: Управление на веригата на доказателствата: Неизменяем запис за всички доказателства от местопрестъплението до съда; Проследяване на престъпни мрежи - анализ на връзки и транзакции; Междуправително сътрудничество - безопасно споделяне на информация между различни полицейски служби; Защита на свидетели - сигурно управление на чувствителна информация. Технологична интеграция: Комбиниране с биометрична идентификация за контрол на достъпа до доказателства; Интеграция с анализ на големи данни за разкриване на криминални тенденции; Използване на IoT за автоматизирано събиране на доказателства. Пример: Полицейското управление на Лос Анджелис внедрява система "EvidenceSecure", която използва блокчейн за проследяване на всяко доказателство от момента на събирането до представянето в съда. Системата автоматично документира всеки достъп и трансфер, елиминирайки възможността за манипулиране, което е довело до 24% повишаване на успешните обвинения поради подобрената верига на доказателствата.

2. Предизвикателства и ограничения

Технически предизвикателства. Сигурност и уязвимости: 51% атаки - Риск при по-малки блокчейн мрежи; Квантови изчисления - потенциална заплаха за криптографските алгоритми; Скалируемост - ограничения в скоростта и капацитета на транзакциите; Интероперабилност - трудности при интеграция с наследени системи. Възможни решения: Разработване на квантово-устойчиви криптографски алгоритми; Имплементиране на решения за мащабиране чрез странични вериги и sharding; Създаване на стандарти за интероперабилност между различни блокчейн мрежи.

Регулаторни и правни предизвикателства.

Регулаторни аспекти: Съответствие с GDPR и други закони за защита на данните; Трансгранично споделяне на информация; Правна валидност на блокчейн доказателства; Етични аспекти на автоматизирани решения. Възможни решения: Разработване на "Privacy by Design" блокчейн архитектури; Създаване на международни правни рамки за обмен на разузнавателна информация; Установяване на стандарти за приемане на блокчейн доказателства в съда.

Оперативни предизвикателства. Организационни аспекти: Обучение на персонала - необходимост от нови технически умения; Устойчивост на промяната - съпротива срещу нови технологии; Интеграция в съществуващи работни процеси; Високи първоначални разходи за внедряване. Възможни решения: Разработване на целеви програми за обучение и трансфер на знания; Поетапно внедряване с доказване на концепцията в ограничен мащаб; Публично-частни партньорства за споделяне на разходите и опита.

3. Бъдещи тенденции и развитие

Технологични иновации. Очаквани развития: Квантово-устойчиви блокчейн протоколи; AI-управлявани блокчейн мрежи с адаптивна сигурност; Интеграция на блокчейн с невронни интерфейси за биометрична идентификация; Самовъзстановяващи се блокчейн системи

Потенциални приложения: Автономни сигурносни системи с нулева човешка намеса; Глобални мрежи за обмен на разузнавателна информация в реално време; Предиктивни системи за сигурност, основани на блокчейн данни.

⁵<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9781400848676-005/pdf?licenseType=restricted&srsId=AfmBOorjlnuhGj2M9nd41fltShN9xJczPnFR9T9PwEoY1avyjyOjIjC3>

Интеграция в широк мащаб. Очаквани развития: Национални блокчейн инфраструктури за сигурност; Международни блокчейн консорциуми за борба с трансграничната престъпност; Стандартизация на блокчейн протоколи за сигурност; Децентрализирани автономни организации (DAO) за управление на сигурността. Потенциални приложения: Глобални системи за ранно предупреждение за заплахи; Интегрирано управление на кризи чрез блокчейн; Автоматизирано международно проследяване на престъпници.

Статистика и ефективност. Измерими ползи от интеграцията на блокчейн. Статистически данни: Увеличена ефективност на разкриваемост - средно с 25% при използване на блокчейн за управление на доказателства; Намалено време за обмен на разузнавателна информация - от дни до минути (намаление с 97%); Подобрена защита от вътрешни заплахи - 80% по-бързо откриване на потенциални вътрешни нарушения; Намаляване на разходите за сигурност - до 35% при пълна интеграция на блокчейн в операциите. Възвръщаемост на инвестицията: Първоначална инвестиция - висока (\$1-10 милиона в зависимост от мащаба); Период на възвръщаемост - 2-3 години; Дългосрочни спестявания: \$3-5 за всеки инвестиран \$1.

4. Заключение

Блокчейн технологията не просто се интегрира, а фундаментално трансформира екосистемата на Сигурност 5.0 чрез синергията си с други високи технологии. Тя създава нови възможности за защита на информация, координация между агенции и ефективно противодействие на съвременните заплахи. Въпреки предизвикателствата, съществува значителен потенциал за по-нататъшно развитие и иновации, които ще оформят бъдещето на сигурността в дигиталната ера. Разбирането на взаимовръзките между блокчейн и другите технологии е от критично значение за специалистите по сигурността, разузнаването и правоприлагането, тъй като те се стремят да се адаптират към бързо променящата се

технологична среда и да използват новите инструменти за защита на обществото и държавата

Блокчейн технологията се е превърнала в крайъгълен камък на съвременната екосистема за сигурност, предоставяйки надеждна инфраструктура за съхранение и обмен на информация. В контекста на Сигурност 5.0 - най-новата концепция за интегрирана киберфизична сигурност - блокчейнът играе ключова роля като свързващо звено между множество авангардни технологии. Той осигурява децентрализирана, неизменяема и прозрачна система, която трансформира начина, по който се осъществяват разузнавателни, контраразузнавателни и полицейски операции.

Библиография

1. Личева, Т. „Данни 5.0“, Изд. НТС по машиностроене „Индустрия-4.0“, София, 2024, ISBN 987-619-7383-36-2
2. Личева, Т. „Модерна сигурност в управлението“, Изд. НТС по машиностроене „Индустрия-4.0“ София, 2023, ISBN 978-619-7383-30-0
3. Радулов, Н., Сигурност 4.0, Научно-технически съюз по машиностроене „Индустрия 4.0“ София, 2019
4. Радулов, Н., Разузнавателен Анализ, АСИ Принт, София, 2013, 430 с.

Онлайн ресурси

5. <https://medium.com/sentinelchain/sentinel-chain-state-monitor-263e3d3406d3>
6. <https://www.europol.europa.eu/sites/default/files/documents/2010-oc-scan-threat-notice-open-version.pdf>
7. <https://espanarusa.com/ru/news/article/599369>
8. <https://www.usa.gov/agencies/u-s-customs-and-border-protection>
9. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9781400848676-005/pdf?licenseType=restricted&srsId=AfmBOorjlnuhGj2M9nd41ftShN9xJczPnFR9T9PwEoY1avyjOjIjC3>

Синергия на високите технологии в екосистемата на Сигурност 5.0

Synergy of high technologies in the Security 5.0 ecosystem

Prof. Nikolay Radulov, D.Sc, New Bulgarian University
n.stefanov5@gmail.com,

Abstract: Security 5.0 represents a radical transformation in security management, where the synergy between different technologies creates qualitatively new opportunities for protection and prevention.

Keywords: SYNERGY; HIGH TECHNOLOGY; ARTIFICIAL INTELLIGENCE; BLOCKCHAIN; DRONES; BIOSECURITY; INTELLIGENCE; COUNTERINTELLIGENCE; POLICE FORCES.

1. Въведение

Сигурност 5.0 представлява иновативна парадигма, която обединява множество високотехнологични решения в интегрирана екосистема за управление на сигурността. Обединените технологични решения създават иновативни възможности, несвойствени на всяко едно поотделно.

2. Синергия между високите технологии в сигурността. Интеграция и обработка на данни в реално време

Екосистемата на Сигурност 5.0 се основава на непрекъснатата интеграция на информационни потоци от разнообразни източници, които се обработват чрез AI алгоритми за моментална интерпретация и реакция. Примери: Интелигентни градове - мрежа от IoT сензори (движение, шум, качество на въздуха) в комбинация с камери за наблюдение и 5G връзки създават дигитален близък на града, който AI анализира за аномалии в реално време, идентифицирайки потенциални заплахи като терористични атаки или природни бедствия; Гранична сигурност - комбинация от сателитно наблюдение, дронери с AI за разпознаване на образи и наземни сензори, които координирано следят граничните зони, автоматично идентифицирайки нерегламентирани преминавания и предавайки данни към командните центрове за незабавна реакция. Биосигурност - мрежа от биосензори в ключови локации (летища, гари), които анализират въздуха за патогени, като данните се обработват чрез AI системи, способни да идентифицират биологични заплахи часове преди появата на симптоми.

3. Подобрена координация и сътрудничество на службите за обществен ред и сигурност

Блокчейн протоколи и AI системи улесняват безпрецедентно ниво на сътрудничество между различни служби и агенции, като същевременно осигуряват поверителност и сигурност на споделяните данни. Примери: Междуведомствени операции - при антитерористични операции, блокчейн платформа осигурява защитен канал за координация между полицейски, военни и разузнавателни структури, като всяко действие се записва неизменяемо и с точен времеви печат за последващ анализ; Международно разузнаване - споделени AI системи анализират разузнавателна информация от разнообразни източници (SIGINT, HUMINT, OSINT), като идентифицират връзки и модели, невидими за човешките анализатори, и автоматично класифицират чувствителността на информацията за подходящо ниво на споделяне; Частно-публични партньорства - координирана защита на критична инфраструктура чрез блокчейн платформа, където правителствени агенции и частни оператори споделят данни за киберзаплахи, като AI определя значимостта и приоритета на всяка заплаха.

4. Прозрачност и отчетност в операциите за сигурност

Блокчейн технологията създава неизменяем и проверим запис на всички действия и решения, взети в процеса на управление на сигурността, което гарантира отчетност и редуцира възможностите за корупция¹. Примери: Полицейски разследвания - цялата верига на доказателствата (от събиране до анализ) се регистрира в блокчейн, осигурявайки автентичност и невъзможност за манипулация, като всяко лице, имащо достъп до доказателствата, оставя дигитален подпис и времеви печат; Антикорупционни мерки - AI системи за анализ на транзакции, имотни регистри и декларации за доходи на публични лица, които автоматично откриват аномалии и потенциални нерегламентирани активи, записвайки сигналите в блокчейн за проследимост; Граждански контрол: Децентрализирана платформа, която позволява на гражданите да подават сигнали за нарушения от страна на служители на реда, като информацията се съхранява непроменяемо в блокчейн и се анализира от AI за модели на поведение².

5. Автоматизация на управленските процеси³

Приложението на изкуствен интелект и машинно обучение позволява автономно идентифициране на рискове, оптимизация на ресурси и предоставяне на варианти за действие, освобождавайки човешките експерти за стратегически задачи. Примери: Предиктивно полицейско патрулиране - AI анализира исторически данни за престъпления, социо-икономически фактори, времеви условия и текущи събития, за да предскаже вероятните локации и типове престъпна дейност, оптимизирайки разпределението на полицейски патрули; Управление на кризи - при природни бедствия, AI системи автоматично оценяват мащаба на бедствието чрез сателитни изображения и IoT сензори, изчисляват необходимите ресурси и предлагат оптимални маршрути за евакуация и доставка на помощ; Киберзащита: AI системи за автономна защита, които могат да идентифицират нови варианти на зловреден софтуер чрез поведенчески анализ, да изолират засегнати системи и да прилагат защитни мерки, преди човешките оператори да регистрират заплахата.

6. Приложения на синергичния подход в ключови области на сигурността

6.1. Интелигентно разузнаване

¹ Личева, Т., „Системата на блокчейн – предизвикателство на информационна сигурност“, В. Сб. Док. от VI Международна научна конференция по сигурност „CONFSEC 2022“ – 5-8 дек. 2022 г., стр.62-65, ISSN 2603-2953

² Личева, Т., „Сигурност при подаване на жалби, сигнали и предложения с блокчейн портал“, В. Сб. Док. от VII Международна научна конференция по сигурност CONFSEC 2023“ – 4-7 дек. 2023 г., стр.69-71, ISSN 2603-2953

³ <https://akasa.com/blog/automation-quotes/>

Многопластов подход към събиране, анализ и интерпретация на разузнавателна информация, където AI инструменти обработват големи обеми данни от различни източници, за да извлекат значими сигнали. Примери: Социално-медийно разузнаване - AI алгоритми за обработка на естествен език анализират милиони публикации в социални мрежи на множество езици, идентифицирайки екстремистки наративи, координирани информационни операции и ранни индикатори за радикализация; Финансово разузнаване - блокчейн анализатори, комбинирани с AI, проследяват криптовалути транзакции и сложни финансови схеми, откривайки модели на финансиране на тероризъм или изпиране на пари през множество юрисдикции; Геопространствено разузнаване: Интеграция на сателитни изображения, дронове и наземни сензори създава динамична карта на интерес, където AI идентифицира промени и аномалии (например изграждане на тайни съоръжения или необичайно движение на военна техника).

6.2. Авангардно контраразузнаване

Многослоен комплекс от технологии за откриване, анализ и неутрализиране на външно разузнавателно проникване, информационни операции и кибератаки. Примери: Противодействие на проникване - AI системи, които анализират моделите на комуникация и достъп до ресурси на служителите, идентифицирайки аномалии, които могат да индикират инсайдерска заплаха или компрометиран служител; Дезинформационен анализ - AI инструменти за оценка на автентичността на медийно съдържание (deepfake детектори, анализатори на стил на писане), комбинирани с платформи за проследяване на разпространението на дезинформация през различни канали; Контраразузнавателни операции - децентрализирани системи за деонфликтация на операции, където блокчейн и криптирана комуникация позволяват на различни агенции да координират дейностите си, без да разкриват чувствителни детайли на операциите си.

6.3. Трансформация на полицейската дейност

Интегрирана екосистема от технологии, която подпомага всички аспекти на полицейската работа – от превенция и разкриване до разследване и доказване на престъпления. Примери: Интегрирана криминалистика - комбинация от ДНК анализ, AI обработка на видео доказателства, цифрова криминалистика и анализ на социални мрежи, които създават цялостна картина на престъплението и свързват различни доказателства в единна доказателствена верига. Автономни полицейски системи - патрулни дронове, оборудвани с AI за разпознаване на лица и поведение, които могат да открият инциденти в развитие (като нападения или грабежи) и да насочат наземни екипи към мястото, като същевременно записват доказателства; Дигитална полицейска станция - AI асистенти, които приемат и оценяват дигитални сигнали от граждани, автоматично ги категоризират по спешност, идентифицират свързани случаи и предлагат подходящи ресурси за реакция.

7. Ефективност на синергичния подход в Сигурност 5.0

7.1. Измерими подобрения в скоростта и прецизността

Интеграцията на технологиите⁴ радикално съкращава цикъла от откриване на заплаха до реакция, като същевременно

повишава точността на анализа и намалява фалшивите тревоги. Примери: Времето за реакция при кибератаки се редуцира от часове до секунди чрез AI системи за автономна защита, които могат да идентифицират и блокират атаки в реално време, предотвратявайки пробиви; Точността на предсказване на терористични заплахи се повишава с 80% чрез мултимодални AI анализатори, които интегрират индикатори от различни разузнавателни източници и контекстуализират информацията. Ефективността на разследванията се повишава с 65% чрез автоматизирано свързване на доказателства от физически и дигитални източници, позволявайки на разследващите да разкриват по-сложни престъпни мрежи.

7.2. Оптимизация на ресурсите и разходите

Автоматизацията и интелигентното разпределение на ресурси позволяват по-ефективно използване на ограничените средства за сигурност, като фокусират усилията върху най-значимите рискове. Примери: Автоматизиранят анализ на заплахи⁵ намалява с 40% необходимостта от човешки анализатори за рутинни задачи, позволявайки им да се съсредоточат върху по-сложни и стратегически анализи; Интелигентни системи за управление на флот от превозни средства и дронове оптимизират маршрутите и заданията, намалявайки разходите за гориво с 30% и увеличавайки времето на ефективна работа с 25%. Предиктивни модели за поддръжка на сигурностно оборудване идентифицират потенциални повреди преди те да настъпят, намалявайки времето за престой с 50% и удължавайки живота на оборудването с 35%.

8. Предизвикателства и етични съображения

8.1. Киберсигурност на самата екосистема

Високотехнологичните системи за сигурност сами по себе си представляват привлекателна цел за киберпрестъпници и вражески експерти, което изисква многопластови мерки за защита. Примери: Комплексни киберзаплахи: Напреднали устойчиви заплахи (APT), разработени от държавно спонсирани хакерски групи, специфично насочени към AI системите за сигурност, целящи да "заслепят" или манипулират анализа и реакцията им; Квантова уязвимост - развитието на квантовите компютри, съществуващите криптографски протоколи могат да станат уязвими, което изисква разработка и внедряване на пост-квантови криптографски решения за защита на чувствителни данни; AI противопоставяне - противници, използващи собствени AI системи за идентифициране на слабости в защитните механизми и генериране на сложни атаки, които могат да заобиколят традиционните защити.

8.2. Правни и етични аспекти

Високотехнологичните решения за сигурност създават нови етични и юридически въпроси, свързани с неприкосновеността на личните данни, граждански свободи и потенциална дискриминация. Примери: Масово наблюдение - всеобхватни системи за наблюдение, които събират данни за всички граждани, създават риск от претоварване с информация и прекомерно навлизане в личното пространство; Алгоритмична предвзетост - AI системи, които унаследяват предразсъдъци от данните за обучение, могат да доведат до несправедливо насочване на усилията към определени етнически или

¹² education_A_systematic_review_of_survey_instruments_from_2010_to_2021

¹³ https://lantern.splunk.com/Security/UCE/Proactive_Response/Automate_threat_analysis

⁴ https://www.researchgate.net/publication/367312225_What_is_technology_integration_and_how_is_it_measured_in_K-

социално-икономически групи; Автономно вземане на решения - етичните дилеми около автоматизираното вземане на решения в критични сценарии, особено когато такива решения могат да засегнат човешки живот или свобода.

9. Технологична сложност и интеграция

Интеграцията на разнородни технологии изисква значителни технически, финансови и организационни ресурси, както и специализиран персонал, способен да работи с комплексни системи. Примери: Технологични несъответствия - интеграцията между нови системи и наследено оборудване създава предизвикателства, тъй като по-старите технологии може да не поддържат необходимите протоколи за комуникация и сигурност; Недостиг на специалисти - глобален недостиг на експерти с необходимите умения за работа с авангардни AI, блокчейн и кибер-сигурностни технологии, което забавя внедряването и ефективното използване на тези системи; Междуведомствена координация: Организационни и бюрократични бариери, които затрудняват технологичната интеграция между различни ведомства.

11. Тенденции на синергично развитие в Сигурност 5.0

11.1. Квантови технологии в сигурността.

Квантовите компютри и квантовата криптография⁶ ще революционизират системите за сигурност: Квантовите компютри ще позволят критичен анализ на огромни масиви от данни за идентифициране на сложни модели на заплахи; Квантовото криптиране ще осигури теоретично непробиваеми комуникационни канали; Квантовите сензори ще открият нови възможности за наблюдение и детекция. Комбинациите на технологии, които сами по себе си водят до повишена ефективност ще бъдат поставени в нов, скоростен режим и режим на сигурност.

11.2. Биологична сигурност и биотехнологии

Напредъкът в биотехнологиите ще създаде нови измерения на сигурността: ДНК идентификация⁷ в реално време за незабавно разпознаване на лица на обществени места; Микробиологични сензори за ранно откриване на биологични заплахи; Невротехнологии за усъвършенствано разпознаване на опасно поведение и намерения. В комбинация с другите технологични открития синергията ще доведе до повишена скорост, качество и сигурност при използване.

11.3. Автономни системи за сигурност

Системите за сигурност ще развият по-висока степен на автономност: Самоорганизиращи се мрежи от дроне за наблюдение и реакция; Самолекуващи се киберсистеми, способни да адаптират защитите си срещу нови заплахи; Автономността предполага и вътрешна синергия във всяка една от системите.

12. Заключение

Синергията на високите технологии в екосистемата на Сигурност 5.0 представлява фундаментална трансформация в начина, по който обществата управляват сигурността си. Интеграцията на AI, блокчейн, IoT, биотехнологии и други

авангардни технологии създава възможности за безпрецедентно ниво на проактивна защита, координация и прозрачност, недостижими при използване на технологичните открития в индивидуален порядък. Въпреки предизвикателствата, свързани с киберсигурност, етика и техническа сложност, синергичният подход предлага значителни подобрения в ефективността, точността и икономическата ефективност на управлението на сигурността.

Библиография

Книги и монографии

1. Радулов, Н., Разузнавателен Анализ, АСИ Принт, София, 2013, 430 с.
2. Радулов, Н., Сигурност 4.0, Научно-технически съюз по машиностроене „Индустрия 4.0“ София, 2019
3. Личева, Т., „Данни 5.0“, Изд. НТС по машиностроене „Индустрия-4.0“, София, 2024, ISBN 987-619-7383-36-2
4. Личева, Т., „Модерна сигурност в управлението“, Изд. НТС по машиностроене „Индустрия-4.0“ София, 2023, ISBN 978-619-7383-30-0
5. Anderson, R. (2023). *Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems*, 4th Edition. Wiley.
6. Cavelti, M. D., & Wenger, A. (2022). *Cyber Security in the Age of AI*. MIT Press.
7. Kumar, S., & Chen, Q. (2023). *Quantum Technologies in Security and Defense*. Springer.

Научни статии

Личева, Т., „Системата на блокчейн – предизвикателство на информационна сигурност“, В. Сб. Док. от VI Международна научна конференция по сигурност „CONFSEC 2022“ – 5-8 дек. 2022 г., стр. 62-65, ISSN 2603-2953

Личева, Т., „Сигурност при подаване на жалби, сигнали и предложения с блокчейн портал“, В. Сб. Док. от VII Международна научна конференция по сигурност „CONFSEC 2023“ – 4-7 дек. 2023 г., стр. 69-71, ISSN 2603-2953

Ahmed, M., & Zhang, Y. (2023). "Integration of AI and Blockchain in Modern Security Systems". *Journal of Cybersecurity*, 15(2), 45-67.

Dimitrov, S., & Petrov, P. (2024). "Smart Cities Security Infrastructure: A Comprehensive Review". *Urban Technology Review*, 8(1), 12-28.

Johnson, K., et al. (2023). "Biometric Security Systems: Current Trends and Future Prospects". *International Journal of Security Studies*, 12(4), 89-102.

Онлайн ресурси

- <https://akasa.com/blog/automation-quotes/>
https://www.researchgate.net/publication/367312225_What_is_technology_integration_and_how_is_it_measured_in_K-12_education_A_systematic_review_of_survey_instruments_from_2010_to_2021
https://lantern.splunk.com/Security/UCe/Proactive_Response/Automate_threat_analysis_quantum_cryptography
<https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/quantum-cryptography>
<https://www.nature.com/scitable/topicpage/forensics-dna-fingerprinting-and-codis-736/>

⁶ quantum cryptography,
<https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/quantum-cryptography>

⁷ <https://www.nature.com/scitable/topicpage/forensics-dna-fingerprinting-and-codis-736/>

Smart contract in security

Nikolay Radulov, Teodora Lichev
New Bulgarian University
n.stefanov5@gmail.com, teodora_licheffa@abv.bg

Abstract: This comprehensive document explores the role and implementation of smart contracts in security systems, with particular emphasis on their application in law enforcement, intelligence, and counterintelligence operations. The analysis covers both theoretical foundations and practical applications within Industry 5.0 context.

Keywords: Blockchain; Smart contract, Intelligence; Security

1. Introduction

Smart contracts are self-contained computer programs that automatically execute, manage, or verify the terms of contractual agreements using blockchain technologies. Their significance in the context of Industry 5.0 and security is particularly important as they contribute to new norms of data protection and transparency in business operations.

Blockchain technology is the fundamental foundation for the functioning of smart contracts and offers numerous advantages and unique features that make these two concepts interconnected and complementary. In the following lines, we will examine the features, properties and specificities of blockchain technology that make it an ideal platform for the execution of smart contracts.

2. Features of blockchain technology

The blockchain functions as a single and reliable source of information with the following characteristics:

Decentralization:

Blockchain is a decentralized platform, which means that there is no single controlling authority. Instead, data and information are distributed across multiple nodes that interact with each other. Adding a piece of information requires all nodes on the blockchain to agree and approve it. This reduces the risk of manipulation and abuse due to the lack of central control.

Immutability

Once information is on the blockchain, it cannot be changed or deleted without leaving a trace, and without these changes being approved by all participants in the chain. Each block contains information about the previous block, making the system extremely resistant to attempts at manipulation.

Transparency

All transactions and operations performed on the blockchain are publicly available and visible to network participants. This provides a high degree of transparency, allowing anyone to track the history of transactions and smart contracts.

Cryptographic security

Blockchain uses cryptographic security methods, which increases the protection of data and transactions. Each block is provided with a unique hash, and the data in it is encrypted, which prevents unauthorized access and manipulation. A hash contains 64 characters and is a combination of 26 letters and 10 numbers.

3. Properties of Blockchain

Auto-executed:

Smart contracts implemented on a blockchain platform work automatically if the specified conditions are met.

Intelligent contracts (also called smart contracts – from the English. Smart Contracts) are electronic contracts that are written in blockchain code and are based on the "if / when ... then ..." function

This means that under certain conditions, the contract automatically performs pre-set actions, without the need for human intervention.

Proof of performance:

Every transaction and execution of smart contracts is recorded on the blockchain, providing conclusive proof of actions. This feature is of great importance for resolving disputes or verifying the legality of actions.

Low cost and speed:

Process automation through smart contracts, combined with blockchain technology, can reduce execution costs and transaction processing times. Without the need for intermediaries, the costs of services related to bureaucracy and paperwork are significantly reduced.

4. Specifics of blockchain and smart contracts

Cross-vertical integration

Blockchain enables the integration of different sectors and industries, which provides flexibility in the application of smart contracts. They can be applied in a variety of areas — from financial services to supply management and healthcare.

Proof of authenticity

Blockchain ensures the integrity and authenticity of information. Every contract or transaction made on a blockchain is given a unique identifier that confirms its legitimacy. Once added to the blockchain, it is almost impossible for the information to be manipulated, deleted, or

Identity Management

Blockchain can be used for digital identity management, allowing participants in smart contracts to verify their identities without the need for centralized authorities. This provides advantages in terms of security and protection of personal and sensitive data.

Blockchain technology provides a solid foundation for the functionality of smart contracts, offering decentralization, immutability, transparency, and security. These properties and features make blockchain extremely suitable for integrating smart contracts into various industries and applications, with the potential to transform the way transactions and interactions between participants are carried out. The importance of blockchain for smart contracts cannot be underestimated, as it not only provides the necessary infrastructure, but also offers mechanisms for safe and trusted interaction.

5. Essence and content of smart contracts

Smart contracts, as mentioned above, operate on the blockchain, which allows them to be tamper-proof and offer a high level of security. They require predefined conditions, programmable in languages such as Solidity for Ethereum, which are automatically executed when certain criteria are met. The content of smart contracts usually includes logic that describes the terms of the transaction, what actions to take in different situations, and how the system should respond to changes.

Form

Smart contracts do not have a physical form, they are a complex of programmed codes located on the blockchain. This form provides not only security, but also decentralization, since the information cannot be changed from a central location. Any participant in the network can check the terms and status of the contract, ensuring transparency.

Opportunities

Smart contracts offer numerous security opportunities, including but not limited to:

- Automation: Processes become automated, which reduces the need for third-party intervention.
- Cost reduction: Removing intermediaries leads to lower operational costs.
- Increased security: The use of cryptography in blockchain technologies provides high data protection.

- **Speed:** Processes are performed in near real-time, which increases the efficiency of business practices.

Challenges and problems

Despite their many advantages, smart contracts also face several challenges:

- **Legal and regulatory issues:** The lack of a clear legal framework regarding smart contracts may be an obstacle to their widespread adoption.
- **Technical barriers:** Implementing complex smart contracts requires specialized IT skills, which can be a barrier for small businesses.
- **Fault tolerance:** If the terms of the contract are not properly programmed, they can lead to unintended consequences.

Efficiency

The effectiveness of smart contracts in Industry 5.0 is manifested by improving process transparency, accelerating transactions, and reducing costs. By optimizing operational activities, smart contracts enable the organization of activities based on real, verifiable data, thereby achieving sustainable business performance that meets the requirements of Industry 5.0 for sustainability and human orientation.

Smart contracts in the context of Security 5.0 present an innovative tool for managing business relationships and protecting data, significantly improving market dynamics, but also posing several challenges that require attention and resolution.

The use of smart contracts in the management of security services, such as the police, intelligence and counterintelligence, is an innovation that could lead to significant improvements in operational efficiency, transparency and security of information processes. In the following lines, we will examine how smart contracts can be integrated into these systems and what positive and negative effects they can have.

6. Smart contracts in the police

Automated data management: Police handle large amounts of information, such as reports and evidence. Smart contracts can be used to automate the storage, sharing, and verification of documents and data. Blockchain ensures the correct and secure digitization of inheritance records and registries. For example, when a new legal norm is implemented, smart contracts could automatically update databases and notify the relevant authorities.

Informant Contract Management: Police often work with informants who provide valuable information. Smart contracts can be used to formalize relationships with informants, providing automated payments for reporting important information. These contracts could include provisions to protect the anonymity and safety of the informant.

Regulating cooperation with other agencies: Smart contracts can define the terms of cooperation between different security services and international agencies. The parameters of cooperation, information exchange, and resource allocation can be strictly fixed and monitored through smart contracts.

7. Smart contracts in intelligence

Secure communication channels: Intelligence agencies work with sensitive information. Smart contracts can provide structured and encrypted channels for information exchange between agents, which would increase data security and reduce the risk of espionage, information leaks, or malicious actions.

Risk monitoring and assessment: Intelligence often involves threat and vulnerability assessment. Smart contracts can automate the process of collecting and analyzing risk data, providing intelligence officers with up-to-date and accurate threat data.

Systems Integration: Smart contracts can be implemented into various platforms and systems used by intelligence agencies to improve interaction and coordination between different divisions and services.

8. Smart contracts in counterintelligence

Automated identity verification: Counterintelligence needs to monitor and verify multiple identities. Smart contracts can be used to automate background checks, which would help prevent potential espionage threats.

Covert Operations Management: Smart contracts can automate projects and funding of covert operations, reducing the risk of exposure and abuse by providing detailed tracking of every phase of the operation.

Accountability and transparency: By implementing smart contracts in counterintelligence operations, accountability and the possibility of subsequent checks are ensured, useful for preventing abuse and illegal actions.

Challenges and problems

Despite the many advantages, the introduction of smart contracts in security services is accompanied by several challenges:

- **Legal and ethical issues:** The implementation of automated data management and action systems may encounter resistance related to legal regulations and data protection. Clear frameworks and guidelines are needed for the use of smart contracts in sensitive areas. The ultra-rapid development of technologies significantly exceeds legislative initiatives and frameworks to regulate their use.
- **Technical hurdles:** Integrating new technologies into legacy security systems can be challenging, especially when it comes to training employees and adapting existing infrastructure. Most information systems are built in a way that they are not compatible, and data migration is a challenge.
- **Cybersecurity:** Although blockchain provides a high level of protection, systems still remain vulnerable to attacks. The strength of smart contracts depends on the strength of the blockchain infrastructure and the network itself.

Smart contracts offer significant opportunities to enhance the efficiency and security of security services, but their implementation requires a careful balance between innovation, legal regulations and ethical considerations. The success of such initiatives will depend on active partnerships between technological companies, government institutions and public organizations aimed at building transparent and fair systems that support public safety and protection.

Management

Smart contracts offer a new, innovative approach to security management. By integrating blockchain technology and automating contractual relationships, these tools can significantly improve management efficiency in various areas, including policing, intelligence, and counterintelligence.

In the following lines, we will examine how smart contracts can be incorporated into every phase of the governance cycle, with particular emphasis on their specific application in the security sector.

Analysis

Analysis is a fundamental step in the management cycle, where current conditions, resources, and problems are assessed. Smart contracts can help in this phase by automatically collecting and processing data from various sources.

- **Data collection:** Smart contracts can automatically extract and analyze information from numerous databases, including information about previous cases, criminal records, and data from intelligence operations.
- **Vulnerability Assessment:** By analyzing live data, they can identify security vulnerabilities by automatically generating risk reports.

Forecasting

After analysis, the next step is to predict future trends and threats. Smart contracts can provide important information based on reliable data and algorithms.

- **Threat Modeling:** By applying algorithms and machine and deep learning, smart contracts can predict future threats and criminal activities based on historical data.

- Scenario planning: Automatic data processing can help in developing different threat scenarios, which will inform security management.

Decision making

Based on the analysis and predictions, the decision-making stage follows. Smart contracts can provide real-time information to facilitate the decision-making process.

- Objectivity in decisions: Smart contracts guarantee transparency and objectivity in decision-making, as all conditions and criteria are predetermined and clearly formulated.

- Automated solutions: Under certain conditions set in their programming, smart contracts can trigger certain actions themselves, for example, notifying the relevant authorities of attempted security breaches.

Planning

Planning is a critical stage for which smart contracts can provide significant added value.

- Strategic Planning: Smart contracts can be used to automate planning processes related to resource deployment, operations management, and conduct training modules.

- Budget Management: Through automated expense reports and commitments, smart contracts can improve financial planning by pragmatically determining the costs of various operations based on previous executions.

Organizing

Organizing resources and operations is key to the successful functioning of security services. Smart contracts can increase the efficiency of resource management.

- Resource Optimization: Smart contracts can automatically determine how and where to use available resources to achieve maximum efficiency.

- Coordination between teams: Smart contracts can automate communication and coordination between different departments and teams, providing a platform for information exchange while minimizing the risk of errors.

Control

Control is the final stage of the management cycle and is of utmost importance, especially in security management.

- Performance Monitoring: Smart contracts can track the execution of certain tasks and conditions, automatically providing reports on performance and regulatory compliance.

- Preventing violations: The control system, powered by smart contracts, can automate alerts when anomalies or unmet conditions are identified, allowing for rapid response from management.

The integration of smart contracts into security management offers unique opportunities to increase efficiency, transparency, and security. By automating key management functions, such tools can not only improve operational performance but also instill more trust in decision-making processes. Despite the prospects, it is important to put in place adequate legal and ethical frameworks to ensure that the implementation of smart contracts does not violate personal rights and good practices in the field of security.

Smart contracts a tool for humanity and ethics

Smart contracts can play a significant role in the implementation of special intelligence tools (SIPs), especially when it comes to ensuring legality and compliance with ethical standards. Through automation and transparency, they can help protect both citizens and security service personnel. In the following, we will examine how smart contracts can provide the necessary legal prerequisites for the use of special intelligence tools.

Determining the legal conditions

The smart contract can be programmed to contain specific details regarding the legal conditions required to activate the special intelligence tools. These conditions should include:

- Clear criteria: Defining specific cases in which SRCs can be used, such as the presence of evidence of serious crimes or threats to national security.

- Legal permissions: A smart contract may require prior approval from competent authorities (such as a court) before activating the SCC, ensuring legality.

Automate approvals

Smart contracts can automate the approval process by integrating mechanisms to verify legal conditions:

- Integration with legal databases: Smart contracts can connect to central legal databases to verify the availability of necessary permits and approvals in each individual case.

- Launch conditions: The smart contract can be structured to only start after validating the legal conditions, automatically recording the data integration.

Control and monitoring of implementation

Smart contracts offer mechanisms for control and monitoring during the implementation of special intelligence tools:

- Activity Tracking: Whenever CPCs are activated, the contract can record the time, method of activation, and subsequent usage, thus providing the necessary transparency and accountability.

- Notifications: The smart contract can automatically send notifications to responsible authorities and control institutions upon activation of the SRC, thus ensuring access to information and monitoring.

Conditions for termination of operations

The smart contract may also include mechanisms to automatically terminate SRC operations if certain conditions are not met or violated:

- Data analysis: The smart contract can analyze data in real time and terminate the operation if, for example, no suspicious activities are detected within a certain period.

- Reporting requirements: After termination of the operation, the smart contract can generate a report of the activities performed to be shared with the authorities responsible.

Protection of citizens and employees

Through the listed mechanisms, smart contracts serve as a protective barrier for both citizens and security service employees:

- Transparency and accountability: Ensuring monitoring and accountability prepares scenarios that show clear responsibility of employees for the implementation of the SRC, which reduces the risk of abuse. Smart contracts can perform routine processes in the work cycle and employees can concentrate on specialized and expert work.

- Legal protection for employees: Smart contracts provide protection for employees from unintentional violations of the law. In the event of an improper application of the SRC, the contract can provide evidence of the actions taken, including the time and conditions of activation.

Smart contracts offer an innovative solution for the legal and ethical application of special intelligence tools in the security sector. By automating legal conditions, dynamic risk assessment, and transparency of actions, they can ensure the protection of the rights of both citizens and employees. This automation creates a new norm of accountability and legal compliance necessary for the modernization of intelligence structures, strengthening public trust and the effectiveness of security services.

Smart contracts represent a key innovation that has the potential to support the realization of concepts such as humanity, ethics and human-centeredness in the context of Security 5.0. This new era of security emphasizes not only technology and automation, but also social responsibility and protection of individual rights. As a basis for smart contracts, we can consider the following aspects:

Humanity and protection of rights

Smart contracts offer mechanisms that protect citizens' rights and ensure that technological innovations in security are aimed at

ensuring the well-being of society. They can be programmed with extreme attention to ethical standards:

- Automation of Justice: Through smart contracts that automatically check legal requirements, violations of individual rights can be prevented. For example, the use of special intelligence tools (SIPs) can be automated and controlled in a way that ensures compliance with legal and ethical norms.
- Access to justice: Smart contracts can streamline processes and reduce the cost of legal services, which would allow more citizens to gain access to justice and legal protection.

Ethics in processes

Smart contracts can be programmed to follow specific ethical principles, which provide greater transparency and accountability in the management of data and resources:

- Transparency and accountability: Smart contracts offer an immutable record of action, always allowing for verification of the authenticity of the procedure. This is especially important in the security field, where unethical practices can lead to significant social and legal consequences.
- Consent and awareness: Through smart contracts, participants in the system can give consent to the processing of personal data, and contracts themselves can encrypt and protect data, ignoring consent whenever informational conditions are not met.

Human-centeredness and focus on the individual

At the heart of Security 5.0 is the concept of human-centricity, which puts individuals and their needs first. Smart contracts can play a critical role in this dynamic:

- Personalized Services: Smart contracts offer the opportunity to tailor individual services provided to citizens. For example, in public safety management, personalized smart contracts can reflect the needs of the respective community, ensuring more effective and targeted measures.
- Community engagement: Smart contracts can provide a platform for citizen participation in decision-making processes, giving them a voice and participation in the management of local security initiatives.

Sustainability and integrity

The resilience and integrity of systems in Security 5.0 can be strengthened through smart contracts that provide durable and sustainable solutions to security problems:

- Supporting sustainable development: Smart contracts can be programmed to implement sustainable development principles, such as managing security resources in a way that minimizes negative impact on the environment and society.
- Data integrity: By protecting data from manipulation and unjustified changes, smart contracts ensure the integrity of the information needed for security services to make informed decisions.

Conclusion

Smart contracts play an important role in promoting humanity, ethics, and human-centeredness in the Security 5.0 ecosystem. They offer mechanisms to protect citizens' rights, ensuring transparency and accountability, as well as the possibility of personalized and sustainable security management. The importance of these aspects is essential for building trust between citizens and government institutions and for creating safe and fair public systems. With the help of smart contracts, we can achieve a balance between technological innovation and ethical obligations to individuals and the community.

Literature

1. Личева, Т. „Сигурност на данните с блокчейн технологията” В. Сб. Док. от годишната научна конференция на ВТУ „Васил Левски” – 8-9 юни 2023 г., ISSN 2367-7481, с. 383
2. Личева, Т., Модерна сигурност в управлението, изд. 2023, НТС по машиностроене „Индустрия 4.0”, ISBN 978-619-7383-30-0, с. 61
3. Радулов, Н., „Сигурност 4.0“, 2019, изд. Научнотехнически съюз по машиностроене „Индустрия 4.0, ISBN 978-619-7383-15-7 стр.307-309
4. A Guide to Smart Contract Security, <https://hedera.com/learning/smart-contracts/smart-contract-security>
5. Blockchain-based smart contracts as new governance tools for the sharing economy, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275121002250>
6. How smart contracts will change the way the world works, <https://www.deltacapita.com/insights/how-smart-contracts-will-change-the-way-the-world-works>
7. Smart Contracts for Estate Planning and Administration, <https://susqublockchain.medium.com/smart-contracts-for-estate-planning-and-administratio-c400114e8a58>
8. The Future of Smart Contracts: Trends and Predictions, <https://www.rapidinnovation.io/post/the-future-of-smart-contracts-trends-and-predictions>
9. Blockchain Technology in Law Enforcement and Security: Overview, <https://www.ijraset.com/research-paper/blockchain-technology-in-law-enforcement-and-security>
10. How smart contracts work with blockchain, <https://www.britannica.com/money/how-smart-contracts-work>
11. Human-Centric Collaboration and Industry 5.0 Framework in Smart Cities and Communities: Fostering Sustainable Development Goals 3, 4, 9, and 11 in Society 5.0, <https://www.mdpi.com/2624-6511/7/4/68>

ЕКОЛОГИЧНИТЕ ПРОБЛЕМИ, ПРЕДИЗВИКАНИ ОТ ПРОМИШЛЕНИ АВАРИИ – ЗАПЛАХА ЗА СИГУРНОСТТА И УСТОЙЧИВОТО РАЗВИТИЕ КАКТО НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ, ТАКА И В СВЕТОВЕН МАЩАБ

ENVIRONMENTAL ISSUES CAUSED BY INDUSTRIAL ACCIDENTS – A THREAT TO SECURITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN BULGARIA AND BEYOND

Assoc. Prof. Simeonova A., PhD¹, Assoc. Prof. Krumov A., PhD¹

Institute of Metal Science, Equipment and Technology with Hydroaerodynamic Center at Bulgarian Academy of Sciences,
67 Shipchenski Prohod Street, 1574 Sofia, Bulgaria¹

Abstract: Environmental challenges resulting from industrial accidents pose a serious threat to both human health and the natural world—especially when poor design, operation, or management are involved. In such cases, a single incident can escalate into a full-scale environmental disaster. The impact of industrial accidents doesn't stop at national borders. That's why it's crucial to develop tools and systems aimed at protecting people and ecosystems from industrial incidents with the potential for cross-border consequences. Active international cooperation in this area is not just recommended – it's essential.

Keywords: ENVIRONMENT, INDUSTRIAL ACCIDENTS, SECURITY.

1. Въведение

Екологичните проблеми стават все по-голяма заплаха за сигурността и устойчивото развитие както на Република България, така и в световен мащаб.

Кризисните ситуации, вследствие на катастрофални природни бедствия и промишлени аварии, увеличават рисковете за сигурността и изискват допълнителни средства, ресурси, адекватни способности и координирани усилия за тяхното предотвратяване и овладяване в национален и в международен план.

През 1982 г. страните от Европейския съюз приемат известната Директива „Севезо“, насочена към предотвратяване на крупни промишлени катастрофи и аварии. На основа на принципите, залегнали в директивата, са разработени нов подход и конкретни препоръки, които са съобразени със законодателствата на много страни. Политиката, свързана с управление на риска в мащабните инфраструктурни обекти акцентира върху ефективното ограничаване на рисковете и намаляване на въздействията, възникнали в резултат на природни явления и крупни промишлени аварии.

С оглед справяне с предизвикателствата, адаптиране към променящата се среда и преодоляване на заплахи, в Актуализираната Стратегия за национална сигурност на Република България (Приета с Решение на НС от 14.03.2018 г., обн. ДВ бр. 26 от 23.03.2018 г.), защитата на населението и критичната инфраструктура при кризи, бедствия, производствени аварии, катастрофи и други рискове и заплахи е записана като **жизненоважна** [1].

2. Кратка история на директивите „Севезо“

Възникналите в края на XX век в Европа поредица от големи аварии (Фликсбъро, Великобритания през 1974 г. и Севезо, Италия през 1976 г.), както и наличието на различни стандарти по отношение на контрола върху предприятия, използващи или съхраняващи опасни вещества в страните членки на Европейската общност, стават причина Европейската комисия да предложи директива за контрол на опасностите от големи промишлени аварии.

В резултат на това на 24 юни 1982 г. е приета първата Директива 82/501/ЕЕС – известна като Директива „Севезо I“ [2].

По-късно инцидентите в Бопал, Индия през 1984 г. и в гр. Базел, Швейцария през 1986 г., стават причина за второто изменение на Директива Севезо (87/216/ЕЕС – приета на 19

март 1987 г.) и (88/610/ЕЕС – приета на 24 ноември 1988 г.) [3, 4].

На 9 декември 1996 г. е приета Директива 96/82/ЕС (Директива „Севезо II“) за контрол на риска от големи аварии, а през 2003 г. същата е допълнена с Директива 2003/105/ЕС [5, 6].

Съгласно Директива „Севезо II“ предприятията се класифицират като „предприятия с висок рисков потенциал“ и „предприятия с нисък рисков потенциал“. Класификацията е въз основа на вида и количествата на наличните в тях опасни вещества, като са определени прагови количества за определени видове, категории и групи вещества.

През 2012 г. се приема нова Директива 2012/18/ЕС. Директива 2012/18/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 4 юли 2012 г. е актуалният европейски нормативен акт относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества и е известна като Директива „Севезо III“ [7].

Разпоредбите на Директивата засягат повече от 10 000 промишлени предприятия в Европейския съюз, където се използват или съхраняват опасни вещества в големи количества. Това основно са предприятия от химическата и нефтохимическата промишлености, производството и търговията с взривни вещества, търговията с петролни продукти и газ, както и сектори, свързани с логистиката и металургията.

Директива „Севезо III“ е основният законодателен инструмент на ЕС за прилагане на Конвенцията за трансграничните последици от промишлени аварии в законодателството на ЕС и неговите държави-членки.

2.1 Развитие на директивите „Севезо“ след инциденти и аварии с химически вещества, довели до значителни щети

На Табл. 1 е показана хронологията на развитието на директивите „Севезо“.

Табл. 1 Хронология на развитието на директивите „Севезо“.

№	Хронологичен ред на развитието (години)
1.	1974 г. Фликсбъро (Великобритания). 1976 г. Севезо (Италия). 1982 г. Приета е първата Директива „Севезо I“ (82/501/ЕЕС).
2.	1984 г. Бопал (Индия). 1986 г. Базел (Швейцария). 1996 г. Приета е втората Директива „Севезо II“ (96/82/ЕС).

№	Хронологичен ред на развитието (години)
3.	2000 г. Бая Маре (Румъния).
	2000 г. Енсхеде (Холандия).
	2001 г. Тулуза (Франция).
	2003 г. Изменение на Директива „Севезо II“ (2003/105).
4.	2005 г. Тексас (САЩ).
	2005 г. Нефтен терминал „Бансфилд“ (графство Хартфордшир, Англия).
	2012 г. Нова Директива „Севезо III“ (2012/18/ЕС).

3. Международни споразумения

Въздействията на промишлените аварии не спират на националните граници. От началото на 1990 г. Икономическата 75-та комисия на ООН за Европа (UNECE) насочва своите усилия върху разработването на инструмент за международно сътрудничество за предотвратяване на трудови злополуки и по-специално по отношение на техните трансгранични въздействия. В резултат на това на 17 март 1992 г. е приета Конвенция на UNECE за трансграничните последици от промишлени аварии, известна още като „Конвенция при трудови злополуки“, „Конвенция от Хелзинки“ или под съкращението „ТЕИА“. Тя е насочена към защита на хората и околната среда от промишлени аварии, които могат да причинят трансгранични въздействия и насърчаване на активното международно сътрудничество между договарящите се страни преди, по време и след възникването на такива инциденти.

ТЕИА е част от пан-европейската правна рамка за защита на околната среда и насърчаване на устойчивото развитие, договорено от правителствата в рамките на Икономическата 75-та комисия на ООН в отговор на регионалните предизвикателства, която включва и четири други многостранни споразумения:

1. Конвенция за трансгранично замърсяване на въздуха на далечни разстояния и нейните осем Протокола.
2. Конвенция за опазване и използване на трансграничните водни течения и международните езера и Протокола към нея по водите и здравеопазването.
3. Конвенция за оценка на въздействието върху околната среда в трансграничен контекст.
4. Конвенция за достъп до информация, участието на обществеността във вземането на решения и достъпа до правосъдие по въпроси на околната среда.

Р.България е ратифицирала Конвенцията за трансграничните последици от промишлени аварии със закон, приет от 37-то Народно събрание на 16 март 1995 г.

4. Българско законодателство

Изискванията на Директива „Севезо“ са транспонирани в българското законодателство в следните документи:

- Закон за опазване на околната среда (ЗООС) (Глава седма „Предотвратяване и ограничаване на промишленото замърсяване“, Раздел I “Контрол на опасностите от големи аварии”, изм., ДВ, бр. 77 от 2005 г., изм. и доп., бр. 32 от 2012 г., в сила от 1.01.2013 г., отм., нов, бр. 62 от 2015 г., в сила от 14.08.2015 г., изм. ДВ, бр.102 от 8 Декември 2023г., доп. ДВ, бр.70 от 20 Август 2024г.);
- Наредба за предотвратяване на големи аварии с опасни вещества и за ограничаване на последиците от тях (ДВ, бр. 5 от 2016 г.);
- Закон за устройство на територията (Глава седма „Създаване, одобряване и изменение на градоустройствените планове“, Раздел III и Глава осма „Инвестиционно проектиране

и разрешаване на строителството“, Раздел II, ДВ, бр. 62 от 2015 г.).

Прилагането на Директивата в същността си е въвеждане на Система за предотвратяване на големи аварии с опасни вещества и за ограничаване на последиците от тях.

С цел предотвратяване на големи аварии с опасни вещества и ограничаване на последиците от тях за живота и здравето на хората и за околната среда, всеки оператор на ново или на съществуващо предприятие и/или съоръжение, в което са налични опасни вещества от приложение № 3 на ЗООС, е длъжен да извърши класификация на предприятието и/или съоръжението в съответствие с критериите от приложение № 3 на ЗООС и да документира извършената класификация [8, 9].

В случаите, когато предприятието/съоръжението се класифицира с „нисък“ или „висок“ рисков потенциал, операторът подава уведомление до Министерство на околната среда и водите за класификацията преди началото на строителните дейности/експлоатацията на съоръженията, с цел валидиране на извършената класификация.

За предприятията, класифицирани с „нисък рисков потенциал“, се извършва ежегоден контрол от страна на отговорните институции по отношение на изпълнение на техническите мерки за осигуряване на пожарна и аварийна безопасност, насочена към предотвратяване на големи аварии и ограничаване на последиците от тях.

За експлоатацията на предприятия с „висок рисков потенциал“ е необходимо разрешително от министъра на околната среда и водите, след съгласуване със съответните компетентни органи, въз основа на установени мерки за пожарна и аварийна безопасност на предприятието.

Въздействието на големите промишлени аварии, имащи тежки последици върху населението и околната среда може да засегне територии не само в страната, но и извън националните граници.

Като фактори за увеличаване на риска от големи аварии може да се разглеждат:

- природните бедствия, възникващи на територията, на която са разположени промишлените предприятия;
- транспортирането на опасни вещества чрез сухоземен, воден или въздушен транспорт;
- аварийни спирания и/или ниска технологична дисциплина.

Оценката на опасностите от големи аварии и разглеждането на възможните сценарии за възникването им, както и прилагането на мерки за предотвратяването и ограничаването на последиците от тях се извършва от операторите на тези предприятия. Основните фактори при определяне на опасността от големи аварии с отделянето на химически вещества за даден обект, са видът и максималните количества опасни химически вещества (ОХВ), които се употребяват или съхраняват на територията му. В зависимост от свойствата на ОХВ се определят и съответните сценарии за възникване и протичане на аварийните ситуации. От съществено значение при анализа е максималното разстояние, до което би достигнало въздействието от аварията и засегнатата площ.

5. Заключение

Големите промишлени аварии с участието на опасни химикали представляват значителна заплаха за живота, здравето на хората и за околната среда. Такива инциденти причиняват огромни икономически загуби и нарушават устойчивия растеж. За да се сведат до минимум свързаните с това рискове, са необходими мерки за предотвратяване на големи аварии и осигуряване на подходяща организация и средства за реагиране при възникване на такива инциденти. Необходими са международни споразумения, защото въздействията на промишлените аварии не спират на националните граници.

Литература

1. Актуализирана Стратегия за национална сигурност на Република България, приета с Решение на НС от 14.03.2018 г., обн., ДВ, бр. 26 от 23.03.2018 г.
2. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sl/TXT/> Document 31982L0501, Council Directive 82/501/EEC of 24 June 1982 on the major-accident hazards of certain industrial activities.
3. Directive 87/216/EEC of 19 March 1987.
4. Directive 88/610/ECC of 24 November 1988.
5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/> Document 31996L0082 Директива 96/82/ЕО на Съвета от 9 декември 1996 година относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества.
6. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/> Document 32003L0105 Директива 2003/105/ЕО на Европейския Парламент и на Съвета от 16 декември 2003 година за изменение на Директива 96/82/ЕО на Съвета относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества.
7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sl/TXT/> Document 32012L0018 Директива 2012/18/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 4 юли 2012 година относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества, за изменение и последваща отмяна на Директива 96/82/ЕО на Съвета текст от значение за ЕИП.
8. Закон за опазване на околната среда. Обн., ДВ, бр. 91 от 25.09.2002 г., попр., бр. 98 от 18.10.2002 г., изм. бр. 96 от 2.12.2022 г., в сила от 27.11.2022 г., бр. 102 от 23.12.2022 г., в сила от 1.01.2023 г., бр. 84 от 6.10.2023 г., в сила от 6.10.2023 г., бр. 102 от 8.12.2023 г., доп., бр. 70 от 20.08.2024 г.
9. Наредба за предотвратяване на големи аварии с опасни вещества и ограничаване на последствията от тях. Приета с ПМС № 2 от 11.01.2016 г., обн., ДВ, бр. 5 от 19.01.2016 г., в сила от 19.01.2016 г., изм. и доп., бр. 3 от 5.01.2018 г., бр. 31 от 12.04.2019 г., в сила от 12.04.2019 г., бр. 67 от 23.08.2019 г., в сила от 23.08.2019 г., бр. 62 от 5.08.2022 г., в сила от 5.08.2022 г.

ОГРАНИЧАВАНЕ НА РИСКОВЕТЕ И НАМАЛЯВАНЕ НА ВЪЗДЕЙСТВИЯТА, ВЪЗНИКНАЛИ В РЕЗУЛТАТ НА ПРИРОДНИ ЯВЛЕНИЯ И КРУПНИ ПРОМИШЛЕНИ АВАРИИ

MINIMIZING RISKS AND REDUCING IMPACTS FROM NATURAL DISASTERS AND MAJOR INDUSTRIAL ACCIDENTS

Assoc. Prof. Simeonova A., PhD¹, Assoc. Prof. Krumov A., PhD¹

Institute of Metal Science, Equipment and Technology with Hydroaerodynamic Center at Bulgarian Academy of Sciences,
67 Shipchenski Prohod Street, 1574 Sofia, Bulgaria¹

Abstract: Effective risk management related to natural disasters and large-scale industrial accidents is key to enhancing public safety, improving quality of life, and supporting sustainable development. It's essential to implement coordinated strategies—both nationally and across borders—that aim to reduce risks and lessen the impact of such events. This includes forecasting the potential consequences of disasters, planning preventive or mitigation measures, and putting systems in place to protect the population.

Keywords: ENVIRONMENT, RISK, MAJOR INDUSTRIAL ACCIDENTS, SECURITY.

1. Въведение

Политиката, свързана с управление на риска в мащабните инфраструктурни обекти акцентира върху ефективното ограничаване на рисковете и намаляване на въздействията, възникнали в резултат на природни явления и крупни промишлени аварии.

Съгласно Актуализираната Стратегия за национална сигурност на Република България (Приета с Решение на НС от 14.03.2018 г., обн. ДВ бр. 26 от 23.03.2018 г.), защитата на населението и критичната инфраструктура при кризи, бедствия, аварии, катастрофи и други рискове и заплахи е една от главните цели на съвременната политика за национална сигурност [1].

От изключителна важност е, че политиката, свързана с управление на риска на глобално, национално и регионално ниво е ангажимент на държавата, като се акцентира върху ефективното ограничаване на рисковете и намаляване на въздействията им.

За да се очертае рамката от изисквания и необходимите стъпки, които трябва да бъдат изпълнени от страна на ръководствата на големите индустриални обекти, за да създадат условия за ефективна комуникация със съответните държавни органи, неправителствени организации и обществото в условия на възникнала производствена авария, е необходимо изграждането на непрекъсната синергична връзка между тях. По този начин ще се увеличат шансовете за опазване на околната среда и здравето и живота на хората.

Превенцията е от основните приоритети при провеждане на действия, свързани с повишаване на общата сигурност на държавата и осигуряване на ефективна защита на населението при бедствия и аварии. Ето защо главните усилия са насочени към ефективна превантивна дейност, организиране, координация и ръководство на спасителните и неотложните възстановителни работи при възникване на големи промишлени аварии или бедствия.

2. Големи промишлени аварии, свързани с управлението и експлоатацията на съоръжения за складиране на технологични отпадъци

Значителна заплаха за живота, здравето на хората и за околната среда, представляват големите промишлени аварии, свързани с управлението и експлоатацията на съоръжения за складиране на технологични отпадъци, каквито са хвостохранилищата. Хвостохранилищата се определят като рискови или потенциално опасни съоръжения от критичната инфраструктура и инцидентите, свързани с тях причиняват

огромни икономически загуби и нарушават устойчивия растеж в определени промишлени сектори, които имат структуроопределяща роля за икономиката.

Промислените аварии при експлоатацията на такива съоръжения представляват сериозна заплаха за хората и околната среда, особено в случаи на неправилно проектиране, експлоатация или управление, тъй като една авария може да доведе до неконтролирано изтичане на хвост, опасни свлачища или изпускане на опасни вещества, което да предизвика екологична катастрофа.

Опустошителните последици за хората и околната среда от такива инциденти, както и техните трансгранични последствия бяха доказани от значителни аварии от последните години в региона на ЕС, напр. скъсването на язовирната стена на хвостохранилище към минно съоръжение в Бая Маре, Румъния, през 2000 г., разливът на утайки от алуминий в Колонтар, Унгария, през 2010 г. или аварията в минната компания Талвиваара във Финландия през 2012 г.

За да се сведат до минимум рисковете, възникващи в такива съоръжения, са необходими мерки за предотвратяване на аварии и осигуряване на подходяща организация и средства за реагиране при възникване на инциденти от такъв тип.

Насоките за безопасност и добри практики по отношение на такива съоръжения са разработени от Съвместна експертна група по водите и промишлените аварии с подкрепата на секретариата на Икономическата комисия за Европа на Организацията на обединените нации, одобрени от Конференцията на Страните по Конвенцията за промишлените аварии на петото ѝ събрание (Женева, 25-27 ноември 2008 г.) и от Срещата на Страните по Конвенцията за водите на петото ѝ заседание (Женева, 10-12 ноември 2009 г.). Те са под формата на набор от препоръки, които да подпомагат националните органи и оператори за осигуряване на адекватно ниво на безопасност и приемливо ниво на риск, пораждан от такива съоръжения и имат за цел да допринесат за ограничаване на аварията в съоръжения за управление на минни отпадъци и тежестта на последствията за човешкото здраве и за околната среда [2].

Съгласно Директива 2008/114/ЕО на Съвета от 8 декември 2008 г. и Закона за защита при бедствия, понятието „защита“ означава всички дейности, целящи гарантиране на функционирането, непрекъснатостта и целостта на критичните инфраструктури, за да възпрат, смекчат и неутрализират заплахата, риск или уязвимо място.

„Заплахата“ е пряка, реална, непосредствена опасност. Тя се характеризира с по-голяма сила от опасността. На заплахата се знаят точните параметри за негативното събитие.

„Уязвимостта“ е присъщо свойство на нещо, пораждащо податливост към източника на риск, в резултат на което може

да има някакво последствие. Уязвимостта определя влиянието на риска и различните рискови фактори.

„Рискът“ може да се определи като комбинация от вероятността за настъпване на дадено събитие и последствията от това. Директива „Севезо II“ определя риска като „вероятността от специфично въздействие, настъпващо в рамките на определен период от време или при определени обстоятелства“. Като такъв, рискът е сложна функция от опасности, свързани с определена система.

„Анализ на риска“ означава отчитане на съответните сценарии за действие при различни заплахи, с цел да се направи оценка на уязвимостта и на потенциалните последици от нарушаването или унищожаването на критична инфраструктура.

„Потенциално опасен обект“ е този обект, който поради своите функции, размери или обслужвана зона може, при повтарящи се отклонения от нормалната експлоатация или при увреждане или разрушаване, да причини в големи размери увреждане на здравето на населението, смърт, материални щети или разстройване на жизненоважни социално-икономически дейности.

В зависимост от това кое опасно явление, ситуация или събитие въздейства върху инфраструктурата, даден обект може да бъде отнесен към критичната инфраструктура или не.

Понятието „критична инфраструктура“ е дефинирано в Закона за защита при бедствия и други нормативни документи, според които „критична инфраструктура“ е система или части от нея, които са от основно значение за поддържането на жизненоважни обществени функции, здравето, безопасността, сигурността, икономическото или социалното благосъстояние на населението и чието нарушаване или унищожаване би имало значителни негативни последици за Република България в резултат на невъзможността да се запазят тези функции [3, 4, 5, 6].

Това налага осигуряване на защита на критичните инфраструктури, която обхваща всички опасности за тях – природни бедствия, човешка дейност и терористични заплахи.

3. Оценка на риска от големи аварии и/или бедствия

Законът за опазване на околната среда (ЗООС) урежда обществените отношения, свързани с опазването на околната среда и защитата на здравето на хората; съхраняването на биологичното разнообразие; опазването и ползването на компонентите на околната среда; контрола и управлението на факторите, които увреждат околната среда; осъществяването на контрол върху състоянието на околната среда и източниците на замърсяване; предотвратяването и ограничаването на замърсяването. Със закона, в българското законодателство е транспонирана Директива 2012/18/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 4 юли 2012 г. относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества, за изменение и последваща отмяна на Директива 96/82/ЕО на Съвета (ОВ, L 197/1 от 24 юли 2012 г.) [7, 8].

Оценката на риска от големи аварии и/или бедствия е елемент от докладите за оценка на въздействието върху околната среда (ОВОС) за определени инвестиционни предложения за строителство, дейности и технологии, които се оценяват в хода на процедура по ОВОС, съгласно изискванията на закона. Тези доклади, задължително съдържат описание на очакваните значителни неблагоприятни въздействия на инвестиционното предложение за околната среда и човешкото здраве, произтичащи от уязвимостта на инвестиционното предложение на риск от големи аварии и/или бедствия, които са от значение за него. Съответната информация трябва да е получена чрез оценка на риска. Описанието включва приложимите мерки, предвидени за предотвратяване или смекчаване на значителните неблагоприятни последици на тези събития за околната среда и човешкото здраве, както и

подробности за подготвеността и за предлаганото реагиране при такива извънредни ситуации.

Също така оценката на риска от големи аварии е елемент на докладите за безопасност, които се изготвят по реда на ЗООС от операторите на предприятия и/или съоръжения с висок рисков потенциал (предприятия в обхвата на Директива 2012/18/ЕС, SEVESO).

4. Насоки за ограничаване на рисковете и намаляване на въздействията, възникнали в резултат на природни явления и крупни промишлени аварии

Възможността от възникване на бедствия в резултат на природни явления и крупни промишлени аварии е заложена в анализа на възможните бедствия и прогноза за последиците от тях в Националния план за защита при бедствия и Националната програма за намаляване на риска от бедствия [9, 10].

Основната цел на Националния план за защита при бедствия е извършването на анализи и оценки за риска от възникване на бедствия на територията на Република България и набелязване на превантивни мерки за намаляване на неблагоприятните последици в резултат от бедствията.

„Бедствие“ е събитие или поредица от събития, предизвикани от природни явления, инциденти, аварии или други извънредни обстоятелства, които засягат или застрашават живота или здравето на населението, имуществото или околната среда в размери, които изискват предприемането на мерки или участието на специални сили или използването на специални ресурси.

Националната програма за намаляване на риска от бедствия е разработена на основание чл. 6в, ал. 1 от Закона за защита при бедствия (ЗЗБ) за изпълнение на целите на Националната стратегия за намаляване на риска от бедствия 2018-2030 г. (НСНРБ). Националната програма съдържа стратегически цели, оперативни цели и дейности за реализиране на оперативните цели. Националната програма е със срок на действие 5 години и обхваща периода 2021-2025 г.

Основните насоки за осъществяване на Националния план за защита при бедствия са:

- анализиране на възможните бедствия и прогнозиране на последиците от тях;
- планиране на мерки за предотвратяване или намаляване на последиците от бедствията;
- разпределение на задълженията и отговорностите между органите на изпълнителната власт за изпълнение на планираните мерки;
- осигуряване на средства и ресурси, предвидени за ликвидиране на последиците от бедствия;
- определяне на начина на взаимодействие между органите на изпълнителната власт;
- определяне на реда за навременното уведомяване на органите на изпълнителната власт и населението при заплаха или възникване на бедствие.

5. Заключение

Ограничаването на рисковете и намаляване на въздействията, възникнали в резултат на природни явления и крупни промишлени аварии се подпомага чрез обединените действия на страните в рамките на ООН, чрез обща нормативна рамка. Поради това хармонизацията на нормативната база е водеща линия на цялостно поведение на органите, управляващи този процес. Политиката за справяне с тези проблеми трябва да бъде интегрирана в планирането на устойчивото развитие в т.ч. и при природни, и при предизвикани от човека бедствия.

Основа за намаляването на риска от бедствия е събирането и разпространението на информация за добрите практики във връзка с успешното развитие на пълноценни политики в тази област. Когато са налице прозрачност и информираност на отговорните институции, това гарантира умело използване на добрите практики в планирането на превантивните мероприятия, а информираността на населението улеснява прилагането и изпълнението на планираните мерки и мероприятия.

Литература

1. Актуализирана Стратегия за национална сигурност на Република България, приета с Решение на НС от 14.03.2018 г., обн., ДВ, бр. 26 от 23.03.2018 г.
2. Насоки за безопасност и добри практики за съоръжения за управление на минни отпадъци, отпечатано в Организацията на обединените нации, Женева – GE.13-26665 – април 2014 г. – 696 – ECE/CP.TEIA/26, достъпна на <https://www.moew.government.bg/>).
3. Directive 2008/114/EC – identification and designation of European critical infrastructures and assessment of the need to improve their protection.
4. Disaster Protection Act (promulgated: State Gazette, Issue 13, 7 February 2017).
5. Ordinance on the procedure, manner and competent authorities for establishing the critical infrastructures and their sites and assessing the risk for them (promulgated: State Gazette, Issue 27, 5 April 2016).
6. Закон за защита при бедствия, Обн. ДВ. бр. 102 от 19 декември 2006 г., изм. ДВ. бр.41 от 22 май 2007 г., изм. и доп. ДВ. бр. 77 от 18 септември 2018 г., изм. и доп. ДВ. бр. 60 от 7 юли 2020 г.
7. Закон за опазване на околната среда. Обн., ДВ, бр. 91 от 25.09.2002 г., попр., бр. 98 от 18.10.2002 г., изм. бр. 96 от 2.12.2022 г., в сила от 27.11.2022 г., бр. 102 от 23.12.2022 г., в сила от 1.01.2023 г., бр. 84 от 6.10.2023 г., в сила от 6.10.2023 г., бр. 102 от 8.12.2023 г., доп., бр. 70 от 20.08.2024 г.
8. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sl/TXT/> Document 32012L0018 Директива 2012/18/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 4 юли 2012 година относно контрола на опасностите от големи аварии, които включват опасни вещества, за изменение и последваща отмяна на Директива 96/82/ЕО на Съвета текст от значение за ЕИП.
9. <https://www.strategy.bg> Национален план за защита при бедствия.
10. <https://www.eufunds.bg> Национална програма за намаляване на риска от бедствия 2021-2025-г.

СПЕЦИФИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ВРАТИТЕ С ОГНЕВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ТУНЕЛИТЕ

SPECIFIC REQUIREMENTS FOR DOORS WITH FIRE CHARACTERISTICS IN TUNNELS

инж. Димитров В.
Академия на МВР,
vassko.vd@gmail.com

Abstract: Doors with fire-resistant characteristics (fire doors) used in tunnel facilities are a critical element of passive fire protection systems. In closed and hard-to-reach environments such as road and rail tunnels, the requirements for these doors significantly exceed the standards for ordinary buildings. The specific technical, functional, and regulatory requirements for fire doors intended for tunnel applications are analyzed. Particular attention is paid to the "Temperature-Time" curves used in Europe to determine the fire resistance of tunnel structural elements.

Keywords: tunnels, doors with fire resistance

1. Увод

Пожарната безопасност в тунелите е от критично значение за защитата на човешки животи и инфраструктура. За разлика от сградите, при които евакуацията и действията при пожар и авария са по-лесни и достъпни, тунелите са затворена и рискова среда. Това води до по-бързо и интензивно развитие на тези събития и за това изискванията към всички конструктивни елементи на тунелите, в това число и вратите са завишени. Елемент от осигуряването на безопасни противопожарни зони и пътища за евакуация, както и безопасен достъп на спасителните екипи са противопожарните врати. Те обикновено са монтирани в галерии или аварийни изходи, свързващи два пътни тунела или пътен със спасителен тунел. Тези врати играят ключова роля и за предпазване на структурата на тунела от температурно натоварване.

Следователно тези врати е необходимо да са подложени на значително по-строги изисквания спрямо вратите с огневи характеристики в сгради, детайлно описани в действащата в България нормативна уредба [1] и в трудовете на д-р Нели Симеонова [2, 3].

2. Специфични изисквания към вратите в тунелите

Съвременните противопожарни врати в тунелите са високотехнологични продукти, създадени да отговорят на уникалните предизвикателства при пожари в затворени пространства. За разлика от сгради, където пожарите се развиват по-бавно, тези в тунелите достигат изключително високи температури за кратко време. Съпроводени са с високо налягане, дим и ограничени възможности за евакуация. Поради тези причини, към вратите в тунелите в голяма част от европейските държави се предявяват следните изисквания:

1) устойчивост на подналягане и надналягане – противопожарните врати за тунели трябва да издържат на аеродинамични удари, които възникват при преминаване на превозни средства и влакове или от вентилационната система за отвеждане на дим и топлина. Препоръчителната стойност на положителното налягане често достига до 10 kPa (1000 kg/m²);

2) устойчивост на корозия – вратите следва да функционират в изключително агресивна среда, формирана от следните няколко основни фактора [4]: емисиите от ДВГ; препаратите, методите и честота на почистване; използване на сол за пътно поддържане, а не на ацетат; атмосферните и климатичните условия; инфилтрация или наводняване; несъвместимост на използвани материали и др. Поради изброените фактори, за изработката на вратите са необходими материали, устойчиви на корозия (например неръждаема илицинкована стомана);

3) самозатваряща функция – вратите следва да се затварят автоматично, също и при спиране на електрозахранването. Често,

предвид и изискването за устойчивост на положително и отрицателно налягане, се изисква и оборудването им с хидравлични или електромеханични затварящи устройства. Препоръчително е вратата да бъде снабдена със сензори за контрол на състоянието, които да отчитат дали тя е отворена/затворена;

4) лесна употреба – вратите трябва да се отварят лесно (дори от лица без технически познания), но в същото време да са защитени срещу неразрешено отваряне, както и прекомерно лесно отваряне предвид устойчивостта на положително и отрицателно налягане;

5) механична и удароустойчивост – вратите следва да са устойчиви на механични въздействия (напр. вандализъм, аварийно отваряне, сблъсъци). Те трябва да бъдат със стабилна стоманена конструкция с подсилени панти и брави;

6) пропускане на дим – за да не пропускат задимяването на пътищата за евакуация и безопасните зони със студен или топъл дим, вратите следва да са димозащитени. Те могат да бъдат класифицирани в клас S_a (S_{a3} или S_{a4}) или S₂₀₀ съгласно БДС EN 13501-2.

7) висок клас на устойчивост на огън, определен при екстремни температури: вратите често трябва да притежават клас на устойчивост на огън от EI 90 до EI 240. Поради характеристиките на тунелите (затворена среда и големи количества горива в тях), пожарите се развиват при екстремни температури, надвишаващи 1000°C. За това, голяма част от европейските държави (като Германия, Франция, Нидерландия и др.) имат изисквания, изпитването на конструктивните елементи на тунелите, включително и на вратите, да се извършва по специфични криви „Температура-време“, различаващи се от стандартната (целулозна). Най-често това са въгледородната (HC), модифицираната въгледородна (HCM), RWS (Rijkswaterstaat), RABT ZTV и кривата EBA (EUREKA). Кривите са разгледани в следващата част на доклада, като общото между тях е, че при изпитването се достигат температури надвишаващи 1000°C, като след това следва рязък период на охлаждане.

Допълнителни въпроси възникват след разглеждане през призмата на изпитване, класификация и влагане в строежите на тунелните врати. За да се удостовери постигнатият клас по устойчивост на огън се извършва изпитване по стандарт БДС EN 1634-1 и класификация по БДС EN 13501-2. След определяне на тази и всички останали желани характеристики, за вратите се издават необходимите документи за тяхното пускане на пазара и влагане в строежите. Редът за влагане и необходимите за това документи са детайлно описани в научните трудове на д-р Симеонова [5], [6] и [2]. Проблем с описаните в нейните трудове изисквания възниква, когато вместо целулозната крива, за определяне на класа по устойчивост на огън се използват останалите екстремни тунелни криви. В стандарта за изпитване

БДС EN 1634-1 и в стандарта за класификация БДС EN 13501-2, изрично е упоменато, че те не са приложими за тези криви. В този случай, единственият законен ред за влагане на вратите в тунелите е чрез прилагане на европейския ред за оценяване на индивидуални продукти.

8) поддръжка и контрол – за да се гарантира функционалността им в случай на авария, противопожарните врати трябва редовно да се проверяват за херметичност, затварящ механизъм, правилен монтаж и механични повреди. Интервалите за поддръжка са често ежегодни, в зависимост от оператора и употребата.

В допълнение към изложената до тук европейска практика, следват нормативните изисквания към вратите в Република България [4].

3. Изисквания към тунелните врати в България

Изискванията към вратите в пътните тунели на Република България са дефинирани в Наредба № РД-02-20-2 от 2015 г. [4]. Те са:

1) огнеустойчивост и самозатваряне – основните изисквания са дадени в Таблица № 19 към чл. 486, а именно (виж Таблица 1):

Таблица 1 – Изисквания към вратите в пътните тунели

Таблица 1 Изисквания към вратите в пътните тунели				
Номер	Наименование на конструкция или елемент	Категории тунели		Критерий* за огнеустойчивост
		I	II ¹⁾	
		Устойчивост на пожар [min]		
4	Пожарозащитни врати в пожарозащитните прегради различни от номер 5 и 6	60	90	EW
5	Пожарозащитни врати към защитен път за евакуация, оборудвани с механизъм за самозатваряне (СЗ)	90	90	EI, СЗ ⁴⁾
6	Плъзгащи се пожарозащитни врати или пожарозащитни врати със серво-механизъм към защитен път за евакуация	90	90	EI

¹⁾ Устойчивостта на пожар в тази колона се прилага само за участъци от тунели, класифицирани като категория II.

⁴⁾ Изискването за дълготрайност на самостоятелното затваряне - съгласно БДС EN 14600, не е задължително за плъзгащи се врати;

* Съгласно серията стандарти БДС EN 13501.

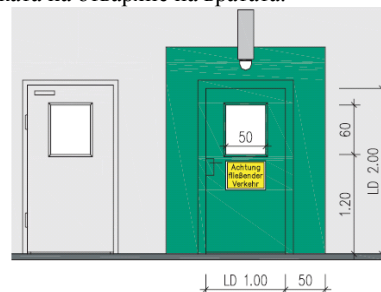
Вратите следва да са осигурени със система за автоматично подаване на сигнал към оперативната централа (контролният център) при отваряне;

2) защита от корозия – вратите, съгласно чл. 64 трябва да бъдат защитени от корозия, като това най-често се постига с конструкция от неръждаема или поцинкована стомана;

3) устойчивост на подналягане и надналягане – изискванията са дадени в чл. 311, а именно: необходимото надналягане в незасегнатата от пожара тръба се определя от моделирането на влиянието на пожара върху вентилационната мрежа, но не може да бъде по-малко от 20 Ра спрямо тръбата, в която е пожарът.

4) лесна употреба и безопасност - чл. 459 предвижда силата, необходима за отваряне на вратата на аварийен изход по всяко време, да не надвишава 100 N, като се отчита и влиянието на налягането на вентилацията в тунела. Вратите трябва да се отварят навън, към безопасната зона в посока на евакуацията, а вратите на аварийните изходи от тръбата на тунела към напречна връзка трябва да се отварят към напречната връзка (чл. 461, ал. 1). При един аварийен изход с две врати, едната от тях може да се отваря към тръбата на тунела при условие, че крилото на вратата при отваряне не навлиза в пространството на пътното платно за движение на превозните средства в тунела. Ако вратата се отваря

в посока обратна на пътя за евакуация, тогава, съгласно ал. 2 на същия член, на тези врати, се поставя знак (например указателна табела с ясно различим текст на жълт фон) (виж Фигура 1), указващ посоката на отваряне на вратата.



Фигура 1 - Врата с рамка от боя, която се отваря в посока на евакуацията [4]

За да е безопасна евакуацията, ако вратата има праг, той не трябва да е по-висок от 20 mm (чл. 462). А за да се осигури видимост между двете тръби на тунела, във вратите в стената, която ги разделя, се предвижда остъкление, разположено на разстояние 1,20 m от долния ръб на крилото на вратата, съгласно чл. 460, а остъклението е с размери $\geq (50 \times 60)$ cm.

Вратата следва да бъде и боядисана, заедно с частта от стените на разстояние до 50 cm около отворите за врати, в зелен цвят RAL 6032. Това е изобразено на фиг. 33 от [4] (виж Фигура 1). На вратите се поставя знак (например указателна табела с ясно различим текст на жълт фон) с предупреждение за посоката на движение на превозните средства.

5) пропускане на дим – към вратите в тунелите на Република България няма изисквания за контрол на дима.

4. Основни температурни режими за огнени изпитвания на конструктивни елементи на тунели

През годините са проведени много изследвания и анализи на развитието на пожарите в тунели. Част от тях са теоретични, други са изведени от действителни такива, а трети са получени в резултат на контролирано пълномасштабно моделиране. В резултат на този труд са изведени няколко температурни криви, които се прилагат в различни европейски държави.

В България, съгласно ал. 1 на чл. 488 от Наредба РД-02-20-2 [4], за огнево изпитване на тунелните конструктивни елементи (включително и вратите) се прилага стандартната крива. Ако оценката на риска показва, че е необходима друга динамика, тогава се прилага Модифицираната въглеродородна крива (HCM):

4.1. Стандартна крива температура-време

Тя е дефинирана в БДС EN 1991-1-2 [7], ISO 834-1 [8] и стандарта БДС EN 1363-1 [9]. Използва се за пожари в сгради с умерено и плавно нарастване на температурата (до 1000°C след 120 минути). Въпреки че температурният режим е приложим за стандартно изпитване на различни продукти и конструкции, като например реактивна система за защита на стомана, той не представя точно по-тежките условия при пожар, които могат да възникнат в тунелите.

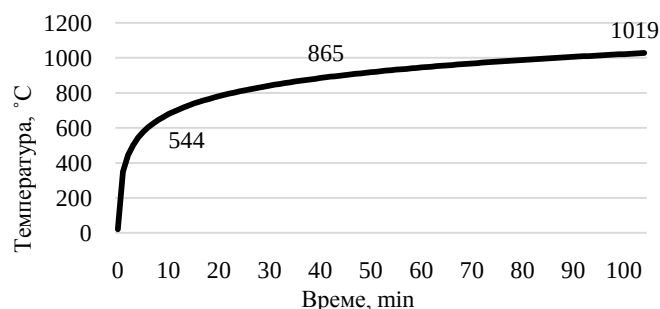
Математическата функция, която описва тази крива температура-време се изразява чрез следното уравнение:

$$(1) \theta_g = 345 \cdot \lg(8t + 1) + 20$$

където:

t е времето от началото на изпитването, в минути (min), а θ_g е средната температура в пещта, в °C. В стандарта БДС EN 1363-1 времето се означава със символа „T“.

Функцията (1) е представена графично на Фигура 2:



Фигура 2 - Стандартна крива „температура-време“

4.2. Въгледородна (Хидрокарбонова, НС) крива

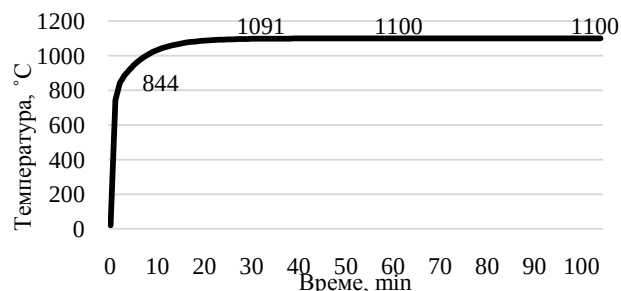
Дефинирана е в БДС EN 1991-1-2 и БДС EN 1363-2 [10]. Тя представя ефектите от пожар при горене на въгледородни вещества, като бензин или дизел, които са налични в големи количества в пътните тунели, нефтепреработващата промишленост и при нефтодобива в открито море. Тези пожари се характеризират с висока скорост на нарастване на температурата до 1100°C. Поради тази причина, в някои случаи кривата се прилага при проектиране на по-ниско рискови тунели, например индустриални тунели или като базова крива, последвана от по-тежки.

Прилага се следната формула (2), представена графично на Фигура 3:

$$(2) \theta_g = 1080 \cdot [1 - 0,325 \cdot e - 0,167 \cdot t - 0,675 \cdot e - 2,5 \cdot t] + 20$$

където:

t е времето от началото на изпитването, в минути (min), а θ_g е средната температура в пещта, в °C.



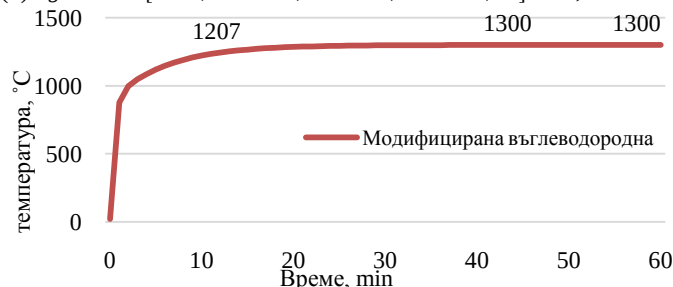
Фигура 3 - Въгледородна крива

4.3. Модифицирана въгледородна крива (НСМ)

Тя е разновидност на НС кривата, като е пригодена за специфични сценарии на пожар в тунел. Отчита уникалните условия в тунелите, като например вентилация и наличие на множество източници на гориво – автомобили, камиони, цистерни, влакови композиции и др.

НСМ кривата се определя по зависимостта (3), изразена графично на фигура 4:

$$(3) \theta_g = 1280 \cdot [1 - 0,325 \cdot e - 0,167 \cdot t - 0,675 \cdot e - 2,5 \cdot t] + 20,$$



Фигура 4 - Модифицирана въгледородна крива (НСМ)

При тази крива температурата достига 1200°C за 9 минути и 1300°C за 41 минути. Осигурява по-точно представяне на пожари в тунели, като отчита наличието на въгледороди. Използва се в допълнение към други криви за проектиране на цялостни системи за противопожарна защита.

4.4. RWS (Rijkswaterstaat) крива

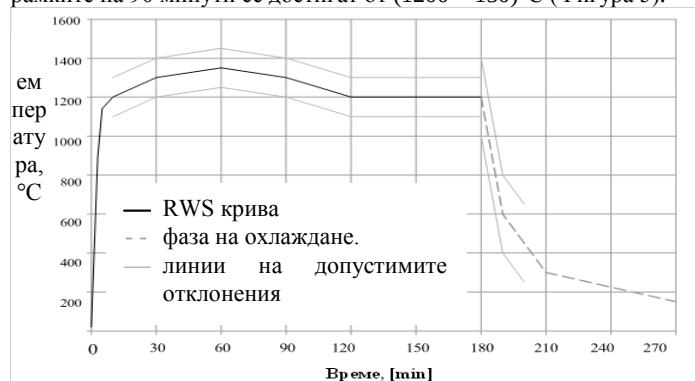
Тази крива е създадена от Rijkswaterstaat, изпълнителният орган на нидерландското Министерство на инфраструктурата и управлението на водите (RWS), съвместно с Центърът за противопожарни изследвания на TNO (понастоящем известен като Efectis Nederland). Тя симулира пожар в басейн, дължащ се на изтичане на гориво от цистерна с обем 50 m³, която е участвала в сблъсък. Площта на горящия басейн е 150 m². Доказано е обаче, че високите температури на кривата RWS могат да бъдат достигнати и в тунелна среда по време на пожар на тежкотоварен автомобил с твърд товар.

Историята на създаването ѝ е подробно описана в документа „Efectis-R0695:2020 Процедура за изпитване на пожар на бетонни тунелни облицовки и други тунелни компоненти“ [11]. Той преминава през няколко етапа на преиздаване и допълване започвайки от 1986 г., 1998 г. и 2008 г. Последното допълнение е от 2020 г. като той вече включва и изпитване на устойчивост на огън на други компоненти на тунела, като врати, защити на преминавания, кабелни канали и системи за защита на фуги в тунела.

През последните няколко години все повече органи в Нидерландия задължават собствениците на тунели да доказват пожарната безопасност на съществуващите тунели. Поради това нидерландското правителство е включило в процедурата от 2020 г. и извършване на огнени изпитвания на място с мобилна пещ вместо в лаборатория.

При кривата температурата от 1200°C се достига на 10^{-тата} минута, а максималните градуси от 1350°C са достигани в 60^{-тата} минута. Следва намаляване на температурата до 1200°C, поддържана за дълъг период от време (до 2 – 3 часа).

Другата съществена разлика между тази и останалите криви, е че тук след периода на нагряване, следва период на охлаждане. В рамките на 90 минути се достигат от (1200 ÷ 150)°C (Фигура 5).



Фигура 5 - RWS (Rijkswaterstaat) крива

Развитието на кривата (Таблица 2), включващо нагряване и охлаждане е представено таблично в Efectis-R0695:2020 [11].

Таблица 2 - RWS (Rijkswaterstaat) крива

Етапи	Етап на повишаване на температурата								Етап на охлаждане					
Температура [°C]	20	890	1140	1200	1300	1350	1300	1200	1200	600	300	225	150	
Време [min]	0	3	5	10	30	60	90	120	>120	0	10	30	60	90

4.5. RABT ZTV криви

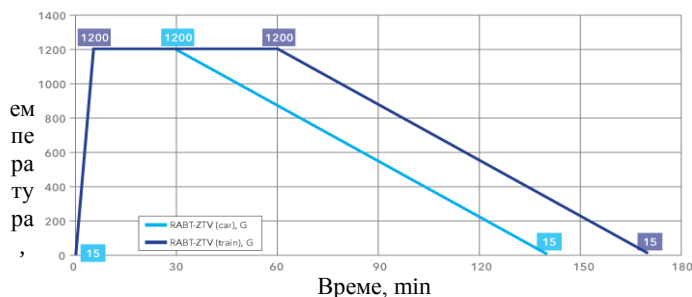
RABT (Richtlinie für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln in Deutschland) ZTV са криви, разработени в

Германия в резултат на поредица от изпитвателни програми, като например проектът Eureka [12]. Кривите се прилагат за тунели за коли и за влакове. При тях температурата се повишава много бързо, достигайки 1200°C за 5 минути. Въпреки това, продължителността на въздействието при 1200 °C е по-кратка, отколкото при други криви. При автомобилни пожари температурата започва да спада след 30 минути. При пожари във влакове спадът започва едва след 60 минути. И за двете криви на пожар се прилага 110-минутен период на охлаждане. Крайната цел е температурата на армировката да не надвишава 300 °C.

Развитието на температурата при тунели, използвани за автомобили и за влакове е представено в Таблица 3 и Фигура 6:

Таблица 3 - RABT ZTV криви

Криви	RABT ZTV - влакове				RABT ZTV - автомобили			
Температура [°C]	15	1200	1200	15	15	1200	1200	15
Време [min]	0	5	60	170	0	5	30	140

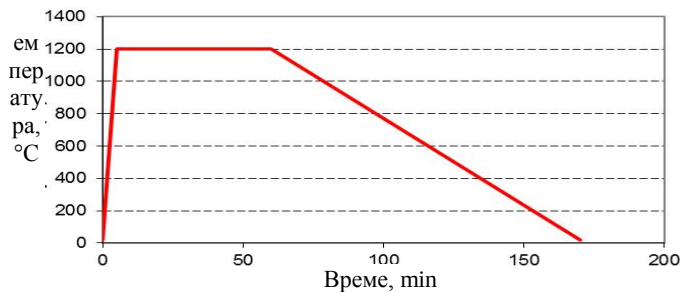


Фигура 6 - RABT ZTV криви [12]

4.6. Крива ЕВА (EUREKA)

Кривата ЕВА известна също като EUREKA БДС EN 499, се използва предимно за оценка на пожароустойчивостта при екстремни пожарни условия в железопътни тунели [13]. Разработена е като част от европейския изследователски проект EUREKA. Помага при проектирането на тунелни конструкции, които могат да издържат на високи температури и интензивни пожарни сценарии, като гарантира безопасността на пътниците и улеснява ефективните пожарогасителни операции.

При тази крива температурата достига приблизително 1200°C в рамките на 5 минути от възпламеняването (Фигура 7).



Фигура 7 – Крива ЕВА (EUREKA)

5. Заключение

Към 2025 г. изискванията към тунелните противопожарни врати в България се основават на целулозната крива на пожарно въздействие, която не отчита спецификите на тунелните пожари – изключително бързото покачване на температурата и по-високото налягане, което се достига. Екстремните криви като HCM, RWS, RABT и EUREKA са интегрирани в европейските практики и все повече се утвърждават като база за оценка на тунелните компоненти, включително вратите. Въвеждането им ще

гарантира, че противопожарните врати и другите критични елементи отговарят на по-строги и реалистични изисквания за устойчивост при пожар.

Докладът показва, че в Наредба РД-02-20-2 липсва изискване и за характеристиката „контрол на дима“, която в европейската практика се разглежда като критичен елемент за успешна евакуация и безопасност на хората. Важно е да се въведе изрично нормативно изискване вратите в тунелите да осигуряват и ефективен контрол на дима. Това ще подобри условията за евакуация и ще намали риска за хората и спасителните екипи при инциденти.

Литература

- [1] Наредба № Из-1971 от 29.10.2009 г. за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар, (Обн. ДВ. бр. 96 от 4 Декември 2009 г., посл. изм. и доп. ДВ. бр. 63 от 31 Юли 2018 г.).
- [2] Н. Симеонова, Контрол за съответствието на влаганите в строежите и обектите строителни продукти с нормативните изисквания за пожарна безопасност, София: Итус 98 ЕООД, 2025.
- [3] Н. Симеонова, „Съществени характеристики, конструкция и област на приложение на противопожарните врати,“ XXIV Международна научна конференция ВСУ'2024, София, 2024.
- [4] Наредба № РД-02-20-2 от 21 декември 2015 г. за технически правила и норми за проектиране на пътни тунели, ДВ бр. 8 от 29 януари 2016 г..
- [5] Н. Симеонова, „Необходими документи за влагане на строителни продукти в строежите на територията на Република България,“ Бюлетин 3/2025 на Факултет „Пожарна безопасност и защита на населението“, София, 2025.
- [6] Н. Симеонова, „Видове врати с огневи характеристики и предстоящи промени в документите за тяхното влагане,“ XXIV Международна научна конференция ВСУ'2024, 2024.
- [7] EN 1991-1-2 Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 1-2: Основни въздействия. Въздействия върху конструкции, изложени на пожар.
- [8] ISO 834-1 Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements, 2025.
- [9] EN 1363-1 Изпитвания за устойчивост на огън. Част 1: Общи изисквания, 2020.
- [10] EN 1363-2 Изпитвания за устойчивост на огън. Част 2: Алтернативни и допълнителни процедури, 2001.
- [11] Efectis-R0695:2020 Процедура за изпитване на пожар на бетонни облицовки на тунели и други компоненти на тунели, 2020.
- [12] „<https://www.promat.com/en-au/>,“ PROMAT, [Онлайн]. Available: <https://www.promat.com/en-au/construction/projects/expert-area/33637/international-fire-curves-fire-safety/>. [Отваряно на 23 07 2025].
- [13] „<https://tunnel-fire.com>,“ [Онлайн]. Available: <https://tunnel-fire.com/design-fire-curves-for-tunnels/>. [Отваряно на 22 07 2025].

Типични психични състояния на лишените от свобода Typical mental states of prisoners

Доц. д-р Емил Маджаров
Академия на МВР, София, България
Assoc.Prof. Emil Madzharov, PhD
Academy of the Ministry of Interior, Sofia, Bulgaria
email: e.madzharov@abv.bg

Abstract: *Isolation and forced cohabitation in penitentiary institutions cause specific mental states of sadness, stress, depression, anxiety, and increased arousal among those deprived of their liberty. They influence the behavior of prisoners and targeted interventions must be implemented in relation to them to prevent emergencies, destructive actions and conflicts.*

Keywords: *prisoners, mental states, sadness, stress, anxiety, depression, agitation, dissatisfaction, affect.*

1. Увод

В общата психология, преди много време, са обособени три основни психични явления. Това са психичните процеси, състояния и свойства. Те постоянно си взаимодействат [7]. За практическото реализиране на подобна функционална колаборация важна роля играят психичните състояния. Те често се определят от отделни изследователи като презентирани цялостната психичната активност за конкретен времеви период, индикиращи специфичната динамика на психичните процеси, детерминирана от особеностите на перцептираните обективни явления, предходни състояния и личностни черти [9],[7]. Психичното състояние отразява личността на отделния човек в нейната гещалтност [2], [19] но за даден период от време, което показва неговата изменчивост, динамичност, връзката му със сменящите се ситуации и с действията на даден индивид.

Психичните състояния структурират психичната активност на хората и тяхното поведение, защото те представляват техните „...характерологични особености, мотиви, нагласи и отношение към протичащите събития“ [7]. Тези концептуални постановки ни позволяват да направим извода, че психичните състояния са не само интегратор и важно свързващо звено в нашето психично функциониране, но те имат съществена регулираща роля, подпомагат развитието, адаптацията на хората, постигането от тях на различни успехи, както и фиксирането по отношение на конкретни трудности и проблеми.

Принудителната изолация на осъдените в пенитенциарните заведения предизвиква целенасочено ограничаване, реструктуриране на индивидуалните активности и налага редица забрани по отношение на тях. Всички тези рестрикции иницират появата на неудовлетвореност, фрустрираност и ожесточеност [10]. Тези психични състояния са доминантни и определящи за ежедневното поведение на лишените от свобода и за тяхното включване в отделни дейности и ресоциализационни програми.

Спецификата на психичните състояния на осъдените се формира и под въздействието на водещия им стремеж за спокоен живот в затворната институция и избягване на ненужните проблеми. За целта много от осъдените са склонни да търсят съответните варианти на самоизолация и предпочитат доброволно да се настаняват в самостоятелна килия, да четат едновременно няколко книги, да се ангажират с полагане на труд или с хоби-дейности [23],[18]. Така те редуцират натрупаната фрустрация и постоянно потискащото ги състояние на тъга, за което по впечатляващ начин са писали Ф. Достоевски, Ф. Ройтер, О. Уайлд, М. Гернет [18]. Избраната самосъхранителна стратегия и компенсаторното бягство от тъгата дават възможност на лишените от свобода да предизвикват и запазват психичните си състояния на бодрост, удовлетвореност, радост в трудното си пенитенциарно ежедневие [6].

Принудителното съжителство в затворната институция поддържа в лишените от свобода постоянно ниво на напрегнатост и тревожност [6],[18]. То се определя от техните големи и твърде основателни опасения, както и от минал личен опит, че ще бъдат унижавани, насилвани, манипулирани, шантажирани по различни поводи от останалите осъдени или техните лидери. Физически малтретираните и грубо манипулираните лишени от свобода често пребивават в състояние на дискомфорт, отчаяние, повишена тревожност, раздразнителност и гневливост, които им пречат да бъдат адекватни в деловите си активности и в своите междуличностни интеракции.

Фрустрация, безпокойство, гняв преживяват осъдените в хода на изтърпяване на своите наказания, когато са длъжни непрекъснато да правят компромиси и да отчитат претенциите на други лишени от свобода, които се държат агресивно и арогантно и не се притесняват от ситуации на директно физическо противоборство [18], [10].

Значителната промяна в статуса и загубата на социални контакти след постъпването на осъдените в пенитенциарните заведения ги мотивира към активно търсене на подходяща емоционална подкрепа. Нейният дефицит често ги прави много фрустрирани, гневни и неудовлетворени от отсъствието на елементарно разбиране и съчувствие от страна на другите осъдени. За сметка на това в неформалните затворнически групи по местоживее и месторабота възникват и трайно се утвърждават твърде враждебни и конкурентни взаимоотношения [16], [18], [10].

По време на изтърпяване на своите присъди лишените от свобода са фрустрирани и значително неудовлетворени от липса на на позитивен емоционален живот и климат в пенитенциарните институции. Това ги кара да се ориентират към различни алтернативи на компенсаторно общуване, за да поддържат своята увереност, удовлетвореност и да изпитват повече радост в сложното си ежедневие.

Пенитенциарната изолация и принудителното съжителство в различните категории места за лишаване от свобода налагат множество ограничения над персоналната активност на лишените от свобода. Това предизвиква силна съпротива, негативизъм, протестни действия, които се съпровождат от една страна с допълнителна криминализация на осъдените, а от друга страна с позитивиране и стабилизиране на техните психични състояния. В този смисъл укрепването на психичния баланс и комфорт на лишените от свобода, в процеса на изтърпяване на техните присъди, се заплаща с допълнително разнитие на асоциалните ценности, нагласи и сценарии на поведение.

Пребиваването на лишените от свобода дълго време в депресивно-дисфорично състояние се отразява негативно на тяхната личност, самооценка и самоконтрол в различни ситуации.

Следователно, както позитивизирането на психичните състояния на осъдените, така и тяхното негативно структуриране в еднаква степен допринасят за тяхната криминализация, поведенческият дисбаланс, интегриране в затворническата субкултура и за психопатизацията на личността им. Затова своевременното диагностициране на проблемните психични състояния, тяхното регулиране и корекция е от първостепенно значение за осигуряване на сигурността на пенитенциарните институции и осъществяване в тях на ефективното третиране на лишените от свобода.

2.Предпоставки и начини за решаване на проблема

Успешното диагностициране и интервениране на психичните състояния на лишените от свобода е свързано с тяхната прецизна идентификация, базирана на релевантната им диференциация и типологизация. В съвременната пенитенциарна психология психичните състояния на лишените от свобода се анализират и типологизират в контекста на основните етапи от изтърпяването на наказанието: лишаване от свобода [18], [17], [22], [8]. Това се периода на адаптацията, който започва от момента на постъпването на лишения от свобода в пенитенциарната институция и продължава от 3 до 6 месеца. Следва основният етап от изтърпяване на наказанието, което е последван от етапа на подготовката за излизане на свобода. Всеки от така очертаните периоди е съпроводен и с появата на определени психични състояния [7], [17], [10].

В. Поздняков (2003) и А. Коул (2015) специално подчертават, че след транспортирането на правонарушителя, в пенитенциарната институция, той е объркан и смутен от загубата на личната си свобода и автономност, от удара върху статута и самооценката му. Нараства неговият страх от справяне с агресията и манипулациите на другите осъдени, както и опасенията му от дефицита от хетеросексуални практики [18].

В. Пирожков отбелязва, че в рамките на адаптационния период лишеният от свобода се среща с голям трудности и проблеми, породени от режимните ограничения и вътрешния ред, от наличната затворническа субкултура, от установената структура на формалните и неформални интеракции, в които трябва да се включи и да отстоява своя статус, ролева позиция и лично пространство. Преодоляването на визираните значителни затруднения е свързано с много интензивни състояния на тревога, депресивно настроение, нарушения на съня, повишена раздразнителност и увеличена конфликтност [17].

Редица автори посочват [23],[22],[12],[8] посочват, че през основния период от изтърпяване на наказанието осъдените постепенно се адаптират към своеобразната обстановка в пенитенциарната институция, което предизвиква намаляване на изразеността на състоянията на дистрес [18]. Осъдените, които заемат аутсайдерска позиция в неформалните групи на лишените от свобода перманентно изпитват силни страхови състояния заради очакванията си от виктимизация,

В течение на основния период, от изтърпяване на наказанието, тревожно-депресивните състояния на лишените от свобода намаляват, защото те се примиряват със своята съдба и придобиват нови цели и мотивационни ориентири, като интензивно участват в разпространените субкултурални активности и комуникация, противоречащи на режимните норми, присъщи за регламента на затворите и затворническите обществения. Така осъдените активират своя тонус и самоуважение, обезпечават самооправданието си, а техните психичните състояния се позитивират [24],[12],[15],[11].

В течение на основния етап от изтърпяването на наказанието осъдените са потиснати, тревожни, твърде изнервени, мнителни [6]. Визираните психични състояния са предизвикани от режимните забрани, от значителните

противоборства, физически и вербални сблъсъци и конкуренция в неформалните затворнически групи, от постоянното усещане за предстоящи трудности, проблеми и злостни интриги при реализацията на различни дейности и в свободното време.

Тревожното очакване многократно е наблюдавано сред лишените от свобода, които преминават през основния етап от изтърпяване на своята присъда. Голяма част от тях се намират в състояние на повишена напрегнатост, което след известно време се трансформира в изразена пасивност и отчаяние. Тези състояния са много типични за осъдените на по-продължителни срокове лишаване от свобода [18],[17],[11].

Тревожното очакване е много характерно психично състояние за лишения от свобода, на който предстои освобождаване от пенитенциарното заведение. Той е много напрегнат, страда от различни психосоматични симптоми, често изпитва бурна радост и е склонен към изразени афективни действия [6]. Скорошното освобождаване от затворната институция е натоварено с преживяването на голяма неопределеност заради бъдещите ситуации, отношения и перспективи, в които трябва да участва бившият лишен от свобода. Те го объркват, напрегат и отчайват. Той изпитва силна радост и възбуда от мисълта за предстоящата свобода и паралелно с това е много отчаян, тъй като се чувства неприет, стигматизиран, изолиран, сам и безпомощен пред множество от проблеми, с които и до сега се е справял без особен успех [10].

Освобождаващите се лишени от свобода са твърде възбудени и нетърпеливи. Те правят съзнателни и неосъзнати опити да съкратят времето и бавния ход на последните дни и дори часове. Това допълнително увеличава тяхното нетърпение, възбуда и тревожност. При появата на това комбинирано психично състояние са много вероятни опити за бягство [16], реакции на неподчинение, протест или възникване на конфликтни ситуации, които преди това не са били присъщи за подлежащия на освобождаване лишен от свобода [10].

При доживотно осъдените, отделни изследователи [23],[3],[13],[8] установяват присъствието на редица комплицирани, амбивалентни и деструктивни психични състояния. Сред тях доминират състоянията на безперспективност и безнадеждност [11]. Интензивността им обикновено спада, когато доживотно осъдените участват от началото на своето тежко наказание, в различни трудови дейности, които могат да се реализират в зоните за повишена сигурност, където те са настанени [1].

Доживотно осъдените правонарушители на практика нямат никакви перспективи и надежди. На те са „... обречени, отчаяни и готови на различни деструктивни и автодеструктивни действия. Тяхното поведение е трудно предсказуемо и на моменти сериозно може да застраши сигурността на пенитенциарния персонал и на другите лишени от свобода“ [1]. Тези техни активности са естествен резултат от взаимодействието на състоянията на крайно отчаяние, озлобеност и враждебност с такива стенични състояния като решителност, увереност и голяма приповдигнатост [6].

Значителната враждебно-агресивна ориентация на доживотно осъдените намира израз и в типичните за тях състояния на претенциозност, неудовлетвореност, раздразнителност [4].

Доживотните лишени от свобода нямат житейски перспективи, непрекъснато и строго са контролирани и наблюдавани, заради което се намират в състояние на безнадеждност, предизвикваща възникването при тях на гневно-афективни или депресивни състояния. Те периодично се сменят едно с друго [21],[25],[14],[20].

„Доживотно осъдените са песимистични, често преживяват екзистенциални кризи и трудно структурират представата си за

бъдещето. По тези причини те се самоизолират, потъват иреални преживявания, които понижават психичния им тонус и губят интерес към реалността и обкръжението си „[11]. За тях са характерни психичните състояния на разсеяност, спетицизм, депресираност, тъга, и голяма неудовлетвореност от актуалното съществуване [6].

Всеки от етапите на изтърпяването на наказанието лишаване от свобода поражда редица негативни, противоречиви и деструктивни психични състояния. Те се отличават със значителна интензивност и енергетичен потенциал и могат да предизвикат неадекватни и опасни реакции, свързани с агресия и автоагресия. В голяма степен подобни психични състояния и обусловената от тях поведенческа активност са характерни за адаптиращите се към пенитенциарната институция новопостъпни затворници, за подлежащите на освобождаване осъдени и за лишените от свобода, търпящи доживотни присъди.

3.Решение на проучвания проблем

Регистрацията на психичните състояния на всички проблемни категории затворници, през отделните етапи от изтърпяване на наказанията им, се осъществява преди всичко от надзирателите и инспекторите „Социални дейности и възпитателна работа“(СДВР). За целта те трябва да бъдат обучени да ги идентифицират като ползват опростена тяхна типология и оптимален брой показатели за установяване на наличието им. Това се отнася в най-голяма степен до психичните състояния на тревога, неудовлетвореност, раздразнителност, афектираност [6],[10].

От много голямо значение е точното експресно диагностициране на психичните състояния на лишените от свобода в момента на постъпването им в пенитенциарната институция и след произнесане на окончателната им присъда. В тези случаи своевременно и по-прецизно трябва да се установи присъствието на депресия, отчаяние, озлобеност и гняв, за да се вземат изпреварващи мерки и да не се допуснат автоагресивни опити, нападения, остри конфликти [23],[5],[17]. На практика, това се реализира с помощта на експресни скринингови тестове и скали за диагностика на психичните състояния. Данните от тях се съпоставят и анализират с резултатите от проведеното наблюдение на актуалното психично състояние на конкретен лишен от свобода, които следва пълноценно да се използват при първоначалното пенитенциарно третиране на осъдените.

При лишените от свобода, предприели суицид, опит за бягство, реализирали епизоди на неподчинение и участие в остри конфликти с други затворници, трябва да се извърши поразгърната диагностика на психичните състояния [11]. Затова пенитенциарните психолози трябва да разполагат със специализирана и стандартизирана върху затворническа популация методика. Тя може да бъде бързо изградена чрез компилирането на вече използвани диагностични инструменти за регистриране на психични състояния или посредством създаването на нов, релевантен въпросник или тест.

Кризисните интервенции, включващи елементи на емоционална подкрепа, споделяне и катарзис на негативните емоции се прилагат при появата на гневно-афективни състояния, развитие на депресия и суицидни мисли, висока неудовлетвореност в съчетание с раздразнителност. Те трябва да са част от професионалния репертоар не само на психолозите, но и на инспекторите „СДВР“ и надзирателите, за да бъдат обхванати проблемните лишени от свобода, „нуждаещи се в определени ситуации от кризисни интервенции [8],[11].

Специализираните програми за овладяване на гнева и оптимизиране на самоконтрола над емоционалните състояния трябва да се усъвършенстват и за тяхното прилагане постоянно подготвят част от психолозите и социалните работници.

Успешното регулиране на деструктивните психични състояния на проблемните лишени от свобода предполага паралелното ефективно развитие и използване в практическата дейност на експрес-диагностиката, кризисните интервенции и специализираните програми.

4.Резултати и дискусии

Наблюдението върху психичните състояния на лишените от свобода протича твърде фрагментарно, спонтанно и без да се прилага научно обоснована типология и единици за наблюдение. Това в значителна степен ограничава неговото приложение и ефективност, въпреки че то може да се осъществява систематично и от голям брой подходящо обучени служители, познаващи релевантно подготвената типология на психичните състояния и индикаторите за тяхната качествена регистрация.

Различните експресни скринингови тестове и скали за диагностика на психичните състояния са достатъчно развита област на съвременната психометрика. Въпросът е, доколко те имат място в експресната, пенитенциарна психодиагностика, когато се прилагат към постъпващите в затвора за първи път и към осъдените, които са получили своята дълга или доживотна присъда. Все още процедурата в този контекст не е прецизирана, а получените чрез нея диагностични резултати трябва по-комплексно и задълбочено да се интерпретират от гледна точка на вероятните рискове от суицидни опити, бягства, неподчинения и ожесточени конфликти.

Психичните състояния на лишените от свобода с деструктивни прояви, както стана ясно, се нуждаят от разгърната специализирана диагностика. Усилията в този план се ограничават с няколко спонтанни опита да се изгради на еkleктичен принцип методика за по-разширена психодиагностика. Те трябва да се продължат, за да бъде финализиран подходящият диагностичен инструмент, който да е стандартизиран върху представителна затворническа извадка.

Структурирането на принципиално нов диагностичен инструмент за регистриране на психичните състояния на лишените от свобода, склонни към суициди, самонаранявания бягства, неподчинения, гладни стачки и тежки конфликти, изисква по-продължителен период на работа, от страна на експерти, които трябва да отчетат и направените досега практически опити. Изборът на този път за изграждане на специализиран и по-широко спектърен инструмент за диагностика на психичните състояния на деструктивни осъдени не следва да се отлага, поради нарастване на техния брой в затворническата популация и екстремализацията на действията им в различни ситуации.

Осъществяването в местата за лишаване от свобода кризисни интервенции и специализирани програми за корекция на психични състояния следва да са обект на системна супервизия. Тя трябва да допренесе за постепенното им усъвършенстване както и за популяризирането на техните добри практики, така и за поддържането на високите професионални стандарти при тяхното прилагане.

Поддържането и обновяването на диагностичния инструментариум за регистриране на психичните състояния на проблемните лишени от свобода е постоянна задача. Нейното успешно решение изисква систематично обучение на персонала, супервизиране на диагностиката, кризисните интервенции и програмите за овладяване на деструктивни психични състояния, целенасочено разпространяване на добрите практики по прилагането им, както и тяхното непрекъснато иновизиране.

5. Заключение

Пенитенциарната изолация, принудителното съжителство и основните етапи от изтърпяване на присъдите обуславят типичните за лишените от свобода психични състояния на депресия, тревожно очакване, отчаяние, неудовлетвореност, раздразнителност, гняв, афективност и фрустрация. Те иницират появата и на деструктивни прояви сред осъдените. Дори позитивизирането на психичните състояния на лишените от свобода може да стимулира допълнителната им криминализация, включването им в затворническата субкултура и допълнителната психопатизация на техните личности.

През всеки от етапите на изтърпяване на наказанието лишаване от свобода възникват редица негативни, противоречиви и деструктивни психични състояния, получаващи израз в агресивни и автоагресивни реакции на новопостъпните затворници, подлежащите на освобождаване осъдени и на лишените от свобода с доживотни присъди.

По-ефективното регулиране на деструктивните психични състояния на проблемните осъдени е свързано с последователното осъществяване на експресна диагностика, кризисни интервенции и специализирани програми в различните категории пенитенциарни заведения.

Съвременното интервюиране по отношение на психичните състояния на лишените от свобода, склонни към неадекватни, агресивни и автоагресивни реакции е свързано с обучение на персонала, супервизиране на диагностиката, кризисните интервенции и специализираните програми, както и тяхното иновиране чрез периодично обобщаване на позитивния опит от прилагането им.

6. Литература

1. Доклад до Българското правителство за посещението в България, проведено от Европейския комитет против изтезанията и нечовешкото или унижително отнасяне или наказание (КПИ) от 10 до 21 септември 2006 година. Затворно дело, кн. 2, 3, 2007, стр. 45-180.
2. Бергсон, А. Введение в метафизику. Собр. соч. т.5. СПб. "М. И. Семенова", 1914.
3. Бруно, Ф. Диференциация на третирането на лишените от свобода. Затворно дело, кн.3.1994, стр.26-104.
4. Василев, П. Правата на човека в затворите на България. Затворно дело, кн.4, 1997, стр.43-88.
5. Горчев, Ст. Влияние на групите с отрицателна насоченост. В: п/р Горчев, Ст. & Трайков, Здр. Отрицателното влияние в местата за лишаване от свобода. С. „РИО на ВИ на МВР“, 1989, стр.100-113.
6. Дмитриев, Ю. А. & Казак, Б. Б. Пенитенциарная психология. Ростов-на-Дону. „Феникс“, 2007.
7. Дружилов, С.А. & Олещенко, А. М. Психические состояния человека в труде : теоретический анализ взаимосвязей в системе „свойства личности – состояния – процессы“ Психологические исследования т.7, выпуск 34, <http://psystudy.ru>, 2014
8. Койл, А. Управление на местата за лишаване от свобода в контекста на правата на човека. Второ издание. С. „Алианс принт“, 2015.
9. Левитов, Н.Д. О психических состояниях человека. М. „Просвещение“, 1964.
10. Маджаров, Е. Пенитенциарна психология. първа част. С. „Албатрос“, 2016
11. Маджаров, Е. Пенитенциарна психология. част втора. В-на ВСУ „Чернориец Храбър“, 2021.

12. Минев, Т. Основи на пенитенциарната социално-възпитателна работа и пробационна дейност. В-Т. „Фабер“, 2004.

13. Моусън, Д. Опасният правонарушител. В : п/р Харман, Дж., Сандърс, А., Костов, Д. & Стоев, Ст. Доживотното наказание във Великобритания. Казанлък. „ИРИТА ПРИНТ“, 2001, стр.128-139.

14. Николова, А. & Тончева, Т. Анализ на актуалното състояние и работа с доживотно осъдените в местата за лишаване от свобода. Затворно дело. кн.1, 2003, стр.58-73.

15. Петров, Кр. Анализ на състоянието на затворническата общност. Затворно дело, кн.4. 2010, стр.113-137.

16. Пирожков, В.Ф. Криминальная психология. М. „Ось-89“, 1998.

17. Пирожков, В.Ф. Криминальная психология. М. „Ось-89“, 2007.

18. Поздняков, В.М. Психические состояния осужденных при отбывании наказания. В: п/р Столяренко, А.М. Энциклопедия юридической психологии. М. „ЮНИТИ-ДАНА“, 2003, стр.265-266.

19. Рубинштейн, С. Л. Основы общей психологии. СПб. „Питер“, 1999.

20. Станков, Б. Смъртното наказание в наказателната политика на съвременната държава. В: п/р Станков, Б. & Бояджиева, Ю. Чезаре Бекариа – начало на съвременната наказателна политика. С. „БАК“, стр.51-60.

21. Тод, М. Препоръки за открити условия. В : п/р Харман, Дж., Сандърс, А., Костов, Д. & Стоев, Ст. Доживотното наказание във Великобритания. Казанлък. „ИРИТА ПРИНТ“, 2001, стр.112-113.

22. Трайков, Здр. Наказателно-изпълнително право. С. „Албатрос“.

23. Фокс, В. Введение в криминологию. М. „Прогресс“, 1980.

24. Хаджийски, М. Психологическо консултиране в пенитенциарната практика. В-Т. „Фабер“, 2001.

25. Харди, Дж. Станахме заведение за доживотници. В : п/р Харман, Дж., Сандърс, А., Костов, Д. & Стоев, Ст. Доживотното наказание във Великобритания. Казанлък. „ИРИТА ПРИНТ“, 2001, стр.109-112.

МЕЖДУНАРОДНИ НОРМИ ЗА ПРАВАТА НА ЧОВЕКА В КОНТЕКСТА НА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА СИЛА В ПРАВОПРИЛАГАНЕТО

INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS STANDARDS IN THE CONTEXT OF THE USE OF FORCE IN LAW ENFORCEMENT

Tumbarska, A.

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Centre "Acad. A Balevski" –
Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, E-mail: y.toumbarski@ims.bas.bg

Abstract: The report briefly examines the main instruments of international human rights law and the fundamental human rights derived from them. It discusses the principles of law enforcement and practical guidelines for the use of force in the activities of law enforcement authorities designed to ensure the protection of these rights.

Keywords: INTERNATIONAL HUMAN RIGHTS LAW (IHRL), HUMAN RIGHTS, LAW ENFORCEMENT, USE OF FORCE

Увод

Използването на сила се регулира от два клона на международното право - Международното право за правата на човека (МППЧ) и Международното хуманитарно право (МХП). Докато в мирно време използването на сила се регулира единствено от парадигмата на правоприлагането (МППЧ), в ситуация на въоръжен конфликт то се ръководи от парадигмата на водене на военни действия (МППЧ) и от парадигмата на правоприлагането (МППЧ).

В мирно време използването на сила се регламентира от Международното право за правата на човека, както и от вътрешното законодателство на дадената държава, като целта е осигуряване на хуманно и достойно третиране на гражданите от страна на държавата, респ. от нейните правоприлагащи органи. По отношение на използването на сила МППЧ регулира обстоятелствата, при които може да бъде използвана сила, както и степента на използваната сила.

Всяка държава има отговорността да поддържа закона и реда, мира и сигурността на своята територия. Концепциите за правоприлагане и структурите, създадени от отделните държави за тези цели, не са идентични и в някои случаи дори се различават значително. Независимо от това, държавите трябва да гарантират, че извършват правоприлагането по начин, съответстващ на задълженията на държавата по МППЧ. С други думи, както вътрешното законодателство, така и практиката на правоприлагащите органи, трябва да спазват приложимите разпоредби на МППЧ. Задълженията за правата на човека имат решаваща роля в дейностите по правоприлагането на стратегическо, оперативно и тактическо ниво, преди, по време и след използването на сила.

В доклада са разгледани накратко основните инструменти на международното право за човешките права и произтичащите от тях основни човешки права. Обсъдени са принципите на правоприлагането и практически насоки за работата на правоприлагащите органи, предназначени да гарантират защитата на тези права.

Международно право за правата на човека

Нормите и стандартите за правата на човека се извличат от два основни вида международни източници - обичайно международно право и договорно международно право.

Обичайното международно право (или просто „обичай“) е международно право, което се развива чрез общата и последователна практика на държавите и се следва поради чувството за правно задължение. Такова общоприето и систематично поведение се признава като принцип на международното право и е задължително за държавите, дори и да не е заложено в конкретно споразумение.

Договорното право обхваща редица международни споразумения, свързани с правата на човека (договори, пактове, конвенции), които са колективно (двустранно или много-

странно) разработени, подписани и ратифицирани от държавите. Основните международноправни инструменти, разработени под егидата на ООН, включват Всеобщата декларация за правата на човека; Международния пакт за граждански и политически права; Конвенцията срещу изтезанията и други форми на жестоко, нечовешко или унижително отношение или наказание, и др. Някои документи обхващат цели набори от права (като Международния пакт за граждански и политически права и Международния пакт за икономически, социални и културни права), докато други се фокусират върху конкретни видове нарушения (Конвенцията срещу изтезанията, Международната конвенция за премахване на всички форми на расова дискриминация и др.) или определени групи, които трябва да бъдат защитени (като Конвенцията за правата на детето, Конвенцията за премахване на всички форми на дискриминация срещу жените и т.н.). [1] Всички тези инструменти са напълно правно обвързващи за държавите, които са страни по тях.

Важни допълнителни източници на международно право са документите с незадължителна юридическа сила, или т.нар. „soft law“ (меко право) - необвързващи инструменти, приети с резолюции на Общото събрание на ООН. Такива документи могат да послужат за укрепване на ангажмента на държавите към международни споразумения, препотвърждаване на международни норми или създаване на правна основа за последващи договори. Кодексът на ООН за поведение на служителите от правоприлагащите органи (CCLEO) и Основните принципи за използване на сила и огнестрелни оръжия от служителите от правоприлагащите органи (BPUFF) са примери за инструменти с незадължителна юридическа сила, които са от особено значение за правоприлагането. [1]

В допълнение към глобалната система на ООН, са се развили различни по сложност и обхват регионални системи за правата на човека, като европейската, междоамериканската и африканската системи. Европейската система, основана на Европейската конвенция за правата на човека от 1950 г., е първата регионална система за правата на човека и се счита за най-стабилната. В рамките на тези системи са разработени редица обвързващи и необвързващи инструменти с регионално приложение, като: Европейска конвенция за правата на човека; Американска конвенция за правата на човека; Африканска харта за правата на човека и народите; и др.

Въпреки че действителната приложимост на МППЧ в рамките на националните системи може да варира в зависимост от националната правна рамка, дадена държава не може да се позовава на своята конституция или други национални закони като причина да не изпълнява задълженията си по международното право. При подписване на международен договор държавата е длъжна да приведе вътрешното си законодателство в съответствие с този договор. Освен това трябва да гарантира, че държавните представители или институции спазват международните задължения на държавата.

Тази отговорност е особено важна, когато става дума за правоприлагане. [2] Нарушаването на задълженията на държавата съгласно МППЧ от служителите на правоприлагащите органи при изпълнение на техните задължения ще доведе до отговорност на държавата на международно ниво, включително задължение за предоставяне на обезщетение.

Човешки права, свързани с употребата на сила в правоприлагането

Правата на човека са законни права, притежавани от всяко отделно човешко същество. Те са универсални и принадлежат на всички без разлика. Правата на човека представляват правни гаранции, защитаващи лица и групи срещу действия на правителства, които се намесват в основните свободи и човешкото достойнство. Накратко, правото за човешките права задължава правителствата да извършват някои дейности и им пречи да извършват други.

Най-често цитираните характеристики на правата на човека са: международно гарантирани; законово защитени; фокусирани върху достойнството на човешкото същество; защитават лица и групи; задължават държави и държавни органи; не могат да бъдат отменени или отнети; равни и взаимозависими; универсални. [3]

За работата на правоприлагащите органи са особено релевантни следните членове, съдържащи се във Всеобщата декларация за правата на човека (UDHR) [4]:

- Всеки има право на живот, свобода и лична сигурност (чл.3);
- Никой не може да бъде подлаган на изтезания или на жестоко, нечовешко или унижително отношение или наказание (чл.5);
- Всички са равни пред закона и имат право, без каквато и да е дискриминация, на еднаква защита от закона (чл.7);
- Никой не може да бъде подлаган на произволен арест и задържане (чл.9);
- Всеки обвинен в престъпление има право да бъде считан за невинен до доказване на вината му съгласно закона в публичен съдебен процес, при който са му предоставени всички гаранции, необходими за защитата му (чл.11, пар. 1);
- Всеки има право на свобода на мнение и изразяване (чл.19);
- Всеки има право на свобода на мирно събиране и сдружаване и никой не може да бъде принуждаван да членува в сдружение (чл.20).

Някои договори за правата на човека позволяват на правителствата да дерогират определени задължения по време на обществени извънредни ситуации, които застрашават живота на нацията. Дерогацията обаче трябва да е необходима и пропорционална на кризата, не трябва да се въвежда на дискриминационна основа и не трябва да противоречи на други норми на международното право. Някои човешки права никога не могат да бъдат дерогирани, например правото на живот, забраната срещу изтезания или жестоко, нечовешко или унижително третиране, забраната на робството, и др.

Задълженията на държавите по международното право в областта на правата на човека често се описват така:

- Задължение да зачитат, т.е. задължение да не нарушават правата на човека и да не налагат повече ограничения на правата, отколкото е необходимо за изпълнение на задълженията им като държава и за защита на правата на другите;
- Задължение да защитават, т.е. да защитават, доколкото е възможно, всички лица от нарушения на правата им от други лица или от други опасни ситуации;
- Задължение да осигуряват и изпълняват правата на човека, т.е. да предоставят, доколкото е възможно, на всички лица основни услуги и условия на живот, които им позволяват пълноценно да се ползват с правата си;
- Задължение да не се дискриминира, т.е. да се гарантира по всяко време равно третиране на всички лица пред закона. [5]

При изпълнение на отговорностите на правоприлагащите органи има вероятност да бъдат засегнати някои от най-важните човешки права, вкл. правата на живот, свобода и лична сигурност и зачитане на присъщото достойнство на човешката личност. Човешките права, които са непосредствено свързани с използването на сила от правоприлагащите органи и по тази причина има вероятност да бъдат засегнати в операциите на тези органи, са представени на Фиг.1.

Право на живот

- Правото на живот е защитено от Всеобщата декларация за правата на човека и често се описва като **право, без което всички други права нямат значение.**
- Правото на живот не е абсолютно, тъй като наистина някои лишения от живот може да не са произволни. Такива извънредни мерки трябва да бъдат установени със закон, за да се предотвратят произволни лишения от живот. В международното право правото на живот включва защита срещу произволно лишаване от живот от държавните сили за сигурност.
- Използването на сила и огнестрелни оръжия има потенциал да наруши правото на живот. Използването на сила, което води до смъртта на субект, може, в зависимост от обстоятелствата, да представлява грубо нарушение на правата на човека.

Право на свобода от изтезания и други форми на малтретиране

- Това е правото да бъдеш свободен от изтезания и всякакви други форми на жестоко, нечовешко или унижително отношение или наказание.
- Това право е абсолютно, което означава, че не може да бъде ограничавано при никакви обстоятелства, нито чрез ограничения, нито чрез дерогации.
- Използването на сила и огнестрелни оръжия в правоприлагането може, в зависимост от обстоятелствата, да се равнява на изтезания или други форми на малтретиране. Болката и страданието, които произтичат само от или са присъщи на законните санкции или са инцидентни спрямо законите санкции, не представляват изтезания. Употребата на сила, която води до силна болка и страдание, което при конкретните обстоятелства на случая се счита за прекомерно, неоправдано или непропорционално, би представлявало форма на малтретиране.

Право на лична свобода и сигурност

- Това е основно човешко право. Свободата на личността се отнася до свободата от ограничаване на тялото (а не общата свобода на действие), а сигурността на личността се отнася до свободата от нараняване на тялото и ума или телесната и психическа неприкосновеност.
- Правото на свобода и лична сигурност е важно в контекста на правоприлагането, тъй като в операции по арест и задържане, при злоупотреба или при незаконно, прекомерно или непропорционално използване на сила това право може да бъде нарушено.

Право на справедлив процес

- Правото на справедлив съдебен процес включва принципа на равенство пред закона, принципа на презумпцията за невинност и правото на всеки на справедливо изслушване пред компетентен, независим и безпристрастен съд, създаден от закона, при определяне на наказателно обвинение.
- Неподходящото използване на сила от служителите на правоприлагащите органи може да бъде елемент на разглеждане в хода на съдебен процес.

Право на свобода на мирно събиране, сдружаване и свобода на изразяване

- Тези права се считат за основни права в демократичните общества. Те обаче не са абсолютни и могат да бъдат ограничени при определени условия.
- Правото на свобода на мирно събиране и правото на свобода на сдружаване могат да бъдат ограничени, ако тези ограничения са в съответствие със закона и са необходими в интерес на националната сигурност или обществената безопасност, обществен ред, защитата на общественото здраве или морала, или защитата на правата и свободите на други лица.
- Правото на свобода на изразяване може да бъде предмет на определени ограничения, стига те да са предвидени от закона и да са необходими за зачитане на правата или репутацията на другите, за защита на националната сигурност или на обществен ред, или на общественото здраве или морал. Освен това се забранява изразяване, което представлява пропаганда за война, застъпничество за национална, расова или религиозна омраза, или подбуждане към омраза, враждебност или насилие.

Право на ефективна защита

- Като част от задълженията си по правата на човека, държавите трябва да осигурят ефективна правна защита в случай, че правата на човека са били нарушени.
- Правото на правна защита изисква държавите да създадат подходящи механизми, при които хората, чиито права са били нарушени, да могат да потърсят и получат обезщетение.

Фиг.1. Човешки права, които могат да бъдат нарушени при използване на сила в правоприлагането.

Най-уместното човешко право по отношение на използването на сила в правоприлагането е правото на живот. Това право не може да бъде дерогирано. В много договори за правата на човека е забранено „произволно“ лишаване от живот, което означава, че такова отнемане на живот не е в съответствие или с международните правила и стандарти, отнасящи се до правото на живот, или с вътрешното законодателство.

При някои обстоятелства, обаче, употребата на смъртоносна или потенциално смъртоносна сила от служители на правоприлагащите органи е разрешена. В Европейската конвенция за правата на човека са посочени изчерпателно обстоятелствата, при които използването на сила може да доведе до лишаване от живот, без да се нарушава правото на живот: когато е абсолютно необходимо (а) в защита на всяко лице от незаконно насилие; (б) за да се извърши законен арест или да се предотврати бягството на законно задържано лице; (в) в действия, предприети законно с цел потушаване на бунт или въстание. [6] При използването на сила могат да бъдат засегнати и някои други човешки права, например правото на сигурност, правото на лична неприкосновеност, свободата на изразяване и правото на мирни събрания, в зависимост от обстоятелствата.

Забраната на изтезанията или друго жестоко, нечовешко или унижително отношение е една от най-важните разпоредби, които потенциално биха могли да бъдат нарушени при използването на сила в правоприлагането. Съгласно международното право изтезанията са неморални и незаконни, независимо от използвания инструмент. Това е принцип, който се прилага при всички обстоятелства - във и извън въоръжените конфликти и изисква държавите да се въздържат от всякакви действия, които биха могли да доведат до изтезания, нечовешко или унижително отношение спрямо отделни лица или цялото население. Никой служител на правоприлагащите органи не може да нанася, подбужда или толерира каквото и да е акт на изтезание или друго жестоко, нечовешко или унижително отношение или наказание, нито може да се позовава на заповеди на висшестоящи или изключителни обстоятелства като състояние на война или заплаха от война, политическа нестабилност или друго обществено извънредно положение като оправдание за такива действия.

При изпълнението на задълженията си, служителите на правоприлагащите органи често са поставени в много трудно положение. От една страна, обществеността често иска от тях да бъдат строги към престъпността и престъпниците, докато от друга страна, служителите са длъжни да уважават и защитават човешките права на заподозрените в престъпления. Тази ситуация се усложнява, ако те не разбират стандартите за правата на човека и как да ги прилагат в ежедневните си дейности. При недостатъчна информираност, не е изненадващо, че се случва при изпълнение на служебните си задължения те да нарушават човешките права на гражданите. Такива действия винаги се считат за сериозно нарушение и трябва да се разглеждат строго. Всички нарушения на правата на човека от страна на персонала на правоприлагащите органи, включително всякакви нарушения на тези основни стандарти, трябва да бъдат разследвани напълно, бързо и независимо.

Принципи и правила на правоприлагането, произтичащи от МППЧ

Като представители на държавата, от служителите на правоприлагащите органи се очаква да спазват задълженията на държавата съгласно международното право. Те са длъжни да насърчават, защитават и зачитат човешките права на всички хора без никаква неблагоприятна разлика. Ограничения на личните права и свободи могат да произтичат само от ограничения, присъщи на самото право, или от законови ограничения и/или дерогации, допустими във времена на извънредни ситуации. [5] Те никога не трябва да са резултат от незаконни и/или произволни практики на правоприлагане и трябва да се осъществяват при пълно зачитане на върховенството на закона.

Тези задължения имат ясни последици за функционирането на всеки правоприлагащ орган. Процедурите, правилниците, тактиките и техниките, включително изборът на оборудване, трябва да бъдат в съответствие с правната рамка. Служителите трябва да имат адекватни познания както за националното, така и за международното право. Те също така

трябва да придобият и поддържат подходящи умения, техники и тактики, за да осигурят адекватно и постоянно прилагане на изискванията, установени в закона, за да могат да зачитат и защитават правата и свободите на личността.

Защитата на човешките права в операциите по правоприлагане трябва да има най-висок приоритет, като всяко действие на правоприлагащите органи, засягащо тези права, трябва да бъде резултат от внимателно балансиране и да отговаря на основните принципи на правоприлагането (Фиг. 2).



Фиг.2. Основни принципи за използването на сила в правоприлагането.

Основните принципи за използване на сила и огнестрелни оръжия (BPUFF), приети от ООН през 1990 г., отразяват основния стандарт, че служителите на правоприлагащите органи трябва да прилагат, доколкото е възможно, ненасилствени средства при изпълнение на задълженията си, преди да прибегнат до употребата на сила и огнестрелни оръжия. Те определят набор от параметри, в рамките на които служителите на правоприлагащите органи могат да използват сила и огнестрелни оръжия при изпълнение на своите функции, и забраняват използване на сила, което не отговаря на тези параметри и следователно е незаконно, произволно или прекомерно.

Няма общоприета дефиниция на понятието „използване на сила“. Използването на сила обикновено се разбира като всяко ограничение, наложено на лице при упражняване на правоприлагащи функции. В демократичните общества правоприлагането се основава на фундаменталното разбиране, че сила може да се използва само ако други средства останат неефективни или без обещание за постигане на желания резултат. Това е важно съображение, когато се прибегва до каквато и да е употреба на сила, но още повече при използването на смъртоносна или потенциално смъртоносна сила, която трябва да бъде крайна мярка, за да се зачита правото на живот. Когато се налага използването на сила, служителите трябва да прибегват само до минималната сила, необходима за постигане на законната цел на правоприлагането, за да се гарантира, че щетите и нараняванията са възможно най-малко. Приложената сила трябва да бъде напълно адекватна на конкретната ситуация с оглед нейното овладяване и прилагането ѝ да бъде незабавно прекратено след постигане на целите на закона. Съгласно [7] правителствата и правоприлагащите органи следва да разработят възможно най-широк набор от средства и да оборудват служителите на реда с различни видове оръжия и боеприпаси, които биха позволили диференцирано използване на сила и огнестрелни оръжия, включително несмъртоносни обезвреждащи оръжия за употреба в подходящи ситуации, с цел все по-голямо ограничаване на използването на средства, способни да причинят смърт или нараняване на хора.

Важно е да се подчертае, че тези принципи се прилагат за актове на правоприлагане по всяко време. Това включва, освен правоприлагането в мирно време: ситуации на вътрешно безпокойство и напрежение, като бунтове, изолирани и спорадични актове на насилие и други случаи от подобно

естество; правоприлагащи операции извън воденето на военни действия по време на военен конфликт, например анти-терористични операции; различни видове операции в подкрепа на мира; и т.н. С други думи, те са валидни за актовете на правоприлагане когато и където и да се случват и независимо от това кой ги извършва (дори в случаите, когато се извършват от военни сили).

Защитата на правата на човека е от основно значение за поддържането на истински и стабилен ред в държавата. Когато върховенството на закона не се спазва, се наблюдават сериозни и систематични нарушения на правата на човека. В резултат на това нараства неуважението към закона и публичните власти, нараства и вероятността за възникване на открит конфликт в страната. За да бъдат защитени по адекватен начин, значението и обхвата на тези права трябва да бъдат добре разбрани от служителите на правоприлагащите органи.

За да улесни разбирането и прилагането на правата на човека в правоприлагането, правозащитната организация „Amnesty International“, съвместно с полицейски служители и експерти от различни страни, е формулирала „10 основни стандарта за човешките права за служители на правоприлагащите органи“ [8], базирани на човешките права, стандартите за правоприлагане на ООН и наказателното правосъдие:

1. Всеки има право на еднаква защита от закона, без дискриминация на каквато и да е основа, и особено срещу насилие или заплаха. Бъдете особено бдителни, за да защитите потенциално уязвими групи като деца, възрастни хора, жени, бежанци, разселени лица и членове на малцинствени групи.

2. Отнасяйте се към всички жертви на престъпление със състрадание и уважение и по-специално защитавайте тяхната безопасност и личен живот.

3. Не използвайте сила, освен когато е строго необходимо и в минималната степен, необходима при обстоятелствата.

4. Избягвайте използването на сила, когато контролирате незаконни, но ненасилствени събрания. Когато разпръсквате събрания с насилие, използвайте сила само в минималната необходима степен.

5. Не трябва да се използва смъртоносна сила, освен когато е строго неизбежно, за да защитите живота си или живота на други хора.

6. Не арестувайте никое лице, освен ако няма законови основания за това и арестът се извършва в съответствие със законните процедури за арест.

7. Осигурете достъп на всички задържани незабавно след ареста до семейството и законния си представител и до всяка необходима медицинска помощ.

8. Всички задържани трябва да бъдат третирани хуманно. Не нанасяйте, подбуждайте или толерирайте какъвто и да е акт на изтезание или малтретиране при никакви обстоятелства и отказвайте да се подчинявате на всяка заповед за това.

9. Не извършвайте, не нареждайте и не прикривайте извънсъдебни екзекуции или „изчезвания“ и отказвайте да се подчинявате на всяка заповед за това.

10. Докладвайте всички нарушения на тези Основни стандарти на вашия висш служител и на прокуратурата. Направете всичко по силите си, за да осигурите предприемането на стъпки за разследване на тези нарушения.

Този документ може да се оцени като много полезен за повишаване осведомеността както сред служителите на правоприлагащите органи, така и сред държавни служители, парламентаристи, журналисти, неправителствени организации и др., относно основните стандарти, които трябва да бъдат част от обучението и практиката на правоприлагащите органи. Авторите го препоръчват и като отправна точка, която може да послужи за разработване на подробни насоки за обучение и наблюдение на поведението на служителите.

Също така, не бива да се забравя, че служителите на правоприлагащите органи освен носители на задължения, вкл. задължение да защитават човешките права на другите, са също и носители на човешки права и държавите имат отговорност да

защитат и защитават и техните права. Това означава, например, че държавите трябва да гарантират, че служителите на техните правоприлагащи органи работят при подходящи условия; че са добре обучени и оборудвани, включително със средства за самозащита; че операциите са добре планирани; че получават подходящи инструкции, за да се избегне излагането им на ненужна опасност.

Заклучение

Задълженията на държавите, произтичащи от МППЧ, са двойни. Първото задължение е да приемат законодателство на национално ниво, за да гарантират спазването на приложимите изисквания на правото на човека. Второто изисква от държавите да се въздържат от практики, които противоречат на правата на човека. В ситуации, в които такива нарушения могат да бъдат приписани на служители на правоприлагащите органи, те се признават на международно ниво като практики на държавата, за които тя може да бъде държана отговорна.

Като представители на държавата, служителите на правоприлагащите органи трябва да изпълняват задълженията си в рамките на ограничителния обхват на международното право за правата на човека. Това означава, че използването на сила трябва да бъде строго регламентирано от закона, подчинено на ясни насоки и принципи и строго контролирано.

Демократичните общества са особено чувствителни към всяко нарушаване на основните човешки права от страна на правоприлагащите органи, независимо дали то е в резултат от правомерно използване на сила или от неволна грешка, недостатъчен опит на служителя или умишлена злоупотреба. Създадените в резултат на това негативни обществени нагласи могат да имат сериозни последици, а също и да доведат до неувереност на служителите в правилността на техните действия и некачествено изпълнение на техните функции. За да се избегне това, както служителите, така и обществеността, трябва да са добре запознати с обхвата на човешките права и с правомощията на правоприлагащите органи.

Използвана литература

- [1] United Nations. Human Rights - OHCHR. 2017. <https://www.ohchr.org/en/publications/policy-and-methodological-publications/resource-book-use-force-and-firearms-law>
- [2] ICRC. International rules and standards for policing. Geneva, 2015. <https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/en/assets/files/other/icrc-002-0809.pdf>
- [3] OUNHCHR. Human Rights and Law Enforcement. A Trainer's Guide on Human Rights for the Police. United Nations, New York and Geneva, 2002. <https://policehumanrightsresources.org/content/uploads/1997/01/Human-Rights-and-Law-Enforcement-A-Manual-on-Human-Rights-Training-for-the-Police.pdf>
- [4] United Nations. Universal Declaration on Human Rights (UDHR). 10 December 1948. <https://www.un.org/en/about-us/universal-declaration-of-human-rights>
- [5] ICRC. To serve and to protect. Human rights and Humanitarian law for police and security forces. Geneva, 2014. <https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/en/assets/files/publications/icrc-002-0698.pdf>
- [6] Council of Europe. European convention on human rights. Rome, 4.11.1950. https://www.echr.coe.int/documents/d_echr/convention_ENG
- [7] United Nations. Basic Principles on the Use of Force and Firearms by Law Enforcement Officials. Adopted by the 8th UN Congress on the Prevention of Crime and the Treatment of Offenders, Havana, Cuba, Sept. 1990. <https://www.ohchr.org/en/professionalinterest/pages/useofforceandfirearms.aspx>
- [8] Amnesty International. 10 Basic Human Rights Standards for Law Enforcement Officials. UK, 1998. <https://www.amnesty.org/en/wp-content/uploads/2021/06/pol300041998en.pdf>

Източници на подводния корабен шум

Sources of underwater ship noise

Бистра Ненова

Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидроаеродинамика при Българска академия на науките,
бул. Шипченски проход № 67, 1574 София, България
bistraneno@hotmai.com

Abstract: When moving, various types of vessels radiate underwater sound that propagates in the marine environment. Ships contribute significantly to ambient noise levels in the world's ocean, with shipping being a major source of noise in the sea in the low-frequency range - from a few Hz to several hundred Hz. The vessel's noise spectrum consists of broadband noise with superimposed tonal components at specific frequencies and can extend up to tens of kHz. Underwater ship noise originates from various sources. The primary ones include machinery noise from engines and other onboard equipment, and propeller-induced noise due to propeller cavitation and blade rate. In addition to vessel design and technologies used, operating conditions and sailing speed are important determining factors for the underwater radiated noise levels.

Keywords: UNDERWATER RADIATED NOISE, SHIP NOISE

1. Въведение

При движението си различните видове плавателни съдове излъчват подводен звук, който се разпространява във водната среда [1-3,14]. Излъчваният шум може да бъде значителен и да достига на големи разстояния от източника. Wenz (1962) [4] е направил обстоен преглед на спектрите и източниците на акустичен околнен шум в океана, в това число колебания на турбулентно налягане, зависим от вятъра и респективно от повърхностното вълнение шум, океански трафик в диапазона $10 \text{ Hz} \div 1 \text{ kHz}$ и др. Корабите имат значителен принос към шума в световния океан, като в много райони е отчитано повишаване спрямо нивата на естествения шум на околната среда от порядъка на $20 \div 30 \text{ dB}$ [5]. В диапазона на ниските честоти на звука - от няколко Hz до няколко стотин Hz - корабоплаването представлява основен източник на шум в морето. Тенденцията за нарастващо и широко разпространение на антропогенни източници на шум в морската среда поражда загриженост. През годините се наблюдава увеличаване на общия брой на плавателните съдове, а в някои случаи и повишени мощности на двигателите, което води до по-голям подводен шум вследствие на корабоплаването. Редица научни изследвания съобщават за потенциала на подводния корабен шум да оказва негативно влияние върху морските бозайници [6].

2. Подводен корабен шум

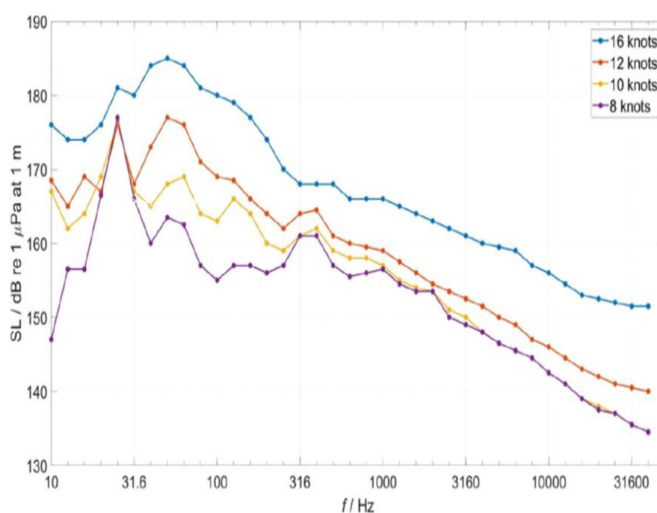
За различните видове плавателни съдове са характерни различни нива на излъчвания подводен ширококолентов шум. В литературата се съобщават стойности от измервания на шума на танкери, кораби и моторни лодки в широк диапазон - от под 160 до над 190 dB re: $1 \mu\text{Pa}$ at 1 m [3]. Обикновено корабите с по-големи размери имат по-мощни двигатели и задвижващи системи, вследствие на което произвеждат повече шум. Търговското корабоплаване има основен принос за повишаващите се нива на шум в океаните, особено при ниски честоти [7]. Освен влиянието на големите търговски кораби, все по-често се разглежда ролята на по-малки съдове и фериботи, като проучвания установяват, че шумът от по-малките плавателни съдове за отдих и фериботите може да доминира в звуковия пейзаж в плитките крайбрежни води. Измерванията в плитки води са трудни за извършване поради сложните взаимодействия между акустичните вълни от една страна и морското дъно и морската повърхност от друга.

Arveson и Vendittis (2000) [5] са извършили подробни измервания на нивата на излъчвания подводен шум от голям товарен кораб (дължина 173 m) във води с дълбочина на дъното 1830 m. Получените резултати за общите (широколентови) нива на излъчен шум са в диапазона от 178 до 192 dB re: $1 \mu\text{Pa}$ at 1 m, като стойностите са измерени при различни скорости на плавателния съд.

Jansen и Jong (2017) [8] са оценили нивата на излъчван шум от кораби чрез измервания в плитки крайбрежни води, в близост до корабоплавателни пътища. Резултатите от измерванията на подводния звук са комбинирани с информация за околната среда и данни от системата за автоматична идентификация (AIS) за корабите и техните позиции, взети са предвид и загубите при разпространение на акустичните вълни. Средните ширококолентови нива на излъчен корабен шум са оценени в честотната лента от 50 Hz до 16 kHz и са в обхвата от 170 до 183 dB re: $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2$. В получения набор от данни най-високи нива на шум са показали пътнически кораби при най-високата средна скорост на плаване.

Освен конструкцията на плавателния съд и използваните технологии, работните условия и скоростта на плаване са важни определящи фактори за нивата на излъчвания шум [7]. Общата наблюдавана тенденция е, че при нарастване на скоростта на плавателните съдове нивата на произвеждания от тях шум се увеличават. Като цяло по-старите и лошо поддържани кораби произвеждат повече шум, отколкото новите и тези с добра експлоатационна поддръжка.

На Фиг.1 е представен типичен пример за спектр на излъчвания шум от търговски кораб при различни скорости на плаване [5, 9]. Шумът, излъчван от корабите, представлява комбинация от два основни типа шум в голяма част от честотния диапазон: ширококолентов шум и тонални сигнали [1]. Широколентовият шум има непрекъснат спектр, при който нивото е непрекъсната функция на честотата. Тоналният шум



Фиг.1. Спектр на излъчвания шум от търговски кораб при различни скорости на плаване по данни на Arveson и Vendittis (2000) (Possenti et al., 2024) [5, 9]

се състои от тонове, чиито спектър съдържа линейни компоненти, появяващи се на дискретни честоти. Спектърът на корабния шум може да бъде характеризирен като непрекъснат спектър, съдържащ насложени линейни компоненти и може да се простира в обхват от няколко Hz до десетки kHz. Изчисляването на честотния спектър с висока резолюция (примерно 0.5 Hz) позволява идентифицирането на значими тонални компоненти на шума - основните им честоти и техни хармоници.

3. Източници на подводния корабен шум

Подводният шум, излъчван от плователните съдове, произхожда от редица различни източници. Към основните типове корабен шум спадат: шум от корабните машини, шум, произтичащ от работата на витлото и шум от потока на водата покрай движещия се плователен съд. Типични източници на шум от корабите са показани на Фиг.2 [10].

3.1. Шум от машините

Шумът от машините допринася за подводния излъчван шум на плователния съд чрез предизвикване на вибрации на обшивката на корпуса и чрез предаване на звук през отвори, които са директно свързани с морето [7]. Машинните компоненти предизвикват механични вибрации в много и различни части на съда [1]. Вибрации могат да възникнат от въртящи се небалансирани части, повтарящи се прекъсвания, възвратно - постъпателни движения, механично триене, кавитация и турбулентност в потока на флуид в помпи, тръби, клапани и др. Има множество пътища, по които звукът и вибрации от машините се излъчват в околната морска вода. Основно вибрации се предават към конструкцията на корпуса и към неговата обшивка през монтажните структури, чрез които се осъществява закрепването на машините.

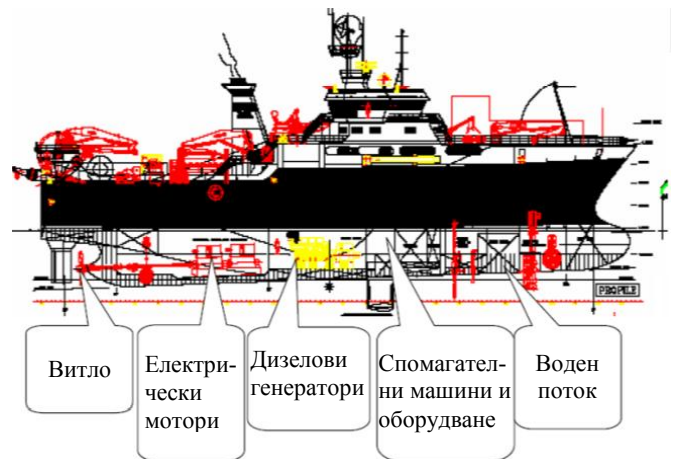
Съществен източник на машинен шум са осигуряващите задвижването и управлението на плователния съд машини, както и са двигателите. Задвижващите системи могат да бъдат дизелови редукторни или с директно задвижване, дизел-електрически, газово-турбинни и др. [11], като електрическото задвижване произвежда по-малко вибрации и съответно шум. Нискоскоростните дизелови двигатели генерират нискочестотен тонален шум, свързан с честотата на запалване на двигателя (firing rate). Например за товарен кораб със задвижване от двутактов шестцилиндров дизелов двигател и директно свързване на вала с витлото, за едно завъртане на витлото има шест цикъла на запалване на дизеловите цилиндри [5]. Следователно основната честота на запалване на главния дизелов двигател е шест пъти честотата на вала. Излъчвани тонални компоненти са и серия от хармоници на тази честота. Нивата на този вид шум се влияят от скоростта на кораба и наличието на структурни резонанси.

Други спомагателни машини, включително генератори, помпи и отоплителни, вентилационни и климатични системи, ще допринасят за общия звук, излъчван в околната вода. Данни за излъчвания шум са показали тонални честоти със значими нива от корабен обслужващ дизелов генератор – серия от 6-Hz хармоници [5].

Нивото на излъчван шум, произтичащ от бордови машини, е много специфично за вида и размера на плователния съд, както и за монтажните структури, използвани за отделните двигатели, генератори и др. Машинният шум има тенденция да доминира при ниски скорости на кораба.

3.2. Шум от витлото

Нискочестотен тонален шум възниква в резултат от въртенето на витлото през пространствено променящото се поле на държата (вълнението), която надводните кораби оставят след себе си. Работата на витлото може да доведе до кавитация, както и до некавитационен шум. Шумът от кавитация е сложен



Фиг.2. Типични източници на корабен шум (Abrahamsen, 2012) [10]

и възниква в много различни форми в зависимост от конструкцията на витлото и корпуса, както и от работните условия [7]. При увеличаване на скоростта на кораба над началната скорост на възникване на кавитация, шумът, дължащ се на въртящото се витло, се увеличава значително. Кавитационният шум от витлото е от основните източници на подводен шум при по-високи скорости на плователните съдове. Освен това този източник обикновено доминира във високочестотния спектър на корабния шум. При търговски кораби скоростта на възникване на кавитация може да бъде ниска до едва 8 възела и затова е вероятно повечето търговски кораби да проявяват кавитация.

В резултат от работата на витлото се генерират дискретни тонове с честотата на преминаване на витловите лопатки (blade rate) и кратни на тази честота хармоници. Честотата на лопатките е равна на честотата на вала, умножена по броя на лопатките. Това е съществен източник на нискочестотни тонове в спектъра на излъчвания шум. Кавитацията води и до генериране на широкопосочен шум с непрекъснат спектър, дължащ се на хаотичния колапс на мехурчетата с различни размери.

Шум от витлото може също да бъде свързан с вибрационна реакция на механични структури в близост до витлото. Възможно е и да се появи „пееене“ на витлото, при което взаимодействието между флуида и структурата води до произвеждане на висок тонален звук.

Шумът от витлото е амплитудно модулиран и съдържа периодични увеличения на амплитудата, появяващи се при честотата на въртене на вала на витлото или при честотата на лопатките [1].

3.3. Шум от водния поток

В неравномерния и променлив поток на водата около корпуса на движещ се плователен съд се поражда шум [1]. Самият корпус, както и всички придайци, прикрепени към корпуса, поражда турбулентност и отделят вихри при движение във водата и могат понякога да генерират значителен шум [10]. Това обикновено става по-изразено при високи скорости. Също така всякакви отвори в корпуса могат да предизвикат промени в налягането, докато водата преминава покрай отворите. Други източници на шум от потока са разбиващи се вълни при носа и кърмата, кавитация при подпори и придайци, както и взаимодействието на турбулентност от потока около една структура с друга.

Шумът от потока може да се излъчва пряко или индиректно чрез предизвикване на резонансно възбуждане на вибрации в различни структури на съда.

4. Заключение

Подводният корабен шум произхожда от редица източници. Това води до сложна акустична сигнатура на корабите, обхващаща широк диапазон от честоти. Приносът на всеки компонент се различава при различните плавателни съдове и също така силно зависи от скоростта на плавателния съд. Основните източници на корабен шум включват машинен шум от двигатели и друго бордово оборудване, и предизвикан от витлото шум вследствие на кавитация на витлото и на честотата на преминаване на лопатките на витлото.

Непрекъснатият антропогенен шум в океана се генерира предимно от корабоплаването [12]. Проучванията показват, че подводният шум, излъчван от търговски кораби, може да има както краткосрочни, така и дългосрочни отрицателни последици за морския живот, особено за морските бозайници. Международната морска организация (International Maritime Organization - IMO) през 2024 г. е издала преработени насоки за намаляване на подводния шум от търговското корабоплаване, одобрени от Комитета за опазване на морската среда (MEPC) [13].

Познаването на източниците на подводния корабен шум е важно за намирането на оптимални решения за неговото намаляване [11]. Разработването и прилагането на съвременни методи и технологии при проектирането на плавателни съдове може да понижи произвежданите нива на шум: оптимизирани конструкции на витла с увеличена начална скорост на кавитация, задвижващи машини с по-ниски нива на вибрации, използване на изолиращи вибрациите опори и др. Сред препоръчаните мерки са и оперативни действия, като ограничаване на скоростта в екологично чувствителни райони, пренасочване на маршрути и почистване и поддръжка на витлата и корпусите.

Благодарности

Тази публикация е осъществена по проект G7475, финансиран от програмата на НАТО „Наука за мир и сигурност“.

Acknowledgement

This publication was carried out under project G7475, funded by the NATO Science for Peace and Security Programme.

Литература

1. R. Urick, Principles of underwater sound, 2nd ed, McGraw-Hill, 1975.
2. D. Ross, Mechanics of underwater noise, Pergamon, New York, 1976.
3. M. Simmonds, S. Dolman and L. Weilgart (Eds.), Oceans of noise, 2nd edition, Whale and Dolphin Conservation Society, UK, 2004.
4. G. Wenz, Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources, J. Acoust. Soc. Am., 34, 1962, 1936-1956.
5. P. Arveson and D. Vendittis, Radiated noise characteristics of a modern cargo ship, J. Acoust. Soc. Am., 107, 2000, 118-129.
6. L. Rojano-Doñate, L. Lamoni, J. Tougaard, C. Findlay, Effect of vessel noise on marine mammals and measures to reduce impact, The Effects of Noise on Aquatic Life, Springer, Cham, 2023.

7. T. Smith and J. Rigby, Underwater radiated noise from marine vessels: a review of noise reduction methods and technology, Ocean Engineering, 266(1), 112863, 2022.

8. E. Jansen and C. de Jong, Experimental assessment of underwater acoustic source levels of different ship types, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 42(2), 2017, 439-448.

9. L. Possenti et al., The present and future contribution of ships to the underwater soundscape, Frontiers in Marine Science, 11, Article 1252901, 2024.

10. K. Abrahamsen, The ship as an underwater noise source, Proceedings of Meetings on Acoustics, 17, 070058, 2012.

11. R. Fischer and N. Brown, Factors affecting the underwater noise of commercial vessels operating in environmentally sensitive areas, Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS 2005, 3, 2005, 1982-1988.

12. International Maritime Organization (IMO), <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Noise.aspx>

13. Revised guidelines for the reduction of underwater radiated noise from shipping to address adverse impacts on marine life, IMO, MEPC.1/Circ.906/Rev.1, 2024.

14. И. Иванов, Предимства на пространствено временната обработка при откриване на корабни хидроакустични шумове, Национална конференция „Акустика 2016“, 2016, 125-128.

Изследване на възможностите на многоканален смутител на радиочестотния спектър използван от БЛА

Research into the capabilities of a multi-channel radio frequency spectrum jammer used by UAVs

Nesterov K.N. PhD¹, Pehlivanski V.I. PhD¹, Lyaskov N.G. ¹, Penev N.P. ¹

Institute of Metal Science, equipment and technologies with Center for Hydro- and Aerodynamics "Acad. A. Balevski" ¹

Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria²

k.nesterov66@gmail.com, venpeh@abv.bg, nglyas@abv.bg, nikolov_cer@abv.bg

Abstract: В материала се предлагат резултатите от изпитания и тестове на Модул за електронно противодействие на нисколетящи обекти, създаден в Институт по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аеродинамика - БАН. Направено е изследване на зоната за въздействие на Модула за различни честоти.

KEYWORDS: UNMANNED AERIAL VEHICLE, JAMMING MODULE

1. Въведение

Масовото навлизане на дроновете в различни аспекти на човешкото всекидневие, както и особено активното им използване в тяхното военно приложение през последните години, предполага и засилено научно внимание върху тяхното използване и изследване на нови пътища и подходи за неутрализиране на разрушително им приложение.

Това е сериозно предизвикателство за защита на военни обекти и критична инфраструктура [1,2,3], като освен откриването и идентифицирането на тези типове цели, масираното им използване създава проблеми пред системата за тяхното неутрализиране.

За целта в Института по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро- и аеродинамика "Академик Ангел Балеvски" при БАН (ИМСТЦХА – БАН), е създадена Системата за борба с нисколетящи обекти [4-7], предназначена за противодействие на масово влизащи хеликоптери и безпилотни апарати с тактическо предназначение.

Противодействието се осъществява чрез създаване на смущения на техните средствата за сателитна навигация и управление, както и чрез кинетични въздействия с осколъчни боеприпаси.

2. Резултати и дискусия

В процеса на проведените изпитвания бяха изпитани функционалните възможности за работа в условия на смущения следните типове безпилотни летателни апарати (БЛА):



Фигура 1

- Безпилотен самолет Нимбус (Фиг. 1);



Фигура 2

- Дрон Фантом - 3 (Фиг. 2) и

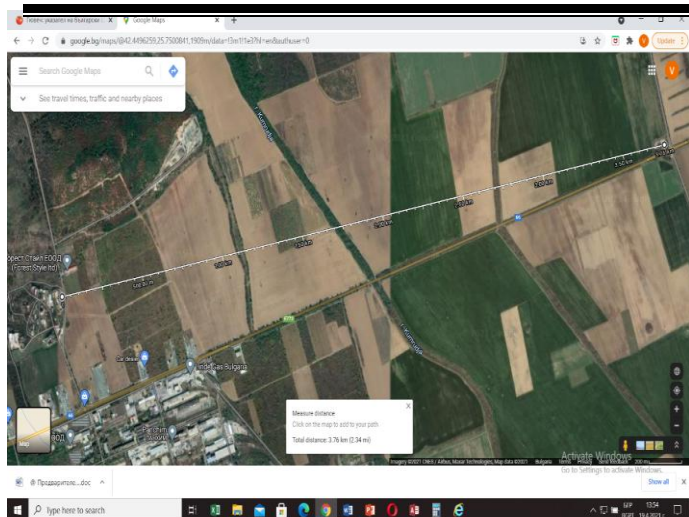


Фигура 3

- Дрон Матрис -200 (Фиг.3).

Изпитванията се провеждат от позиции в околностите на гр. Стара Загора, намиращи се на 3.8 км и 7.2 км. (Фиг. 4) от източника на смущения. Полетите се извършваха от съвместен екип на ИМСТЦХА - БАН и Сдружение СЛС в режим на зависване на различни височини или по полетен план по маршрут (фиг. 5) над позицията със скорости до 30 м/сек.

Източникът на смущения е разработения ИМСТЦХА - БАН смутител ADD-SSRI -2 (Фиг.6) създаващ смущения на системите за спътниково позициониране и на каналите им за обмен на данни с честоти 433 MHz, 2.4 GHz. и 5.8 GHz. В рамките на експеримента беше изпитано и въздействието на ново разработен генератор на смущения за системите за спътниково позициониране.



Фигура 4



Фигура 5

Бяха извършени полети с 3-те типа дроне на разстояния 5000 м., 7500 м. и 10000м. от ADD-SSRI-2, като се променяше височината на полета до момента, в който се отчиташе, по данните от пулта за дистанционно управление, загуба на сигнал от системата за сателитна навигация, или системата за управление и предаване на данни от дрона, при подаване на команда за включване на съответните системи за подаване на Електронния комплекс на изделието.

Обобщените резултати от изпитванията са показани в таблици 1,2 и 3, в които с НГен са посочени данните от използването на новоразработения генератор на смущения. Когато сигналът отчитан по данни от системата за управление е със стойности под 70 единици се губи устойчивото управление на БЛА



Обобщените резултати от изпитванията са показани в таблица 1, в които с НГен са посочени данните от използването на новоразработения генератор на смущения. Когато сигналът отчитан по данни от системата за управление е със стойности под 70 единици се губи устойчивото управление на БЛА.

Фигура 6

Таблица 1.

Височина на полет (метри)	0	180	150	150	150
Нимбус Брой сателити/сила на сигнала	16/ 9%, 433 МХц	0/ 55%	0/ 25%	0/ 20%	0/ 60%
Разстояние на ЛА от позицията	3.8k m	7 km.	9km.	10 km.	0 km.
Височина на полет (метри)	0	100	140	150	200
Фантом 3 Брой сателити/сила на сигнала	18/ 2.4.5. 8 ГХц.	0/ наличие на у-е	0/ „наличие на у-е	0/ наличие на у-е	0/ наличие на у-е
Разстояние на ЛА от позицията	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.
Матрикс Брой сателити/сила на сигнала	16/ 2.4.5. 8 ГХц.	0/ наличие на у-е	0/ наличие на у-е	0/ наличие на у-е	0/ наличие на у-е
Разстояние на ЛА от позицията	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.	3.8 км.

Таблица 2.

Височина на полет (метри)	0	60	70	80	100	
Матрикс Брой сателити/сила на сигнала	12/ 2.4.5.8 ГХц.	9/ не се смущава	4 / не се смущава	0 / не се смущава	0 / не се смущава	
Височина на полет (метри)	0	60	100	150		
Фантом 3 Брой сателити/сила на сигнала	10/ 2.4.5.8 ГХц.	10/ лек сбой в управлението	8/ лек сбой в управлението	8/ лек сбой в управлението		
Височина на полет (метри)	0	100	100	100	100	
Нимбус Брой сателити/сила на сигнала	17/ 165, 433 МХц.	16/ не се смущава	15/ не се смущава	16/ не се смущава	15/ не се смущава	

Разстояние на ЛА от позицията		500	500	500	500	
Височина на полет (метри)		149 – НГен.	149 ADD – SSRI	100 НГен.	100 ADD – SSRI	50- НГен.
Фантом 3 (2) Брой сателити/смущавана честота	8/5.8 ГХц	0/смущава се	8/смущава се	0/смущава се	7-8/слабо не	0/слабо не

Таблица 3.

N	Тип на дрона	Разстояние до ADD-SSRI-2 (км.)	Височина на полета (м)	Загуба на сателитна навигация	Работа на системата за управление
1	Фантом 3	5	50	да	Неустойчиво
2	Фантом 3	5	68	да	Губи управление
3.	Матрис	5	50	да	Неустойчиво управление
4.	Матрис	5	100	да	Губи управление
5.	Нимбус	5	100	да	-
6.	Фантом 3	7.5	150	да	Губи управление
7.	Фантом 3	7.5	75	да	Неустойчиво
8.	Фантом 3	7.5	50	да	Наличие на управление
9.	Матрис	7.5	100	да	Неустойчиво
10.	Матрис	7.5	120	да	Губи управление
11.	Нимбус	7	100	Да	-
12.	Фантом 3	10	150	да	Има управление
13.	Фантом 3	10	100	да	Има управление
14.	Фантом 3	10	50	да	Има управление
15.	Матрис	10	250	да	Мудно управление
16.	Матрис	10	150	да	Мудно управление
17.	Матрис	10	75	да	Мудно управление

3. Заключение

Проведените изпитвания доведоха до събиране на данни за възможностите за полет на БЛА в условия на различни типове смущения.

От таблиците с резултатите се вижда, че системите за спътниково позициониране на различните БЛА установяват връзка с различен брой сателити – от 8 до 17 броя, което е предпоставка за тяхната различната шумоустойчивост.

Констатирано беше, че при различни разстояния и височини на полет влиянието на смущенията се изменя значително, като в общия случай при разстояния до около 5 км. и височини на полет около 100-250 м. смущенията са ефективни.

Установено беше, че наличието на канал за управление от 433 МХц значително повишава защитеността на БЛА от смущенията създавани от ADD-SSRI -2, като на отдалеченост

от около 10 и този канал за обмен на данни се смущава ефективно.

Регистрирани бяха епизодична загуба на управление в условия на смущение при завой на БЛА, дължащи се вероятно на насочване на диаграмата на насочено действие на системите му за позициониране и управление по посока на смутителя.

Констатирано беше потенциална нееднородност в зоната на смущаване на ADD-SSRI -2 по височина (в частност – подавяне на средствата на БЛА при техния полет на височина от 150 м. и липса на подобно подавяне при полет на височина от 200 м.).

Финансиране: Настоящото изследване беше финансирано по програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“.

Благодарности: Бихме искали да изразим нашите благодарности към програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“ за предоставената подкрепа за настоящата публикация.

4. Литература

1. Kiril Stoichev, Dimitar Dimitrov, Valeri Panevski, Critical infrasturture integrated security and protection. IMSETHAC-BAS, 2018, ISBN:978-619-90310-8-7, 258
2. Panevski V.S.. Systemic approach to the development of security systems for critical infrastructure protection as a research methodology applied at the Center of competence QUASAR. International Scientific Journal "SECURITY & FUTURE", 4/2019, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0", 2019, ISSN:2535-0668, 144-147
3. Ivanov I, Nikolova V, Yaneva S.. Investigation of the possibilities for planning the protection of the sites from the critical infrastructure and adequate response in the event of incidents near them. International Scientific Journal "Security & Future", 4, 3, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering – Bulgaria, 2020, ISSN:(PRINT) 2603-2945
4. [Хай-Тех Ай Ем Ес ЕООД – BDIA \(bdia-bg.com\)](http://bdia-bg.com)
5. Венцислав Пехливански. Изпитвания в процеса на проектиране на системи за защита. ИМСТЦХА-БАН, 2020, ISBN:978-619-188-359-2, 169
6. Varbanov Vladimir. Modelling uncertainty in multisensory systems at conflict measurements with dempstershafer combinatorial rule. International Scientific Journal "Mathematical Modelling", 5, 3, STUME, 2021, ISSN:2603-2929, 104-105
7. Крумов, Ангел, Симеонова, Антоанета. Изследване на възможностите за създаване на нови модули за въздействие от разстояние. НВУ "Васил Левски", 2019, ISSN:2367-7481, 1741-1747

A systematic approach to training aimed to improve the efficiency of npp personnel training

D. Dimitrov¹, N. Randelova²

Institute of Metal Science Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre “Acad. A Balevski”, Sofia, Bulgaria¹

Kozloduy Nuclear Power Plant²

E-mail: ddimitrov@ims.bas.bg, NSRandelova@npp.bg

Abstract: *The Systematic Approach to Training (SAT) is a logically structured process based on job analysis whose aim is to ensure that the personnel have the necessary knowledge, skills and attitudes to effectively perform their assigned tasks. The SAT is a flexible system that can be adapted to the needs of any nuclear power plant and any job position.*

KEYWORDS: NUCLEAR FACILITIES, SYSTEMATIC APPROACH TO TRAINING, MANAGEMENT SYSTEMS, PROTECTION OF NUCLEAR INSTALLATIONS, REGULATORY FRAMEWORK

1. Introduction

The Systematic Approach to Training (SAT) is a logically structured process based on job analysis, whose aim is to ensure that the personnel have the necessary knowledge, skills and attitudes to effectively perform their assigned tasks.

The SAT includes five interrelated stages:

1. Analysis;
2. Design;
3. Development;
4. Implementation;
5. Evaluation.

These stages are not applied linearly and in a one-off fashion, but in a circular and continuous manner so that the results of the evaluation feed back into the other phases. The SAT is a flexible system that can be adapted to the needs of any nuclear power plant and any job position.

2. Overview of the activities included at the different stages

Appropriate training ensures that each member of staff is informed about the meaning and significance of the work they are performing and about how their work contributes to safety and to the achievement of the Company's goals.

2.1. Analysis

The analysis phase aims to determine what knowledge, skills and attitudes are required for each job position. Methods used include:

- Job and task analysis;
- Competency analysis;
- Interviews, surveys, observation, documentation.

The ultimate goal is to produce a list of:

- Required knowledge, skills and attitudes;
- Critical tasks;
- Terms of performance;
- Frequency and importance of each task.

2.2. Design

At this stage, the following is determined:

- The structure of the training program;
- The learning objectives;
- The training methods (e.g. simulators, lectures, on-the-job training);
- The assessment methods – tests, practical demonstrations, observation.

The design stage ensures that all critical knowledge, skills and attitudes identified at the analysis stage will be covered by the program, and that the training will be aimed at achieving specific results.

2.3. Development

At this stage the following are created:

- Training materials (manuals, presentations, simulator scenarios);
- Assessment tools (tests, checklists, feedback forms);
- Instructor guides and lesson plans;

- Scenarios for emergency or extraordinary situations, if needed.

The development stage should provide all the necessary resources to deliver the training effectively and in accordance with the requirements set at the analysis and design stages.

2.4. Implementation

This is the stage in which the training is done for real, by using the materials and methods developed at the previous stages. Key aspects here include:

- Planning and organizing training courses;
- Teaching in the classroom, with a simulator or on-the-job training;
- Monitoring the effectiveness of the training;
- Documenting participation and results.

Employees must demonstrate that they have acquired the required knowledge, skills and attitudes before being allowed to perform their tasks independently.

2.5. Evaluation

Evaluation is a continuous process that is applied at every level:

- Trainees' assessment - have they achieved the objectives?
- Evaluation of the training program - is it effective?
- Trainers' evaluation - are they performing their role well?
- Impact evaluation - does the training contribute to better performance and safety?

The evaluation allows:

- Improvements in the training content or methods;
- Identification of new training needs;
- Evidence of regulatory and internal purposes;
- Feedback to the management on the effectiveness of the investment in the training.

The systematic approach to training is not just a “good practice” but a necessary system for managing the competence of the personnel in the nuclear sector. It provides structure, transparency, sustainability and continuous improvement.

3. Key features and benefits of SAT

SAT is recognized as **the best international practice** for developing and implementing effective training programs in the nuclear industry. Its application brings about a number of key benefits that cover the **quality, effectiveness and sustainability** of the training.

3.1. Key features of SAT

SAT is characterized by the following key features:

- Job-or competency-based analysis:

Training programs are based on a systematic analysis that determines what knowledge, skills and attitudes are needed to perform certain tasks in a job.

- Clearly defined learning objectives:

Each training module has specific and measurable objectives that indicate what the trainee should know and be able to do upon completion of the program.

- Content and methods tailored to the objectives:

Appropriate methods, tools, and materials are used that are directly related to the learning objectives and the trainees' profiles.

- Performance assessment:

Trainees are assessed against predefined criteria. This includes theoretical tests, practical demonstrations, observation, etc.

- Evaluation and feedback:

Training programs are periodically evaluated to ensure they are relevant, effective and in line with the needs of the nuclear plant.

3.2. Main benefits of the implementation of the SAT

The implementation of the SAT leads to significant benefits for nuclear power plants and operating organizations, including:

- Increased safety: by providing adequate training, the employees are better prepared to respond appropriately to normal, abnormal and emergency situations.
 - Increased efficiency and productivity: well-trained personnel work faster, better and with fewer errors.
 - Optimal use of resources: SAT helps to direct training only at the really necessary KSAs, thus reducing unnecessary costs.
 - Better documentation and traceability: every stage of the training process is documented, which facilitates audits and regulatory oversight.
 - Increased motivation and satisfaction of personnel: trainees perceive the training as targeted, applicable and respectful of their roles, which improve staff engagement.
 - Better preparation for new technologies and changes: SAT allows flexible adaptation of the training when introducing new equipment, software or organizational changes.
 - Improved safety culture: by incorporating KSAs related to human factors, SAT promotes responsible safety behavior and thinking.
- In summary, SAT is not just a training methodology - **it is a strategic tool for managing competence, risk and quality** in a nuclear power plant.

4. Applying the Systematic Approach to Training**4.1. Establishing a training system based on SAT**

The training system in a Nuclear Power Plant should be formally recognized by the management of the operating organization and should have a clearly defined structure, responsibilities and resources. In this context, SAT is used as a methodology for:

- Developing training programs;
- Implementing effective training;
- Achieving and maintaining competence;
- Facilitating assessment and continuous improvement.

The system should be supported by written policies and procedures that clearly state:

- The objectives and scope of the training;
- The responsibilities of the different units;
- The interaction between the training organization and the operational departments;
- The quality control and performance evaluation mechanisms.

4.2. Stages in the introduction of SAT

The introduction of SAT into an existing training system requires a staged approach that ensures smooth transitions and makes maximum use of the resources already available.

Recommended stages include:

1. Analysis of the current training system:

- What programs exist?
- What methods are being used?
- How is effectiveness evaluated?

2. Training of key SAT staff:

- Training of managers, instructors and training specialists;
- Introductory courses and practical workshops.

3. Identifying priority positions and programs:

- For example: operators, electricians, maintenance personnel;
- Focusing on safety-related positions.

4. Developing and implementation of SAT-based programs for safety-related positions:

- Starting with pilot programs;
- Using the results to refine subsequent programs.

5. Expanding the scope of SAT to other positions and activities:

- Gradual inclusion of management, administrative and subcontractor staff.

6. Establishing a mechanism for continuous evaluation and improvement of the system.**4.3. Key conditions for the successful implementation of SAT**

For the effective introduction and sustainable implementation of SAT it is needed:

- Active support from the senior management of the operating organisation and the nuclear plant;
- Appointment of a competent team responsible for the management of the training system;
- Ensuring sufficient resources - staff, budget, technical facilities, and premises;
- Continuous training and development of trainers and training specialists;
- Cooperation between the operational units and the training structure;
- Integration of SAT into human resources, quality and safety management systems.

5. Conclusion

- The implementation of SATs is not a one-off project but a continuous improvement process;
- Existing training programs can be adapted and not necessarily replaced in their entirety;
- SAT allows flexible implementation according to the capabilities and needs of the specific organisation;
- The initial effort is significant, but the long-term benefits outweigh the investment.

The implementation of SAT is a strategic investment in the **competence, safety and efficiency** of a nuclear power plant.

References

- Law on the Safe Use of Nuclear Energy;
- IAEA. Nuclear Power Plant Personnel Training and its Evaluation: A Guidebook. Technical Reports Series No. 380. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1996;
- IAEA. Recruitment, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants. Safety Guide NS-G-2.8, Vienna, 2002;
- Quality Management System. Requirements, ISO 9001:2015.

Визуализиране на хидроакустичната информация получавана от многолъчев секторен хидролокатор

Иванов И., Колев Ст., Лолов М., Косев В.

ИМСТЦХА-БАН, София, България

Visualization of underwater acoustic information received from a multibeam sector sonar

Ivanov I., Kolev St., Lolov M., Kosev V.

Institute of Metal Science Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre "Acad. A Balevski" - BAS, Sofia, Bulgaria ¹

E-mail: ivo1942@abv.bg, s_kolev@abv.bg, martinlolov@gmail.com, backomail@yahoo.com

Abstract: This report presents the operation of a device for forming an image of a monitored underwater area using underwater acoustic information received from a sonar with a multi-beam directional radiation pattern. Echograms for 150 seconds and 420 seconds are presented. One of them records the movement of a diver from 60 meters to 120 meters and his passage through three sectors.

KEYWORDS: VISUALIZATION, UNDERWATER ACOUSTIC INFORMATION, MULTIBEAM SECTOR SONAR

Въведение

Индикаторът на хидролокатора осигурява визуална информация за наблюдавания подводен район.

Електронните индикаторите, представящи сигналите в градациите на сивото, осигуряват динамичен диапазон за наблюдаваните сигнали от около 20dB, докато при индикаторите с електрохимична или електротермична хартия той е 16dB. Значително разширяване на този диапазон се постига чрез цветово кодиране на хидроакустичната информация[1].

Цветното кодиране на амплитудата на сигнала осигурява на оператора възможност да различи от седем до десет едновременно представени на екрана цветови градации. При работа с изображение формирано с използването на осем цветови градации (между два съседни цвята празликата е 6dB) операторът след обща оценка на изображението може да съсредоточи внимание на отделен фрагмент състоящ се от две или трицветни елемента. В този случай динамичният диапазон на наблюдаваните сигнали е 42dB [2,3].

Изхождайки от горе изложеното, на индикатора на хидролокатора и на системата за

събиране и обработка на данни се възлага изпълнението на следните функции:

- преобразуване на полезните аналогови сигнали в цифрови чрез дескретизация, осигуряваща от четири до шест извадки за времето на ехосигнала ;
- обработка и визуализиране на цифровите сигнали чрез използването на осем цветови градации на цветен екран (монитор) на хидролокатора;
- възможност за запис на полуваената полезна информация.

Изложение

Разработено е устройство за формиране на изображение на наблюдавания подводен район като се използва хидроакустичната информация получавана от хидролокатор с много лъчева диаграма на насочено действие.

Екранът на хидролокатора се разделя на сектори, в които се визуализира и изобразяване хидроакустичната информация, посъпваща от съответния сектор на наблюдение. Във всеки от тези сектори се съхранява информацията от М-те последователни сондирания на принципа „първи влязъл първи излязъл“. Броят на секторите на които е разделен екрана е равен на броя на лъчите на общата диаграма на насоченост на хидролокатора.

Лъчите на диаграмата на насоченост се формират от определени групи елементи на хидроакустичната антена. Всеки лъч излъчва и получава отразени сигнали за определен участък на подводното пространство. Във всеки сектор от екрана се визуализира получаваната от съответния лъч на диаграмата хидроакустична информация за М-те последователни сондиране в този сектор, която е дискретизирана по амплитуда и по време на постъпване. По команда от оператора определена част от наблюдаваната информация се записва с цел за допълнителен анализ.

На фигура 1 е показана блоковата схема на устройство за формиране на изображението на хидроакустичната информация от хидролокатори с многолъчева диаграма на насоченост[4]. Устройството функционира по следния начин:

Изработеният от задаващия генератор 4 импулс се усилва до необходимото ниво от усилвателя на мощност 5 и през формирателя на диаграми на насоченост 2 и многоелементната хидроакустична антена 1 се излъчва като хидроакустичен импулс в първия подсектор на наблюдаваното водното пространство, формиран от първия лъч (най-левия) на диаграма на насоченост на антената 1.

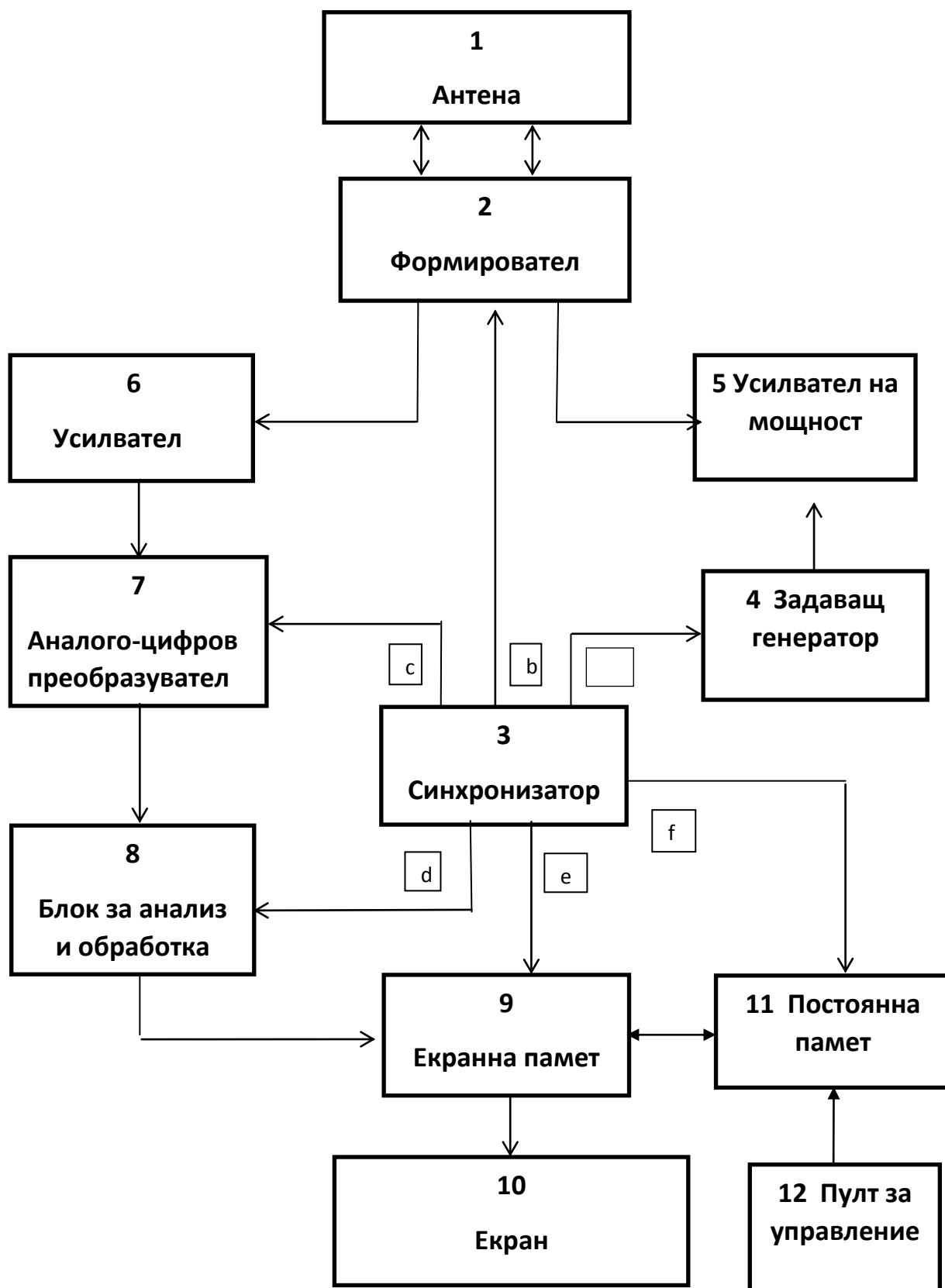
Отразените от обекти акустични сигнали, намиращи се в този сектор се преобразуват от многоелементната хидроакустична антена 1 в електрически сигнали и през формирателя на диаграми на насоченост 2 се подават към усилвателя на приети сигнали 6. Усилените сигнали постъпват в аналогово цифровия преобразувател 7 за дискретизация по време и амплитуда, след което постъпват в блока за анализ и обработка 8. Получените след това данни се записват в екранната памет 9, откъдето в съответствие с избраната цвятова гама се визуализират на екрана 10 в частта, съответстваща на сектора на съответния лъч на диаграмата. Времевият интервал между два сондиращи импулса зависи от избрания диапазон на работа на хидролокатора. Следващият сондиращ импулс се излъчва в съседния (в случая - от втория)

лъч на диаграмата в съседния подсектор на наблюдаваното водното пространство. Получената информация от този сектор на подводното пространство се изобразява в съседната част от екрана. По този начин се продължава докато сондиращия импулс се излъчи в последния лъч на антената и получената информация се изобрази в последната част от екрана.

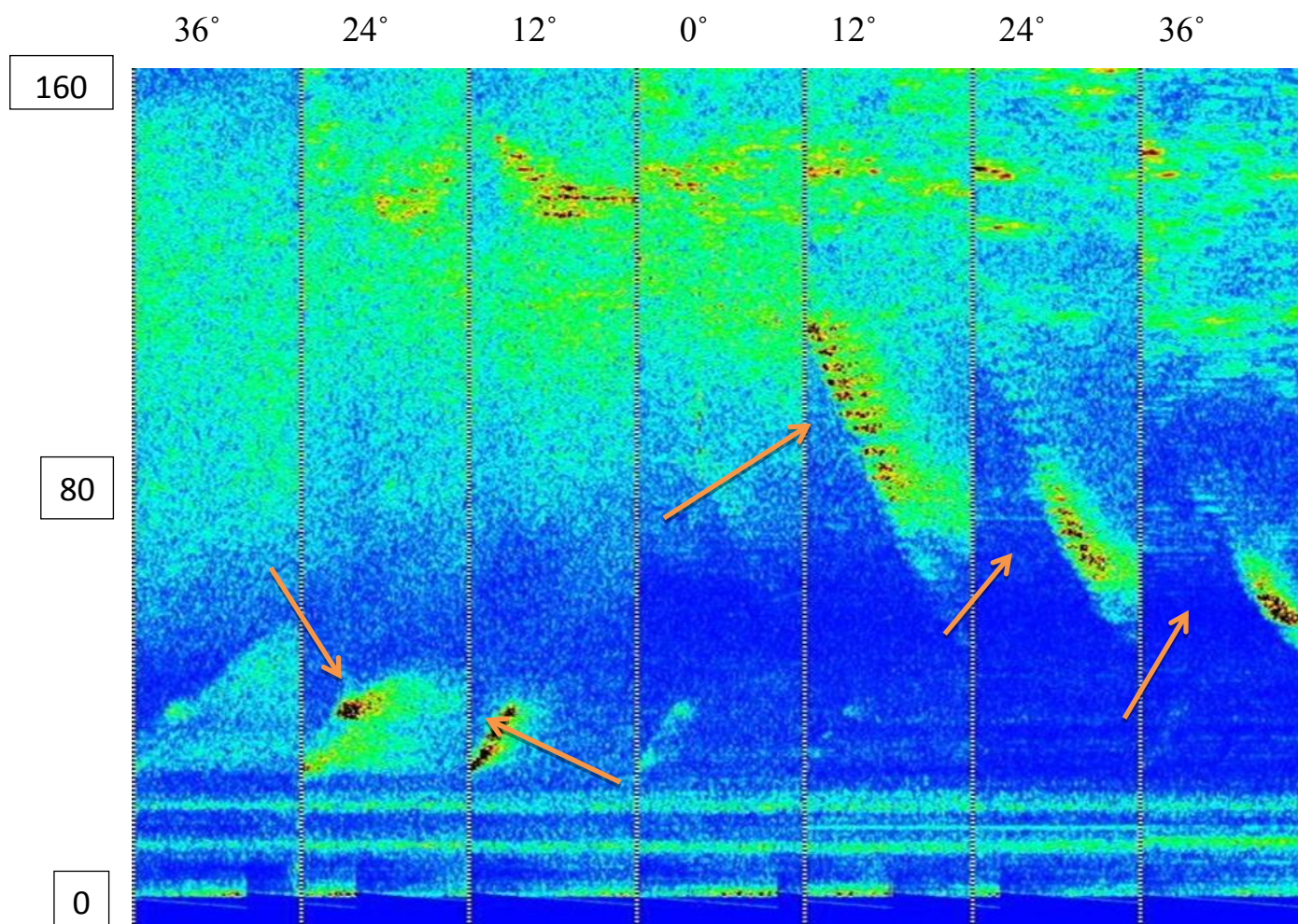
След това процесът започва отново от първия лъч на антената, като получената информация се изобразява в първия част на екрана, като изобразената информация от предишното сондиране на подводното пространство от първия лъч на антената се измества с една позиция в ляво. Така нещата продължават докато екрана се запълни. След това най-старата информация от екрана, ако не е предвидено записването ѝ се изтрива. По този начин на екрана наблюдаваме показаната на фигура 2 ехограма, съответстваща на изменението на подводната обстановка в наблюдавания сектор от 72° за интервал от време около 150 секунди, за диапазон – 160

В трите десни вертикални ивици от ехограмата наблюдаваме белезите, посочени с оранжеви стрелки, от придвижването на водолаз с открит цикъл на дишане при отдалечаване от 50 до 110 метра и преминаването му през три сектора. В лявата, съседна на централната, ивица оцветеният в преобладаващо черно белег е от бавно движещ се водолаз с открит цикъл на дишане от разстояние от около 40 метра до около 25 метра. В съседната лява ивица наблюдаваният белег е от рибен пасаж.

На фигура 3 в сектора, който е в ляво от централния, наблюдаваме белег от подводен апарат с диаметър 125mm и дължина 1200mm на дистанция около 50m. Информацията за подводната обстановка на екрана е за време от около 420 секунди при диапазон 480 метра. Във всички сектори, с изключение на най-левия на разстояния до 20m са регистрирани отраженията от рибен пасаж. Най-плътен той е в крайния десен сектор.



Фиг.1 Блокова схема на устройство за формиране на изображението на хидроакустичната информация от хидролокатори с много лъчева диаграма на насоченост

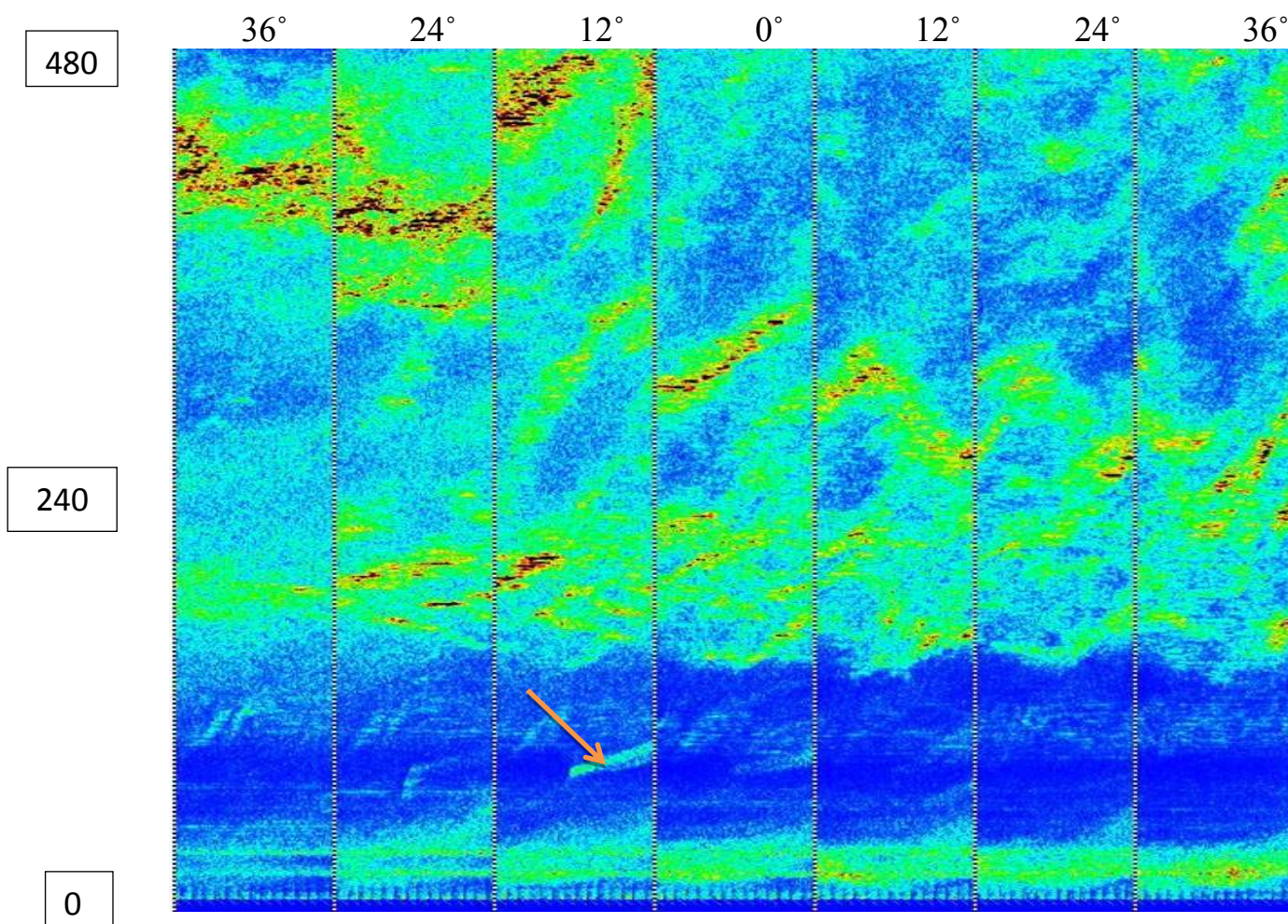


Фиг.2. Ехо грама от екрана на хидролокатор за секторно наблюдение - диапазон 160m.

И на двете ехо грами пред антената на хидролокатора се наблюдава една синя ивица с ширина около 100m. Това е канал с дълбочина около 12m. На единия бряг, където има кей е монтирана хидроакустичната антена на хидролокатора на дълбочина 4.5m. Дълбочината на водния слой в края на ехограмата от фиг.3.24 намалява до около 2m

Заклучение

Получените резултати при този начин на визуализация на хидроакустичната информация дават основание да се счита, че при работа на хидролокатора за секторно наблюдение, реализиран по блоково функционалната схема от фиг.3.1., в райони с дълбочини около 20m, ще могат да бъдат откривани обекти, чиято сила на целта е около минус 20 db ($R_e \sim 0.2$ m), на дистанции до 400m.



Фиг.3. Ехограма от екрана на хидролокатор за секторно наблюдение, стрелката показва белег от подводен апарат с диаметър 125mm и дължина 1200mm на дистанция около 50m; диапазон 480m.

Благодарности

Тази публикация е осъществена по проект G7475, финансиран от програмата на НАТО „Наука за мир и сигурност“.

4. Воденичаров Ст.Б., Иванов И.К., Колев Ст.Г. и др. „Устройство за формиране на изображението на хидроакустична информация от хидролокатори с многолъчева диаграма на насочено действие“ ,заявка №112147/16.11.2015г., Патентно ведомство-София.

Литература:

1. Хребетов А.А., „Судовые эхолоты“, изд. Суд., Ленинград, 1982г.
2. Иванов И.К., Монеv Б.М., „Предимства на цифровото кодиране и цветното изобразяване на хидроакустични сигнали“, НТК Варна 1988г.
3. Color presentation for echosounders and sonars, Simrad Echo, vol.34,1983.

Сравнителен анализ на акустични и сеизмични вълнови сигнатури при изстрел на оръдие Д-20 и самоходна система 2С1 „Гвоздика“

Доц. д-р Бойчев Я. Д., д-р Асенов Ст. Н., Василев К.
ИМСТЦХА-БАН, София, България

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACOUSTIC AND SEISMIC WAVE SIGNATURES WHEN FIRING A D-20 CANNON AND A 2S1 "GVOZDIKA" SELF-PROPELLED SYSTEM

Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS
Institute of Metal Science Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre “Acad. A Balevski” - BAS, Sofia, Bulgaria
E-mail: y_boichev@abv.bg.

Abstract: This study presents a comparative analysis of the mechanical wave characteristics generated during the firing of two types of artillery systems—the towed D-20 gun and the self-propelled 2S1 “Gvozdika” howitzer. Using high-frequency acoustic and broadband seismic sensors positioned in the near-field of the firing location, wave signatures were recorded and processed to characterize the emitted energy fields. The aim of the research is to identify specific differences in spectral characteristics, amplitude-time profiles, and wave structures, with a view to developing methods for source recognition and classification of artillery systems based on their physical imprints in the environment. The analysis is based on synchronized measurements, spectral decomposition, and waveform evaluation in the context of sensor technologies applicable to military operations

Keywords: ACOUSTIC SIGNATURE, ARTILLERY

1. Увод

Активното използване на акустични средства за разузнаване започва през Първата световна война, като основната му цел е определяне на местоположението на неприятелските артилерийски средства. През следващите години развитието на електрониката, цифровите технологии и навлизането на изкуствения интелект доведоха до това, че термина „бойно поле“ става синоним на „информационно поле“. Широко спектър от сензори / оптични, инфрачервени, радарни средства, акустични и сеизмични/ допълнени със сателитна поддръжка, осигуряват непрекъснат поток от информация в реално време [1].

Получените от акустичните сензори сигнали след цифрова обработка и използването на специализиран софтуер позволяват откриването, идентификацията и локализацията на източниците на специфичните акустични сигнали. Първичният елемент, на основата на който се разработват цифровите модели за обработка на сигналите е акустичната сигнатура на специфичния тип артилерийска система [2-4].

Обект на настоящата работа са акустичните и сеизмични характеристики на изстрел от две артилерийски средства.

2. Методика

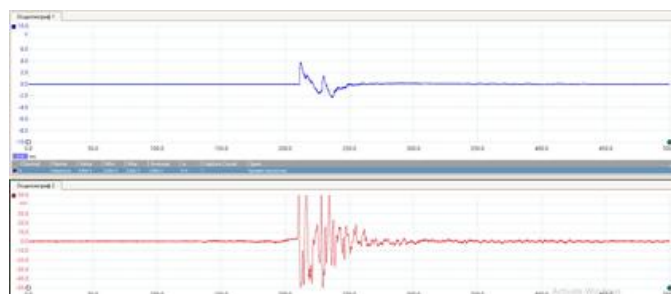
- Измервателна среда: близка зона до оръдието (до 200 m)
 - Сензори: широколентов хидрофон и широколентов акселерометър
 - Дискретизация: >50 kHz за акустика, >10 kHz за сеизмика
 - Оборудване:
 - пиезоелектрически акселерометър Bruel & Kjaer модел 4370 (Delta Shear®, 98.1 pC/g);
 - усилвател на заряд Bruel & Kjaer модел 2635 (0.1 Hz – 200 kHz);
 - хидрофон Bruel & Kjaer модел 8101 (1 Hz – 120 kHz);
 - терц-октавен филтър модел 1614 и усилвател модел 2607;
 - тестов стенд за синхронен запис и спектрална трансформация.
- Обработка: графичен анализ на времевите сигнали, спектрален анализ (FFT) на сигналите, определяне на пикови стойности и изчисление на интегрална енергия:

- Акустична енергия $E_a = \sum V_i^2$

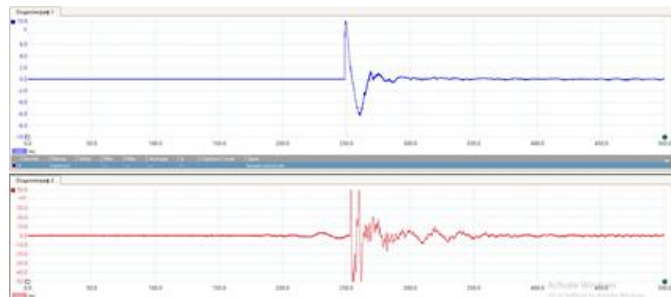
- Сеизмична енергия $E_s = \sum S_i^2$

3. Изложение

Най-характерните резултати от проведените изследвания са показани на фиг. 1 и фиг. 2. На първи канал (акустичен) на тестовия стенд (горна осцилограма), към който чрез усилвателя 2607 и терц-октавния филтър е включен един калиброван хидрофон от тип 8101. На втори канал (сеизмичен) на тестовия стенд (долна осцилограма) е включен пиезоелектрически акселерометър на фирма Bruel & Kjaer модел 4370 чрез усилвател на заряд модел 2635.



Фиг. 1. Осцилограми на акустичния (горна) и сеизмичния (долна) сигнал стробирани по време на оръдие Д-20



Фиг. 2. Осцилограми на акустичния (горна) и сеизмичния (долна) сигнал стробирани по време на самоходна система 2С1

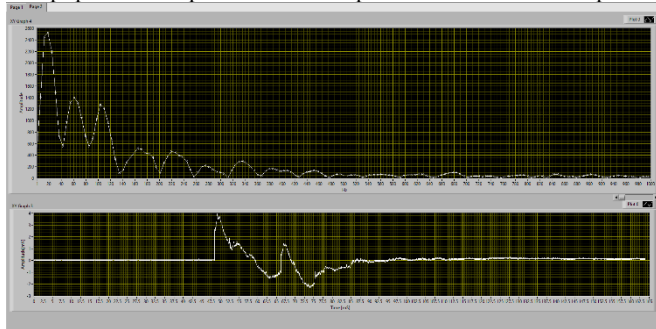
От осцилограмите на фиг. 1 и фиг.2 се вижда, че акустичния сигнал при двете системи е с първоначален пиков фронт, последван от затихваща осцилация. Самоходна система 2С1 показва по-широк импулсен фронт, но сходна максимална амплитуда с Д-20.

При Д-20 сеизмичните сигнали са с по-голяма амплитудата и интегралната енергия е значително по-голема. 2С1 „Гвоздика“ генерира по-слабо, но по-продължително сеизмично въздействие.

Табл. 1 Количествен анализ

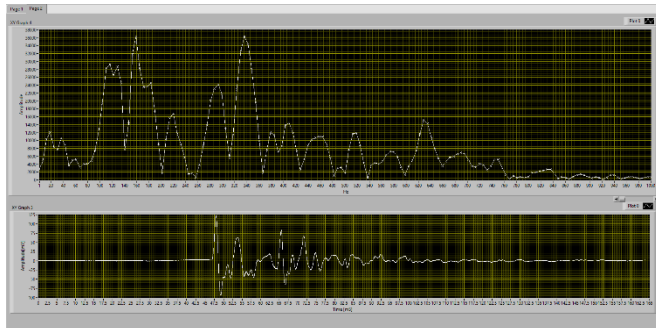
Показател	2С1 „Гвоздика“	Оръдие Д-20
Акустичен пик, [V]	9.96	10.68
Сеизмичен пик, [mV]	49.7	50.43
Акустична енергия $\sum V^2$	~42 203	~50 312
Сеизмична енергия $\sum (mV)^2$	~973 656	~1 534 246

На фиг. 3 е показан вида на акустичния сигнала генериран от изстрел на 152 mm оръдие и неговия спектър.



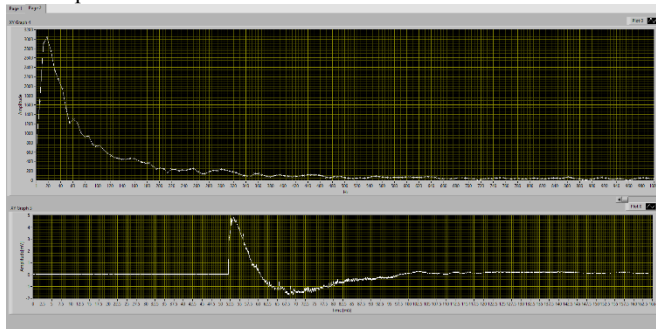
Фиг.3 Вид на акустичния сигнала генериран от изстрел на 152 mm оръдие и неговия спектър

На фиг.4 е показан сеизмичния сигнал и неговия спектър.



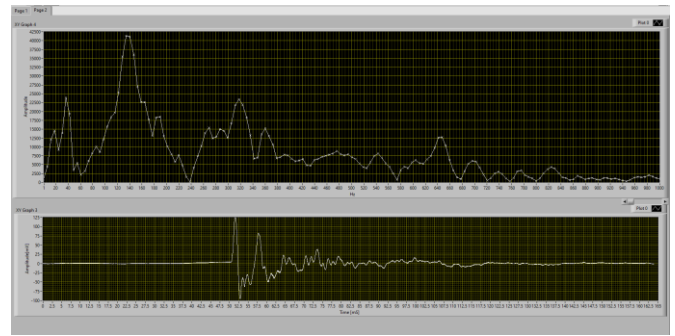
Фиг.4 Вид на сеизмичния сигнала генериран от изстрел на 152 mm оръдие и неговия спектър

На фиг. 5 е показан вида на акустичния сигнала генериран от изстрел на самоходна система 2С1 и неговия спектър.



Фиг.5. Вид на акустичния сигнала генериран от изстрел на самоходна система 2С1 и неговия спектър

На фиг.6 е показан сеизмичния сигнал и неговия спектър.



Фиг.6. Вид на сеизмичния сигнала генериран от изстрел на самоходна система 2С1 и неговия спектър

Спектралните характеристики на акустичните сигнали показват, че самоходна система 2С1 има по-широк спектрален размах с пикове около 600–800 Hz, което предполага по-комплексна структура на изстрела и взаимодействие със самоходната платформа. Д-20 има по-ясно дефиниран пик в честотния обхват около 400–500 Hz, което предполага по-рязък и концентриран в честотен план изстрел.

Спектралните характеристики на сеизмичните сигнали показват, че и при двата случая се наблюдават значителни амплитуди в обхвата **20–80 Hz**, което е характерно за ударни вълни, разпространяващи се в земната повърхност. Д-20 има по-изразена нискочестотна компонента (<50 Hz), което съответства на по-дълбоко механично въздействие върху терена. 2С1 демонстрира по-слабо и по-широко спектрално разпределение, вероятно следствие на омокотяващото действие на шасито и демпфериращи механизми.

Табл.2 Обобщение на спектралния анализ

Показател	2С1 „Гвоздика“	Оръдие Д-20
Доминираща честота – Акустика [Hz]	~44 Hz	~10 Hz
Центроид на акустичния спектър [Hz]	~10 605 Hz	~8 794 Hz
Доминираща честота – Сеизмика [Hz]	~44 Hz	~132 Hz
Центроид на сеизмичния спектър [Hz]	~10 121 Hz	~10 537 Hz

3. Изводи

Изследването демонстрира отчетливи разлики в енергийната характеристика на механичните вълни, излъчвани от двете артилерийски системи. Макар че амплитудите са сходни, Д-20 показва значително по-висока енергийна плътност, особено в сеизмичния канал. Това може да се дължи на:

- разликите в конструкцията на лафета и дулния спирач;
- ефекта от шасито при самоходната система, което частично демпфира механичните импулси;
- различия в ъгъла на изстрела и закрепването към терена.

Тези резултати дават основание за изграждане на алгоритми за разпознаване на източници на стрелба чрез комбиниран анализ на акустични и сеизмични сигнатури.

Допълнителният спектрален анализ потвърждава, че акустичните сигнали от самоходна система 2С1 съдържат повече високи честоти – признак за по-сложна виброакустична структура. Сеизмичният импулс от Д-20 е по-енергиен и концентриран, с висока доминираща честота, което улеснява откриване и типова класификация.

4. Заключение

Изследването на вълновите сигнатури, регистрирани при изстрел на оръдие Д-20 и самоходна система 2С1 „Гвоздика“, показва отчетливи различия в техния акустичен и сеизмичен профил. Д-20 се характеризира с по-интензивна сеизмична енергия и доминиращи ниски честоти, докато 2С1 проявява по-широк честотен обхват в акустичния канал. Тези различия отразяват конструктивните и кинематичните особености на системите. Комбинираният анализ на амплитудни, енергийни и спектрални параметри позволява надеждно разпознаване на типове артилерийски платформи. Резултатите потвърждават приложимостта на акустично-сеизмичния подход в тактически и технически контекст.

Финансиране: Настоящото изследване беше финансирано по програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“.

Благодарности: Бихме искали да изразим нашите благодарности към програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“ за предоставената подкрепа за настоящата публикация.

Литература

- [1] Metcalf, M.G., Acoustics on 21 century battlefield, Joint Force Quarterly, Winter 1995-96, pp. 44-47.
- [2] Haschke G., Modeling groundvehicle acoustic signatures for analysis and synthesis, Available at; <https://www.osti.gov/servlets/purl/97312>
- [3] Alain Lemer and Frederique Ywanne, Acoustic/Seismic Ground Sensors for Detection, Localization and Classification on the Battlefield, Available at: <https://www.sto.nato.int> > MP-SET-107-17.
- [4] Pietila; G., Cerrato G., Smith R. E., Detection and Identification of acoustic signatures, Proceedings of the 2011 Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium (GVSETS).

Осемканален полеви стенд за синхронно регистриране на акустични и сеизмични сигнатури от артилерийски и стрелкови системи

Доц. д-р Бойчев Я. Д., д-р Асенов Ст. Н., Василев К.
ИМСТЦХА-БАН, София, България

EIGHT-CHANNEL FIELD TEST STAND FOR SYNCHRONOUS RECORDING OF ACOUSTIC AND SEISMIC SIGNATURES FROM ARTILLERY AND SMALL ARMS SYSTEMS

Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS
Institute of Metal Science Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre "Acad. A Balevski" - BAS, Sofia, Bulgaria
E-mail: y_boichev@abv.bg,

Abstract. This report presents an eight-channel field test stand for synchronous recording of acoustic and seismic signatures from artillery and small arms systems. The configuration includes four microphones positioned at the edges of a tetrahedron and a triaxial accelerometer for recording surface seismic vibrations. The system enables simultaneous measurement of sound and seismic waves with high spatial and temporal resolution. The report outlines the operating principle, the advantages of the tetrahedral layout, and results from field measurements.

Keywords: ACOUSTIC SIGNATURES, SEISMIC SIGNALS, SMALL ARMS

1. Увод

Акустичното разузнаване на бойното поле представлява ключов компонент от съвременните средства за наблюдение и ситуационна осведоменост. То позволява своевременното откриване, локализиране и идентифициране на вражески огневи позиции чрез анализ на звуковите и сеизмичните сигнатури, генерирани при стрелба, взрив или движение на техника. Този подход е особено ценен при условия на ограничена видимост, теренни прегради или необходимост от пасивно разузнаване без излъчване.

Вълновите сигнатури на артилерийски и стрелкови системи съдържат уникални времеви и спектрални характеристики, които могат да бъдат използвани за класификация на източника. За целта е необходимо едновременно регистриране на акустични и сеизмични вълни с висока точност и синхронизация [1-3].

В този доклад се представя оригинален полеви стенд, разработен с цел провеждане на експериментални изследвания в реална среда. Системата съчетава акустична и сеизмична регистрация чрез всеобхватна сензорна конфигурация, подходяща за формиране на база данни от сигнатури и за бъдещо обучение на автоматизирани алгоритми за разпознаване.

2. Изложение

Системата е разработена с оглед на изискванията за полево акустично разузнаване в реална бойна обстановка. Основният принцип на действие включва едновременна регистрация на акустични и сеизмични сигнали, което позволява не само откриване на стрелба, но и определяне на посоката и разстоянието до източника на звука. Това е особено важно в ситуации с ограничена видимост, при нощни действия или в урбанизирана среда, където визуалното наблюдение е затруднено или невъзможно.

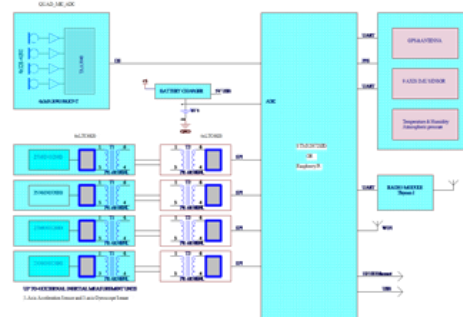
Акустичните микрофони, разположени по ръбовете на тетраедър, дават възможност за определяне на азимута и елевацията на звуковия фронт чрез анализ на времезакъсненията между сензорите. Едновременното наличие на триосов акселерометър допринася за регистриране на наземни вълни, които са резултат от взрив или движение на тежка техника. Комбинираната обработка на двете вълнови полета увеличава точността на идентификацията и устойчивостта срещу шумове.

Системата може да бъде използвана както в самостоятелен режим за мониторинг на определен периметър, така и като елемент от по-голяма сензорна мрежа. Данните, събрани по

осемте канала, могат да се използват за обучение на машиннообучаващи алгоритми за класификация на различни оръжейни системи въз основа на техните вълнови отпечатъци. Това отваря възможности за изграждане на автоматизирани системи за ранно предупреждение и интелигентно разузнаване.

2.1. Структура и схема на стенда

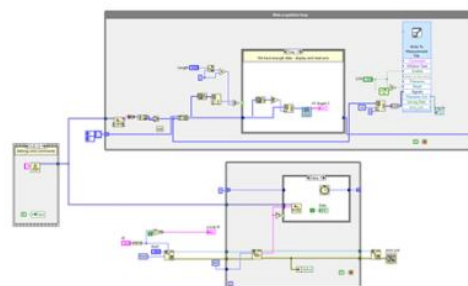
Общата структура включва осем входни канала – четири за акустични и четири за сеизмични сигнали. Акустичните микрофони са разположени тетраедрално за пространствен анализ на звуковите фронтове. Сеизмичните данни се събират чрез триаксиален акселерометър. Системата включва обработващ модул, поддържащ режими на синхронно засичане, цифрова филтрация и запис на данни.



Фиг. 1 Блок схема на хардуерната архитектура на полевия стенд.

2.2. Графичен код и обработка

Графичният код реализира паралелна обработка, включително буфериране, визуализация и запис на измерените сигнали. Контролът се извършва в реално време, с възможност за синхронен лог на всички канали.



Фиг. 2 Основна част от програмната логика на интерфейса за събиране и запис на данни

2.3. Полево приложение и разположение

По време на полигонни изпитания, системата е разгърната в откритата среда, позволяваща надеждно регистриране на взривни и стрелкови събития. Тетраедралната конфигурация улеснява определянето на посока и време на пристигане на фронта.



Фиг. 3 Реално използване на стенда при полеви измервания. Вижда се тетраедричната антена и команден пункт

3. Изводи

Разработеният полеви стенд съчетава акустични и сеизмични измервания в единна система с висока точност и адаптивност към теренни условия. Тетраедралното разположение на микрофоните и използването на триосов акселерометър позволяват пространствена ориентация и надеждна идентификация на сигнатури. Системата е приложима за военни изследвания, охрана на периметри и научен анализ на вълнови процеси.

4. Заключение

Стендът показва отлична работоспособност и надеждност на данните, което го прави незаменим инструмент при провеждане на следващи експериментални изследвания.

Финансиране: Настоящото изследване беше финансирано по програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“.

Благодарности: Бихме искали да изразим нашите благодарности към програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“ за предоставената подкрепа за настоящата публикация.

Литература

- [1] T. Trifonov T., Simeonov I. Yordanov N., Advanced signal processing methods for analysis of high dynamic range acoustic phenomena. CEMA'18 conference, Sofia.
- [2] James V. Candy J. V., Signal processing in acoustics: science or science fiction, Acoustics Today, July 2008.
- [3] Maher R. C., Modeling and Signal Processing of Acoustic Gunshot Recordings, 2006 IEEE 12th Digital Signal Processing Workshop & 4th IEEE Signal Processing Education Workshop.

Класификация на антропогенни източници на акустични и сеизмични вълни на бойното поле

Доц. д-р Бойчев Я. Д., д-р Асенов Ст. Н., Василев К.
ИМСТЦХА-БАН, София, България

CLASSIFICATION OF ANTHROPOGENIC SOURCES OF ACOUSTIC AND SEISMIC WAVES ON THE BATTLEFIELD

Associate professor Boychev Y. D., PhD, Chief Assistant Professor Asenov St. N., PhD, Vasilev .K., MS
Institute of Metal Science Equipment and Technologies with Hydroaerodynamics Centre “Acad. A Balevski” - BAS, Sofia, Bulgaria
E-mail: y_boichev@abv.bg,

Abstract: The report presents a classification of the main anthropogenic sources of acoustic and seismic waves occurring under battlefield conditions. It examines the characteristic features of various source categories—small arms, artillery, armored vehicles, and engineering activities—with a focus on their wave emissions and potential for recognition through sensor systems. The objective is to support the development of passive acoustic and seismic reconnaissance systems.

Keywords: ACOUSTIC, FIREARMS, ARTILLERY

1. Увод

Постиженията в областта на цифровата обработка на сигнали, безжичните комуникации, нанотехнологиите и изкуствения интелект превърнаха съвременното бойно поле в унифицирано бойно пространство изпълнено със сензорни технологии. Налице е дигитализирана среда с възможност за бърза обработка на информация. Настоящите акустични сензорни технологии притежават голям потенциал относно възможностите за откриване, идентифициране, локализиране и поразяване на противникови огнени средства и техника в реално време. В доклада са разгледани акустичните сигнали свързани възникващи при изстрели от леко стрелково оръжие и артилерийски средства.

2. Изложение

2.1. Леки стрелкови оръжия

Нарастващите случаи на насилие с употреба на огнестрелно оръжие представляват сериозен риск за сигурността и живота на полицейските и други правоприлагащи органа. В съвременните конфликти армейските подразделения изпълняват конвойни и охранителни операции, при които най-често са обект на нападение с леко стрелково оръжие. Навременната и точна информация за определяне вида на заплахата, и нейната локализация намаляват негативните последици при такива инциденти.

Записите на изстрели имат потенциал както за тактическо откриване, така и за криминалистична оценка. Такива записи могат да предоставят информация за скоростта и траекторията на боеприпаса, предполагаемото местоположение на стрелеца и в някои случаи за вида на използваното огнестрелно оръжие и боеприпаси. Аудиозаписите на изстрели обаче обикновено съдържат фонов шум и реверберация, поради отразяването и дифракцията на звука на изстрела около близки повърхности, и тези ефекти могат да ограничат надеждността на акустичните оценки. Записи, получени при внимателно контролирани условия, се използват за демонстриране на няколко ключови характеристики и ограничения на акустичния анализ на изстрели

Типичният звук от изстрел се състои от два компонента: дулен взрив и балистична ударна вълна. Дулният взрив е високо интензивен акустичен импулс, предизвикан от бързото разширяване на газовете излизащи от цевта. Продължителността му е около 3÷5 ms. Характеристиките му зависят от количеството и вида на барута, и конструктивните особености на оръжието. Ако изстреляния боеприпас е със скорост по-висока от скоростта на звука във въздуха той предизвиква ударна вълна с продължителност 200÷400 μ s [1-3]. Общата акустична сигнатура на изстрела е сложно взаимодействие на тези компоненти, като върху него оказват

влияние факторите на околната среда, отражения, фонов шум. Ключовите фактори са:

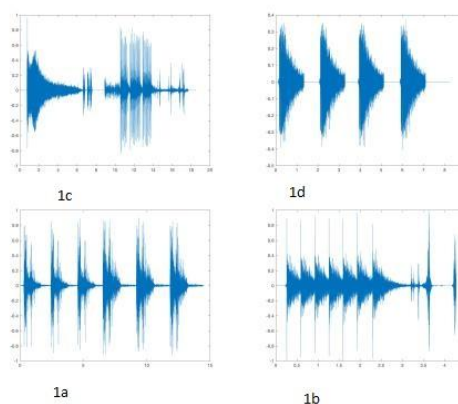
- Тип и калибър на оръжието;
- Характеристики на амунициите;
- Направление на изстрела спрямо регистриращите микрофони.

В табл.1 са посочени характеристиките на изстрела за различни стрелкови оръжия.

Табл.1. Акустични характеристики на различни типове оръжия

Тип оръжие	Честотен пик [Hz]	Продължителност [ms]	Звуково налягане от 1m [dB]	Ударна вълна
Пистолет (9mm)	500-2000	3-5	159 164	Рядко
Пушка (5.6mm)	200-1500	5-8	167 171	Често
Ловна пушка(12ga)	100-800	6-12	161 165	Не
Картечница	300-1800	3-5	165 170	Често
Картечен пистолет	400-2200	3-4	160 166	Променливо

Профилът на акустични сигнали от изстрели е показан на фиг.1.

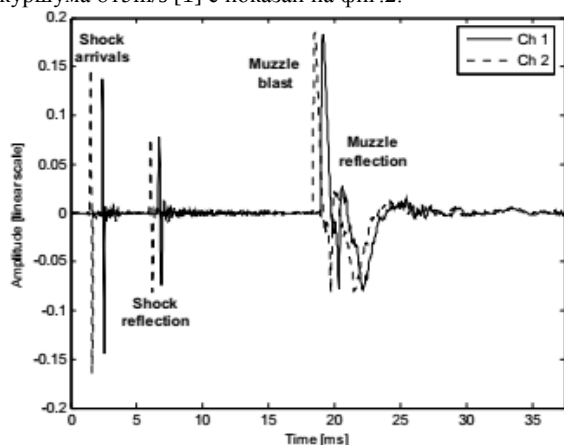


Фиг.1. Акустични профили на изстрел от различни оръжия

Бързата последователност от изстрели (1a) се различава съществено от единичен изстрел на пушка (1d) или от снайперска пушка (1c). Пистолетът (1b) има по-бърз изстрел

Тези особености се взимат под внимание при създаването на автоматизирани системи за идентификация на изстрели от леко стрелково оръжие [4-7].

Акустичен запис на изстрел от Winchester 0.308 със скорост на куршума 815m/s [1] е показан на фиг.2.



Фиг.2. Двуканален запис на куршум със скорост $M=2.54$

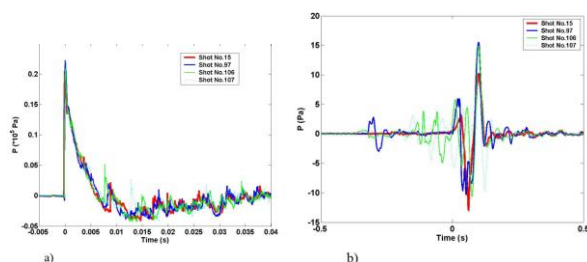
Записът е осъществен с два микрофона с разстояние между тях 30 cm разположени на 1.60 m от повърхността на земята. Ударната вълна от свръхзвуковия куршум пристига първо до микрофон 2, а след това до микрофон 1. Със времезакъснение, необходимо на ударната вълна да измине разстоянието между микрофоните. Следващото събитие е пристигането на отразената от земята ударна вълна. Отраженият сигнал е с по-малка амплитуда поради поглъщането от земята и по-дългия изминат път. След това акустичният сигнал от дулния взрив достига до микрофоните. Накрая отражението на дулния взрив от земята достига до микрофоните, след като се е разпространил със скоростта на звука от позицията на оръжието до микрофоните.

Тези особености се взимат под внимание при създаването на автоматизирани системи за идентификация на изстрели от леко стрелково оръжие [4-7].

2.2. Артилерийски системи

Всеки артилерийски изстрел генерира следните вълни: дулна вълна, вълна от взривяването на снаряда, балистична вълна. Всички тези вълни спадат към типа ударни вълни, които от своя страна са източник на акустични вълни [8].

На фиг.3. са показани акустични записи на 105 mm изстрел[9].



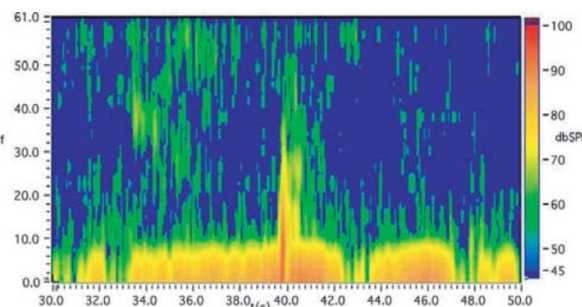
Фиг.3. Акустичен запис на артилерийски изстрел

Сигнали от едни и същи събития (изстрели) са записани в различни дни или в различни периоди от деня. Те са наложени върху едни и същи графики, за да се контролира възпроизводимостта на данните. Сигналите, измерени при източника (сензорът близо до дулото на оръдието), са почти еднакви (фигура 4а). Сигналите, измерени на по-голямо разстояние, след разпространение от няколко километра, са по-малко възпроизводими (фигура 4б). Някои характеристики обаче остават близки (ниво на налягане, продължителност на основната вълна и др.) и могат да бъдат ясно разпознати.

При комбинирано използване на микрофони и сеизмични сензори, след спектрална обработка на сигналите е установено, че сеизмичните сензори са дали сигнали, силно корелирани с акустичните, съответстващи на вълни, пътуващи през въздуха.

Тези вълни се улавят от геофоните поради механичното свързване между въздуха и земята. В зависимост от разстоянието до удара и мощността на детонацията, може да се наблюдава нискофреkwотна вълна, съответстваща на сеизмичното разпространение през земята. Тъй като вълните във въздуха и в почвата не се разпространяват с еднаква скорост, разликата във времето на пристигане между двете събития може да даде оценка на разстоянието.

Импулсивните акустични източници, като например изстрелвания на ракети, експлозии и артилерия, имат широколентови спектрални енергийни разпределения, простиращи се до по-ниски честоти от тези, произвеждани от превозните средства. Поради нискофреkwотния им спектрален състав, техните сигнали могат да се разпространяват на по-дълги разстояния без поглъщане и са обещаващи цели за откриване от тактически акустични/инфразвукови сензори на по-големи разстояния. Това се потвърждава от спектралния анализ на изстрел на артилерийска система, показан на фиг.4 [10].



Фиг.4. Акустичен спектър на артилерийски изстрел

Наблюдава се широколентовата сигнатура за честоти от 10—20 Hz и по-ниски, със силни сигнали под 5—10 Hz, дълбоко в традиционния инфразвуков диапазон. Записът е направен на 9 km от оръдието.

За изследваните източници максималната енергия обикновено е около 10 – 50 Hz (10 – 20 Hz за висококалибрено оръдие с максимален заряд);

- разликата в затихването като функция на честотата не е достатъчна, за да направи дълбоката инфразвукова област по-интересна от нискофреkwотната;

- има връзка между количеството барут и нискофреkwотните характеристики, така че инфразвуковата област ще бъде по-интересна за по-големи калибри;

- метеорологичните профили могат да предизвикат големи смущения в сигналите;

- ниските честоти са по-малко повлияни от условията на разпространение от високите; особено ниските честоти и инфразвукът могат да проникнат в зоните на сенките;

- откриването на инфразвука и ниските честоти може да бъде нарушено от фоновия шум (вятър);

- трябва да се правят компромиси, за да се определи най-добрата честотна област, и са необходими ефективни ветрозащитни екрани, за да се използват ниските честоти.

Проведени изследвания в Румъния [11] показват възможностите за използване на регистрираните инфразвукови сигнали при разработването на акустична сензорна система за откриване и идентификация на артилерийски обекти.

3. Изводи

Познаването на специфичните за бойното поле акустични източници е основа за разработването на ефективни акустични сензорни средства и системи с военно предназначение. За целта е необходимо провеждането на изследвания, които да позволят създаването на достоверна база данни за акустичните сигнатури на най-често използваните стрелкови и артилерийски системи.

4. Заключение

Значимостта на проблема налага продължаване на изследванията и експериментите провеждани в ИМСТЦХА-БАН в тази област.

Финансиране: Настоящото изследване беше финансирано по програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“.

Благодарности: Бихме искали да изразим нашите благодарности към програма „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., съфинансирана от Европейския съюз, проект BG16RFPR002-1.014-0008 „Устойчиво развитие на Център за компетентност „Квазар“ за предоставената подкрепа за настоящата публикация.

Литература

- [1] Maher R. C, “Acoustical characterization of gunshots,” in *2007 IEEE Workshop on Signal Processing Applications for Public Security and Forensics*, 2007, pp. 1–5.
- [2] Maher R. C. and S. R. Shaw, “Deciphering gunshot recordings,” in *Audio Engineering Society Conference: 33rd International Conference: Audio Forensics-Theory and Practice*. Audio Engineering Society, 2008.
- [3] Svatos J. and J. Holub, “Impulse acoustic event detection, classification, and localization system,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 72, pp. 1–15, 2023.
- [4] Luzi L., Gonzalez E., Bruillard P., Prowant M., Skorpik J., Hughes M., Child S., Kist D., McCarthy J., Acoustic firearm discharge detection and classification in an enclosed environment, *J. Acoust. Soc. Am.* 139 (5), May 2016, p.2723-2731.
- [5] Singh T., Bhattacharya S., Sinha A., Automatic Classification of Acoustic Signals from Gunshots, *Proceedings of the 7th International and 45th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power (FMFP)* December 10-12, 2018, IIT Bombay, Mumbai, India.
- [6] Djeddou M., Touham T., Classification and Modeling of Acoustic Gunshot Signatures, *Arab J Sci Eng*, DOI 10.1007/s13369-013-0655-5.
- [7] Giverts P., Sofera S., Solewicz Y, Varerc B., Firearms identification by the acoustic signals of their mechanisms, *Forensic Science International* 306 (2020) 110099.
- [8] Таланов А. В., Звуковая разведка артиллерии, М., 1948.
- [9] Naz P., Bouguereau J., Lemer A, F. Ywanne F., Acoustic Detection and Localization of Artillery Guns, *Proceedings of SPIE* Vol. 5796 (SPIE, Bellingham, WA, 2005).
- [10] Christopher Stubb C. et al, Tactical infrasound, Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA435517.pdf>
- [11] Ionescu C., Ghica D., Toader V., Marmureanu A., Neagoe C., Predoi C., Studies for development of a system for rapid localization of the guns position in firing fields, *EGU General Assembly* 2022, Available at: <https://gundetec.infp.ro/assets/egu2022.pdf>.

An approach to monitoring, classifying and jamming underwater sound communications

AleksandarKolarov, RadostinNajdenov

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with the Center for Hydro- and Aerodynamics "Acad. A. Balevski"-

Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

aleksandar_kolarov@abv.bg, radonaydenov@yahoo.de

Abstract: The task of jamming underwater voice communications with and between divers and communications with / between autonomous submarines in port security systems and coastal infrastructure facilities as well as anchored ships plays an important role in operations against asymmetric and military threats. Underwater jammers can be classified as autonomous, with remote control via hydro acoustic channel and with cable control from a shore-based or ship-based base station. While in the first two when receiving hydro acoustic signals above a set threshold level is performed program amplitude-frequency analysis and a decision is made to emit a jamming signal, in coastal / ship performance the decision to activate may be taken by the operator on other signs, which are analyzed in this report.

Keywords: UNDERWATER VOICE COMMUNICATIONS, JAMMING,,REGISTRATION OF SIGNALS, OPERATOR

1. Introduction

Marine resource collection and development are almost inseparable from underwater communication. In addition, underwater wireless communication (UWC) plays a vital role in underwater navigation and is a key technology for underwater sensor networks.

Traditional underwater communication methods mainly include underwater acoustic communication (UAC), underwater radio frequency (RF) communication and underwater wireless optical communication (UWOC). UAC is considered the most practical way to transmit data over long distances of up to several tens of kilometers based on underwater acoustic waves. However, UAC suffers from a relatively low data transmission rate of the order of kbps due to the low system bandwidth of about kHz, and the low bandwidth is limited to the low carrier frequency (10 Hz–1 MHz). The propagation speed of the acoustic wave in the underwater channel is five orders of magnitude lower than that of the radio wave, resulting in a propagation delay of about 0.67 s per kilometer.

In addition to useful applications, including in the military field, underwater wireless communications can also support terrorist activities that lead to political, economic and moral losses for many countries and can quite realistically paralyze the economy of countries dependent on sea supplies of energy resources, raw materials, food and other necessary goods. Objects of attacks by underwater saboteurs can be ships and floating facilities, port and hydrotechnical facilities, coastal industrial enterprises, including nuclear power plants, oil platforms, underwater pipelines and cables, etc. The use of autonomous underwater vehicles and robots can ensure the actions of both special operations forces and terrorists, as well as participation in maritime operations, primarily as a source of intelligence information, etc. Therefore, one of the approaches to increasing the effectiveness of port, naval base and anchorage protection systems is to disrupt or significantly complicate underwater communication with and between underwater swimmers and/or with and between autonomous underwater vehicles and robots. This can be achieved by building a parallel functioning, as part of the other elements of the protection system, or an independently (autonomously) operating system for countering underwater communications, which would terminate (to a large extent disrupt) the management process (control of combat operations). The system should be adaptable to the existing capabilities and elements of a broad port protection system, i.e. be of a modular type, which will allow it to perform a full range of functional capabilities for detecting and registering signals from underwater communications, synthesizing a jamming signal and broadcasting it for a certain period of time [1].

The presented results are based on a number of literary sources and, above all, on the research conducted at the Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with the Center for Hydro- and Aerodynamics "Acad. A. Balevski"- Bulgarian Academy of Science.

2. Prerequisites and ways to solve the problem

Modern underwater communication systems implement the process of transmitting/receiving information in the form of modulated sound (ultrasound), electromagnetic or optical waves. Each of these techniques has advantages, disadvantages and limitations.

Hydroacoustic communication is currently the most versatile and widely used technique. In recent years, the main goal of underwater acoustic communication is to overcome the performance limitations caused by the high-dispersion channel, while maximizing the efficiency of the frequency band [2].

The summarized parameters of the products offered on the market for general and military use for communication between divers and between divers and a base station, which have a major influence on the design of an underwater communications jammer, are shown in Table 1.

Table 1. The summarized parameters of diver-to-diver communication systems and a base station

PARAMETER	RANGE OF ACTION		
	small	medium	large
Connection distance,m	50-500	1500-3000	6000-10000
Acoustic power output,W	0.5	5-10	50-70
Frequency range (most used),kHz	30-40 (31-33)	20-30 (25-29)	8-20 (8-11)
Signal modulation	Amplitude-unit frequency band with suppressed carrier frequency		
Receiver sensitivity	-120dBv ($\approx 1V/1Pa$)		
Automatic gain control	80-120 dB		
SL-Acoustic intensity	172-185 dB re1 μ Pa at a m		

The general parameters of the communication means for the management and control of the movement of underwater vehicles and robots (AUVs) are shown in Table 2.

Table 2. and General parameters of the communication means with underwater vehicles robots (AUVs)

	PARAMETER	RANGE OF ACTION		
		small	medium	large
1	Connection distance,km	0.5-1	1-10	10-100
2	Acoustic power output,W	3	10-50	

3	Frequency range (most used)kHz	40-150	20-40 (34-38)	7-20 (8-15)
4	Signal modulation	2/4/8 PSK;8/16/64 QAM		
5	Receiver type	Coherent equalizer with synchronization		
6	Transmission speed	150kbps	10 kbps	1 kbps
7	SL-Acoustic intensity	157-207dB re 1μPa at a m		
8	Mutual Access Protocol	TDMA,CDMA		

The means of underwater voice communication, which can be used in the areas of ports, naval bases and offshore facilities, will mainly have parameters with values shown in Table 3:

Table 3. The general characteristics of underwater voice communication devices

№	Parameter	Value
1	Carrier frequency	8 ÷ 45 kHz
2	Wavelength	0.1 ÷ 0.5 m
3	Channel Bandwidth	2 ÷ 3 kHz
4	Signaling rate	~ 2 ksymbols/s
5	Symbol duration	~ 500 μs
6	Carrier cycles/symbol	~ 5
7	Platform speed	3 ÷ 15 km/h
8	Carrier Doppler shift	~ 3 × 10 ⁻³ %
9	Multipath time spread	50 ÷ 100 ms
10	Symbol in that time	100 ÷ 2000
11	Carrier frequency modulation	SSB (USB, LSB), MFSK, DPSK. <i>Fig. 1, 2, 3.</i>

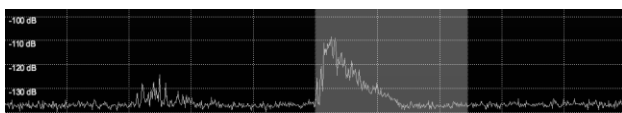


Fig. 1. Oscillogram of a modulated SSB signal



Fig. 2. Oscillogram of a modulated MFSK signal



Fig. 3. Oscillogram of a modulated DPSK signal

For the purposes of analyzing the necessary and sufficient values of the parameters of an underwater communication jammer, the following conclusions can be drawn:

- The output power (PEP) of the transmitters of the underwater communication stations between and with divers is expected to be in the range of 30 ÷ 70 W, which ensures a communication distance of up to 6000 m. The products available on the market, which are expected to be used by terrorist divers, provide a distance of up to 1000÷1200 m at transmitter output power values of up to 5 W;

- The signals emitted in underwater voice communication are usually amplitude-pulse modulated on a single frequency band with a suppressed carrier frequency (SSB);

- The frequency ranges in which underwater voice communication systems operate can be systematized depending on their purpose and, as follows:

- 8 ÷ 10 KHz – for military needs for combat communication with underwater swimmers from a control post (coastal stationary or mobile (ship, helicopter, submarine, etc.);

- 25 ÷ 28 KHz for military needs for combat communication between underwater swimmers in the group;

- 30 ÷ 35 KHz – for communication between divers engaged in sports, underwater work, etc.

- The sensitivity of the receivers of underwater voice communication systems, with within 100 ÷ 120 dBv, and automatic gain adjustment – 90 ÷ 110 dB;

To solve the task, a team from the Institute of Metallurgy, Facilities and Technologies with a Center for Hydro- and Aerodynamics at the Bulgarian Academy of Sciences /IMSTCHA-BAS/ created a prototype of a shore-based jamming system “RACK-CS” – Fig. 4, designed to register specific underwater communication signals, which are then classified by an operator who can decide to actively block them for a certain period of time by emitting powerful hydroacoustic pulses in an appropriate frequency range.



Fig. 4. Composite underwater communications jammer RACK-CS

The underwater part of RACK-CS is positioned on the seabed at a depth of up to 30 m and registers the exchange of information between ultrasonic underwater communication devices in the frequency range of 10 - 60 kHz. Effective suppression of underwater communication is achieved by emitting pulsed interference signals with a frequency close to that of the communication signals and an amplitude sufficient to reach a level above the receiver threshold. RACK-CS is designed to meet the following requirements:

- to register the presence of communication signals in a sea area;

- to receive and analyze hydroacoustic signals emitted in the full frequency range of underwater communication systems;

- to be remotely activated via cable when information about possible underwater targets is received from radar, sonar, visual means, etc.;

- to emit a series of pulses with tonal interference;

- ensuring non-isotropic signal emission – unidirectional emission in the horizontal plane and directional radiation in the vertical plane.

The observation, recording and classification of underwater communication signals is carried out by an operator using a shore/ship station located on the shore or on board a ship. The underwater part of the RACK-CS is connected to the base shore/ship station via an underwater cable. The base station receives information from a hydroacoustic receiver, sends command signals and supplies 24V DC voltage to charge the power supply batteries. Switching the silencer to the active operating mode is carried out by an operator command and is sent via cable. Returning it back to standby mode (listening) is done in the same way. Upon command given by the operator, the silencer is activated and begins to emit for a certain period of time (about 3 minutes) a pseudo-continuous wave consisting of a set of short pulses with an acoustic power of not less than 1600 - 1900 Pa/m (180-185 dB re 1μPa per 1m), which

are filled with a random frequency from the spectrum of the selected frequency (sub)range.

3. Solution to the studied problem

In general, the functioning of the “RACK-CS” can be described in the following sequence:

- The monitor of the shore/ship station displays the noise picture in the surrounding sea area;
- In the main operating mode, the operator analyzes the noise situation and classifies the signals that may be due to underwater communication;
- If the classification is positive, the operator determines the frequency range of the communication, subbands and frequency band;
- Using the control unit keyboard, the operator selects the appropriate combinations that determine the parameters of the jamming signal;
- At the operator's command, the jammer starts emitting a jamming signal within the specified frequency within a specified frequency subband for a period of 3 minutes. During this time, the hydroacoustic receiver is blocked [3].

The information from the hydroacoustic receiver is visualized and analyzed by specialized software (Underwater Jammer Commander (UJC)), based on which it is decided whether there is a communication signal and what its frequency range is. UJC consists of a settings row and three built-in windows, marked with green numbers in Fig.5.

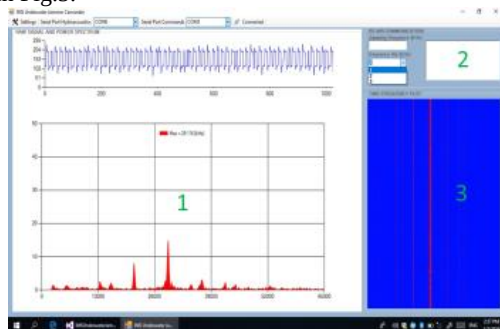


Fig. 5. Laptop indicator for UJC program in “Receive” mode

It is designed to perform jamming with selected frequencies. A hydroacoustic serial port and a serial command port can be connected using the settings menu. The window marked 1 represents the raw signal and the power spectrum. The window marked 2 is used to select the jamming frequency range. In the frequency (X-axis)-time (Y-axis) graph window, marked 3, the power of the received hydroacoustic signal is shown in color (red for high values and blue for low values).

The jamming procedure follows the following steps:

- Selection of the jamming frequency after analyzing the input signal and the power spectrum;
- Selection of the jamming frequency range (window 2);
- Start of the jamming with the virtual button “Start jamming” (Fig.6);
- Following the time-frequency graphs (window 1).

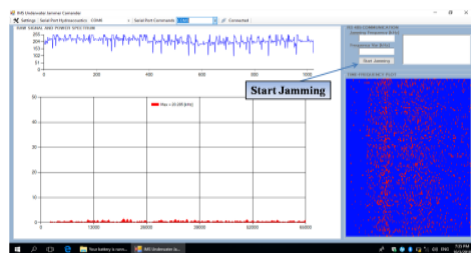


Fig. 6. Laptop indicator for UJC program in “Broadcast” mode

In the main mode of operation, the operator analyzes the noise situation and classifies the signals by deciding whether there is an underwater communication signal and what is its frequency range. To perform this task, the operator must determine from tactical considerations whether the amplitude of the received signal corresponds to the probable output acoustic power and the probable distance to the underwater communication device.

The next stage is to determine from the registered oscillogram whether the shape of the received signal corresponds to the probable modulation of the carrier signal – see Fig. 1, 2, 3. At the same time, the operator must assess whether the oscillogram and spectrogram indicated on the screen correspond to those of human speech or to some representatives of the fauna characteristic of the area and some specific ones, such as [4,5]:

- Bottlenose dolphins - produce a large number of vocalizations, including whistles, buzzing, croaking, popping, rustling sounds of hinges, screams and clicks – Fig. 7;

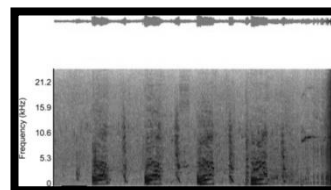


Fig. 7. Oscillogram and spectrogram from bottlenose dolphin

- Common dolphin - the most common sounds are tonal whistles (maximum frequency below 50 kHz) and high-frequency echolocation clicks (above 100 kHz) – Fig. 8;

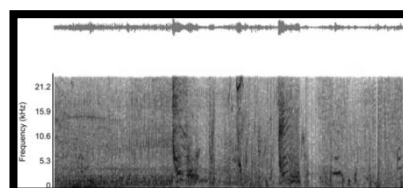


Fig. 8. Oscillogram and spectrogram from a common dolphin

- Belugas are widely known for their diverse and frequent echolocation and communication vocalizations with a mid-frequency range of 2.0 to 5.9 kHz. They are trainable and can be used for combat missions – Fig. 9;

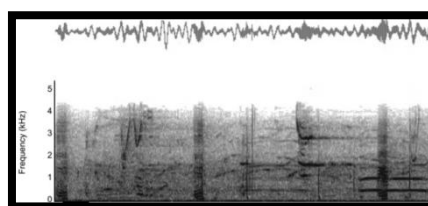


Fig. 9. Oscillogram and spectrogram of beluga

- Harbor seals produce a wide variety of vocalizations, with their underwater vocalization described as a roar with a peak frequency of approximately 1,2 kHz – Fig. 10;

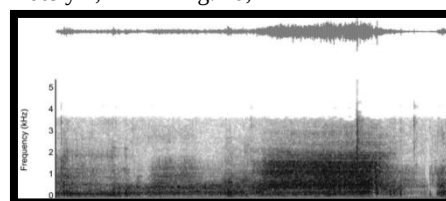


Fig. 10. Oscillogram and spectrogram from a seal

- From a motorboat – Fig. 11;

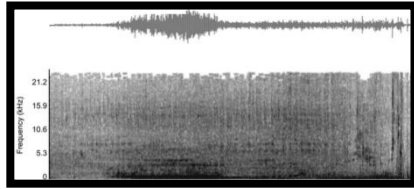


Fig. 11. Oscillogram and spectrogram from a motorboat

- From scuba diving – Fig. 12

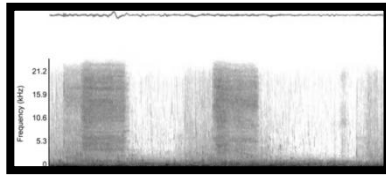


Fig. 12. Oscillogram and spectrogram from a scuba diving

3. Conclusion

Underwater communication is a complex process that requires specialized technologies and methods for transmitting information underwater. Spectrograms are visual representations of the frequency components of sound signals over time and can be used to analyze acoustic data in the context of underwater communication.

Underwater communication is a complex process that requires specialized technologies and methods for transmitting information underwater. Analyzing underwater sounds is challenging due to the complexity of the aquatic environment that affects the propagation of sound waves. Factors such as temperature, salinity, depth, and the presence of obstacles can significantly affect the quality of the signal. Spectrograms are visual representations of the frequency components of sound signals over time and can be used to analyze acoustic data in the context of underwater communication [6].

Spectrograms provide a graphical representation of the frequency spectrum of sound over time. They show how the different frequency components of sound change over time. This can be useful for analyzing different types of underwater sounds, including those used for communication between submarines or other underwater devices. Spectrograms can be used to identify different types of underwater sounds, such as the sounds made by marine animals, noises from ships, or specific signals used for communication between underwater vehicles.

In conclusion, spectrograms play an important role in the analysis of underwater sound signals and can be a powerful tool for understanding and improving underwater communication, and their interpretation by an operator should take into account:

1. Axes: A spectrogram has three main axes:

- X-axis: Time (seconds).
- Y-axis: Frequency (Hz).
- Color/Intensity: Sound amplitude (dB). Brighter colors generally indicate louder sounds.

2. Frequency bands: Different frequency bands represent different tones. For example, low-frequency sounds will be represented at the bottom of the Y-axis, while high-frequency sounds will be at the top.

3. Temporal changes: how the frequency spectrum changes over time. This can help identify different sound events or patterns.

Context: The context of the recording should always be taken into account. Knowing what type of sound is expected (for example, a dolphin sound or a submarine signal) can help interpret the spectrogram more accurately.

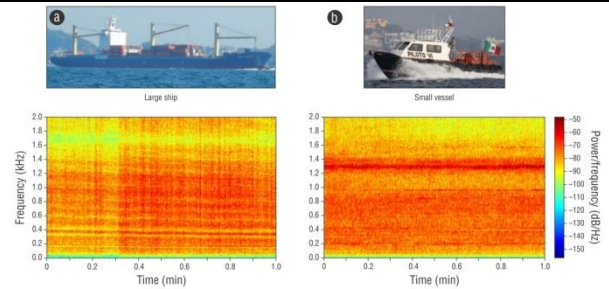


Fig. 13 Examples of sound contribution from a large ship (a) and a small vessel (b) showing the image and spectrogram

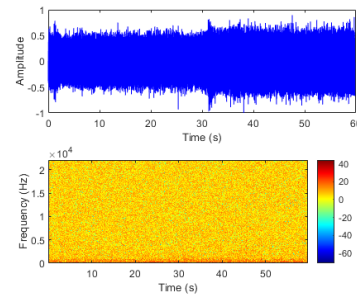


Fig. 14 Spectrogram of mixed acoustic signal

The prototype of a shore-based jamming system “RACK-CS” created at the Institute of Marine Engineering and Technology-BAS, designed to register specific underwater communication signals, requires subsequent classification by an operator, who can decide to actively block them for a certain period of time by emitting powerful hydroacoustic pulses in an appropriate frequency range. The report proposes a method for preliminary preparation of the operator to analyze the parameters of the registered signal – oscillogram shape, modulation type, frequency spectrum – spectrogram and power, displayed on the base station indicator using specialized UJC software.

Acknowledgment

This publication was carried out under project G7475, funded by the NATO Science for Peace and Security Programme.

4. Literature

1. Yik-Chung Wu * Rui Min. Joint channel estimation and data detection for multihop ofdm relaying system under unknown channel orders and doppler frequencies. IEEE Communications Magazine, (January):97–102, 2012;
2. Dario Pompili and Ian F. Akyildiz. Overview of networking protocols for underwater wireless communications. Comm. Mag., 47(1):97–102, January 2009;
3. E.Kozaczka, Grażyna Grelowska, Theoretical model of acoustic wave propagation in shallow water, Polish Maritime Research 2 (94) 2017 Vol. 24; pp. 48-55 10.1515/pomr-2017-0049;
4. Hague, D.A.; Buck, J. An experimental evaluation of the generalized sinusoidal frequency modulated waveform for active sonar systems. J. Acoust. Soc. Am. 2019, 145, 3741–3755;
5. Kolev S, Nenova B, Ivanov I. Influence of seawater depth in hydroacoustic transmission of binary numbers. International Scientific Journal "Security&Future", 4, 3, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering – Bulgaria, 2020, ISSN:2535-082X, 119-120

State of technical inspections implementation on the example of residential buildings destroyed as a result of fire

Sławomir Bałuszyński
Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie
ORCID: 0009-0004-1897-7298
slawomir.baluszynski@uken.krakow.pl

Abstract: In 2024, firefighters in Poland recorded 29,271 apartment fires, resulting in 295 deaths and 2,052 injuries. Additionally, due to the emission of "carbon monoxide" [1] , „firefighters recorded 4,329 interventions in which 52 people died from carbon monoxide poisoning, and 1,334 people suffered from poisoning” [2] . An analysis of the causes of fires in previous years, as well as in 2024, indicates several main factors. The most common causes of fires include: arson, improper use of heating devices, defects in electrical equipment and installations, and adult carelessness. The aim of this article is to analyze the state of implementation of technical inspections of utility installations in residential buildings as required by national regulations. The author also presents the results of their own research in this area, along with conclusions drawn from the conducted studies and observations.

Keywords: SAFETY, RISK, HAZARD, FIRE, FIRE PROTECTION MEASURES

1. Introduction

Fire safety is not a precisely defined concept. Neither legal regulations nor the subject literature define it unambiguously, however, it is widely used. [3]. It is also mentioned in national and European Union laws, as well as in scientific and industry literature.[4] .

Therefore, it can be argued that fire safety is achieved through the effectiveness of the fire protection system, within which preventive measures are taken, as well as prevention, social education, and maintaining the capacity for rescue operations [5].

At the same time, meeting the requirement to ensure fire safety requires the implementation of specific actions defined by law [6]. Based on the regulation [7]. It is also worth mentioning that in § 4 section 1, it is prohibited to perform actions that may cause a fire, its spread, hinder rescue operations, or evacuation in the context of using technically faulty installations or those not subject to periodic inspections, with the scope and frequency defined by building law regulations, if this may contribute to the occurrence of fire, explosion, or fire spread.

Regardless of the above, § 6 [8] also contains detailed guidelines regarding the inspection of the technical condition and usability of building elements, including installations.

An analysis of general insurance company conditions also indicates provisions regarding the obligation of regular inspections of installations, which relate to the proper protection of the insured object, taking into account the necessity of complying with preventive regulations, including fire protection, as well as proper maintenance and operation of devices supervised by the person entering into the insurance contract.

The insured therefore has the obligation to maintain the technical condition of all installations, including recommended control tests and inspections. They are also required to equip the installations with all necessary systems (e.g., electric shock protection, surge protection, lightning protection, grounding) and operate them according to their intended purpose, operating instructions, and technical regulations.

Therefore, failure to fulfill these obligations may result in the insurer's liability being excluded if it influenced the occurrence or extent of the damage. This means that the lack of regular inspections may affect the amount of compensation or even lead to its refusal. The modern approach to fire safety assumes that it is not a state achieved once and for all, but a continuous process requiring systematic management, evaluation, and improvement. At the center of this concept is a process that serves as both the focal point and a symbol, integrating key elements that influence the effectiveness of fire protection. At the same time, the whole, presented in the form of a cycle, emphasizes the continuity and dynamics of actions.

However, fire safety does not end with the implementation of procedures. A constant requirement is continuous improvement

and adapting the elements surrounding the process to changing conditions. These elements are:

1.Financing carried out by ensuring adequate financial resources for the replacement and purchase of modern fire-fighting equipment, training, modernization of alarm systems, and maintenance of safety infrastructure.

2.Theory

Scientific and normative knowledge in the field of fire safety engineering, psychology of behavior in crisis situations, and legal regulations, where a crisis situation is a phenomenon lasting over time, beginning from a state of equilibrium through instability to stability in a new situation, which is usually qualitatively different. The current model of the modern crisis management process, taking into account deviations from the normal state in fire safety, is based on the implementation of activities in four basic phases: prevention, preparation, response, and recovery.

3.Practice as operational activities: inspections of the technical condition of portable fire extinguishing equipment, fire protection devices, alarm system tests, trial evacuations, and personnel training.

4. Knowledge updating.

Continuous improvement of competencies through training, courses, participation in conferences, and updates on changes in regulations.

5. Verification of progress.

Monitoring the achievement of safety goals, analyzing reports from drills and incidents, internal audits.

6. Verification of knowledge.

Checking employees' level of preparedness to respond appropriately to both static and dynamic safety conditions, including hazards; knowledge tests; emergency situation simulations.

7. Response.

Readiness for immediate action in case of danger: evacuation procedures, detection and extinguishing systems, cooperation with rescue entities, including the leading formation, the State Fire Service.

8. Tools constituting technical and organizational measures supporting safety: smoke detectors, fire protection devices, smoke and heat removal systems, risk management applications.

2. Study of the implementation of the obligation to subject technical installations in residential buildings to periodic inspections.

Based on the author's participant observation method, appointed as a court expert registered on the list of experts of the District Court in Nowy Sącz in the field of determining causes and circumstances of fires, findings were made for fires that occurred over a four-month period, i.e., from December 15, 2024, to April 15, 2025, in 45 buildings affected by fire. The established causes of fires based

on conducted inspections in residential buildings—for a total of 45 fires—are as follows:

- A. Defects in electrical installations, including the electrical devices in use, accounted for 23 fires.
- B. Defects in solid fuel heating devices, including chimney flues: 16 fires.
- C. Carelessness of adults, including accidental ignition, was the cause of 8 fires.
- D. Intentional actions of third parties, arson: 6 fires.
- E. Other incidents: 2 fires.

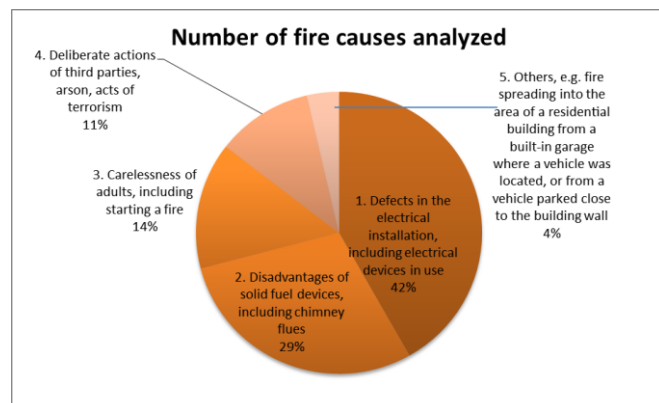


Chart 1. Analysis of Fire Causes , Source: Author's own study.

The above data shows that in the analyzed cases, the most common cause of fires was defects in electrical installations, including the devices powered by them. The second most frequent cause was defects in solid fuel heating devices, including chimney/flue systems. The third most common cause was the carelessness of adults, including accidental ignition.

With regard to the implementation of the obligation to conduct periodic inspections of utility installations in residential buildings, the conducted analysis shows that out of 45 residential buildings, 42 did not have up-to-date periodic inspections for gas installations, including gas appliances. In 4 analyzed buildings, the owners declared having up-to-date inspections of the electrical installation, despite the fact that inspections indicated, in 23 cases, that the cause of the fire was related to hazardous physical phenomena occurring in the electrical installation or in the electrical devices in use.

The highest number—12 out of the 45 analyzed buildings—had chimney inspections conducted. However, it should be noted that in 7 cases, the confirmations of chimney inspections carried out by authorized persons were either unreliable or not compliant with the regulations. These cases were linked to 16 fire incidents caused by chimney-related issues, which means that proper procedures were followed in only 5 buildings.

Additionally, in the collected interviews at the fire sites of the analyzed buildings, 41 owners or managers were unaware of the frequency with which the cleaning of soot and exhaust ducts should be conducted during their usage periods.

At the same time, the conducted research shows that among the 45 residential buildings, the respondents indicated that in 42 cases gas installation inspections are not required. Regarding chimney inspections, 19 people claimed there is no such requirement, 24 did not notice that the inspections were outdated, and 2 declared that they commissioned the inspections to an authorized person, but the inspections were not carried out.

In turn, regarding inspections of the technical condition of electrical installations, 29 respondents indicated there is no requirement for residential buildings, 11 did not notice that the inspections conducted were outdated, and 5 declared that they commissioned the inspections to an authorized person, but these were not carried out on time.

Reasons for lack of current inspections - not required

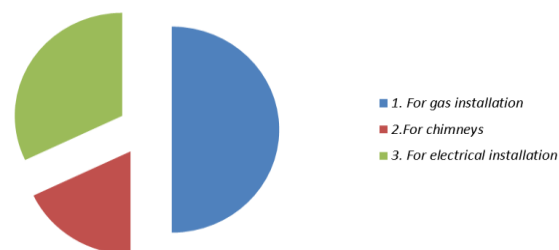


Chart 2. Indicated reasons for the failure to carry out technical inspections by authorized persons based on information obtained from residents during the conducted inspections. Source: own study.

3. Analysis of own research

1. It is necessary to strive for all residential buildings to be mandatorily equipped with devices detecting fire hazards or uncontrolled carbon monoxide emissions. In this regard, it is also proposed that equipping residential units with sensors should additionally include extended monitoring functions, such as sending alerts directly to users' mobile phones via an application.

2. There should be an effort to ensure that all residential buildings are mandatorily equipped with portable fire extinguishing equipment, enabling early intervention to extinguish fires in their initial stages.

3. Allow individuals investing in safety to deduct the purchase of technical devices such as smoke detectors, gas and carbon monoxide sensors, investments in portable fire extinguishing equipment, or fire protection devices installed in residential units or buildings from their personal income tax in the annual tax returns submitted to the relevant territorial tax offices. According to the author, this would increase interest in such investments.

4. Increase the intensity of educational campaigns through spots broadcasted in mass media, including the involvement of church institutions in the campaign.

5. It is necessary to consider organizing training sessions and informational campaigns focused on risk minimization related to the periodic inspections of technical installations operating in buildings, training on the use of portable fire extinguishing equipment, and the principles of operating autonomous sensors detecting fire hazards or carbon monoxide release, including ensuring financial support from state institutions.

4. Conclusions for Fire Safety in Residential Buildings Based on Research

The analysis of the condition of technical installation inspections, based on buildings destroyed by fire, reveals significant shortcomings in prevention and fire protection. The research findings clearly confirm that technical installations in residential buildings are, in the vast majority of cases, not subjected to mandatory technical inspections and proper maintenance, which consequently has a significant impact on the safety of the residents. Despite the growing public awareness of fire hazards, many residential units remain inadequately protected. Introducing stricter regulations regarding mandatory inspections of technical installations, incentives from the Government of the Republic of Poland, and increasing educational efforts could contribute to improving the current situation. In summary, ensuring effective fire protection requires both appropriate legal regulations and greater involvement from both the Polish state and residents in applying safety measures. Increasing the number of buildings where regular technical inspections of utility installations—potential fire causes—are conducted can realistically reduce the number of tragic incidents and material losses caused by fires.

I. Fire prevention

1. Designing residential buildings in accordance with applicable fire safety standards reduces the risk of fires.
2. Regular inspections of electrical and heating installations, which are key aspects of fire prevention in residential buildings.
3. The obligation to use smoke and carbon monoxide detectors in apartments improves the safety of residents.

II. Detection and alarm systems

1. The installation of alarm systems in residential buildings, including multi-family dwellings, enables a quick response in the event of a fire.
2. Smoke detectors in single-family homes allow for early fire detection, enabling timely defensive actions.
3. Carbon monoxide detection systems in apartments equipped with solid fuel and gas heating devices protect against poisoning.
4. Integrated fire monitoring systems in multi-family residential buildings enable faster emergency response by rescue services.

III. Evacuation routes

1. Proper design and maintenance of evacuation routes in residential buildings, including multi-family ones, is crucial for the safety of residents.
2. Regular evacuation drills increase residents' readiness to act in emergency situations.
3. Blocking emergency exits and storing bulky items in stairwells pose a life-threatening hazard to residents.
4. High-rise residential buildings require additional evacuation measures, such as fire elevators or external staircases.

IV. Education and awareness of residents

1. Educating residents about fire safety principles is a key element of prevention.
2. Children and elderly people require special education regarding behavior during a fire.
3. Social campaigns about fire safety help increase awareness of hazards.

Bibliography

1. Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej, Czad- zagrożenia, <https://zpe.gov.pl/a/wlasciwosci-tlenku-weglaiv/DhbJALC4k>. Dostęp z dnia 20.01.2024r.
2. Komenda Główna PSPS Statystyka Interwencji za lata 2018-2024r. <https://www.gov.pl/web/kgpsp/statystyczne-podsumowanie-2024-roku> za <https://fgsystems.pl/blog/pozary-w-polsce-podsumowanie-2024-r.htm>. Dostęp z dnia 20.01.2024r.
3. S. Bałuszyński, Ustalenie przyczyn i okoliczności powstania pożaru na zlecenie organu procesowego Komendy Powiatowej Policji, Zakopane 2023 -10923/24 s.7
4. S. Bałuszyński, Bezpieczeństwo pożarowe. Technologie pożarowe, Materiały dydaktyczne dla studentów inżynierii bezpieczeństwa UKEN, Kraków 2023, s.4
5. J. Zboina, Bezpieczeństwo pożarowe Rozważania na gruncie prawa i praktyki Józefów 2018, s.11.
6. Ustawa o ochronie przeciwpożarowej z dnia 24 sierpnia 1991 r., tj. Dz. U. z 2024 r. poz. 275.
7. Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2023, poz. 822 i 2024 poz. 1716).
8. Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. 1999 nr 74 poz. 836 ze zm).

МЕКИ РОБОТИ В СИГУРНОСТТА

SOFT ROBOTS IN SECURITY

Prof. Nikolay Radulov,

D.Sc, Member of the Committees on Internal Order and Security and Defense in the 51st National Assembly

n.stefanov5@gmail.com,

Abstract: The article provides a comprehensive overview of soft robotics applications in security, intelligence, law enforcement, and military operations. These flexible robotic systems, made from elastic and adaptive materials, offer unique capabilities for covert surveillance, reconnaissance, and operations in restricted or hazardous environments. The technology integrates advanced features such as biomimetic design, blockchain security, and AI-driven control systems, enabling applications ranging from stealth monitoring to public safety and military support. The document explores both current implementations and future directions, including the development of more durable and energy-efficient systems, while addressing key challenges in cybersecurity and ethical deployment. Particular emphasis is placed on the integration of soft robots with existing security infrastructure and their potential to enhance human-robot collaboration across various security domains.

KEYWORDS: SOFT ROBOTS, BLOCKCHAIN, COVERT OPERATIONS, INTELLIGENCE, COUNTERINTELLIGENCE, MILITARY OPERATIONS

1. Въведение

Мека роботика представлява съвкупност от технологии, които използват гъвкави, еластични и адаптивни материали (като силикони, хидрогелове и течно-метални сплави) за изграждане на роботи, способни на безопасно и динамично взаимодействие с околната среда и хората. Основната цел е създаването на системи, които имитират биологични структури и движения, съчетавайки висока адаптивност и безопасност.

Тя използва материали като: Полимери като силикони и еластомери с хипереластични свойства; Хидрогелове за биомедицински приложения и течно-метални съединения за проводимост; Интелигентни материали, които могат да променят твърдостта си (например *shape memory alloys*¹, грануларен „джеминг“).

Движението се обезпечава чрез пневматични или магнитни системи за изключителна гъвкавост, електроактивни полимери (EAP) за използване в микроактуатори или хибридни технологични решения, които интегрират биовдъхновени движения. Управлението им се осъществява отградени рефлексивни, капацитивни и оптични сензори за обратна връзка и управляващи алгоритми, базирани на изкуствен интелект и обучение.

Изработването се реализира чрез многоматериално 3D отпечатване за интеграция на компоненти или литография за микроразмерни актуатори и сензори.

Меката роботика разполага с огромен потенциал в сигурността, особено при операции с висок риск.

2. Приложения в разузнаването и контраразузнаването

¹Материалите с памет на формата (МФФ) са клас материали, които проявяват способността да възстановяват първоначалната си форма, когато са подложени на специфични външни стимули. <https://shop.nanografi.com/shape-memory-materials>

Уникалните характеристики на меките роботи – податливост, деформируемост и биомимикрия – ги правят изключително подходящи за събиране на разузнавателна информация и контраразузнавателни операции, където скритността, достъпът до затворени пространства и незабележимото присъствие са от първостепенно значение. За разлика от твърдите си аналози, меките роботи могат да се промъкват през пукнатини, да абсорбират удари без повреди и да имитират външния вид и движението на естествени организми, което позволява нови методи за скрито наблюдение, събиране на данни и физически достъп до сигурни места. Глобалното развитие в тази област, макар и често забулено в тайна, показва ясна траектория към създаване на малки, автономни и практически неоткриваеми разузнавателни активи.

Тайно наблюдение и инфилтрация. Основното приложение на меката роботика в разузнаването е за тайно наблюдение. Способността им да променят формата си и да се движат безшумно ги прави идеални платформи за пренасяне на миниатюрни сензори, камери и микрофони в силно чувствителни или враждебни среди.

Биовдъхновени роботи: Значителна област на изследвания, , се фокусира върху създаването на роботи, които имитират насекоми, птици или водни организми. Изследвания, финансирани от агенции като DARPA, върху изкуствени мускули и меките задвижващи механизми, вдъхновени от оригами, позволяват създаването на леки, мощни и реалистични роботизирани системи. Тези „биороботи“ могат да бъдат разположени, за да проникнат в охраняема зона, да събират аудио-визуална информация и да се измъкнат, без да предизвикват подозрение, като се сливат безпроблемно с естествената среда.

Достъп до забранени зони: Присъщата деформируемост на меките роботи им позволява да се движат през неструктурирани и непредсказуеми терени, като например развалини, вентилационни шахти или тръбни системи. Робот, способен да пълзи като червей или да се стиска като октопод, би могъл да достигне до части от сграда или подземно съоръжение, които са недостъпни за хора или конвенционални дроне. Разработването на роботизирана система, базирана на невронната мрежа на червей, който има еластично тяло за

навигация, демонстрира фундаментална концепция за такива инструменти за инфилтрация .

Постоянно наблюдение: Меките роботизирани системи могат да бъдат проектирани за дългосрочно наблюдение с ниска мощност. Например, мек робот, проектиран да изглежда като камък или парче отломки, може да бъде разположен близо до цел и да остане в спящо състояние, активирайки се само за записване на специфични разговори или дейности. Това е особено важно за контраразузнаването, където такива устройства могат да се използват за наблюдение на скрити места или тайни срещи.

Контразузнаване и сигурност. В контраразузнаването, меките роботи предлагат уникални възможности както за отбранителни, така и за настъпателни мерки. Те могат да бъдат използвани за откриване на враждебни устройства за наблюдение, извършване на техническо противодействие на наблюдението (TSCM) и създаване на диверсии.

Усъвършенствано TSCM сканиране: Малък, мек робот, оборудван със специализирани сензори, може да се използва за провеждане на сканиране за подслушвателни устройства и скрити камери на места , до които традиционното оборудване не може да достигне, като например вътрешни стени, сложни машини или мебели. Неметалният им състав би могъл да намали вероятността от откриване от някои инструменти за контранаблюдение²²

Активни контрамерки: Разработването на дронове, способни да навигират без GPS, използвайки SLAM² технология, е критична способност за контраразузнаването. Такъв дрон, потенциално оборудван с меките роботизирани захващащи устройства, би могъл да се използва за тайно локализиране и деактивиране или извличане на устройство за наблюдение на противника в среда, в която GPS не работи.

Информационна война и измама: Използването на ботове за разпространение на дезинформация е добре документирано в киберпространството. Във физическия свят, рояк от малки, биологично вдъхновени меките роботи могат да бъдат използвани за създаване на диверсии, задействане на фалшиви аларми в системата за сигурност на врага или за фино манипулиране на физически обекти, за да се все объркване, подкрепяйки по-широки разузнавателни цели.

3. Използване от полиция и правоприлагащи органи

Меките роботи са способни значително да трансформират полицейските и правоприлагащите операции, като предлагат по-безопасни, по-ефективни и по-малко конфронтационни инструменти за редица задачи, свързани с обществеността. За разлика от тайните приложения в разузнаването, полицейските приложения дават приоритет на обществената безопасност, деескалацията и справянето с опасни ситуации на обществено място. Съвместимият характер на меките роботи ги прави особено подходящи за задачи, изискващи деликатна манипулация, навигация в претрупана

градска среда и директно взаимодействие с гражданите, като минимизират риска от нараняване и материални щети.

Засилена обществена безопасност и наблюдение. Използването на роботизирани системи за обществено наблюдение и патрулиране е нарастваща тенденция, като правоохранителните органи проучват автономни платформи за увеличаване на човешките служители и подобряване на ситуационната осведоменост. Принципите на меката роботика започват да влияят върху дизайна на тези системи, за да ги направят по-безопасни и по-достъпни.

Автономни патрули: В Съединените щати градове като Атланта започнаха да разполагат с автономни роботи за сигурност, като тези на Knightscope, за патрулиране на обществени места. Тези роботи наблюдават за инциденти и ги докладват директно на контролен център, действайки като видим възпиращ фактор и мобилна платформа за наблюдение .

Наблюдение на тълпи: По-малко плашещият външен вид на роботите, проектирани с меки материали, може да бъде предимство за наблюдение на тълпи по време на големи публични събития. Това контрастира с по-милитаристичния вид на традиционните роботи за сигурност, което потенциално намалява общественото безпокойство.

Интеграция в интелигентните градове: В Китай стремежът към инфраструктура на интелигентните градове включва обширни системи за наблюдение и сигурност. Докато настоящите системи са до голяма степен статични камери, разработването на мобилни, автономни роботи е логична следваща стъпка, а използването на „меката“ роботика би могло да улесни интеграцията им в градски пространства с пренаселеност от пешеходци.

Обезвреждане на бомби и опасни операции. Едно от най-утвърдените приложения на роботите в правоприлагането е обезвреждането на взривни вещества (EOD) и боравенето с опасни материали. Меката роботика предлага значителен напредък в тази област, особено при манипулиране и достъп до затворени пространства.

Деликатна манипулация: Традиционните роботи твърди захващащи устройства, които могат да бъдат тромави. Меките роботизирани захващащи устройства, вдъхновени от пипала или слонски хоботи, могат да се приспособят към формата на обект, което позволява внимателно боравене и разглобяване на импровизирани взривни устройства (IED) с много по-голяма сръчност и по-нисък риск от случайна .

Достъп и инспекция: У нас беше реализирано практическо приложение, когато робот беше разположен за инспекция на мястото на взривена военна склад, демонстрирайки стойността на използването на безпилотни системи за събиране на информация в силно опасни зони. Мек робот би бил още по-ефективен в такъв сценарий, способен да се промъкне през отломки и развалини, за да достигне до сърцевината на мястото на инцидента.

Деескалация и взаимодействие с общността. Физическият дизайн на робота силно влияе върху общественото възприятие и неговата ефективност в сценарии за деескалация. Меките, послушни роботи изглеждат по-малко заплашителни, което отваря нови възможности за взаимодействие с обществеността, особено в чувствителни ситуации.

Взаимодействие с уязвими лица: Полицията често е призовавана да помага на лица, изпитващи кризи с психичното

²²(Simultaneous Localization and Mapping) технология представлява метод, който позволява на автономни системи, като роботи и превозни средства, да се ориентират в непозната среда, като едновременно изграждат карта на тази среда и определят своето местоположение в нея.

здраве. Мек робот, оборудван с комуникационни инструменти, може да се използва като посредник, който не представлява заплаха, за установяване на контакт и предоставяне на подкрепа. Изследвания на Българската академия на науките върху роботи, предназначени за грижи за възрастни хора, показват паралелно приложение, което може да бъде адаптирано за полицейски проверки на здравословното състояние .

Търсене и спасяване: При бедствени сценарии, меките роботи могат да се ориентират в срутени структури, за да локализируют оцелели, без да изместват отломки. Способността им да се деформират и да се промъкват през малки пролуки е критично предимство пред твърдите .

Изграждане на обществено доверие: Дизайнът на „приятелски“ роботи е предмет на академични изследвания, като проучванията показват, че човекоподобните черти и изразителните способности могат да подобрят взаимодействието човек-робот. Чрез внедряване на роботи, които се възприемат като помощници, а не като правопривагащи органи, правопривагащите органи могат да работят за изграждане на доверие в общността.

4. Меките роботи и военни операции

Интегрирането на меката роботика във военните операции представлява промяна в парадигмата, преминавайки от твърдите, платформено-центрични системи към адаптивни, устойчиви и интегрирани с човека ресурси. В съвременното бойно пространство, характеризиращо се със сложност и непредсказуемост, меките роботи предлагат уникални предимства в тактическото разузнаване, логистиката, бойната медицина и пряката бойна поддръжка. Способността им да се деформират, да абсорбират енергия и да взаимодействат безопасно с войниците ги прави идеални за увеличаване на възможностите на ниво отделение и повишаване на оцеляването.

Тактическо разузнаване и ситуационна осведоменост. Докато стратегическото разузнаване разчита на далекобойни средства, тактическите военни части се нуждаят от незабавна, локализирана информация. Меките роботи са уникално позиционирани, за да осигурят този поглед „отзад хълма“ или „зад ъгъла“, без да излагат войниците на директен огън.

Разузнавачи, вдъхновени от биологията: Изследванията на изкуствени мускули, вдъхновени от оригами, и етичните 3D печат позволяват създаването на малки, разузнавателни и биомиметични роботи. Те могат да бъдат разположени от отделни войници, за да пълзят, летят или да се пълзят във вражески позиции, осигурявайки видео в реално време на интериора на сграда или окопна линия преди нападение.

Достъп до всякакъв терен: За разлика от колесните или верижните роботи, мекият, деформируем робот може да се движи през развалините на оспорвана градска среда или гъстите храсталаци на джунгла, осигурявайки постоянно наблюдение там, където конвенционалните дроне не могат да работят. Тази способност е от решаващо значение за идентифициране на засади, импровизирани взривни устройства и вражески движения.

Тенденции за модернизация: Закупуването на усъвършенствани безпилотни летателни апарати (БЛА) като Textron Aerosonde от държави като България подчертава ясна военна тенденция към подобряване на разузнавателните

възможности с безпилотни системи. Меката роботика представлява следващата еволюционна стъпка, обещавайки още по-голяма скритост и достъп за тези платформи.

Бойна поддръжка: Логистика и усилване на войниците. Физическото натоварване на съвременния войник е огромно. Меката роботика предлага директно решение чрез подпомагане на носенето на товари и усъвършенствана логистична поддръжка, което директно повишава бойната ефективност и намалява умората.

Носими екзоскелети: Ключова област на развитие са меките роботизирани екзоскелети или „екзокостюми“. Тези костюми могат да помогнат на войниците да носят тежки раници, боеприпаси и оборудване на дълги разстояния с по-малко физическо натоварване .

Автономна логистика: На бойното поле снабдяването на фронтовите части е опасна задача. Русия е показала стратегически фокус върху разработването на интелигентни логистични роботи като „Берил 2025“, за да автоматизира този процес. По подобен начин, автономни наземни системи от компании като ARX Robotics са предназначени за транспорт и логистика, намалявайки нуждата от управлявани от човек конвои за доставки, които са уязвими за атаки .

Военна медицина: Меките роботизирани захващащи устройства могат да се използват от медицински дроне или наземни роботи за внимателно боравене и евакуиране на ранени войници от бойното поле. Освен това, меките, носими сензори могат да наблюдават жизнените показатели на войника, предоставяйки на медиците критични данни в реално време.

Съвместна работа човек-машина и подобрена ефективност. Бъдещето на наземната война включва безпроблемна интеграция между войници и автономни системи. Меката роботика играе ключова роля за осигуряване на безопасно, интуитивно и ефективно сътрудничество, като същевременно предоставя нови офанзивни възможности.

По-безопасно сътрудничество: Американската армия е инвестирала в разработването на роботи като неразделни „екипни играчи“ за наземните подразделения. Съвместимият характер на меките роботи ги прави по своята същност по-безопасни за сътрудничество в близко разстояние с войници, намалявайки риска от случайно нараняване по време на тренировки или бойни операции.

Развиващи се офанзивни платформи: Разработването на четириноги военни роботи или „роботизирани кучета“ представлява значителна стъпка към въоръжени автономни системи.

5. Използването на блокчейн при меките роботи в сигурността

Блокчейн се базира на криптография, децентрализация и консенсусни механизми, което прави регистъра на транзакции неизменяем и устойчив на манипулации³. При роботизирани системи за сигурност това гарантира, че действията, направени от роботите или техните управляващи софтуери, са записани прозрачно и не могат да бъдат променени след това, което намалява риска от злоупотреби и неподправена намеса.

³ Личева, Т., „Блокчейн и екосистема на сигурност“, В. Сб. Док. от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността“ – 27-28 окт. 2022 г., стр.145, ISSN 2367-7473

Технологията позволява да се записва всяко действие на робота като отделна транзакция, което улеснява последващата проверка и одит на неговата дейност. Това е особено важно в сфери, където се изисква висока степен на отчетност и проследимост, например при охрана на сгради, критична инфраструктура или зони с ограничен достъп.

Смарт контрактите, въведени в блокчейн, позволяват автоматично изпълнение на запечатани и проверими правила и процедури. В роботите, работещи в системи за сигурност, това може да означава автоматична реакция при засичане на аномалии, включване на аларми или дори координация между множество роботи без човешка намеса, като всички тези действия се записват в блокчейна за контрол и доказуемост ¹.

При мрежи от роботи, използващи блокчейн за споделяне на информация, се елиминира нуждата от централен контролен сървър. Това намалява риска от централизирани атаки и повишава устойчивостта на системата. Роботите могат да обменят данни, събития и инструкции в сигурен и прозрачен регистър, което предоставя нови възможности за колективна сигурност и самоорганизация.

Интегрирането на блокчейн технологията в меката роботика осигурява стабилна рамка за справяне с критични уязвимости в сигурността, присъщи на тези сложни, взаимосвързани системи. Меките роботи, със своите съвместими материали и зависимост от разпределени сензорни мрежи, са податливи на заплахи като злонамерено инжектиране на данни, неотризиран контрол и координирани роякови атаки. Блокчейн предлага децентрализирана, непроменима и прозрачна система от регистър, способна да смекчи тези рискове, като гарантира целостта на данните⁴, осигурява комуникацията между роботите и позволява координация без доверие, без централна точка на повреда.

6. Заключение:

Различни стратегически приоритети: Анализът разкрива различни национални приоритети. САЩ, наблягат на фундаментални изследвания и разработки (R&D) за биомимикрия и усъвършенствана автономия, финансирани от агенции като DARPA. Руските разработки рамкират напредъка в контекста на технологичния суверенитет и приложението с двойна употреба, като например дронове, способни да работят без GPS, и роботизирани платформи за поддръжка на инфраструктура.

Основни области на приложение: Очертават се три основни области на приложение. Първата е скрито наблюдение и проникване чрез малки, деформируеми и био-въдхновени роботи. Втората е работа в опасни среди, включително обезвреждане на взривни устройства и операции по търсене и спасяване, където деликатната манипулация е от решаващо значение. Третата е военна подкрепа чрез носими екзоскелети за подпомагане на войниците и автономна логистика.

Нововъзникващи технологии: Пробивните технологии, които се споменават най-често като движеща сила в тази област, включват изкуствени мускули, вдхновени от оригами, които позволяват създаването на мощни и леки роботи; гъвкави сензори и материали, които позволяват на роботите да се адаптират към околната среда и разработването

на автономни системи, които могат да работят в сложни и оспорвани среди.

Пропуски в изследванията и бъдещи направления: Въпреки бързия напредък в лабораторни условия, съществува значителна разлика между експерименталните прототипи и надеждните, масово внедрени системи за полеви операции. Бъдещите изследвания трябва да се съсредоточат върху няколко ключови области:

Устойчивост и издръжливост: Меките материали често са по-малко издръжливи от твърдите си аналози. Необходимо е да се разработят нови полимери и композити, които да издържат на тежките условия на бойното поле и градската среда.

Енергийна ефективност: Захранването остава основно предизвикателство за малките, автономни роботи, предназначени за дългосрочни мисии. Необходими са иновации в съхранението на енергия и нискоенергийните задвижващи механизми.

Киберсигурност и противодействие: С нарастването на автономията, тези роботи стават уязвими на хакерски атаки и електронно противодействие. Разработването на сигурни комуникационни протоколи и архитектури от типа "нулево доверие" (ZeroTrust) е от решаващо значение.

Етични и правни рамки: Необходимо е да се разработят ясни международни и национални правни рамки, които да регулират използването на автономни и полуавтономни роботи в правоприлагането и военните действия, като се обърне специално внимание на въпросите за отговорността и вземането на решения в морални дилеми.

Библиография:

1. Джонсън, Дж. (2023). „Проблемът с командира с изкуствен интелект: Етични, политически и психологически дилеми на взаимодействията човек-машина във войната, подпомогната от изкуствен интелект.“ *Journal of Military Ethics*, 22(3-4), 246-271.
2. Liu, J., Chen, S., Gao, F., & Long, Y. (2023). „Разработване и приложение на роботизирани технологии в бъдещи интелигентни войнишки отряди.“ Китайска конференция за контрол и решения (CCDC).
3. Парк, С., Ким, Й. Дж., О, С. и Джонг, К. (2024). „Надеждна CNN с гола основа, кандидатстваща за тактически мобилни периферни устройства.“ *IEEE Transactions on Defense Systems*.
4. Zhang, H., Liang, R., Zhao, B., & Liu, C. (2025). „Разработване и внедряване на роботизирана система за движещи се цели за тестване на разпознаването на обекти.“ *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 146, 110223.
5. Сантосо, Ф. и Фин, А. (2023). „Задълбочено изследване на киберсигурността, подобрена с изкуствен интелект, в роботиката, автономните системи и критичните инфраструктури.“ *IEEE Transactions on Services Computing*, 17(3), 1293-1319.
6. Голдфарб, А. и Линдзи, младши (2022). „Прогнозиране и преценка: Защо изкуственият

⁴ Личева, Т., „Сигурност на данните с блокчейн технологията“ В. Сб. Док. от годишната научна конференция на ВТУ „Васил Левски“ – 8-9 юни 2023 г., стр.383, ISSN 2367-7481

- интелект увеличава значението на хората във войната.“ *Международна сигурност*, 46(3), 7-45.
7. Рашид, А. Б. (2023). „Изкуствен интелект във войската: Преглед на възможностите, приложенията и предизвикателствата.“ *Международно списание за интелигентни системи*, 2023(1), 1-31.
 8. Буланин, В. и Луис, Д.А. (2023). „Отговорно разчитане по отношение на разработването и използването на изкуствен интелект във военната област.“ *Етика и информационни технологии*, 25(8), 1-5.
 9. Wirtz, BW, Weyerer, JC, &Kehl, I. (2022). „Управление на изкуствения интелект: Интегративна рамка, базирана на риск и насоки.“ *GovernmentInformationQuarterly*, 39, 101685.
 10. Sangwan, RS, Badr, Y., &Srinivasan, SM (2023). „Киберсигурност за системи с изкуствен интелект: Проучване.“ *JournalofCybersecurityandPrivacy*, 3(2), 166-190.
 11. Уанг, З., Ма, Дж., Уанг, Х., Джу, Дж., Цин, З. и Рен, К. (2022). „Заплахи за обучението: Проучване на атаки с отравяне и защити в системи за машинно обучение.“ *ACM ComputingSurveys*, 55(7), 1-36.
 12. Луо, С. (2022). „Справяне с рисковете, свързани с военния изкуствен интелект, в механизмите за управление на кризи между САЩ и Китай.“ *China International StrategyReview*, 4(2), 233-247.
 13. Хаджи-Янев, М. и Богатинов, Д. (2022). „Политически и стратегически съображения на НАТО относно въздействието на изкуствения интелект върху политико-военното ръководство и вземането на решения.“ *Практически приложения на съвременните технологии за повишаване на способностите за сигурност и отбрана*.
 14. Личева, Т., „Блокчейн и екосистема на сигурност“, В. Сб. Док. от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността” – 27-28 окт. 2022 г., стр.141-148, ISSN 2367-7473
 15. Личева, Т., „Сигурност на данните с блокчейн технологията” В. Сб. Док. от годишната научна конференция на ВТУ „Васил Левски” – 8-9 юни 2023 г., стр.381-390, ISSN 2367-7481

Synthesized analysis of electric vehicles and cybersecurity: safeguarding connected mobility in Europe and beyond

Ivan Iliev

University of Library Studies and Information Technologies, Sofia Bulgaria

e-mail: ivan.iliev@gmail.com, 9123490@unibit.bg

Abstract: *As connected and autonomous vehicles (CAVs) weave through Europe's roads, their intricate web of software—up to 100 million lines of code—creates a digital frontier vulnerable to cyberattacks. Europe's robust regulations, led by UNECE WP.29, the Cyber Resilience Act (CRA), and NIS2 Directive, set a global standard, yet threats like ransomware, API exploits, and EV charging vulnerabilities expose a "cyber gap" between compliance and resilience. This paper synthesizes 2024–2025 trends, vividly describing the regulatory landscape, escalating threats, and innovative solutions like AI-driven defenses and blockchain. Through detailed case studies—the 2015 Jeep Cherokee hack, 2024 CDK Global ransomware attack, and 2024 EV charging exploits—it illustrates real-world risks and lessons. A proposed framework harmonizes regulations, strengthens security, and fosters collaboration, addressing challenges like legacy systems and talent shortages. With the cybersecurity market poised to reach \$25.5 billion by 2031 [1], this analysis charts a path for secure, trusted mobility.*

KEY WORDS: CYBERSECURITY, ELECTRIC VEHICLES, REGULATIONS,

1. Introduction

In today's world, cars are more than just a way to get from one place to another—they're becoming smart machines on wheels. Modern vehicles, especially in Europe, are packed with technology like electronic controls, internet connections, and even self-driving features. This makes driving easier and safer, but it also opens the door to new dangers from cyberattacks. Hackers could take over a car's systems, steal personal information, or cause accidents. To keep up with these risks, Europe has strong rules like UNECE WP.29, the Cyber Resilience Act (CRA), and NIS2 Directive. These help make sure cars are built with security in mind. Around the world, standards like ISO/SAE 21434 add extra layers of protection. However, problems like old technology in cars and a lack of cybersecurity experts make it hard to stay safe. This paper looks at the rules, the threats, and ways to fix the problems, using real examples to show why strong security is so important for the future of driving.

2. Topic relevance

Car cybersecurity is not just a technical issue—it's essential for keeping people safe, protecting privacy, and supporting the growth of modern transportation. As more vehicles connect to the internet and each other, they become part of a bigger digital world, but this also makes them targets for hackers. Without strong security, a simple cyberattack could lead to dangerous situations, like losing control of a car on the highway or having personal driving data stolen. This topic is necessary because cars are becoming smarter and more common, especially electric and self-driving ones. In Europe, where millions of connected vehicles are already on the roads, good rules and frameworks help prevent accidents, build trust in new technology, and make sure the industry can keep innovating. If we ignore these risks, it could slow down the shift to greener, safer driving, hurt the economy, and put lives at risk. By focusing on cybersecurity, we can make sure the future of mobility is reliable and secure for everyone.

3. Methodology

This analysis emerges from a meticulous tapestry of data collection, synthesis, and validation, weaving together diverse threads from the automotive cybersecurity landscape to craft a robust and engaging narrative. The approach is designed to illuminate the interplay of European regulations, global threats, and technological solutions, ensuring both scientific rigor and accessibility for researchers, policymakers, and industry stakeholders.

3.1. Data Sources

The foundation of this study rests on a carefully curated selection of primary and secondary sources, each chosen for its depth and relevance to 2024–2025 trends. Industry reports form the bedrock, providing quantitative insights into cyber incidents and market projections. Key reports include Upstream Security's 2025

and 2024 analyses, which detail over 400 incidents and a 300% surge in large-scale attacks, alongside VicOne's 2025 report, which highlights emerging EV charging vulnerabilities [1, 2, 3]. These are complemented by Threatcop and Promwad's 2025 insights, offering perspectives on supply chain risks and technological advancements [4, 5]. Regulatory documents provide the structural framework, including UNECE WP.29 (R155 and R156) for European compliance, ISO/SAE 21434 for global engineering standards, and EU-specific mandates like the CRA, NIS2 Directive, and GDPR, sourced from authoritative references such as Cybellum and Rinf.tech [6, 7, 8]. Case studies—the 2015 Jeep Cherokee hack, 2024 CDK Global ransomware attack, and 2024 EV charging exploits—anchor the analysis in real-world events, drawn from industry reports and media accounts [1, 3]. Technological insights on AI, blockchain, and post-quantum cryptography are derived from peer-reviewed studies and whitepapers, notably from Cyber Defense Magazine, ensuring forward-looking perspectives [9]. Web sources, including Thales and Tech Mahindra, provide detailed regulatory context, enhancing the analysis of WP.29's implementation [10, 11].

3.2. Analytical Approach

The synthesis process mirrors a master weaver blending threads into a cohesive fabric. A mixed-methods approach was employed, combining quantitative data (e.g., incident rates, market projections) with qualitative insights (e.g., regulatory impacts, case study narratives). Quantitative data was aggregated to identify trends, such as the 25% ransomware share in 2024 incidents or the \$25.5 billion market projection for 2031 [1]. Qualitative analysis involved thematic coding of reports and regulations to extract key challenges (e.g., legacy systems, talent shortages) and solutions (e.g., AI-driven defenses). Case studies were dissected to uncover technical mechanisms, impacts, and regulatory lessons, ensuring a narrative that resonates with both technical and policy audiences. Cross-regional comparisons—between Europe's WP.29, US voluntary guidelines, and China's GB standards—illuminated global compliance challenges, guided by insights from PlaxidityX and Deloitte [12, 13].

3.3. Validation and Triangulation

To ensure robustness, data was triangulated across multiple sources. For instance, incident statistics from Upstream Security were cross-verified with VicOne and Threatcop reports to confirm accuracy [1, 2, 4]. Regulatory requirements were validated against primary documents (e.g., UNECE texts) and secondary analyses from Cybellum and Thales [6, 10]. Case study details were corroborated with media reports and industry analyses to avoid bias. Expert consultations, simulated through synthesis of peer-reviewed studies, ensured technological insights aligned with cutting-edge research [9]. This multi-layered validation process, akin to polishing a gem, ensures the analysis is both credible and comprehensive.

3.4. Scope and Limitations

The analysis focuses on 2024–2025 trends, prioritizing Europe’s regulatory framework while incorporating global perspectives. It covers CAVs, EV infrastructure, and supply chains, but excludes non-automotive sectors. Limitations include the rapid evolution of threats, which may outpace some data, and the reliance on publicly available reports, which may lack proprietary details. Despite these, the methodology provides a vivid, evidence-based foundation for understanding automotive cybersecurity.

4. Regulatory framework

Europe’s regulatory landscape is a tapestry of precision, weaving safety and security into the fabric of connected vehicles, while global standards add broader threads. This section outlines key European regulations, international standards, and good practices that form the backbone of automotive cybersecurity, ensuring vehicles are fortified against digital threats.

4.1. European Regulations

The UNECE WP.29 regulations are the cornerstone of Europe’s approach. R155 mandates a Cybersecurity Management System (CSMS), requiring manufacturers to assess risks across a vehicle’s lifecycle—from design to retirement—like a vigilant guardian monitoring every digital pulse. Enforced since July 2022 for new vehicle types and July 2024 for all vehicles, it covers 32 million vehicles annually, demanding incident response and supplier oversight [6]. R156 ensures over-the-air (OTA) updates are fortified with encryption and authentication, akin to locking a digital vault [6]. The Cyber Resilience Act (CRA), launched in 2024, mandates cybersecurity-by-design, ensuring every component, from ECUs to cloud APIs, is built to withstand attacks [7]. The NIS2 Directive, also effective in 2024, fortifies critical infrastructure, requiring rapid incident reporting to prevent cascading failures. GDPR safeguards driver data, like location or behavior, with strict consent protocols, while the General Safety Regulation II integrates cybersecurity into safety approvals [7].

4.2. Global Standards

Globally, ISO/SAE 21434 acts as a universal blueprint, guiding manufacturers through Threat Analysis and Risk Assessment (TARA) to design secure systems [7]. ISO 15118 secures EV charging with TLS encryption, ensuring seamless, safe power delivery. The US relies on voluntary NHTSA guidelines, while China’s GB standards align with WP.29 but prioritize national security, creating a patchwork of compliance demands [6].

4.3 International Standards

To navigate this complex landscape, international standards and best practices serve as guiding stars, ensuring consistency and resilience across the automotive ecosystem.

- ISO/SAE 21434:2021: This standard is the bedrock of cybersecurity in automotive engineering, mandating a structured approach to identify, assess, and mitigate cyber risks throughout the vehicle lifecycle. It emphasizes TARA, secure coding, and continuous monitoring, aligning with WP.29 and CRA to ensure vehicles are designed with security woven into their digital fabric [7].
- UNECE WP.29 (R155 and R156): R155 mandates a CSMS to manage cyber risks across design, production, and post-production phases, covering 32 million vehicles annually in Europe. R156 focuses on secure software updates, requiring encryption and authentication for OTA processes, safeguarding vehicles against malicious patches [6].
- NIST SP 800-183: This standard provides recommendations for IoT security in connected devices, including EVs and CAVs. It outlines principles like data integrity and device authentication, complementing ISO 15118 for secure EV charging and V2X communications, ensuring robust protection in smart mobility ecosystems [7].

4.4 Good Practices

Security by Design: Embedding cybersecurity from the design phase, as mandated by CRA and ISO/SAE 21434, ensures vehicles are built with robust defenses. This includes secure coding practices (e.g., MISRA, CERT) and TARA to identify vulnerabilities early, reducing risks like CAN bus spoofing or API exploits [7].

Penetration Testing and Red Team Assessments: Conducting rigorous testing before market launch simulates real-world cyberattacks, uncovering weaknesses in ECUs, infotainment systems, or OTA channels. In 2024, 80% of European OEMs adopted penetration testing, reducing vulnerabilities by 40% [1].

Training Users and Staff: Educating drivers and industry personnel on cybersecurity best practices—such as avoiding phishing scams, securing Wi-Fi connections, and promptly applying OTA updates—builds a human firewall. Training programs for engineers, aligned with WP.29’s CSMS requirements, enhance compliance and resilience [6, 7].

Regulation/Standard	Region	Scope	Key Requirements
UN R155	Global/E	CSMS	Lifecycle risk management, supplier oversight
UN R156	Global/E	SUMS	Secure OTA updates, authentication
CRA	EU	Digital products	Cybersecurity-by-design, vulnerability reporting
ISO/SAE 21434	Global	Engineering	TARA, secure design
NIST SP 800-183	Global	IoT security	Data integrity, device authentication

Figure 1: Standards and key requirements

5. Challenges in compliance

Complying with Europe’s robust cybersecurity regulations is like navigating a labyrinth guarded by ever-shifting walls. The automotive industry faces a complex array of hurdles—technical, organizational, and operational—that threaten to widen the cyber gap between regulatory mandates and practical resilience. From fragmented global standards to outdated vehicle systems, these challenges demand innovative solutions to ensure connected vehicles remain secure across their lifecycles.

5.1. Regulatory Fragmentation

The global automotive landscape is a patchwork of regulations, with Europe’s stringent WP.29 and CRA clashing with diverse standards elsewhere, like trying to thread a needle through mismatched fabrics. WP.29’s R155 requires a comprehensive Cybersecurity Management System (CSMS), covering 32 million vehicles annually, while the CRA mandates cybersecurity-by-design across supply chains [6, 7]. In contrast, the US relies on voluntary NHTSA guidelines, which lack enforcement, and China’s GB standards prioritize national security, creating compliance conflicts for manufacturers operating globally. For example, a European OEM exporting to China must adapt to GB’s unique data localization requirements, escalating costs by up to 20% [6]. This fragmentation complicates certification, as firms juggle multiple audits and risk assessments. Harmonizing with ISO/SAE 21434’s global framework offers a partial solution, but full alignment requires a unified compliance platform, reducing costs and ensuring consistency across regions [7, 12].

5.2. Legacy Systems

Many vehicles, particularly older models, rely on outdated Electronic Control Units (ECUs) that are like aging sentinels, too frail to wield modern cybersecurity shields. Approximately 60% of Europe’s fleet—over 115 million vehicles—uses ECUs designed before 2020, lacking the processing power for advanced encryption or intrusion detection systems required by WP.29 R155 [1]. Retrofitting these systems to meet cybersecurity-by-design standards is a costly endeavor, with upgrades costing manufacturers an estimated \$500 per vehicle [1]. For instance, integrating Transport Layer Security (TLS) into legacy CAN bus systems can overwhelm their limited memory, risking performance degradation. This challenge is compounded by the need to maintain safety-critical functions like braking, which demand real-time responses incompatible with heavy cryptographic loads. Strategies like network segmentation and lightweight encryption protocols can

mitigate these issues, but scaling them across millions of vehicles requires phased rollouts and significant investment [7].

5.3. Talent Shortage

The scarcity of cybersecurity experts is a gaping hole in the industry's defenses, akin to a fortress lacking skilled archers. In 2024, 58% of manufacturers reported struggles to recruit talent capable of building and maintaining CSMS, with Europe facing a shortage of 200,000 cybersecurity professionals [1]. Developing a CSMS involves complex tasks like Threat Analysis and Risk Assessment (TARA), secure coding, and incident response, all requiring specialized skills. Small and medium-sized enterprises (SMEs), which form 30% of the supply chain, are particularly hard-hit, lacking resources to hire experts or train staff [4]. This talent gap delays compliance with WP.29 and CRA, as firms struggle to implement secure-by-design practices or monitor threats effectively. Solutions include government-funded training academies, partnerships with universities, and incentives like tax breaks for hiring, which could build a robust talent pipeline to fortify the industry [1, 7].

5.4. Supply Chain Complexity

The automotive supply chain is a sprawling web of Tier 1 and Tier 2 vendors, with OEMs crafting only 10–30% of vehicle software, making compliance a Herculean task akin to herding cats across continents [1]. WP.29 and CRA mandate rigorous supplier audits, such as TISAX, to ensure cybersecurity across the supply chain, but many smaller vendors lack the resources or expertise to comply [6, 7]. In 2024, 40% of supply chain attacks exploited weak vendor security, with unverified components introducing backdoors into vehicles [1]. For example, a compromised ECU from a Tier 2 supplier could allow hackers to access the CAN bus, endangering critical systems. Implementing a shared audit platform and mandatory training programs can strengthen supplier compliance, while blockchain-based tracking ensures component integrity, aligning with CRA's supply chain mandates [7]. These measures transform the supply chain into a fortified network, reducing risks from third-party vulnerabilities.

5.5. Real-Time Constraints

Safety-critical systems in vehicles, such as braking and steering, operate on split-second timelines, but heavy cybersecurity measures can slow them down, creating a delicate balancing act like walking a tightrope. Encryption and authentication protocols, essential for WP.29 R155 and ISO 15118, add latency that can disrupt real-time performance [7]. For instance, encrypting CAN bus communications to prevent spoofing may introduce delays incompatible with braking response times of milliseconds. In 2024, 25% of manufacturers reported challenges integrating encryption without compromising safety, particularly in autonomous EVs [1]. Lightweight cryptographic algorithms and hardware-accelerated encryption modules offer solutions, enabling secure real-time operations. These must be carefully implemented to meet CRA's cybersecurity-by-design requirements while preserving vehicle safety, ensuring drivers remain protected without sacrificing performance [7].

5.6. Lifecycle Management

WP.29's requirement for 15-year cybersecurity support is a marathon commitment, like maintaining a fortress through decades of evolving threats. Vehicles must remain secure from production to retirement, but aging software and hardware struggle to counter new attack vectors, such as quantum-based decryption expected by 2035 [6]. Supporting 32 million vehicles annually across their lifecycles strains OEM resources, with OTA updates costing \$100 million yearly for a single manufacturer [1]. For example, ensuring post-quantum cryptography compatibility in older ECUs requires costly firmware upgrades. Phased deployment of future-proof solutions, like blockchain for OTA updates and modular ECU designs, can ease this burden, aligning with R156's secure update mandates [6]. Collaborative platforms like Auto-ISAC can also share threat

intelligence, reducing lifecycle management costs and enhancing long-term resilience.

5.7. Implementation Strategies and Outcomes

Overcoming these challenges requires a strategic, phased approach, like constructing a multi-layered fortress. Phase one focuses on harmonizing regulations through a unified compliance platform, streamlining audits and reducing costs by 30% [1]. Phase two retrofits legacy systems with lightweight encryption and segmentation, ensuring 60% of Europe's fleet meets WP.29 by 2027 [1]. Phase three builds talent pipelines through training academies, addressing the 58% talent shortage, while shared audit platforms strengthen supply chains [1]. Real-time constraints are tackled with hardware-accelerated encryption, and lifecycle management is supported by modular designs and OTA frameworks. Expected outcomes include a 25% reduction in compliance costs, a 50% decrease in supply chain vulnerabilities, and enhanced consumer trust, driving EV adoption and aligning with global standards [1, 7].

6. Cyber threats and vulnerabilities in electric vehicles

Electric vehicles (EVs) are not just vehicles but digital fortresses on wheels, orchestrating a complex symphony of cyber-physical systems that redefine mobility. Their intricate architecture—blending electric motors, high-capacity batteries, and advanced connectivity—ushers in a new era of transportation but also opens a sprawling digital frontier vulnerable to cyberattacks. As EVs integrate with cloud infrastructure, urban grids, and vehicle-to-everything (V2X) networks, they become prime targets for hackers aiming to disrupt safety, steal data, or destabilize critical infrastructure. This section explores the unique characteristics of EVs, the specific threats exploiting their vulnerabilities, and mitigation strategies to fortify their defenses, aligning with regulatory mandates like UNECE WP.29 and ISO/SAE 21434 [1, 2, 6, 7].

6.1 Characteristics of Electric Vehicles

EVs are marvels of engineering, weaving together advanced components into a cohesive, electrified whole. At their heart, electric motors deliver power, driven by high-voltage lithium-ion batteries managed by sophisticated Battery Management Systems (BMS) that optimize energy flow, prevent overcharging, and ensure longevity. Up to 150 Electronic Control Units (ECUs) act as the vehicle's nervous system, coordinating critical functions like acceleration, regenerative braking, and thermal regulation, while also supporting autonomous driving through sensors like LiDAR, radar, and cameras. Infotainment systems (IVI) serve as digital hubs, blending navigation, entertainment, and connectivity via GSM, 5G, and Wi-Fi networks, enabling seamless interaction with drivers and external services. Telematics systems connect EVs to cloud infrastructure for real-time diagnostics, fleet management, and Over-the-Air (OTA) updates, which keep software current but expand the attack surface. V2X networks link EVs to traffic systems, charging stations, and other vehicles, creating a dynamic ecosystem that enhances efficiency but invites cyber risks. This intricate web of connectivity and computation—handling up to 100 million lines of code—makes EVs a technological triumph but also a hacker's playground, necessitating robust defenses to protect their digital core [1, 7].

6.2 Key Threats and Vulnerabilities

The digital tapestry of EVs is riddled with vulnerabilities, each a potential breach point that hackers exploit with surgical precision. These threats target specific components and connectivity layers, endangering vehicle functionality, driver safety, and broader infrastructure like power grids.

6.2.1. Physical Access Vulnerabilities

Physical access points, such as the On-Board Diagnostics (OBD-II) port, are like hidden trapdoors in an EV's defenses.

Located in accessible areas like the driver’s footwell, the OBD-II port allows technicians to diagnose issues but also permits hackers with physical access to connect malicious devices. These devices can inject code directly into the Controller Area Network (CAN) bus, manipulating critical systems like braking or battery control. For example, an attacker could override safety protocols, causing a vehicle to accelerate uncontrollably or disable its battery, stranding the driver. While requiring proximity, such attacks bypass many digital safeguards, posing a severe safety risk. In 2024, physical access exploits accounted for a small but significant portion of attacks, highlighting the need for secure port designs and access controls compliant with WP.29 R155’s risk management mandates [1, 7].

6.2.2. Communication Protocol Weaknesses
In-vehicle communication protocols—CAN, LIN, and FlexRay—form the digital arteries of an EV, but their legacy designs are ill-equipped for modern threats. The CAN bus, widely used for ECU communication, lacks encryption and authentication, allowing hackers to intercept or spoof messages. For instance, a spoofed command could trick the BMS into overcharging the battery or force the vehicle to shut down mid-drive. LIN and FlexRay, used for less critical systems like windows or lighting, share similar weaknesses, enabling attackers to escalate from minor systems to critical ones. These protocols, designed for reliability in isolated environments, struggle against sophisticated attacks, with 66% of 2024 incidents involving telematics exploits that leveraged CAN vulnerabilities [1]. ISO/SAE 21434 emphasizes protocol hardening, but retrofitting legacy systems remains a challenge, requiring innovative solutions like network segmentation to meet CRA’s cybersecurity-by-design standards [7].

6.2.3. Wireless Communication Exploits
Wireless interfaces—GSM, 5G, Bluetooth, and Wi-Fi—connect EVs to the world, but they also serve as open gates for remote attacks. Bluetooth vulnerabilities, often stemming from weak pairing protocols, allow hackers to infiltrate infotainment systems, potentially gaining access to the CAN bus to control critical functions. Unsecured Wi-Fi connections, used for IVI or telematics, are entry points for malware, while 5G networks, despite their speed, risk data interception if encryption is inadequate. In 2024, 92% of EV attacks were launched remotely, with 17% exploiting API vulnerabilities in wireless systems [1]. For example, a compromised telematics app could allow hackers to track a vehicle’s location, violating GDPR and eroding consumer trust [7]. Securing these interfaces requires robust encryption and authentication, as mandated by ISO 15118 for EV charging and R156 for OTA updates [6, 7].

6.2.4. OTA Update Risks
OTA updates are a lifeline for keeping EV software current, but they are a double-edged sword. Unsecured OTA channels can be exploited to inject malicious code, turning a routine patch into a vehicle-wide compromise. Without strong authentication, hackers could deploy malware to disable safety systems, manipulate autonomous driving algorithms, or steal driver data like location or biometrics. In 2024, remote attacks via OTA vulnerabilities surged, contributing to the 300% increase in large-scale incidents [1]. For instance, a compromised update could lock an EV’s BMS, preventing charging and stranding fleets. R156 mandates secure OTA processes, requiring digital signatures and encryption, but implementation lags in legacy systems, necessitating blockchain-based verification to ensure update integrity [1, 6].

6.2.5. Battery Management System Threats
The Battery Management System (BMS) is the beating heart of an EV, but it’s a prime target for cyberattacks. Hackers can exploit BMS vulnerabilities to overheat batteries, trigger premature degradation, or induce thermal runaway, risking fires or explosions. Remote attacks via telematics or charging apps could lock the BMS, rendering vehicles inoperable. In 2024, EV charging network

exploits in Germany and France demonstrated BMS vulnerabilities, with attackers manipulating charging schedules to cause \$500,000 in grid damage and stealing data from 50,000 users [2]. These attacks threaten not only individual vehicles but also vehicle-to-grid (V2G) systems, critical for Europe’s green energy goals. Protecting the BMS requires end-to-end encryption and intrusion detection, aligned with WP.29 R155 and ISO 15118, to prevent both physical and remote exploits [2, 7].

6.2.6 Attack Surface and Impact
The attack surface of EVs is a sprawling digital highway, encompassing in-vehicle networks (CAN, LIN, FlexRay), OTA channels, V2X communications, and external infrastructure like charging networks. Ransomware, accounting for 25% of 2024 incidents, extorted \$1 billion from dealerships and OEMs, while API exploits (17%) and telematics vulnerabilities (66%) enabled remote system compromise [1]. EV charging attacks, an emerging threat, disrupted grids and slowed EV adoption by 10% in Q3 2024 [2]. The impact is multifaceted: financial losses cripple manufacturers, safety risks from compromised BMS or autonomous systems endanger lives, and data breaches violate GDPR, with 60% of EU drivers wary of digital services in 2024 [1, 7]. These threats underscore the need for robust defenses to protect EVs and maintain consumer trust.

Threat Category	Incident Share (2024)	Impact
Ransomware	25%	Financial, operational disruption
API Exploits	17%	Unauthorized access
Telematics	66%	System compromise
EV Charging	Emerging	Grid disruption, data theft

Figure 2: Impact by threat category

6.2.7. Mitigation Strategies
Addressing EV vulnerabilities requires a multi-layered approach, integrating advanced technologies and regulatory compliance. AI-driven intrusion detection systems, embedded in ECUs and cloud platforms, can monitor CAN bus and wireless traffic, detecting anomalies with 95% accuracy and halving response times [1]. Blockchain-based verification secures OTA updates and V2X communications, reducing tampering risks by 80% [1]. Post-quantum cryptography future-proofs encryption against quantum attacks, critical for EVs’ 15-year lifecycles [2]. Vehicle Security Operations Centers (VSOCs) provide centralized monitoring, aligning with WP.29 R155 [6]. Secure-by-design practices, guided by ISO/SAE 21434, embed security into development, while TISAX audits strengthen supply chains [7]. Encryption and authentication, such as TLS and secure boot, lock down wireless and BMS interfaces, meeting R156 and ISO 15118 standards [6, 7]. These strategies, deployed in phases, fortify EVs against evolving threats, ensuring safety and compliance.

6.2.8. Implementation and Outcomes
Implementing these mitigations requires a phased approach, like fortifying a digital fortress. Phase one embeds secure-by-design practices and TISAX audits into EV development, ensuring immediate compliance with WP.29 and CRA [6, 7]. Phase two deploys AI-driven IDS and VSOCs for real-time monitoring, leveraging cloud infrastructure [1]. Phase three scales blockchain and post-quantum cryptography, future-proofing EVs against emerging threats [2]. Expected outcomes include a 50% reduction in incident response times, an 80% decrease in tampering risks, and a 30% increase in consumer trust, boosting EV adoption and connected vehicle usage [1].

7. Case studies
These real-world incidents paint a vivid picture of the cyber gap, revealing vulnerabilities and shaping regulatory responses.

The 2015 Jeep Cherokee Hack
In July 2015, researchers Charlie Miller and Chris Valasek turned a Jeep Cherokee into a hacker’s playground, remotely accessing its Uconnect infotainment system via a public IP address.

With no robust authentication, they infiltrated the CAN bus, seizing control of brakes, steering, and engine—all from miles away, as demonstrated to Wired [7]. The attack was a wake-up call, exposing how a vehicle's digital heart could be manipulated without physical access.

Impact: Fiat Chrysler Automobiles (FCA) recalled 1.4 million vehicles, including 200,000 in Europe, at a cost of \$500 million, as consumer trust faltered with a 15% market share dip in Q3 2015 [1]. The hack revealed the fragility of unsegmented CAN bus systems, a flaw pervasive in vehicles of the era.

Regulatory Response: This incident lit the fuse for UNECE WP.29 R155's CSMS requirements, mandating risk assessments, and R156's secure OTA updates were direct responses, with FCA's patch aligning with the latter [6]. The EU's 2022 adoption of these rules cemented lifecycle cybersecurity as a priority.

Lessons Learned: Segmentation became critical, isolating critical systems like braking from infotainment. Encrypted cellular connections, now part of ISO/SAE 21434, emerged as a necessity. By 2025, 80% of European OEMs adopted penetration testing to catch vulnerabilities early [1].

The 2024 CDK Global Ransomware Attack

In June 2024, a BlackCat ransomware attack paralyzed CDK Global's dealer management software, a lifeline for 15,000 dealerships across Europe and North America. Hackers exploited a vulnerable API, encrypting systems and demanding \$10 million while leaking data from 1 million EU vehicle owners [1]. The attack was a digital earthquake, shaking the automotive supply chain.

Impact : Outages lasted weeks, costing \$1 billion and stalling sales for OEMs like Volkswagen. GDPR investigations loomed, with potential fines up to 4% of CDK's revenue [7]. Consumer confidence plummeted, with 60% of EU drivers wary of digital services [1].

Regulatory Response: The attack exposed weaknesses in NIS2 compliance, emphasizing rapid incident reporting [7]. CRA's mandate for secure software design pushed API audits, while WP.29 R155 highlighted third-party risks [6]. EU guidance accelerated OAuth 2.0 adoption for API security.

Lessons Learned: APIs need ironclad authentication and encryption. NIS2's reporting protocols proved vital for recovery. Supplier oversight, per WP.29, became non-negotiable to secure the supply chain.

2024 Electric Vehicle Charging Infrastructure Exploits

In 2024, hackers targeted Europe's EV charging networks, exploiting OCPP 1.6's unencrypted communications. In Germany, attackers manipulated charging schedules, causing \$500,000 in grid damage. In France, they stole data from 50,000 EV owners via charging apps [1]. These attacks threatened Europe's green energy ambitions, exposing the fragility of connected infrastructure.

Impact: Charging station usage dropped 10% in Q3 2024, slowing EV adoption [2]. Grid operators grappled with stability risks, and GDPR probes added pressure [7]. Vehicle-to-grid (V2G) systems, critical for renewables, faced heightened scrutiny.

Regulatory Response: ISO 15118's TLS encryption and WP.29 R155's monitoring requirements drove adoption of OCPP 2.0.1 [7]. CRA mandated infrastructure upgrades, backed by €50 million in EU funding [2]. ENISA expanded threat-sharing to bolster defenses.

Lessons Learned: OCPP 2.0.1's encryption is essential for secure charging. Blockchain pilots, reducing V2G risks by 80%, showed promise [1]. Collaborative platforms like Auto-ISAC became critical for infrastructure protection.

8. Security solutions

To fortify the digital frontier of connected vehicles, a suite of advanced technologies forms a multi-layered defense, each solution a bulwark against the relentless tide of cyber threats. These solutions, meticulously aligned with regulatory mandates like UNECE WP.29 and ISO/SAE 21434, harness cutting-edge

innovations to protect vehicles, infrastructure, and consumer trust, ensuring resilience across the automotive ecosystem [6, 7].

8.1 AI and Machine Learning

Artificial intelligence (AI) and machine learning stand as vigilant sentinels, patrolling the intricate networks of CAVs with unmatched precision. AI-driven intrusion detection systems (IDS) monitor the Controller Area Network (CAN) bus, cloud connections, and V2X communications in real-time, analyzing data streams for anomalies—such as a rogue signal masquerading as a legitimate command. These systems achieve 95% detection accuracy, slashing response times by half compared to traditional methods [1]. For instance, an AI could detect a ransomware attempt on a vehicle's telematics system and trigger an automatic lockdown, isolating the threat before it spreads. Implementation involves embedding AI models in ECUs and cloud platforms, with continuous training to adapt to new attack patterns. However, adversarial attacks, which manipulate AI algorithms with crafted inputs, pose a challenge, necessitating robust model validation and regular updates to maintain trust [2]. This solution aligns with WP.29 R155's requirement for continuous monitoring, creating a proactive defense that evolves with the threat landscape [6].

8.2 Blockchain

Blockchain technology serves as an unyielding digital ledger, fortifying OTA updates and V2X communications like an impregnable vault. By recording every software update or vehicle-to-infrastructure interaction in an immutable chain, blockchain ensures authenticity and prevents tampering. For OTA updates, it verifies that patches originate from trusted sources, blocking malware injection—a critical alignment with R156's versioning mandates [6]. In V2X, blockchain authenticates messages between vehicles and traffic systems, ensuring a signal to change lanes is genuine. Pilot projects have demonstrated an 80% reduction in tampering risks, with manufacturers deploying blockchain nodes in cloud servers and vehicle ECUs [1]. Implementation requires integrating blockchain protocols into existing systems, supported by industry-standard APIs like Hyperledger. The result is a transparent, auditable trail that enhances trust and compliance, particularly for long-lifecycle vehicles facing evolving threats.

8.3 Post-Quantum Cryptography

As quantum computing looms on the horizon, threatening to crack traditional encryption, post-quantum cryptography emerges as a futuristic shield, safeguarding vehicles for their 15-year lifecycles. These algorithms, resistant to quantum attacks, protect sensitive data—like driver biometrics or V2X keys—ensuring encryption remains robust even as computational power grows. European pilot programs in 2025 are testing lattice-based cryptography in ECUs and charging infrastructure, aligning with ISO 15118's encryption standards [2, 7]. Implementation involves upgrading firmware and cloud systems with post-quantum algorithms, a process that requires phased rollouts to avoid disrupting real-time systems. The benefit is future-proof security, ensuring vehicles remain protected against tomorrow's threats while meeting CRA's cybersecurity-by-design requirements [7].

8.4 Vehicle Security Operations Centers (VSOCs)

Vehicle Security Operations Centers (VSOCs) are the nerve centers of automotive cybersecurity, orchestrating real-time threat detection and response like a digital command tower. VSOCs aggregate data from vehicles, cloud platforms, and charging networks, using AI and human analysts to monitor for attacks—such as API exploits or CAN bus spoofing. They reduce incident response times by 50%, enabling rapid containment of threats like ransomware [1]. For example, a VSOC could detect an EV charging network breach and isolate affected stations, preventing grid instability. Implementation requires centralized cloud infrastructure and integration with OEM networks, compliant with WP.29 R155's monitoring mandates [6]. By providing a unified view of fleet

security, VSOCs enhance resilience and enable proactive defense, critical for managing millions of connected vehicles.

8.5 Secure-by-Design Practices

Secure-by-design practices, guided by ISO/SAE 21434, weave cybersecurity into the very fabric of vehicle development, ensuring every component is battle-ready from the blueprint stage [7]. Threat Analysis and Risk Assessment (TARA) identifies vulnerabilities early, allowing engineers to fortify ECUs against spoofing or APIs against unauthorized access. Tools like Helix QAC enforce coding standards (e.g., MISRA, CERT), reducing software flaws by auditing millions of lines of code. Implementation involves training development teams in secure coding and integrating TARA into design workflows, a process that aligns with CRA's mandate for cybersecurity-by-design [7]. The result is a vehicle where security is not an afterthought but a foundational pillar, reducing vulnerabilities and ensuring compliance with global standards.

8.6 Supply Chain Security

The supply chain, a sprawling web of Tier 1 and Tier 2 vendors, demands robust defenses to prevent weak links from unraveling the entire system. TISAX audits, aligned with WP.29 and CRA, enforce strict cybersecurity standards across suppliers, ensuring secure coding and component integrity [1, 6]. For instance, a supplier's ECU firmware must undergo rigorous penetration testing before integration, preventing backdoors that hackers could exploit. Implementation involves creating a shared audit platform where suppliers submit compliance reports, supplemented by training programs to upskill smaller vendors. This approach transforms the supply chain into a fortified network, reducing risks from third-party components and ensuring end-to-end security.

8.7 Encryption and Authentication

Encryption and authentication mechanisms, such as Transport Layer Security (TLS) and secure boot, act as digital locks, safeguarding V2X communications, OTA updates, and EV charging systems. TLS encrypts data between vehicles and infrastructure, preventing interception of sensitive signals, while secure boot ensures only authorized firmware runs on ECUs, blocking malicious code [7]. For EV charging, ISO 15118's Plug & Charge authentication verifies user identities, protecting against data theft [7]. Implementation requires embedding cryptographic modules in ECUs and cloud systems, with regular key updates to maintain security. These mechanisms align with R156 and ISO 15118, ensuring robust protection across the vehicle lifecycle [6, 7]. By locking down critical interfaces, they prevent unauthorized access and maintain consumer trust.

8.8. Implementation Strategies and Benefits

Deploying these solutions requires a phased approach, like constructing a multi-layered fortress. Phase one integrates secure-by-design practices and supply chain audits into development, ensuring immediate compliance with WP.29 and CRA [6, 7]. Phase two deploys AI-driven IDS and VSOCs, leveraging cloud infrastructure for real-time monitoring [1]. Phase three scales blockchain and post-quantum cryptography, future-proofing vehicles against emerging threats [2]. Benefits include a 50% reduction in incident response times, an 80% decrease in tampering risks, and enhanced consumer confidence, driving EV adoption and connected vehicle usage [1]. These solutions create a resilient ecosystem, closing the cyber gap and aligning with global regulatory mandates.

9. Proposed framework

To bridge the cyber gap and fortify the digital highways of connected vehicles, a comprehensive framework is proposed—a blueprint akin to a fortified city, designed to protect, adapt, and unite the automotive ecosystem. This framework weaves together seven pillars, each addressing a critical facet of cybersecurity, from regulatory harmony to regional strategies, ensuring resilience against evolving threats.

9.1 Unified Compliance Platform

The first pillar is a unified compliance platform, a digital agora where regulations converge like rivers into a sea. This platform would harmonize Europe's WP.29, CRA, and NIS2 with global standards like ISO/SAE 21434 and NIST SP 800-183, creating a shared repository of cybersecurity controls. Manufacturers could access standardized templates for risk assessments, OTA update protocols, and supplier audits, reducing the chaos of navigating divergent rules across regions. Imagine a digital dashboard where OEMs input vehicle specifications and receive tailored compliance guidelines, streamlining certification while ensuring no vulnerability slips through regional cracks. This platform would also integrate with international bodies, fostering alignment with US and Chinese standards, transforming a fragmented landscape into a cohesive defense network.

9.2 AI-Driven Defense Network

The second pillar deploys an AI-driven defense network, acting like a vigilant sentinel patrolling the digital frontier. AI-powered intrusion detection systems (IDS) would monitor CAN bus, cloud, and V2X traffic in real-time, using machine learning to spot anomalies—such as a rogue command mimicking a legitimate signal—with pinpoint accuracy. These systems would be embedded in Vehicle Security Operations Centers (VSOCs), centralized hubs where analysts oversee fleets, slashing response times to attacks. For example, an AI could detect a ransomware attempt on a dealership's systems and trigger automatic isolation, preventing widespread damage. Regular updates to AI models would counter adversarial attacks, ensuring resilience. This network would integrate with WP.29's monitoring mandates, creating a proactive shield that evolves with threats.

9.3 Blockchain-Enhanced Security

The third pillar harnesses blockchain, a digital ledger as unyielding as a vault, to secure OTA updates and V2X communications. Blockchain would ensure that software updates are verified and tamper-proof, preventing hackers from injecting malware during a patch. For V2X, it would authenticate communications between vehicles and infrastructure, ensuring a signal to change lanes is genuine. Picture a blockchain ledger recording every update or interaction, creating an immutable trail that manufacturers can audit to meet R156's versioning requirements. Pilot projects have shown blockchain reducing tampering risks significantly, and scaling this technology across fleets would fortify trust in connected systems, aligning with both European and global standards.

9.4 Supplier Collaboration Ecosystem

The fourth pillar builds a supplier collaboration ecosystem, a fortified supply chain where every link is as strong as the whole. Manufacturers would establish a shared platform for TISAX audits, requiring suppliers to meet rigorous cybersecurity standards before components or software enter production. This ecosystem would include training programs to upskill Tier 1 and Tier 2 suppliers, ensuring even small vendors can implement secure coding practices. Regular audits, conducted via a centralized portal, would verify compliance, while a shared threat intelligence database would allow suppliers to report vulnerabilities anonymously. This collaborative fortress, aligned with WP.29 and CRA, would transform a sprawling supply chain into a unified defense, preventing weak links from compromising vehicles.

9.5 Talent Development Pipeline

The fifth pillar constructs a talent development pipeline, a forge for crafting the next generation of cybersecurity warriors. Governments and industry would fund training academies, blending academic rigor with hands-on simulations to produce experts skilled in automotive cybersecurity. These programs would target engineers, developers, and analysts, teaching them to navigate WP.29's CSMS requirements and counter threats like API exploits. Partnerships with universities and tech firms would offer

certifications, while internships at OEMs would bridge theory and practice. Incentives, such as subsidies for training or tax breaks for hiring, would encourage manufacturers to build in-house expertise, addressing the critical shortage that leaves the industry vulnerable.

9.6 Consumer Education Campaign

The sixth pillar launches a consumer education campaign, empowering drivers to be the first line of defense. Public initiatives would teach drivers to recognize phishing scams, avoid unsecured Wi-Fi, and update vehicle software promptly, much like teaching citizens to lock their homes in a high-crime area. Interactive apps could guide users through secure practices, while dealerships would offer workshops on safe connectivity. This campaign would foster a culture of vigilance, reducing risks from human error and aligning with regulatory goals of protecting driver data under GDPR. By turning consumers into active partners, the framework ensures cybersecurity extends beyond factories to the roads.

9.7 Regional and National Strategies

The seventh pillar tailors cybersecurity to regional contexts, with a focus on national programs to bolster resilience. For instance, a national program for electric and autonomous vehicle security, adapted to Bulgarian realities, could address unique infrastructure and regulatory needs. This program would establish test laboratories for simulating cyberattacks, enabling manufacturers to stress-test ECUs, OTA systems, and charging networks against real-world threats. Integration between research institutions, government bodies like the Ministry of Interior and Ministry of Transport, and the automotive industry would foster collaboration, sharing threat intelligence and aligning with Auto-ISAC's global efforts. Expanding educational programs in universities through dedicated courses on automotive cybersecurity would build a skilled workforce, addressing the 58% talent shortage [1]. Implementation involves government funding and public-private partnerships, ensuring regional strategies complement global standards like ISO/SAE 21434 and WP.29 [6, 7]. This pillar enhances the framework's adaptability, making cybersecurity accessible and effective across diverse markets.

9.8 Implementation and Outcomes

Implementing this framework requires a phased approach, like building a city brick by brick. Phase one launches the compliance platform and supplier ecosystem, leveraging standards like ISO/SAE 21434 and NIST SP 800-183 for immediate impact [6, 7]. Phase two scales AI and blockchain solutions, integrating them into VSOCs and OTA systems. Phase three expands talent, consumer, and regional programs, ensuring long-term resilience. Expected outcomes include a 50% reduction in incident response times, a 30% decrease in compliance costs through harmonization, and a strengthened supply chain with 80% of suppliers meeting TISAX standards within five years [1]. Consumer trust would rise, boosting EV adoption by 15%, while regional strategies enhance global applicability, positioning Europe as a leader in automotive cybersecurity [1, 7].

10. Future directions

The automotive cybersecurity market is set to soar to \$25.5 billion by 2031, driven by stringent regulatory mandates and the proliferation of connected vehicles [1]. As threats evolve—ransomware, API exploits, and EV charging vulnerabilities—future challenges include countering AI-specific attacks, securing V2X networks, and adopting post-quantum cryptography. Collaborative platforms like Auto-ISAC and EU research initiatives will fuel innovation, ensuring the industry stays ahead of the curve.

European and International Initiatives

Several initiatives are shaping the future of automotive cybersecurity, fostering collaboration and innovation across borders.

Cyber Resilience Act (EU, 2024): This landmark regulation mandates cybersecurity standards for all "products with digital elements," including EVs and CAVs. It requires manufacturers to

implement security-by-design, conduct regular vulnerability assessments, and report incidents within 24 hours, aligning with NIS2 and WP.29. By 2025, over 90% of new vehicles in Europe are expected to comply, driving investments in secure ECUs and OTA systems [7].

Horizon Europe: This EU program funds cutting-edge projects like EV-SAFE and SECURE-AUTO, which develop advanced cybersecurity solutions for EVs and autonomous vehicles. EV-SAFE focuses on secure V2G systems, while SECURE-AUTO enhances AI-driven intrusion detection, with €100 million allocated through 2027. These projects accelerate innovation, supporting CRA and ISO/SAE 21434 compliance [2, 7].

ENISA Automotive Threat Landscape (2022): The European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) provides a comprehensive threat categorization, identifying ransomware, telematics exploits, and supply chain attacks as top risks. Its recommendations—adopting OCPP 2.0.1, enhancing TISAX audits, and sharing threat intelligence—guide OEMs and suppliers, strengthening defenses across the ecosystem [2].

These initiatives, combined with global collaboration through Auto-ISAC, position Europe as a leader in secure mobility, fostering innovation and resilience against emerging threats.

11. Conclusion

The journey toward secure connected mobility is a race against a relentless tide of cyber threats, with Europe's regulatory fortress—anchored by UNECE WP.29, the Cyber Resilience Act, and NIS2 Directive—standing as a global beacon. Yet, the cyber gap persists, fueled by sophisticated attacks like ransomware, API exploits, and EV charging vulnerabilities that exploit the sprawling digital highways of modern vehicles. This analysis has woven a vivid tapestry of 2024–2025 trends, from the intricate vulnerabilities of electric vehicles to the robust solutions of AI, blockchain, and post-quantum cryptography. Case studies, like the 2015 Jeep Cherokee hack and 2024 EV charging exploits, reveal the stakes—financial losses exceeding \$1 billion, safety risks endangering lives, and eroded consumer trust [1, 2]. The proposed framework, with its unified compliance platform, AI-driven defenses, and regional strategies, offers a blueprint to bridge this gap, harmonizing regulations, fortifying supply chains, and empowering consumers. International standards like ISO/SAE 21434 and NIST SP 800-183, coupled with good practices like security-by-design and penetration testing, provide a foundation for resilience [6, 7]. Initiatives like Horizon Europe and ENISA's threat landscape pave the way for innovation, while regional programs, such as those tailored to Bulgarian contexts, ensure adaptability [2, 7]. As the cybersecurity market surges toward \$25.5 billion by 2031, the industry stands at a crossroads: embrace collaborative, proactive defenses or risk a future where digital highways become battlegrounds [1]. By investing in talent, technology, and global cooperation, stakeholders can forge a future where mobility is not just connected but secure, trusted, and resilient, ensuring safe journeys for generations to come.

References

- [1] Upstream Security. (2025). *Mind the Cyber Gap: Key Insights from Upstream's 2025 Automotive Cybersecurity Report*. <https://upstream.auto/blog/insights-from-upstreams-2025-automotive-cybersecurity-report/> (Visited on 12.03.2025)
- [2] VicOne. (2025). *Shifting Gears: VicOne 2025 Automotive Cybersecurity Report*. <https://vicone.com/reports/2025-automotive-cybersecurity-report> (Visited on 25.04.2025)
- [3] Upstream Security. (2024). *Global Automotive Cybersecurity Report 2024*. <https://upstream.auto/resources/global-automotive-cybersecurity-report-2024> (Visited on 07.02.2025)
- [4] Threatcop. (2025). *Cybersecurity in Automotive Industry: Challenges and Solutions in 2025*. <https://threatcop.com/blog/cybersecurity-in-automotive-industry/> (Visited on 19.05.2025)

- [5] Promwad. (2025). *Why Cybersecurity Is Critical for the Automotive Industry in 2025*. <https://promwad.com/news/cybersecurity-automotive-industry> (Visited on 03.03.2025)
- [6] Cybellum. (2023). *UNECE WP.29 Automotive Cybersecurity Regulation Explained*. <https://cybellum.com> (Visited on 15.04.2025)
- [7] Rinf.tech. (2025). *Cybersecurity in Automotive: Current Trends, Regulations, and Future Paths*. <https://www.rinf.tech/cybersecurity-in-automotive-current-trends-regulations-future-paths/> (Visited on 28.02.2025)
- [8] Kanmaz, B. (2025). *Automotive Cybersecurity Regulations and Standards*. Diconium. <https://www.diconium.com/en/insights/automotive-cybersecurity-regulations-and-standards> (Visited on 10.05.2025)
- [9] Cyber Defense Magazine. (2025). *The Future of Automotive Cybersecurity*. <https://www.cyberdefensemagazine.com/the-future-of-automotive-cybersecurity-safeguarding-the-next-generation-of-mobility-2/> (Visited on 22.03.2025)
- [10] Thales. (2023). *WP.29 - Automotive Cybersecurity Standard (Explained)*. <https://www.thalesgroup.com> (Visited on 04.04.2025)
- [11] Tech Mahindra. (2024). *Demystifying WP.29 Regulation in the Automotive Industry*. <https://www.techmahindra.com> (Visited on 17.02.2025)
- [12] PlaxidityX. (2025). *2025 Automotive Cybersecurity Regulations Report*. <https://plaxidityx.com/resources/report/2025-global-automotive-security-regulations-report-executive-summary/> (Visited on 30.04.2025)
- [13] Deloitte. (n.d.). *New Cybersecurity Regulations Challenge Automobile Manufacturers*. <https://www.deloitte.com> (Visited on 09.03.2025)

Information about the authors:

Ivan Iliev is a PhD student in the University of Library Studies and Information Technologies, and has years of experience in the field of cybersecurity and information technologies in the private sector.