



№1(16) 2022

ISSN1512-4916

საჰაერო ტრანსპორტი

AIR TRANSPORT



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

Georgian Aviation University

თბილისი - Tbilisi
2022

საერთაშორისო სამეცნიერო
ჟურნალი

საჰაერო ტრანსპორტი
AIR TRANSPORT

International Scientific Journal

გამოცემა ეძღვნება საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
დაარსების 30 წლის იუბილეს

The publication is dedicated to the 30th founding anniversary
of the Georgian Aviation University

საჰაერო ტრანსპორტი

საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი გამოიცემა 2008
წლიდან და წარმოადგენს ავიაციასთან
დაკავშირებული პრობლემების ასახვისა და გადაჭრის
გზების სამეცნიერო ნაშრომების კრებულს

AIR TRANSPORT

The international scientific journal has been published
since 2008 and is a collection of scientific works on the
reflection and solution of aviation-related problems

სარჩევი

INSTITUTIONAL FOUNDATIONS OF DEVELOPMENT OF THE AIR TRANSPORT SECTOR AND SUPPORTING INFRASTRUCTURE.....	5
Modern Technologies & Human Performance Taxonomy in Air Traffic Management Development. Polish and Georgian Case Studies	16
Study of domain wall pinning in the rare earth-free permanent magnets using nuclear magnetic resonance method	25
Classification Electromagnetic Interference Impact of VOR, ILS, and GBAS Radio Navigation Systems Operating in the VHF Band.....	36
On Some Measures to Ensure Nuclear Safety During Utilization of Aircrafts and Helicopters	44
Impact of Russia-Ukraine conflict on global economy	49
Ways of measuring the number of foreign particles in the gas turbine engine air intake.....	53
Quantitative assessment of aviation emissions for international airport zones in Georgia.....	69
საფრენი აპარატების მართვის ინტელექტუალური სისტემები.....	75
ვიბრო-აკუსტიკური მოვლენების შესწავლა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მოდერნიზებულ აეროდინამიკურ მილზე	88
კონტურზე ხისტად ჩამაგრებული წრიული ფირფიტის ანალიზი მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში	96
აეროდინამიკურ მილში ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა ველის განსაზღვრა პიტოს მილის საშუალებით	102
ავიაციაში მანქანური სწავლების ღია პლატფორმების შესაძლო გამოყენების თაობაზე.....	107
აეროდრომზე მოძრაობის კოორდინაციული სიზუსტის მატება	117

თითოეულ სტატიას გავლილი აქვს შემოწმება პლაგიატზე, [Strikeplagiarism.com](https://www.strikeplagiarism.com)
პლატფორმის მეშვეობით

Each article has been checked for plagiarism through the [Strikeplagiarism.com](https://www.strikeplagiarism.com) platform

მთავარი რედაქტორი

სერგო ტეფნაძე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, საერთაშორისო სატრანსპორტო აკადემიისა და საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ნამდვილი წევრი. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის რექტორი.

რედაქტორი

ნიკა თიკანაშვილი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის რექტორის მოადგილე სამეცნიერო დარგში; საინჟინრო ფაკულტეტის დეკანი, პროფესორი.

სამეცნიერო-სარედაქტორო საბჭო

ანდრო მაისურაძე, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ხელმძღვანელი, პროფესორი, თბილისი, საქართველო.

იგორ კაბაშკინი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, რიგა, ლატვია.

რობერტ გლენბოცკი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, ვარშავა, პოლონეთი
კონსტანტინოს კალიგიანისი, პროფესორი, ვილნიუსი, ლიეტუვა

თამაზ ნატრიაშვილი, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, მექანიკის ინჟინერიისა და ტექნოლოგიების დოქტორი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, თბილისი, საქართველო

დემური ვეფხვაძე, საქართველოს ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი, პროფესორი, თბილისი, საქართველო

სეით ბლიაძე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, თბილისი, საქართველო

ავთანდილ აფხაიძე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, თბილისი, საქართველო

რობერტ ხაჩიძე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, თბილისი, საქართველო

ბიჭიკო მაზანიშვილი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, თბილისი, საქართველო

აღმასრულებელი მდივანი
ვაჟა კელიხაშვილი

Chief Editor

Sergo Tepnadze, Doctor of Technical Sciences, Professor, The real member of the International Academy of Transport and Engineering Academy of Georgia. Rector of Georgian Aviation University.

Editor

Nika Tikanashvili, Deputy Rector of the Georgian Aviation University in the scientific field, Dean of engineering faculty, Professor.

Scientific-Editorial Board

Andro Maisuradze, Head of scientific-research center at Georgian Aviation University, Professor, Tbilisi, Georgia

Igor Kabashkin, Doctor of Technical Sciences, professor, Riga, Latvia

Robert Glenbotski, Doctor of Technical Sciences, Professor, Warsaw, Poland

Konstantinos Kalligiannis, Vilnius, Lithuania

Tamaz Natriashvili, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Mechanical Engineering and Technologies, Academician of the Georgian Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia

Seit Bliadze, Doctor of Technical Sciences, professor, Tbilisi, Georgia

Avtandil Apkhaidze, Doctor of Technical Sciences Professor, Tbilisi, Georgia

Robert Khachidze, Doctor of Technical Sciences, Tbilisi, Georgia

Bichiko Mazanishvili, Doctor of Technical Sciences Professor, Tbilisi, Georgia

Demuri Vepkhvadze, Academician of the National Academy, Professor, Tbilisi, Georgia

Executive Secretary

Vazha Kelikhashvili

INSTITUTIONAL FOUNDATIONS OF DEVELOPMENT OF THE AIR TRANSPORT SECTOR AND SUPPORTING INFRASTRUCTURE

O.M. Kyrylenko, O. B. Naumov, V.O. Novak, K.M.Razumova,

National Aviation University, Lubomira Guzara ave. 1, Kyiv, 03680, Ukraine

D.S. Tepnadze

Georgian Aviation University, Ketevan Dedopali Av, 16, Tbilisi, 0103, Georgia

Annotation. This article deals with the author's view on the concept of development of air transport system, which can be the basis of the branch program documents. The author presented a preamble and the main directions of realization of the development strategy. The article identifies the main directions of institutional regulation of the sector development. Institutional mechanisms for regulating the development of the air transport sector and supporting infrastructure were outlined. In article also was considered the issues of creating new integrated cross-sector air-transport associations – strategic alliances.

Keywords: aviation transport, supporting infrastructure, integrating, the concept of development.

Formulation of problem. Ukraine's economy is demand by the transition from the crisis to the stages of progressive development. However, the processes of development by economy sectors are uneven, the crisis is continued in some industries and there is a decline in production. In the system of social and economic transformations, the exceptional place takes the problem of underdevelopment of the major sectors of economy to which belong the transport system, including air transport and all kinds of service for it, where the situation is difficult during to pandemic crisis.

Official statistics show that passenger turnover of air transport decreased by 67% in 2020 (Figure 1). Cargo turnover of air transport in 2020 increased by 7%, but it is not significant - it reaches only 316.2 mln.tkm.

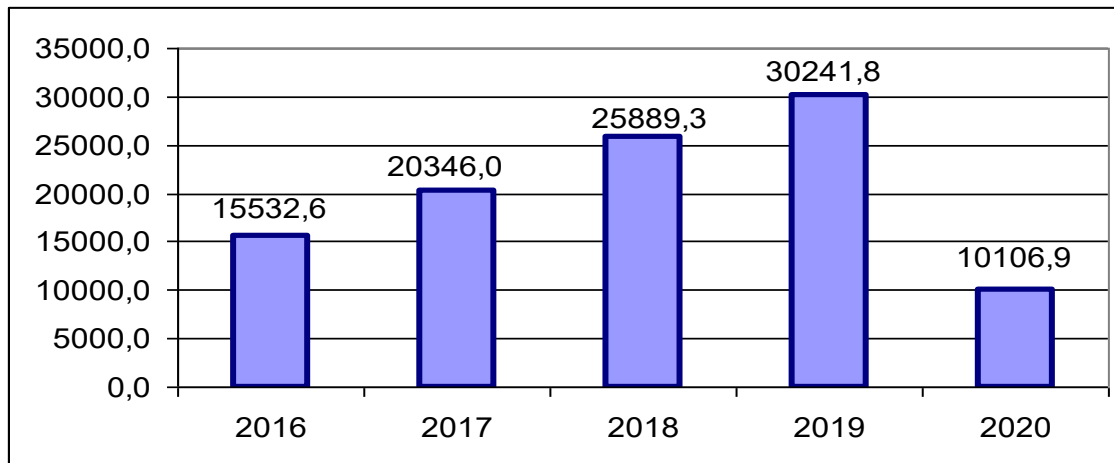


Fig. 1. Passenger-kilometres performed, by air transport, mln.Pass.km [1]

The situation with the Ukrainian air transport sector and support infrastructure requires the development of strategy for interconnected transition of enterprises of the two spheres to new condition and development of the newly established system.

The problems of the air transport sector and support infrastructure have received considerable attention from scientists and practitioners, and the scientific and analytical articles have been dedicated to them [2-6]. In these studies, the problematic aspects of development of the air transport system have been considered.

State policy documents on the development of the air transport sector are constantly being developed and improved [7].

However, the problem can not be considered solved, because today there are new challenges that need to be solved for the development of air transport system and its infrastructure. Considering this, it is necessary to form a comprehensive view on the development of air transport sector and support infrastructure.

Research methods. This work was based on the analysis and synthesis of theoretical, methodological and practical aspects of the development of the air transport sector. The abstract-logical method was used to form the structure of the strategy of development of the sector, generalization of scientific provisions.

The work is based on the study of scientific publications, Internet resources, the authors' own observations.

The main objective of the article. In this article, the authors offer their own perspective on the concept of development of the air transport sector and support infrastructure, which can be the basis of branch program documents.

Exposition of the basic material. The experience of economic reform in the Ukrainian economy has shown that the reforms do not always give proper feedback because of inadequate

regulation of the problems at the state level, lack of the responsible owner, the legislation unadjusted to the reality of our economic and national outlook. Therefore, only science-based systematic and consistent approach to the economic problems of formation and development of domestic economy will enter the real nature of the problem of the one of the leading sectors of national economy – transport and its supporting infrastructure, taking into account the realities of their operation.

There are several good reasons for the need of simultaneous rise of the transport sector and its supporting infrastructure:

- First, the transport sector can't play its traditional role in the development of the economy, if not combined its human and material resources and not be developed workable national policy in the transport development;

- Second, with the development of the transport and support infrastructure, the processes of specialization and diversification activates, and that will ensure the competitiveness of domestic transport services;

- Third, there are sectors of the economy, which should not be left in isolation. Insufficient development of the transport sector leads to a future Ukraine's dependence on foreign carriers. Joint efforts of transport companies, their infrastructure, and the government is the basis for freedom of choice in the development of the economy. Accelerated scale use of the potential of transport sector in the near future would improve the situation not only in these industries, but also in the industries which use transport services, especially in foreign trade sphere.

1. General of the Concept for the development of the air transport sector.

The Concept must define ways to solve the problems of revival and further development of the air transport system and its supporting infrastructure, on the basis of the new challenges set before air transport companies in terms of pandemic crisis and process of international integration.

The development of the air transport sector and support infrastructure necessitates finding and implementing new strategies for the management of companies and the sector as a whole. The insufficient organizational and methodological assistance, the dynamic changes of conditions of markets and the risk of stagnation due to quarantine restrictions identified the lack of an integrated approach to the design and implementation of development strategies for the companies of air transport and support infrastructure.

The basis for the success of the reform of air transport sector should be well-functioning infrastructural base. It will implement communication between the participants and the components of the economic organism of the air transport sector. A reliable supporting infrastructure is central in the development and successful operation of air transport companies and a prerequisite of growth and stabilization of the economy of aviation transport. Therefore, the most important at the present stage of development of the air transport sector is the

establishment of a sound infrastructure base.

All this determines the need for complex organizational, legal, economic, technical and technological measures directed to both the near- and long-term perspective that would ensure the development of the air-transport-integrated structures in the closest connection with the processes occurring in the global and domestic economy contributed to the development of productive forces of the country, social welfare of the population.

2. The goals and objectives of the Concept.

The concept has the following objectives:

- Creating conditions for further development of the air transport system and support infrastructure;

- Phased implementation of institutional reforms in the air transport sector and support infrastructure sectors of the economy by improving management, demarcation of functions of the state and economic management, the development of competition in the market of transport services;

- Accelerating the modernization of technical base of the air transport sector and support infrastructure, development of new approaches to innovation and investment policies aimed at achieving the objectives of the Concept, including raising capital in all forms, which are not prohibited by the legislation of Ukraine;

- Accelerate the integration of enterprises in the form of strategic air-transport alliances on the principles of mutual interests, adapting national legislation to the existence of the integrated structures, closer to international standards, specifications, technical performance and economic requirements in the area of air transport services.

The main tasks to achieve the objectives of the Concept should be:

- Creation of a common legal field of the air transport sector and support infrastructure businesses, taking into account national and international standards;

- The introduction of an effective system of the state regulation and control of the market of transport services to ensure the development of domestic air transport sector;

- Strengthening the coordinating role of the state in the development of integration of different modes of transport and supporting infrastructure, first of all of joint (international) value, increasing the efficiency of interaction with companies in other sectors of the economy;

- Create conditions for improving the competitiveness of domestic air transport enterprises in domestic and foreign markets by implementing a set of measures of the state support for the Ukrainian transport services;

- The effective functioning of national integrated institutions and consolidation into a unified system of the multi-transport complex, which taking advantage of the geographical location;

- Development and implementation of direct and indirect state financial support for the

infrastructure of air transport in accordance with the market economy mechanisms;

- The creation of a common information space of the transport complex on the basis of modern information and management systems, the development of databases;
- Development and intensification of the scientific potential of the aviation transport, the development of a forward-looking system of training and retraining for the air transport sector and the supporting infrastructure;
- Development and implementation of social policy in the air transport sphere as part of an overall policy of development of the transport sector.

The principles of the policy branch of protectionism in respect of the air transport system and supporting infrastructure should be the following:

- A policy of credit expansion and investment in respect of the air transport sector. A higher priority to fund the development process by means of domestic resources, so this policy should take into account the more favorable conditions for investing industry by the domestic owners of capital;
- Creating conditions to encourage internal competition of the sector, or eliminate the negative effects of the lack of competition. This is a necessary condition for the development of the industry. The experience of protectionism in some countries shows that in the absence of competition, the enterprises are losing incentives for development [8]. However, there is an alternative to creating an internal competition – legal, organizational and technological measures to form development incentives that will enhance the positive processes even in a non-competitive environment;
- Increasing specialization of transport and supporting enterprises;
- Increasing the level of organization and coordination of the interests of individual companies with the interests of the whole sector and the interests of the state.

3. The main lines of the Concept.

3.1. Improvement of the state regulation of the air transport sector and support infrastructure.

State regulation of the air transport sector and support infrastructure in the context of the modern market and present-day challenges must ensure a balance of national and corporate interests and be based on the allocation of responsibility for specific areas of activity of the air transport sector between the state and enterprises.

The competence of the state:

- The creation of the legal framework of air transport system and enforcement of legislation;
- The establishment and maintenance of a unified multi-transport space coupled with infrastructure;
- Financing of the air transport sector in an innovative direction of development;

- Quality and safety control of transport services and ensuring its social standards;
- Implementation of the non-discriminatory actions to protect the interests of the state and national companies in relation to the transport services;
- Promotion of investment in the air-transport associations.

The main forms of government regulation should be the laws of Ukraine and other normative-legal acts, the target program for the development of air transport sector and supporting infrastructure, mechanisms of standardization and control. The tax, credit and financial, customs and other economic levers are to be used for their effective action.

The priority areas of government regulation in the air transport complex should be the scope of such activities as the introduction of innovative and resource-saving technologies, complex automated systems of processes management and quality, development of information systems.

3.2. The main objectives of the development strategy of the air transport sector and support infrastructure must be:

- Actions to increase profitability in the short term and in the future;
- Actions in response to changing conditions in the transport sector (changing tax environment, air cargo tariffs and rules, fuel prices, etc.);
- The application of efforts to build links between the transport, industrial, trading and supplies structures;
- Efforts to integration in the transport-logistic chain;
- Precautions against external threats;
- Steps in the formation of corporate diversification strategy;
- To improve the quality of transport services;
- Actions to the maximum possible use of the potential of transport and support enterprises;
- Building relationships between the partners on a mutually beneficial basis;
- Measures to improve the technology of transportation services;
- The integration of science in the air transport sector.

The economy of air transport requires forming a consciously differentiated approach to the quality of services in order to achieve harmony of the existing resource base with the transport technologies in the context of its further development. In other words, with the implementation of the strategy should be created a dynamic complex that provides today and in the future production of competitive services in the geographical conditions of the Ukraine.

3.3. Organization forms of the development of integrated air-transport association.

In modern conditions for the development of integration structure of air transport sector and support infrastructure this kind of integration organization as a strategic alliance makes it easier to solve the problem of achieving the strategic objectives of the domestic air transport

sector.

The air transport alliance is a single economic complex, which has the character of a network composed of airlines, airport operators, airport on-site enterprises (restaurants and retail), aircraft manufacturers, and air navigation service providers, research, design and other businesses.

Creation of such a union can realize the benefits of scale effect. The effect of scale of integration reduces the so-called interaction costs, which include the costs of searching for information on a constant exchange of information with partners, monitoring the actions of competitors and develop on this basis the objectives, strategies and tactics [9]. Added to this is the possibility of more centralized control over the activities of the structure. Integration enhances synergies in the implementation of various activities of the alliance members, which leads to increased efficiency of the system.

The increase in the scale of economic units provides enhanced commitment to our partners, so it is necessary to provide for a close relationship between the parties that would enable mutual control. Alliances between major companies should have close ties in the form of mutual shareholding. Enterprises in addition to the basic operation activities use the goods and services of each other. Combining at the expense of the companies that are part of it, may acquire other businesses. But at the same time, these businesses have a certain degree of independence.

The structure of air-transport alliance clearly defined as a network in which all the constituent objects are on equal cost-organizational settings, meaning they can enter into contracts and exchange values (ideas, technologies, know-how) on mutually voluntary basis. The collective basis of alliance management on equal footing is due to cross shareholdings of the members of the alliance and cooperation of production.

Governance structure of the alliance depends on the size and structure of the enterprise. Creating mutually beneficial peer interactions in the air-transport alliances will be ensured through the establishment of the main control center or organization network coordinator. Therefore, the coordinator assigned operational functions.

Strategic decisions must be implemented by the Council of alliance, which consists of the directors and presidents of companies and firms. The Council will promote the strengthening of ties, exchange of information, identifying areas of mutual interest and ways to achieve them.

The effectively developed complex as a single autonomous operating system, which integrates and balances the needs and interests in the process of transport service, will direct the alliance for the development of the scope and quality.

The main role of the proposed air-transport alliance is to overcome non-winning positions in the work of enterprises in the market conditions.

Strategic alliances can solve a number of problems:

- The problem of ensuring the necessary resources;

- The problem of balancing the needs and obligations between the alliance members;
- The formation of the alliance creates the conditions for increasing the productivity of labor and the quality;
- The problem of implementation of a comprehensive quality management system and the economical use of resources;
- To ensure the sector of professional staff and the high level of employment. Stable wages and high production are formed by part of the distributable profits;
- Better financial opportunities of the alliance, which allow to focus significant resources to ensuring that the investment attractiveness of the sector.

The system of alliance management in our view should include a special structure for the coordination of all business associations. This structure is designed to provide advice to companies for a variety of operational and management issues, such as: strategy and tactics competition, market research, preparation and examination of business plans, evaluation of investment and marketing activities, etc.

The principles of air-transport alliances:

1. The first and fundamental principle of the alliance is to operate a framework of real resources. This means that the alliance should provide not only a quantitative relationship between their units, but also to strive for compliance with the specific use of production assets, which are part of the alliance. That is, links of the alliance must make the most of their specific resources and capabilities in solving their problems and challenges, as well as the problems and challenges of the alliance.

2. The second important principle that should guide the activities of air-transport alliance is economic independence, which provides systems and economic responsibility for their performance. Economic independence provides for freedom of disposal of own and borrowed funds by units of the alliance and by the association in general, free choice of industrial relations, the disposal of income. The entire risk from operating activities of the alliance, each subject must assume in part defined in accordance with the principle of risk-sharing by financial capacity of participants.

3. The third principle is that the alliance relationships with partners are as normal market relations. Production activity of the alliance is carried out primarily on the basis of market criteria of profitability, risk and liquidity.

4. The fourth principle – regulation of the alliance can be carried out only by indirect methods. Alliance Council defines only the "rules of the game" for the links, but does not have the possibility of direct regulation.

Joining forces on the basis of integration means strengthening of linkages in the formation and development of transport sector. Ukraine should get as much benefit from national and regional advantages, so the development of the transport sector is indisputably within the scope

of the current economic policy.

Conclusions. The main ideas in the development of a strategic vision and mission of the future of the air transport sector and support infrastructure are defined as companies' cooperation for the joint use of technical and technological capacity, joint research, exchange and harmonization of processes, promotion of the services created by the combined efforts in the market. Such formations will achieve synergies, enhance joint capabilities of all parts of the Ukrainian air transport sector and support infrastructure in the creation of competitive services. This vision defines the mission and future sector.

The emphasis in this case should be made to:

- Creation of missing links in the economic chain (vertical integration);
- A flexible range policy (diversification strategy);
- Support and expansion of investment activity by attracting domestic and foreign investment.

The air transport sector has its own characteristics and requires specific approaches and methods. To develop a strategy of vertical integration in order to create a strategic air-transport alliance, which would cover the entire process chain, you need to meet new specific objectives:

1. The definition and nature of vertical integration in the air transport sector as an objective need for development.
2. Substantiation requirements for the development the sector and use of technologies.
3. Substantiation and elaboration of the development models.
4. Determination of the development stages of the air transport sector.
5. Formation of the mechanism for implementation of the program for development of the integrated structures.

References:

- [1] State Statistics Service of Ukraine. URL: <https://ukrstat.org>
- [2] Kyrylenko O.M., Novak V.O., Razumova E.M., Mostenska T.L. Transport development trends Aviation in Ukraine. Economy. Finances. Right. 2020. 1. 1/2. 46-52.
- [3] Novak V., Marchenko V., Perederii V. Scientific basis of management of transport companies' interaction. Airtransport. 2016. 1 (11). 31-36.
- [4] Savych O., Shkoda T. Trends of air transportation market development in Ukraine. Innovative Marketing, 2020. 16(2), 29-42. doi:10.21511/im.16(2).2020.03
- [5] Dimitriou, D., Sartzetaki, M. Assessing air transport socio-economic footprint. International Journal of Transportation Science and Technology, 2018 7(4), 283-290.
- [6] Zhavoronkova, G., Sadlovska, I., Shkoda, T., & Zhavoronkov, V. Stratehichne upravlinnia aviatransportnykh pidpriemstv. Strategic management of air transportation enterprises. 2012. Kyiv: Kondor-Publishing. (In Ukrainian)

[7] On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%> .

[8] Capitalism in Denmark / O.Yu. Abashkina. Brazil: formation of an "open" economy. / I.A. Bunegina. – M.: Znaniye, 1992. – 80 c. - (New in life, science, technology. Series "Economy"; #2-3)

[9] Sokolenko S.I. Production systems of globalization: Networks. Alliances. Partnership. Clusters: Ukrainian context. Kiev: Logos, 2002. 645p. [in Ukrainian]



საჰაერო ტრანსპორტის სექტორის განვითარების ინსტიტუციური საფუძვლები და დამხმარე ინფრასტრუქტურა

ო.მ. კირილენკო, ო.ბ.ნაუმოვი, ვ.ო. ნოვაკი, კ.მ.რაზუმოვა,

ეროვნული საავიაციო უნივერსიტეტი, ლუბომირა გუზარას გამზ. 1, კიევი, 03680, უკრაინა

დ.ს.ტეფნაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფალის გამზ. 16, თბილისი, 0103,
საქართველო

ანოტაცია. წინამდებარე სტატია ეხება ავტორის შეხედულებას საჰაერო ტრანსპორტის სისტემის განვითარების კონცეფციის შესახებ. ავტორმა წარმოადგინა პრეამბულა და განვითარების სტრატეგიის განხორციელების ძირითადი მიმართულებები. სტატიაში განსაზღვრულია სექტორის განვითარების ინსტიტუციური რეგულირების ძირითადი მიმართულებები. გამოიკვეთა საჰაერო ტრანსპორტის სექტორის განვითარების მარეგულირებელი ინსტიტუციური მექანიზმები და დამხმარე ინფრასტრუქტურა. სტატიაში ასევე განხილული იყო ახალი ინტეგრირებული საერთაშორისო საჰაერო ტრანსპორტის ასოციაციების - სტრატეგიული ალიანსების შექმნის საკითხები.

საკვანძო სიტყვები: საავიაციო ტრანსპორტი, დამხმარე ინფრასტრუქტურა, ინტეგრირება, განვითარების კონცეფცია.

Modern Technologies & Human Performance Taxonomy in Air Traffic Management Development.

Polish and Georgian Case Studies

Nika Tikanashvili

Faculty of Engineering, Georgian Aviation University, Tbilisi, Georgia

Antoni Kopyt

Faculty of power and Aeronautical engineering, Warsaw University of Technology,
Warsaw, Poland

Abstract— The Global Air Navigation Plan (GANP) is a flexible global engineering approach that allows all States to advance their Air Navigation capacities based on their specific operational requirements. One of the most important problematic part for successful implementation of the GANP is innovative air traffic management system and aircraft on-board technologies effective interrelationship taking into consideration human factors.

The research work is focused on the creation of methodology for comparison gap between Air Traffic Management (ATM), aircraft modern on-board systems and aviation professionals' competencies. One of the problem in the implementation of the new technologies is that, there are currently no unified requirements for all categories of ATM, and on the other hand, the development of modern trends requires new competencies from operational and maintenance personnel. This problem becomes even more noticeable in countries that have just started an active modernization of ATM systems.

This paper examines the expertise of human performance specialists and the tools they use have been recognized as key ingredients to advance ATM infrastructures in the process of modernizing the national air traffic control systems. Research oriented to the Polish and Georgian case studies, as in both counties quickly improves the ATM technologies the development of personnel skills is critical. As a result, taxonomy of key human performance issues for the design and integration of large-scale future ATM programs is proposed.

Keywords— Air Traffic Management, Avionics, Human Performance, New Technologies.

Introduction

Any national airspace system is dedicated to ensuring the safe, and reliable flow of air traffic through the integrated largest, most complex air navigation system in the world. The system encompasses a vast array of air navigation facilities, equipment, and services; airports or landing areas; aeronautical charts, information, and services; rules, regulations, and procedures; technical information; human performance and materials. Human factor, in the context of Air Traffic Management (ATM), refers to the performance of jobs, tasks, and activities by operational personnel—individually and together. Human factor, as a domain, focuses on optimizing the

people element in complex work systems such as air traffic management. It covers all aspects of integrating people into systems.

The GANP represents a strategic methodology which leverages existing technologies and anticipates future developments based on State/industry agreed operational objectives (ICAO, GANP 2016-2030). The GANP explores the need for more integrated aviation planning at both the regional and State level and addresses required solutions by introducing the consensus-driven Aviation System Block Upgrades (ASBU) systems engineering modernization strategy. The Block Upgrades will enable aviation to realize the global harmonization, increased capacity, and improved environmental efficiency that modern air traffic growth now demands in every region around the world. The GANP also outlines implementation issues involving the near-term performance-based navigation and Block 0 Modules and the Planning and Implementation Regional Groups (PIRGs) that will be managing regional projects.

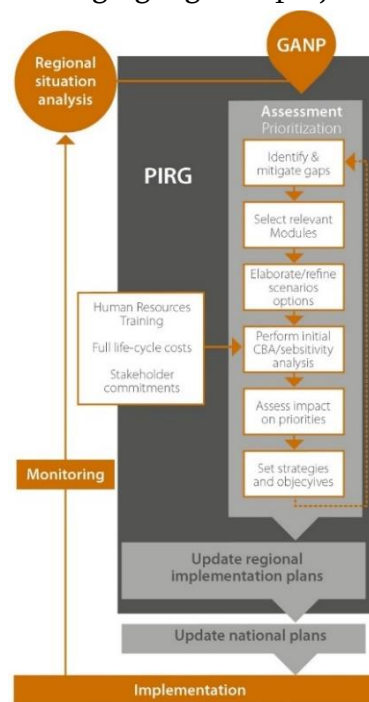


Figure 1. Regional planning process

Investing in human performance will help to reduce industry costs, and improve overall organizational performance by:

- improving system design, development & implementation processes and outcomes;
- improving selection, recruitment, staffing;
- improving work organization;
- improving procedures and training;
- improving system safety;
- improving transition into operations and the social acceptance of changes.

It is therefore critical that the concepts being developed within the GANP take into account the strengths and weaknesses of existing and future skilled personnel at every juncture. All actors with a stake in a safe air transportation system will need to intensify efforts to manage risks associated with human performance and the sector will need to proactively anticipate interface and workstation design, training needs and operational procedures while promulgating best practices.

Key problem in the implementation of the GANP is that, on the one hand, there are currently no unified requirements for all categories of ATM personnel, and on the other hand, the development of ATM technologies is far ahead of the pace of training of personnel of appropriate qualifications. This problem becomes even more noticeable in countries that have just started an active modernization of ATC systems. In particular, Poland and Georgia are among the countries mentioned. The figure below shows the progress made so far, per SESAR Essential Operational Changes, in the implementation of the SESAR phases based on the official statistics of the European Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL, LSSIP 2021 – Local Single Sky Implementation, Poland, Georgia).

Georgia	Poland	Essential Operational Changes
100 %	95%	ATM Interconnected Network
23 %	81%	Airport and TMA performance
80 %	97 %	CNS Infrastructure and Services
100 %	46 %	Digital AIM and MET Services
100 %	95%	Fully Dynamic and Optimised Airspace
100 %	100%,	Trajectory Based Operations
60 %	70%	Virtualisation of Service Provision

Table 1. SESAR Essential Operational Changes (Georgia, Poland)

At the same time official investigation reports of aviation accidents and incidents during previous years shows that, there are several aviation incidents, which have the direct connection with the human insufficient competencies in ATM during the operation.

An additional problem under these conditions is that it is difficult to identify competencies of personnel that require development in order to meet the requirements of modern ATM technologies and in the same time it is difficult to understand the gap between the training curricula outcome and the industry requirements.

The paper is focused on the creation of a novel methodology for the partial automation of the comparison competences of ATM personal and synthesis of training courses and modules, using a formal, taxonomy and ontology-based approach as a tool to solve these problems.

Research Methodology

Human competency gap analysis in ATM and for gap analysis between the university curricula outcome and the ATM requirements.

The main objectives of the research are as follows:

1. To create ontology for the formal representation of an educational course, its modules, learning outcomes and keywords.
2. To propose a methodology for the partially automated population of the ontology based on program specifications and module templates.
3. To design, implement and evaluate an ontology alignment algorithm for ontologies of the educational courses and modules.

The main research question and the objectives of this work are the following:

1. Which information about educational courses and modules should be used for comparison with necessary competences of ATM personal and how will it be stored in ontology?
2. How to automate the population of the ontology with the data from the documents?
3. What is the alignment algorithm for ontologies of educational courses and modules? Which similarity measures should it utilize?

The main contribution of this work is ontology alignment-based methodology for the automated comparison of education courses and modules, belonging to the cognitive learning domain, for development necessary competences of ATM personal in new technological environment.

Early Results and conclusions

At the first stage of research the general approach for staff development was proposed (Fig.2). This approach is based on three models of competencies:

1. The competencies required for GANP implementation;
2. Competence actually available for individuals of ATM staff;
3. Competences that are formed by existing programmes, courses and modules in the process of education and training (E&T).

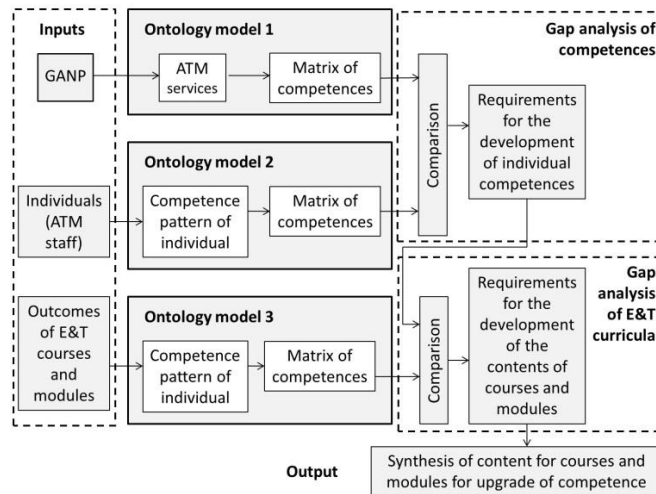


Figure 2. General model of ATM staff development

The input for the first model created on the base of analysis of ATM services taxonomy and necessary competencies (knowledge, skills, and attitudes) for staff for GANP implementation.

The input for the second model created on the base of analysis and testing of real competences of real individuals, who work in ATM enterprise, on the base of surveillance and set of questionnaires.

The input of the third model created on the base of analysis of the key components (outcomes) that are formed in the process of training the staff in the existing E&T courses and modules.

The core element of all three mentioned models is the matrix of competences (Fig.3).

Input	Knowledge				Skills					Attitudes			
	K_1	K_2	...	K_k	S_1	S_2	...	S_s	A_1	A_2	...	A_a	
I_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1k}	s_{11}	s_{12}	...	s_{1s}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1a}	
I_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2k}	s_{21}	s_{22}	...	s_{2s}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2a}	
...	
I_i	k_{i1}	k_{i2}	...	k_{ik}	s_{i1}	s_{i2}	...	s_{is}	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ia}	

Figure 3. Matrix of competences

These matrices are formed for each of three models from the sets of necessary competences in the field of knowledge $K = \overline{k_{11}, k_{1k}, \forall i, \forall k}$, skills $S = \overline{s_{11}, s_{1s}, \forall i, \forall s}$, and attitude $A = \overline{a_{11}, a_{1a}, \forall i, \forall a}$ formed on the basis of the input requirements of each model.

The set of inputs and matrix for each of three models were converted to the three ontologies. Ontology was chosen as the data model due to its ability to formally specify semantics, to represent taxonomies and to make inferences regarding data.

ontology should characterize conceptualization and should restrict the possible values of predicates and functions in order to agree on knowledge representation in a certain logic-based language. In this view, ontology refers to a logical theory in which axioms restrict the interpretation of non-logical symbols of the language.

Thus, informally, ontology is a description of the system of views concerning a data domain as applied to a certain task. An ontological description includes the terminology and the imposed rules that restrict the definitions and the relationships between the terms. Formally, ontology is a system of concepts and a set of assertions, based on which a system of classes, objects, relations and inferences can be built.

ontology defined as the following tuple, which is added in the study by set A of axioms:

$$O = \langle C, I, R, T, V, A, \leq, \perp, \in, = \rangle$$

where

- C is the set of classes used to store the sets of individuals in a domain of interest,
- I is the set of individuals, which are particular objects in the data domain of interest,
- R is the set of binary relations, either between two individuals (known as Object property), or between an individual and a data type (known as Data type property),
- T is the set of data types (for example, integers, strings),
- V is the set of particular values (C, I, R, T, V being pairwise disjoint),
- \leq is a relation on $(C \times C) \cup (R \times R) \cup (T \times T)$, called specialisation,
- \perp is a relation on $(C \times C) \cup (R \times R) \cup (T \times T)$, called exclusion,
- \in is a relation over $(I \times C) \cup (V \times T)$, called instantiation,
- $=$ is a relation over $I \times R \times (I \cup V)$, called assignment.
- A Is a set of axioms, which consist of logical statements that are always true, and the knowledge that can be.

This definition includes the concepts of classes, objects and data type relations. It enables the representation of the classes' taxonomies and hierarchies of properties, the instantiation of classes and the assignment of relations. At the same time, it is easily readable and clear in terms of human understanding.

As a result of the research, to form formal procedures for synthesis of content for courses and modules for upgrade of ATM staff competence be possible.

During the research erected models between personnel competencies and new technological environment to make them harmonized and as a result have an increased safety, capacity and efficient level of ATM operation for the future growth requirements of air transportation in Poland and Georgia.

Acknowledgment

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [YS-21-483].

References:

- [1] Doc 9750-AN/963 (2016) 2016–2030 Global Air Navigation Plan. ICAO, 137p.
- [2] ASBU Implementation Monitoring Report ICAO EUR States (2017) ICAO, 140 p.
- [3] European Air Navigation Plan (2021), ICAO EUR States, Volume III.
- [4] Human Performance in Air Traffic Management Safety. A White Paper (2010). EUROCONTROL/FAA Action Plan 15 Safety, September 2010, 36 p.
- [5] EUROCONTROL (2022) Local Single European Sky Implementation (LLSIP) Poland, Georgia.
- [6] SESAR. The Roadmap for Delivering High Performing Aviation for Europe. Executive View European ATM Master Plan, pp. 56-59.
- [7] Human Factors, Federal Aviation Administration, Chapter 14, pp 14-28.
- [8] EUROCONTROL Seven-Year Forecast February 2018; Edition V1.0, pp 14-84 [online]
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/officialdocuments/forecasts/seven-year-flights-service-units-forecast-2018-2024-Feb2018.pdf>
- [9] „Ontology based approach for human competency gap analysis in Air Traffic Management“
Autors: Igor Kabashkin, Nika Tikanashvili. Publication of paper in Transport and Telecommunication Journal, 2019, volume 20, no. 3 (ISSN 1407-6179, indexed in Scopus, Web of Science and others scientific data bases)
- [10] Human Factors Digest No.6 ERGONOMICS, ICAO Circular 238-AN/143.
- [11] Official Web-Page of Causes of Fatal Accidents by Decade. <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm>
- [12] Jörg Kundler Doctoral Thesis “The methodology of maintenance and technical service model development for air traffic control service providers”, Scientific supervisor Dr.habil.sc.ing., Professor Igor Kabashkin, Riga 2014.
- [13] Protégé -a free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems.
<https://protege.stanford.edu/>
- [14] Manual on Air Traffic Controller Competency-based Training and Assessment, ICAO Doc 10056, First Edition, 2017
- [15] International Standards and Recommended Practices, ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation.

**თანამედროვე ტექნოლოგიებისა და ადამიანის ფაქტორის ტაქსონომია საჰაერო
მოდრაობის მართვის სისტემის განვითარებაში.
პოლონეთის და საქართველოს მაგალითი**

ნიკა თიკანაშვილი

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტი,
თბილისი, საქართველო

ანტონ კოპიტი

ენერგეტიკისა და საავიაციო ინჟინერიის ფაკულტეტი, ვარშავის ტექნოლოგიური
უნივერსიტეტი, ვარშავა, პოლონეთი

ანოტაცია - საჰაერო ნავიგაციის გლობალური გეგმის (GANP) მიერ შემოთავაზებული მოქნილი საინჟინრო მიდგომა სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) წევრ სახელმწიფოებს საშუალებას აძლევს გააუმჯობესონ საჰაერო ნავიგაციის შესაძლებლობები მათი სპეციალური საექსპლუატაციო მოთხოვნების დაკმაყოფილებით. საავიაციო სპეციალისტები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ GANP-ის წარმატებით დანერგვაზე გადასვლის პროცესში. GANP-ის წარმატებული განხორციელების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პრობლემური საკითხია საჰაერო მოძრაობის მართვის ინოვაციური სისტემის და საჰაერო ხომალდების თანამედროვე საბორტო ტექნოლოგიების ეფექტური ურთიერთკავშირი ადამიანური ფაქტორის გათვალისწინებით.

კვლევის მიზანია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემას, საჰაერო ხომალდების თანამედროვე საბორტო სისტემებსა და საავიაციო პერსონალის კომპეტენციებს შორის ტაქსონომიური მოდელის შექმნა, ვინაიდან გლობალური სანავიგაციო გეგმის რეალიზაციის ერთ-ერთი პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ, ერთის მხრივ, ამჟამად არ არსებობს ერთიანი მოთხოვნები საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის ყველა კატეგორიისათვის, ხოლო, მეორეს მხრივ, საჰაერო მოძრაობის მართვის ტექნოლოგიური განვითარება ბევრად წინ უსწრებს შესაბამისი კვალიფიკაციის პერსონალის მომზადების ტემპს. ეს პრობლემა უფრო მეტად შესამჩნევია იმ ქვეყნებში, რომლებმაც ბოლო წლების განმავლობაში დაიწყეს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემათა აქტიური მოდერნიზაცია. კვლევითი სამუშაოები ფოკუსირებულია საქართველოს და პოლონეთის მაგალითებზე დაყრდნობით ნაწილობრივ ავტომატიზებული მეთოდოლოგიის შექმნაზე საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის კომპეტენციათა შეფასებისათვის, ასევე კურსკულუმის, სასწავლო კურსებისა და მოდულების სინთეზზე ონტოლოგიური მიდგომის გამოყენებით როგორც ამ პრობლემების გადაწყვეტის ერთ-ერთი ძირითადი ინსტრუმენტი.

ნაშრომში შემოთავაზებულია ონტოლოგიურ მოდელზე დაფუძნებული მეთოდოლოგიური მიდგომა საჰაერო მოძრაობის მართვის თანამედროვე მოთხოვნებსა და უნივერსიტეტის სასწავლო პროგრამების სწავლის შედეგებს შორის საქართველოს და პოლონეთის მაგალითზე. ვინაიდან ორივე ქვეყანაში სწრაფად ვითარდება ტექნოლოგიები ადამიანური კომპეტენციების განვითარება უფრო მნიშვნელოვანი

ხდება, სწორედ ადამიანის კომპეტენციათა ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია პერსონალის კომპეტენციათა გაუმჯობესებისათვის გასათვალისწინებელი საკვანძო საკითხების ტაქსონომია საჰაერო მოძრაობის მართვის ფართომასშტაბიანი პროგრამების შემუშავებისა და ინტეგრაციის მიზნით.

საკვანძო სიტყვები — საჰაერო მოძრაობის მართვა, ავიონიკა, ადამიანური ფაქტორი, ახალი ტექნოლოგიები.

Study of domain wall pinning in the rare earth-free permanent magnets using nuclear magnetic resonance method

G. Mamniashvili¹, G. Donadze¹, T. Gegechkori¹, T. Gavasheli², A. Maisuradze³,
V. Kelikhashvili³

¹Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Andronikashvili Institute of Physics, 6 Tamarashvili St. 0177, Tbilisi, Georgia

²Ivane Javakhishvili Tbilisi State University 1 Chavchavadze Av 0179, Tbilisi, Georgia

³Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedopali Ave. Tbilisi, 0103, Georgia

Abstract

The possibility of using of the modified nuclear magnetic resonance (NMR) technique for studying of the domain wall pinning in cobalt micro powders and micro- and nanowires is demonstrated. In particular, information about the domain wall pinning in cobalt nanowires is useful for the fine tuning of the magnetic properties of the rare earth-free magnets.

The pinning force of domain walls was studied by NMR two-pulse echo method in combination with an additional magnetic video-pulse depending on the magnetic video-pulse duration and an outer steady magnetic field value in cobalt micro powders for the first time. The comparative study of the two-pulse echo dependence on the magnetic video-pulse amplitude in cobalt micro- and nanowires was also carried out.

Keywords: Nuclear spin echo, magnetic video-pulse, two-pulse echo, rare earth-free permanent magnets, domain wall mobility.

Introduction

In order to qualitatively improve the environmental characteristics of modern aircraft (noise level, toxicity of exhaust gases from internal combustion engines), which is related to the gradual implementation of strict environmental norms established by IATA (International Air Transport Association) and ICAO (International Civil Aviation Organization) of the world aviation industry developed the concept of "all-electric aircraft".

An "all-electric aircraft" is an aircraft that does not have internal combustion engines and all of its propulsion equipment is powered by electricity. To create thrust in such aircraft, electric motors are used, which are powered by on-board electrical energy sources (batteries, supercapacitors, fuel cells, solar cells, etc.) and transmit mechanical power to propellers (fans).



Fig. 1 Electric airplane Extra 330LE with Siemens electric engine

The feasibility of creating an "all-electric aircraft" is due to:

with the development of power electronics and the development of a powerful semiconductor converter device and non-contact commutation and protection equipment based on them.

By processing new magnetic materials and creating powerful and compact electric motors and electric generators based on them, their characteristics exceed existing analogs.

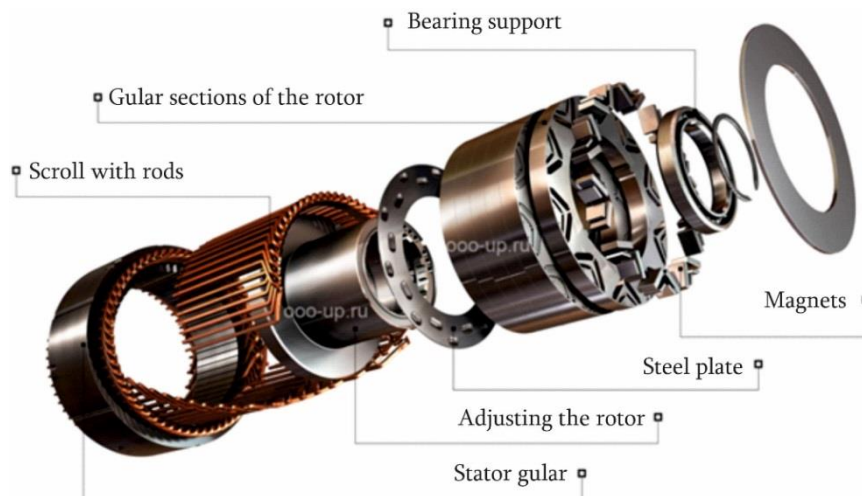


Fig. 2 Synchronous electric motor with built-in permanent magnets

Currently, the field of application of permanent magnets in technology is very wide because they represent an autonomous source of a permanent magnetic field (without the supply of electrical energy), which significantly improves the mass-size and operational characteristics of the electric motor-generator device.

There are natural and artificial permanent magnets. Natural permanent magnets are obtained from the mineral magnetite. Artificial permanent magnets are used to improve magnetic characteristics (magnetic induction B , coercive force - H_{cb} , maximum energy product - BH_{max} , maximum operating

temperature - T_{max} , Curie point - T_{cur}).

Artificial permanent magnets are made from various metals (cobalt, iron, nickel, etc.) and alloys containing rare earth metals (samarium-cobalt; neodymium-iron-boron) and they are magnetized. Magnets of this type maintain their magnetized state for a long time.

The negative side of these permanent magnets is their stiffness and sensitivity to temperature. As a result of strong heating, they completely lose their magnetic properties.

Currently, the country producing permanent magnets containing rare earth elements is mainly China.

Due to the recent significant increase in the share of electric aircraft in aviation, the demand for permanent magnets will increase further, and their cost will increase accordingly. Therefore, theoretical-experimental studies of samples of permanent magnets containing rare earth metals developed with new technologies are very important.

Magnets containing rare earth metals can be produced using different technologies (chemical, precipitation method, shock wave hot deposition method, etc.)

In this scientific work, such an actual issue related to the study of domain wall pinning of permanent magnets not containing rare earth metals is discussed using the nuclear magnetic resonance method.

Nuclear magnetic resonance (NMR) in magnets is currently a powerful microscopic method for characterizing various magnetic materials [1-4]. The spontaneous magnetization of a ferromagnet such as cobalt polarizes s-electrons, creating an effective hyperfine field (HFF) on nuclei through the Fermi contact interaction (a brief discussion of the origin of the effective field and other features of the NMR methods in magnets is given in [1]). The existence of an effective field on nuclei makes it possible to observe NMR in the absence of an external constant field, which is necessary when observing NMR in non-magnetic materials. The HFF reaches a value of the order of $10^5 - 10^6$ Oe. The typical NMR linewidth in nonmagnetic materials is about 1 Oe, while in ferromagnetic materials the linewidths range from about 10^2 Oe in iron to greater than 10^3 Oe for dilute impurities in iron. The detection of NMR in magnets is greatly facilitated by the fact that the RF field acts on the nuclei through electronic magnetization. This leads to an RF field amplification by the enhancement factor $\eta_d \sim 10^2$ within the domains and to a much stronger amplification effect in a DWs with $\eta_w \sim 10^4$. For this reason, magnetic NMR spectrometers are in some respects simpler than conventional NMR spectrometers. However, they must be tuned over a wide frequency range up to 1 GHz due to the broad NMR lines in magnets. A remarkable feature of the manifestation of NMR in magnets is that in many cases the main contribution to the intensity of resonant absorption is made by nuclei located in the DWs. Since DWs are easy to control under the action of magnetic video-pulses, their use is a convenient method for studying the features of the formation of additional echo signals arising under the action of a magnetic video-pulse (MVP) [4].

One of its advantages is the ability to provide valuable information about the properties of domain walls (DWs). The inclusion of additional magnetic video-pulses (MVPs) capable of causing a displacement of DWs makes it possible to study the pinning force (degree of pinning) and the mobility of the DWs, in particular, in cobalt nanowires used for fabrication of rare earth-free magnets [5], providing information useful for a fine tuning of their magnetic properties [6,7].

For the first time, the dynamics of DWs under the action of MVP in a single crystal of a ferrite

sample grown in the form of a frame was studied by Galt [8]. It was shown that the DW dynamics is described by a linear dependence of the DW velocity v on the amplitude of the applied MW pulse H :

$$v = S(H - H_0), (1)$$

where S is the mobility of the DW, H_0 is the pinning force (the critical field below which the DW is fixed).

In [6], the spin echo NMR technique in combination with MVP acting on a lithium–zinc ferrite sample was used to study the characteristics of DW pinning centers in lithium–zinc ferrite. In particular, in [6], the effect of a long MVP overlapping the rephasing and reading RF pulses of a two pulse echo (TPE) and stimulated echo (SE) signals, respectively, was studied, as well as the interval of their rephasing between these RF pulses and echo signals.

The suppression of echo signals occurs due to the partial loss of phase coherence of isochromats due to the change in their local fields caused by the displacement of DWs and the RF field amplification factor η under the action of MVP [9].

In [6] (Fig. 3) the dependence of the normalized TPE amplitude on the amplitude of the pulsed magnetic field is given for two values of the external magnetic field: $H_e = 0$ and $H_e = 1000$ Oe, and in [7] (Fig. 1 b) it is given its modified dependence showing that the results of [6, 7] also indicate the possibility of measuring the DW pinning force H_0 by the NMR method, which is determined by the MVP amplitude, below which the DWs are pinned.

This assumption was tested in [7] using two alternative methods for measuring the DW pinning strength: the first of them uses the action of a short MVP ~ 1 μ s long, acting in the interval between a pair of RF pulses, on a TPE signal [9]. In this case, H_0 was determined by the value of the MVP, after which the TPE signal began to decrease due to the displacement of the DWs caused by the exposure to MVP. In the second case, H_0 was determined from the amplitude of the MVP, acting from a combination with an RF pulse, leading to the formation of a signal of the so-called magnetic echo signal (ME) [10].

In this work, the methodology of [6,7,10] is used for the study of the dependence of the pinning force H_0 in cobalt on the duration of MVP τ_m and the magnitude of the external magnetic field H_e . As known [11], cobalt and lithium-zinc ferrite are very different in their NMR properties: in cobalt, the anisotropy of the HFF is an order of magnitude higher than its value for lithium ferrite. In addition, the value of the NMR amplification factor η in lithium ferrite is about 10^3 times higher than the value of amplification factor η in cobalt, which indicates a much greater mobility of DW in lithium-zinc ferrite as compared to cobalt.

We can obtain a preliminary estimate of the dependence of H_0 on the duration of MVP from Fig. 1, obtained on the basis of Fig. 2 from [9], if it is modified similarly to Fig. 1 from [7], taking into account the presence of DW pinning force H_0 .

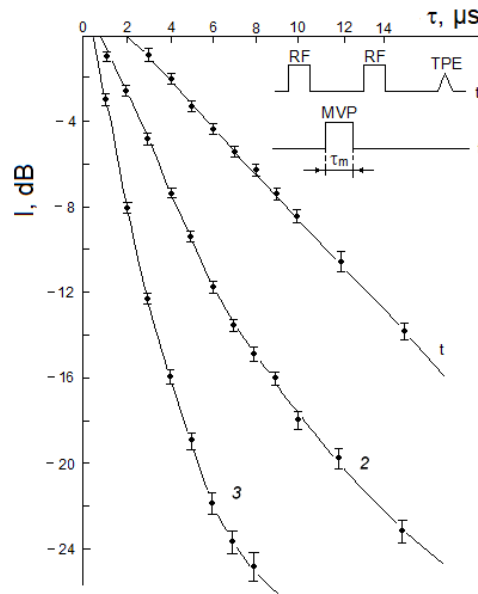


Fig. 3 Dependence of TPE (A –sites of nickel ferrite) on the duration of MVP τ_m at $H = 2$ Oe (1), 4 Oe (2), 10 Oe (3).

Fig. 1 shows the dependence of TPE (for A-sites of nickel ferrite) on the duration of MVP at $H = 2(1), 4(2), 10$ Oe (3). Analysis of the dependence of H_0 on τ_m in this figure shows that for τ_m and H_0 (representing the intersection points of dependences 1, 2 and 3 with the axis τ_m in Fig. 1), the relation $A_m = H_0 \cdot \tau_m = \text{const}$ takes place, for all H_0 , i.e. the pinning force H_0 is inversely proportional to τ_m . The value A_m , which is the area of the MVP, is constant for all threshold values of τ_m , when the TPE intensity begins to decrease due to the tear-off from the pinning centers.

We also note that earlier in [6,7,10] the dependence of H_0 on the external magnetic field H_e was not studied.

As known [6], the application of a large constant magnetic field reduces the number of DWs, and the remaining ones are distributed over pinning centers contributing to greater pinning.

The purpose of this work is to study the experimental dependence of H_0 on τ_m and H_e on the example of the effect of MVP on the TPE signal observed from ^{59}Co nuclei in the DWs of cobalt micropowder and compare them with similar results obtained for cobalt micro- and nanowires.

Experimental results and discussion

The measurements were carried out on a phase-incoherent spin echo spectrometer [12] in the frequency range of 200–400 MHz at a temperature of 293 K. In the range of 200–400 MHz, a commercial Lecher-type generator with a two-wire line, including two inductors with different numbers of turns, was used. For pulse lengths in the range from 0.1 to 50 μs , the maximum amplitude of the RF field produced on the sample was about 3.0 Oe, and the front steepness was no worse than 0.15 μs . Receiver dead time ~ 1 μs .

The scheme of the experiment on pulsed magnetic action is given in [7, 12]. The MVP was created by a gated current stabilizer of adjustable amplitude and an additional copper coil, which made it

possible to obtain magnetic field pulses of the order of 500 Oe for a sample size of ~10 mm.

Cobalt micropowders were obtained by the alloying method [13] with an average grain size of ~10 μ . Cobalt microwire samples were synthesized under the influence of an external magnetic field of 500 Oe using the electroless chemical deposition technique [5].

Commercial cobalt nanowire samples from Plasma Chem GmbH with an average diameter of 200–300 nm and a length of up to 200 μ were also studied by this method.

Characteristic parameters of RF pulses: duration - a few microseconds, a delay between them - tens of microseconds, a carrier frequency of 213 MHz at $T = 293$ K coincides with the frequency of the nuclei in the center of the DW of the face-centered cubic (fcc) phase of cobalt.

The scheme of the experiment is shown in Fig. 2.

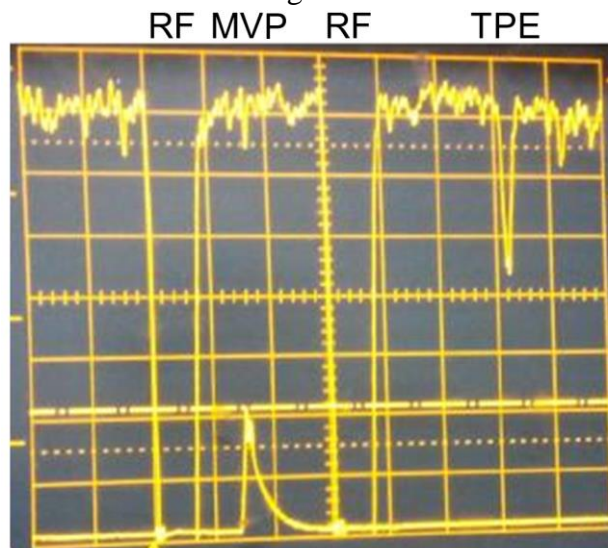


Fig. 4. Oscillogram of the TPE signal in cobalt (upper beam), the lower beam is a wave-meter signal showing the position of the RF and MVP pulse

Let us present the results of the study of the pinning force H_0 under the action of an additional MVP, depending on the duration of the MVP τ_m , on the TPE signals in cobalt micropowder, Fig. 3.

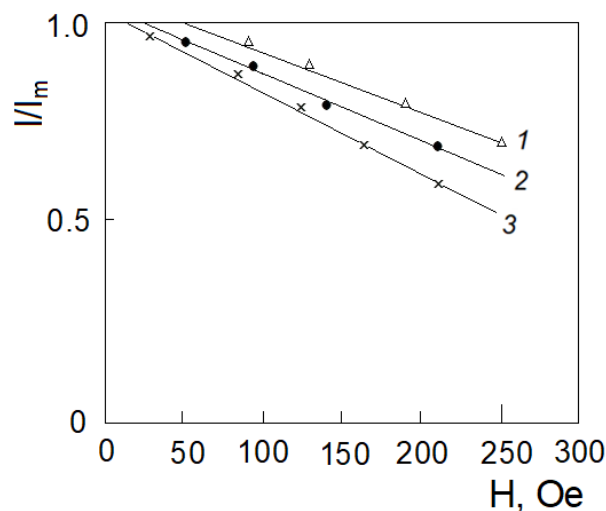


Fig. 5. Dependence of the normalized TPE intensity I/I_m on the MVP amplitude H : 1-3 at $\tau_m = 1, 2$ and $3 \mu s$, respectively.

Analysis of the obtained results in Fig. 3 shows that in the case of cobalt the relation $A_m = H_0 \cdot \tau_m = \text{const}$, also holds according to which the MVP threshold area is constant for all MVP durations. This coincides with a similar conclusion for the MVP threshold area in the case of nickel ferrite, Fig. 1.

It should be noted that for the first time such relation was established in the NMR study of the pinning force H_0 of the ME signal dependence on τ_m [10] in cobalt. A_m is the threshold area of the MVP, corresponding to the beginning of the displacement of the DW under the action of the MVP. The physical meaning of this result could be understood if one takes into account that, according to the one-dimensional DW model [14], the DW displacement x under the action of a short MVP with amplitude H and duration τ_m is determined by the relation

$$x = C \cdot H \cdot \tau_m,$$

where C is a constant characteristic of the material under study. Thus, the same displacement of the DWs corresponds to the threshold value of the MVP, and it is natural to associate it with the width of the potential well in which the DW is located in the initial state.

We also note that a similar relationship between H_e and τ_m was established in the study of permalloy films by the Kerr magneto-optical method [15].

Let us further investigate the dependence of H_0 on the magnitude of the external magnetic field H_e at a fixed MVP duration $\tau_m = 1 \mu s$.

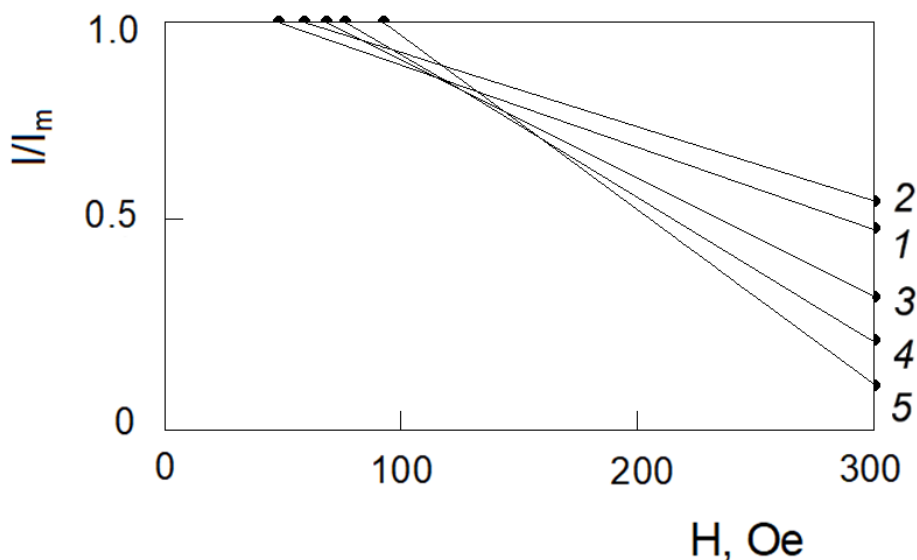


Fig. 6. Dependence of the normalized TPE amplitude I/I_m on the amplitude of the pulsed magnetic field at different (1-5) values of the external magnetic field H_e : 1-5: 0, 0.8, 1.9, 2.3, 3 kOe, respectively, at $\tau_m = 1 \mu s$.

Based on the data in Fig. 4, it is possible to construct the dependence of the pinning force H_0 on the magnitude of the external field H_e , Fig. 5.

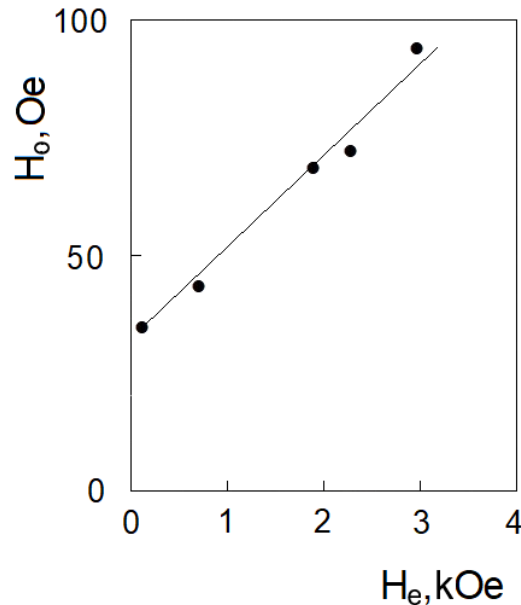


Fig. 7. Dependence of the pinning force H_0 on the magnitude of the external magnetic field H_e at $\tau_m = 1 \mu s$.

Thus, it has been established that up to external fields ~ 3 kOe, a linear dependence of H_0 on H_e is observed. This indicates that, at higher H_e , the DWs are distributed over positions corresponding to the parameters of the potential walls providing stronger pinning. We also note a feature of the data in Fig. 4, which consists in the fact that the rate of suppression of the TPE signal increases with increasing H_e , in contrast to that observed in lithium ferrite [6], which is due to the differences in the NMR properties of cobalt and lithium ferrite noted above [11].

The method of works [7,12] for the study of the effect of MVP on the two-pulse echo in samples of cobalt micro- and nanowires polarized in an external magnetic field in a paraffin matrix was used earlier in the work [5].

The results of the experiment are shown in Fig. 6 having the same character as for the micropowders studied in this work, i.e. they provide information about the pinning force and DW mobility in these samples.

Thus, it is shown in this work a possibility of studying the pinning force and mobility of DWs in micro- and nanowires using this powerful microscopic NMR method to characterize the magnetic properties of cobalt nanowires, along with the method of RF resonant magnetometry characterizing the bulk magnetic properties of samples under the study [5], Fig. 6

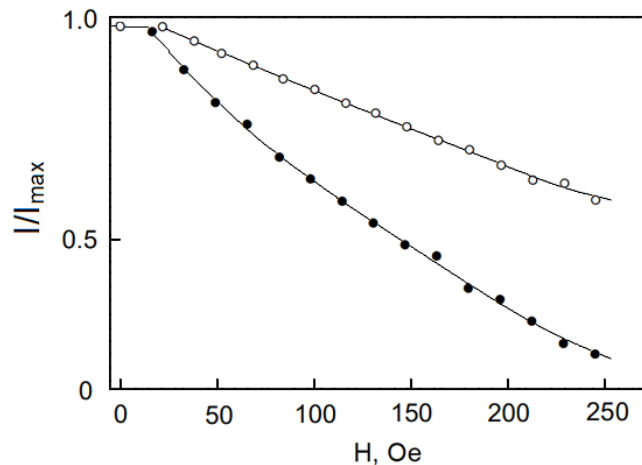


Fig. 8. MVP influence on the two-pulse echo intensity from nuclei arranged in the centers of DWs for cobalt microwires (● curve 1) and nanowires (○ curve 2), when MVP is directed in parallel to magnetic wires

Conclusion

In the present work, the pinning force of domain walls was studied by the NMR two-pulse spin-echo method in combination with an additional magnetic video-pulse in cobalt micro powders. It is shown that the pinning force is inversely proportional to the length of the magnetic video-pulse. In addition, the area of the magnetic video-pulse turned out to be constant for all threshold durations of the magnetic video-pulse.

The dependence of the pinning force H_0 on the external constant magnetic field H_e is studied. It is shown that up to ~ 3 kOe there is a linear dependence of H_0 on H_e . This indicates that as the H_e increases, the domain walls are distributed over sites corresponding to stronger pinning centers.

The comparative study of the two-pulse echo dependence on the magnetic video-pulse amplitude in cobalt micro- and nanowires was also carried out showing the opportunity to obtain microscopic information on the domain wall pinning by this method for cobalt nanowires

References:

- [1] E.A. Turov, M.P. Petrov. Nuclear magnetic resonance in ferro and antiferromagnetics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1972, 206 p.
- [2] S. Wurmehl, J.T. Kohlhepp. "Nuclear magnetic resonance studies of materials for spintronic applications", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 41, pp. 173002 (2008).
- [3] A.A. Shmyreva, V.V. Matveev, G.Y. Yurkov, "Nuclear magnetic resonance in magnetic nano-materials as an effective technique to test and/or to certificate local magnetic properties", Int. J. Nanotechnol., Vol. 13, pp. 126-135 (2016).
- [4] G. Mamniashvili, M. Zviadadze, T.O. Gegechkori, Z.G. Shermadini, "NMR spectroscopy of magnets using arbitrary number and duration radio-frequency pulses", Int. J. Trend Res. Dev. Vol. 3, pp. 434-473 (2016).
- [5] G. Mamniashvili, Z. Shermadini, G. Donadze, T. Gegechkori, T. Zedginidze, T.Petriashvili, A.Peikrishvili, B.Godibadze, A.Maisuradze, "Electroless technology for production of cobalt

- magnetic nanowires under magnetic fields for RE free magnet applications”, International Scientific Journal “Air Transport”, No. 1(14), pp. 15-28 (2020).
- [6] I.V. Pleshakov, P.S. Popov, Yu.I. Kuz'min, V.I. Dudkin, “NMR study of domain wall pinning in a magnetically ordered material”, Technical Physics Letters Vol. 42, No. 1, pp. 59-62 (2016).
- [7] T. Gavasheli T. Gegechkori, G. Mamniashvili, G. Ghvedashvili, “NMR spin echo study of domain wall pinning in lithium ferrite in combination with an additional magnetic video-pulse”, Proceedings of XXVI International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED-2021), pp. 199-202 (2021).
- [8] J.K. Galt, “Motion of individual domain walls in a nickel-iron ferrite”, Bell Syst. Tech. Vol. 33, pp. 1023-1054 (1954).
- [9] L.A. Rassvetalov, A.B. Levitski, “Influence of a pulsed magnetic field on the nuclear spin echo in some ferromagnets and ferrimagnets”, Sov. Phys. Solid State Phys. Vol. 23, No. 11. pp. 3354-3359 (1981).
- [10] A.M. Akhalkatsi, G.I. Mamniashvili, T.I. Sanadze, "The nuclear spin-echo signals under combined action of magnetic field and RF pulses”, Appl. Magn. Res. Vol. 15, No. 3-4, pp. 393-399 (1998).
- [11] G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, Ts.A. Gavasheli, “Study of the nature of the NMR signal in lithium ferrite upon exposure to a low-frequency magnetic field”, Phys. Met. Metallogr, Vol. 122, No. 9, pp. 841-846 (2021).
- [12] T.A. Gavasheli, G.I. Mamniashvili, Z.G. Shermadini, T.I. Zedginidze, T.G. Petriashvili, T.O. Gegechkori, M.V. Janjalia, “Investigation of the pinning and mobility of domain walls in cobalt micro- and nanowires by the nuclear spin echo method under the additional influence of a magnetic video pulse”, J. Magn. Magn. Mater. Vol. 500, pp. 1555310 (2020).
- [13] I.A. Kiliptari, V.I. Tsifrinovich, “Single-pulse nuclear spin echo in magnets”, Phys. Rev. B. Vol. 57, No. 18, pp. 11554-11564 (1998).
- [14] S. Konishi, K. Mizuno, F. Watanabe, K. Narita, “Domain wall displacement under pulsed magnetic field”, AIP Conference Proceedings, Vol. 34, No. 1, pp. 145-147 (1976).
- [15] D. Bartran, H. Bourne, “Domain wall velocity and interrupted pulse experiments”, IEEE Transactions on Magnetics vol. 9, No. 4, pp. 609-613, 1973.

იშვიათ მიწათა მეტალების არშემცველი მუდმივი მაგნიტების დომენური კედლების პინინგის შესწავლა ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის მეთოდის გამოყენებით

გ. მამნიაშვილი¹, გ. დონაძე¹, ტ. გეგეჭკორი¹, ც. გავაშელი², ა. მაისურაძე³, ვ. კელიხაშვილი³

¹ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი, თამარაშვილის ქუჩა. 6, 0177, თბილისი,
საქართველო

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ილია
ჭავჭავაძის გამზირი, 1, 0179, თბილისი, საქართველო

³საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი, 16, 0103, თბილისი,
საქართველო

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია მოდიფიცირებული ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის (ბმრ) ტექნიკის გამოყენების შესაძლებლობა კობალტის მიკროფხვნილებსა და ნანომავთულებში დომენური კედლის პინინგის (დაფიქსირების) შესასწავლად. კერძოდ, ინფორმაცია დომენის კედლის პინინგის შესახებ კობალტის ნანომავთულებში სასარგებლოა იშვიათ მიწათა მეტალების არშემცველი მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური თვისებების ზუსტად დასარეგულირებლად.

კობალტის მიკროფხვნილებში ბირთვული მაგნიტური რეზონანსის მეთოდით დამატებითი მაგნიტური ვიდეომპულსის ერთობლივი მოქმედებისას პირველად იქნა შესწავლილი დომენური კედლების პინინგის ძალა, რომელიც დამოკიდებულია მაგნიტური ვიდეომპულსის ხანგრძლივობასა და მუდმივი მაგნიტური ველის მნიშვნელობაზე. ასევე ჩატარდა კობალტის მიკრო და ნანომავთულებში ორიმპულსიანი ექოს მაგნიტური ვიდეომპულსის ამპლიტუდაზე დამოკიდებულების შედარებითი კვლევა.

საკვანძო სიტყვები

ბირთვული მაგნიტური რეზონანსი; მაგნიტური ვიდეომპულსი; ორიმპულსიანი ექო; იშვიათ მიწათა მეტალების არშემცველი მუდმივი მაგნიტები; დომენური კედლის მობილურობა;

Classification Electromagnetic Interference Impact of VOR, ILS, and GBAS Radio Navigation Systems Operating in the VHF Band

Ramin Kuchukhidze

Teimuraz Kortua

Georgian Aviation University 16, Queen Qetevan av., 0103, Tbilisi, Georgia

The active use of radio systems in the VHF spectrum and the overloading of this spectrum have made the presence of electromagnetic interference noticeable especially for systems in which proper operation is critically important. Radio systems equipment intended for aeronautical service groups is undoubtedly one of them (VOR, ILS, GBAS). Today, specialists' main challenge is reducing these interferences, several recommendations have been issued both by ICAO and ITU. In this study, we investigate possible causes of these errors Such as intermodulation, wireless attack, and anomalous wave propagation.

In all three regions of the radio regulation voice, radio broadcasting is VHF-band until 78.5-108 MHz and for air navigation services specifically for instrument landing systems ILS and also for GBAS are assigned 108-112 MHz these systems are under the threat to become vulnerable from superior emissions which requires prevention to reduce the interference to the minimum.

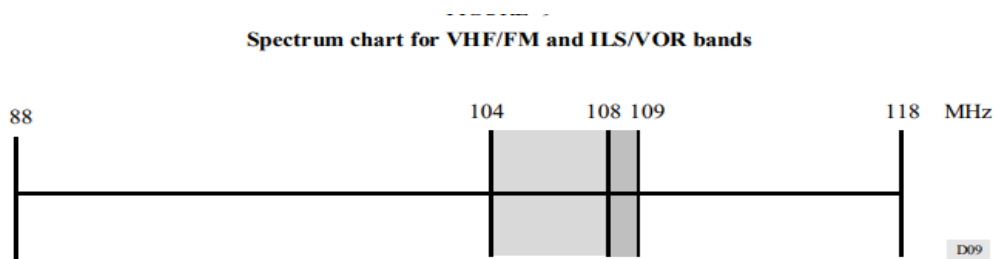


Figure 1 This photo shows the range where interference is most common in VHF spectrum

The main types of interference:

Aircraft's antennas are vulnerable to electromagnetic interference. These interferences themselves are not of one kind, but mainly interference occurs in two cases first, when the operating frequency radio bands of two systems are too close to each other that the transmitter of one system produces unwanted emissions to the other system's receiver in its broadcast frequency bands. Or, when the operating frequencies of the two systems are quite far apart but high-frequency harmonics in the transmitter spectrum may affect the other frequency band for the receiver. Also, additional electromagnetic interference can be generated from the aircraft systems themselves due to their high-performance speed. In more detail, the types of electromagnetic interference are classified as type A and type B interference.[4] These categories are classified but in practice on radio navigation systems this case is much more complicated and in many cases, it is difficult to define specific types of interference, since one particular receiver may be vulnerable to both type A and type B interference. Our research deals with this

phenomenon and examines the reasons which are: anomalous propagation, intermodulation harmonics generated from radio broadcasting transmitters or systems working on adjacent frequencies.

Above mentioned unwanted emissions type A1 interference is when one or several broadcasting transmitters can create superior emission for the aeronautical frequency band or when they can produce intermodulation components in the aeronautical band. [4] Type A2 interference happens when interference is coming from only from the broadcasting transmitters whose working frequencies are near 108 MHz and in practice has effect only on ILS localizer and VOR service. [1] Type B interference is when interference is coming from the aeronautical receivers resulting from the broadcasting transmitter of which frequencies are out of the aeronautical band. [4] Type B1 interference Intermodulation may be generated in an aeronautical receiver as a result of the receiver being driven into non-linearity by broadcasting signals outside the aeronautical band

For this type of interference to occur, at least two broadcasting signals need to be present and they must have a frequency relationship that, in a non-linear process, can produce an intermodulation product within the wanted RF channel in use by the aeronautical receiver. One of the broadcasting signals must be of sufficient amplitude to drive the receiver into regions of non-linearity but interference may then be produced even though the other signal(s) may be of significantly lower amplitude.[4]

We will carry out this research using the CAM (Common Assessment Method) CAM is a proven method for calculating all possible incompatibilities on the aeronautical systems at multiple points. This method has already been used in many similar studies, [11],[3]

Wireless attack

We consider interference attack two types, overshadow attack where the attack transmits specially crafted powerful signals level where the reference signal will be overpowered at the receiver the main reason why this attack work is the receiver is locked and the strongest signal is processed by the receiver. Figure 2 shows how is this process in the CDI

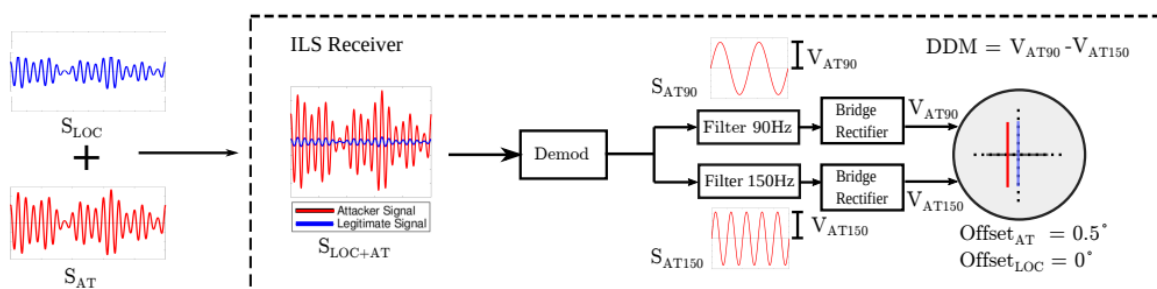


Figure 2. This photo shows how an attacker sends a false signal and how the CDI reacts

Second type is signal tone attack, where there the attack transmits only one of the sideband tones (90Hz or 150Hz) to create deflection on the CDI it does not require high-power spoofing signals. **Spoofing is Cyber-weapon attack that generates false signals to replace valid ones.**

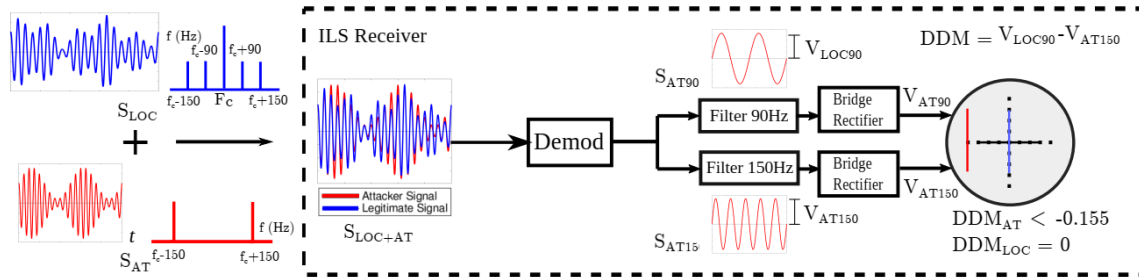


Figure 3: Schematic of the single-tone attack. Attacker constructs a DSB-SC signal without the 90 Hz component and the carrier. The blue line represents the needle position without the attack

Both methods were very dangerous. This study was conducted in a simulated environment and both attacks resulted in the aircraft missing the landing point due to the wireless interference attack. In overshadow attack the aircraft landed 18 meters away from the center line and 800 m beyond the safe touch-down zone as figure 4 shows and it is very dangerous because such a small deviation from the runway may not be detected by ATC. But the single-tone attack will more dangerous because of the power required to case CDI deflection as the attacker only transmits one of the sideband components without the carrier. [3]

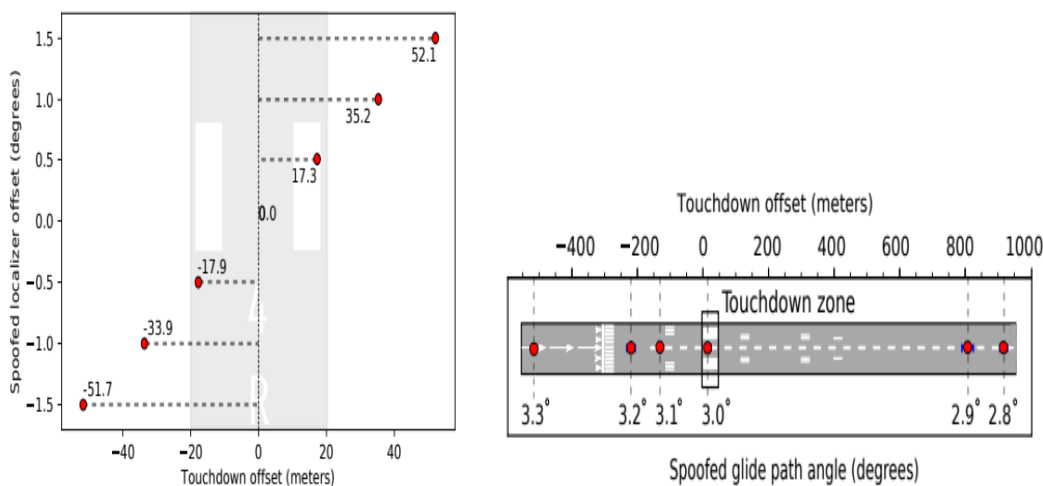


Figure 4. This photo shows the touch-down points obtained by the error resulting from the attack

Anomalous propagation VHF wave

Sporadic E propagation in the ionosphere, makes it likely that additional disruptions will occur. [] These processes are taking place mainly at the E level of the ionosphere. It has been known for a long time E layer can cause anomalous propagation for VHF frequency waves that normally can pass through the ionosphere. But during certain anomalies, it is possible to reflect the VHF waves from ionosphere, which can cause anomalous propagation and it has a negative effect on aeronautical infrastructure should be noted that this phenomenon can cause both type A and type B interferences for ILS, GBAS, and VOR. Because the wave that is reflected in specific layers of the ionosphere can be from a radio broadcasting transmitter or from any aeronautical infrastructure. And this reflected wave can spread thousands of kilometers and affect the radio navigation systems located at the airport. Figure 5 is a schematic diagram showing such anomalous propagation in the case of VOR signals. [2][6]

Due to the VHF wave properties, they are so-called Line of Sight waves (LOS). Since they are not reflected in the ionosphere, the operating distance of these waves is approximately 200 nm from the radio transmitter. However, when Es appears and the electron density at around 100 km is high enough to reflect VHF radio signals with larger incident angles, the waves can propagate beyond a certain distance. It is known that such anomalous propagation occurs in a distance of 600–2500 km from the radio transmitter, which has a potential to cause interference with normal propagation signals (Sakai et al. 2019). And distances between 200 and 600 km from the source are skip zone (Davies 1969). Continuous observations of anomalous long-range propagation of VHF radio waves due to Es allow us to evaluate the impact of Es on the aeronautical NAV systems. And also it is possible to map the 2D spatial distribution of Es, which can affect the NAV systems. [6]

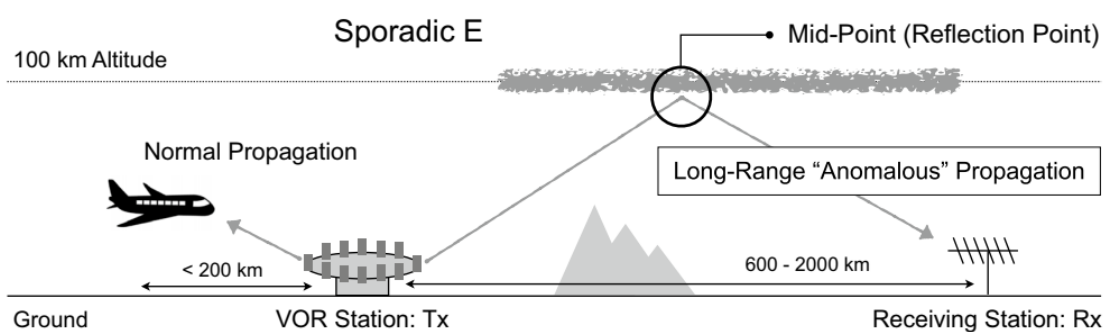


Figure 5 is a schematic diagram showing such anomalous propagation in the case of VOR signals

Intermodulation

Unwanted interference affects all systems that are placed on the aircraft, but the most vulnerable to interference are navigation systems, especially those systems that operate in the VHF range, such as ILS 108.1 - 111.95 MHz System Localizer VOR 108.00 - 117.975 Mhz and GBAS 108 to 117.975 MHz. It is also important to interfere with radio communication systems that are also

located in the VHF frequency spectrum and are the main communication between them and dispatch services. Therefore, in the area of any airport and near it, it is necessary to study the sources of interference, because superior emission on these systems may cause incorrect measurement and system failure.[11][9]

Operating in the non-linear region can create distortion in the form of harmonics and intermodulation products usually amplitude of a harmonic decrease as the harmonic order increases Intermodulation is the same but it occurs when two or more signal mix in the non-linear device, the mixing produces new signals at the sum and difference of their two frequencies [11]

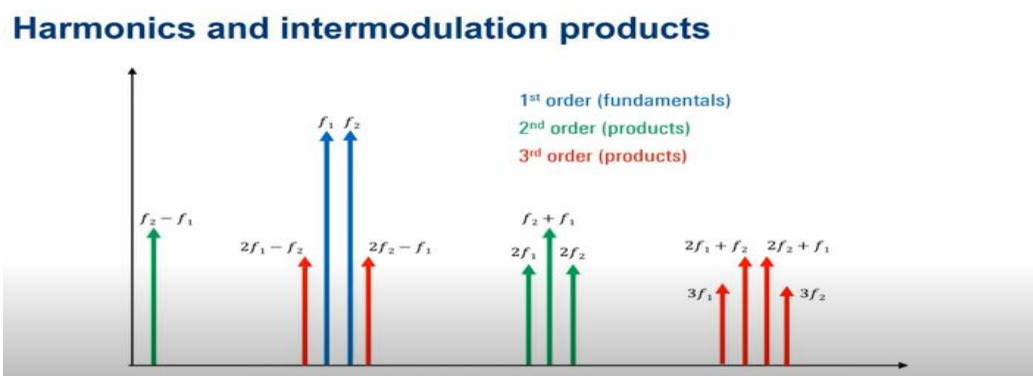


Figure 6 the form of harmonics and intermodulation products

Harmonics and intermodulation always are undesired signals that can produce leakage into adjacent channels, noise, and distortion undesired intermodulation is often referred to as intermodulation distortion (IMD) Interference can also be caused by corroded cables and other metal objects located near receivers and transmitters. Some problems are easy to deal with, for example: higher order harmonics have very low amplitudes and usually be ignored also higher frequency products often fall outside of amplifier bandwidth, filter passbands and etc. Filtering is effective to avoid this problem but it is difficult when the products are very close in frequency to the desired (fundamental) signals in this picture No $2f_1 - f_2$ and $2f_2 - f_1$ is a problem and near the fundamental signals. Besides the filtering issue, third-order intermodulation products present an additional complication. For every 1 dB increase in the fundamental signals the third order intermodulation products increase level by 3 dB so it would appear these two lines on the picture would meet at some point but in reality output power no longer increases linearly with the input power and gain lines begin to curve or flatten out as the device use into compression. [11] [10]

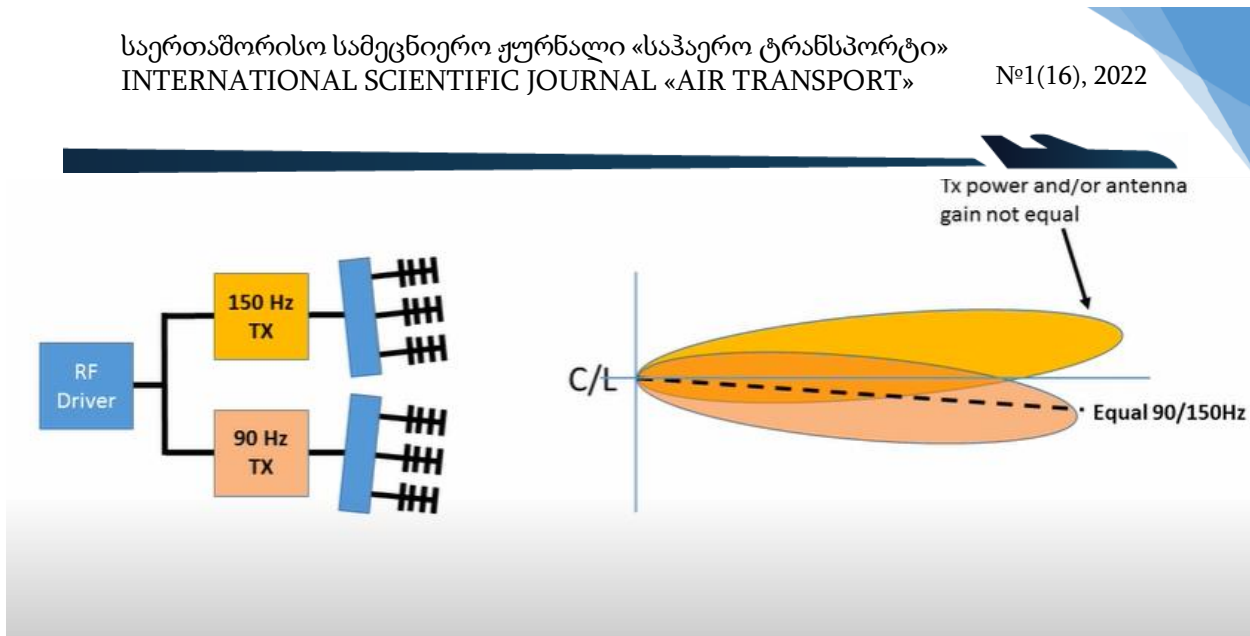


Figure 7 when localizer Tx power and /or antenna gain not equal

That is why intensive radio monitoring is crucially important. The corresponding frequency band is particularly vulnerable in the range of 104-109 MHz because this represents marginal frequencies where the frequency band starts for aeronautical services and ends the frequency band for civil radio sound broadcasting and those systems that use these frequencies especially need observations and studies.

Having these systems together increases the chance of interference, and these systems can interfere with each other. In fact, in the ICAO and FAA recommendation, it is written that in America and Europe there are interferences from the localizer and VOR to the GBAS system, this problem is naturally due to the following things Since we know that the localizer, VOR, and GBAS systems, all three systems are placed in the VHF frequency spectrum where problems mentioned above are at work.[5][7]

Conclusion

Today, when the VHF spectrum is very overflowing and most of the radio navigation systems are in this spectrum, the risks of interference are really high. That is why we should think about minimizing the risks of this interference. This very important issue is discussed in the paper above. In addition to the overloading of the spectrum, interferences may originate from certain layers of the ionosphere, so it is desirable to create observation stations. If we have information that there is a composition in the ionosphere at a particular location that is likely to cause anomalous propagation that will have an effect on radio navigation systems hundreds and thousands of kilometers away from that location, the problem will be solved if the information is available. It is also necessary to study the sources of interference in the airport area in order to minimize superior emissions to radio navigation systems.

References:

- [1] Aviation, International Civil. 2018. manual of testing radio navigational aids. Montréal: INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 166.
- [2] H. Shinagawa, T. Tsugawa., 2013. Two-dimensional simulation of ionospheric variations in the vicinity of the epicenter of the Tohoku-oki earthquake. technical report, Tokyo: SpringerOpen, 10.
- [3] Harshad Sathaye, Domien Schepers, Aanjhan Ranganathan, and Guevara Noubir. 2019. „Wireless Attacks on Aircraft Instrument System (ILS).“ USENIX 17.
- [4] ITU, radiocommunication sector of ITU. 1995. Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 Mhz. recommendation, Geneva: Rec. ITU-R SM.1009-1, 41.
- [5] J.Ely, Jay. 2005. Electromagnetic Interference to Flight Navigation and communication systems new strategies in the age of wireless. book, Hampton: NASA Langley Research Cente, 29.
- [6] Keisuke Hosokawa^{1*} Jun Sakai¹. 2020. A monitoring network for anomalous propagation of aeronautical VHF radio waves due to sporadic E in Japan. online source .
- [7] Larsen, Clifton A. Clarke William E. 1987. aircraft electromagnetic comapatibility. Springfield, VA 221 61 .
- [8] Moore, Roberto sabatini Subramanian Ramasamy Terry. 2017. „Global Navigation Satellite Systems Performance Analysis and Augmentation strategies in aviation.“ Elsevier (Elsevier) 52.
- [9] R&S. n.d. "aeronautical radio navigational measurment solution." 42.
- [10] Rohde&Schwarz, R&S f. 2019. Verify your GBAS signal with high performance. Munich: f Rohde&Schwarz, 2.
- [11] T B Iliev, I S Stoyanov, G Y Mihaylov and E P Ivanova. 2021. „Study the influence of intermodulation products on navigation.“ IOP Conference Series. Bristol: IOP Publishing. 10.

VHF დიაპაზონში მომუშავე რადიო სანავიგაციო სისტემებზე VOR, ILS, GBAS ელექტრომაგნიტური ჩარევების კლასიფიკაცია

რამინ კუჭუხიძე

თეიმურაზ ქორთუა

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი ქეთევან დედოფლის გამზ. 16-0103 თბილისი, საქართველო

დღეს, როდესაც VHF სიხშირეთა სპექტრი ძალიან გადატვირთულია და რადიო სანავიგაციო სისტემების უმეტესობა ამ სპექტრშია ჩართული, ელექტრომაგნიტური ხელშეშლების რისკი ძალიან მაღალია, სწორედ ამიტომ უნდა ვიფიქროთ ამ ხელშეშლების მინიმუმამდე შემცირებაზე. ამ ნაშრომში განხილულია ეს მნიშვნელოვანი საკითხები. სპექტრის გადატვირთვის გარდა ელექტრომაგნიტური ინტერფერენცია შეიძლება გამოწვეული იყოს იონოსფეროს გარკვეული შრეებიდან, სწორედ ამიტომ სასურველია შესაბამისი სადამკვირვებლო სადგურების შექმნა, რადგან თუ ჩვენ დროულად გვეჩვენა ინფორმაცია, რომ იონოსფეროში კონკრეტულ ადგილას არის ხელსაყრელი შემადგენლობა ტალღის ანომალური გავრცელებისთვის, რასაც გავლენა ექნება რადიო სანავიგაციო სისტემებზე, ასობით და ათასობით კილომეტრის დაშორებით, პრობლემა მოგვარებადია.

On Some Measures to Ensure Nuclear Safety During Utilization of Aircrafts and Helicopters

Robert Khachidze

Georgian Aviation University 16, Queen Qetevan av., 0103, Tbilisi, Georgia

Giorgi Nabakhtiani

LLC Nuclear and Radiation Safety Agency, 200 Tsinamdashvili St., 0112 Tbilisi, Georgia

Abstract

The Article discussing the situation for application of radioactive materials in flight appraises. They purpose for their utilization are quite different. An article describes some widely used cases focusing the attention on the requirements to be met for ensuring of nuclear safety and radiation protection. Same can be said for storing of aircraft parts containing radioactive materials. Especial attention should be paid when aircraft become exhaust and removed from the operation, when radioactive materials should be managed as radioactive waste. Another case refers to accidents involving radioactive materials requiring implementation standards for radiological emergency situation

Key words: nuclear safety, nuclear security, radioactive waste, exemption level, depleted Uranium

As it is known some types of aircrafts and helicopters have different parts containing radioactive substances. For instance, clock faces of a number of measuring equipment are covered by ^{226}Ra . All these surfaces are protected by glass to prevent direct contact with radioactive substance, but no shielding is applied for ionization radiation. The purpose of using of ^{226}Ra is its luminescence property allowing to identify the numbers on the surface even in darkness without additional lighting. At the same time radiation beam has negative influence on the health of the pilots sitting near the surface, therefore the using of sources of ionization radiation should be justified as required by international standards [1,2] and national Georgian legislation [3,4]. It means that the profit from the using of the radiation should exceed the harm. Meantime it also should be considered that radiation level for such devices are low – even in some cases the nuclide concentration meets the exemption requirements [4,5], but in many cases the exemption level is exceeded (especially for Soviet production aircrafts). When the source activity exceeds the adopted exemption level, the special regulations should be applied for using of radioactive source as defined by the Georgian legal acts. After the ending of the operation period, the clock face becomes radioactive waste, which also requires defined treatment [6-9]. The concentration of radionuclide is very low, but considering its long half-life (1600 years) of ^{226}Ra , the waste can be assessed as LLW [4,10]. Unfortunately, Georgia is still developing its capacity for radioactive waste treatment, therefore such waste should be safely stored at the

storage facility, when especial attention should be paid not only for the source shielding, but also for possible leakage of radionuclide. Another subject related to these clock faces is their inventory. Usually these parts are not marked with radiation signs, therefore strong control on their use and further treatment should be established including keeping inventory for tracing the situation with radioactive substances.

Another case for radionuclides application in flight apparatuses is freezing control devices using for measuring of ice thickness on the surface of the flight apparatus. Many former soviet construction aircraft, like AN-24/26 has freezing control device ПИО-3 containing radionuclide $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (with initial activity is 999 GBq) (Fig.1).



Fig.1 general view of ice thickness control device

The half-life of the parent radionuclide ^{90}Sr is 29 years. The nuclide by beta decay transforms to ^{90}Y , which also characterized by beta decay (half-life 64 hours). It should be emphasized that radionuclide has only “pure” beta decay and produces gamma rays only due to braking radiation, which makes impossible to assess the nuclide activity or even identify it by gamma spectroscopy. Although the source belongs to the fourth category (its activity is near the border of the third activity group) [11], its improper utilization can cause the serious damage to human health. Such type control devices are also used on МИ-2 and МИ-8 helicopter. The principle used in the devices is very simple – beta flux is absorbed by generated layer of ice. The absorption depends on the thickness of ice. This phenomena allows to use such control device for effective measurement of ice thickness on the surface of the aircraft.

Especially attention should be paid not only to ensuring of safety during the operation of the device, but also to ensuring of safety during the storing of spare parts. Usually on the territory of airports


the special ware houses are arranged to store all necessary parts for aircraft. The storing of freezing control devices containing of radioactive sources requires especial attention and measures such as establishing of control and supervise areas, providing of radiological monitoring of workplace and individual doses, applying of experienced personnel and establishing all necessary measures for radiation protection as considered by issuing authorization.. Another issue is nuclear security, which measure should apply for warehouse (storage), where radioactive sources are kept [12]. It is very important to prevent any intrusion and illegal using of radioactive sources, including terroristic purposes (for instance such as production of s.c. dirty bombs). Another case of using of radioactive materials in flight apparatuses refers to the depleted Uranium (DU). Usually DU contains very low concentration of ^{235}U (less than 0.719%), which prevents its using as a nuclear material. At the same time Uranium is characterized with high density (the density of Uranium is two times beiger than density of lead). Uranium is used in the aircrafts especially for this purpose. For instance, Boeing- 747 contains DU with weight of 1 500 kg used to keep the balance. It should be emphasized, that DU is widely used also different areas of human activity. For instance DU is used as shielding material for high power radioactive sources in radiotherapy and as part of projectiles and rockets in weapon industry. It should be considered that radiation level of DU is quiet low and could not cause serious damage to human health, but at the same time in case of dispersion of DU and consequence inhalation, DU could provoke serious harm to human health.

Conclusion

1. Utilization of radioactive substance in flight apparatuses requires implementation of some measure to ensure nuclear safety and radiation protection. Especial measure also should be applied for storing of spare parts containing of radioactive substances.
2. After removing from the operation of the flight aperture using the radioactive substance a, the special activity should be conducted to dismantle the device containing radioactive substances and managing it as radioactive waste
3. If aircraft uses radioactive material, in case of accident (especial aircraft crash), response on the accident and mitigation of its consequences should be conducted considering requirements for response on nuclear emergency or radiological accident.

References:

- [1] Fundamental Safety Principles (SF-1)// IAEA Safety Standards, Vienna 2006
- [2] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards// IAEA General Safety Requirements Part. 3 (GSR part.3), Vienna 2014
- [3] Georgian Law On Nuclear and Radiation Safety

- 
-
- [4] Georgian Technical Regulation No.450 Radiation Safety Norms and Basic Requirements Related to Handling of Ionizing Radiation
 - [5] Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance// IAEA Safety Guide RS-G-1.7, Vienna 2004
 - [6] Predisposal Management of Radioactive Waste// IAEA General Safety Requirements Part. 5 (GSR part.5), Vienna 2009
 - [7] Disposal of R// IAEA General Safety Requirements Part. 3 (GSR part.3), Vienna 2014
 - [8] Georgian Law On Radioactive Waste
 - [9] Georgian Technical Regulation No. 189 On Rules for handling with Radioactive Waste
 - [10] Classification of Radioactive Waste// IAEA Safety Guide GSG-1, Vienna 2009
 - [11] Georgian Technical Regulation No.689 Categorization of Sources of Ionizing Radiation, creation and maintenance of registry of authorization, sources of ionization radiation and radioactive waste
 - [12] Decree 26 of Minister of Environment Protection ON Physical Security of Nuclear and Radiation Facilities, Radioactive Sources, Radioactive Waste and Other Sources of Ionizing Radiation.

**რადიაციული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ღონისძიებები თვითმფრინავებისა და
შვეულმფრენების პოსტექსპლუატაციის პერიოდში**

რობერტ ხაჩიძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი ქეთევან დედოფლის გამზ. 16-0103 თბილისი,
საქართველო

გიორგი ნაბახტიანი

სსიპ ბირთვული და რადიაციული უსაფრთხოების სააგენტო, 0112, წინამძღვრიშვილის ქ. 200,
თბილისი, საქართველო

ანოტაცია. სტატიაში განხილულია რადიაციული საფრთხეები, რომლებიც შესაძლოა წარმოიშვას თვითმფრინავებსა და შვეულმფრენებში დამონტაჟებული რადიოაქტიური ნითიერებების შემცველ ნაკეთობებზე არასანქცირებული მოპყრობის გამო საფრენი აპარატების პოსტექსპლუატაციის პერიოდში, წარმოდგენილია რეკომენდაციები და ღონისძიებები ამ საფრთხეების თავიდან ასაცილებლად.

საკვანძო სიტყვები: ბირთვული უსაფრთხოება, რადიოაქტიური ნარჩენები, გასუფთავების დონე, გადარიბებული ურანი.

Impact of Russia-Ukraine conflict on global economy

Ana Kurtanidze

Georgian Aviation University, Georgian Aviation University 16, 0103, Queen Qetevan av.,
Tbilisi, Georgia

Maia Chinchladze

Georgian Technical University, 77, Kostava Str., 0160, Tbilisi, Georgia

Irakli Bakradze

Georgian Civil Aviation Agency, Beginning I, 0114 Kheivani III St, Tbilisi, Georgia

Abstract

In March 2022, the Versailles declaration was developed, within the framework of which the leaders of the 27 EU countries agreed to gradually overcome the EU's dependence on Russian fossil resources as soon as possible. At the European Council, measures were set to reduce the impact of high prices on energy resources and ensure supply of energy resources.

Also, on June 23-24 2022, EU leaders discussed the causes of rising energy prices. Ways of containment of energy prices were outlined, the possibility of introducing a temporary price limit was discussed. In 2022, on July 26, EU energy ministers reached a political agreement on a voluntary reduction in demand for natural gas by 15% this winter.

On August 5, 2022, the council adopted a regulation on reducing gas demand by 15% by written procedure.

Russia is also responsible for the global food crisis.

The actual problem is the supply of fuel and the increase of fuel prices, as well as logistical challenges associated with border crossings and airspace restrictions. In addition, the import of goods and the large flow of Ukrainian refugees to the EU countries caused some difficulties.

Keywords: economy, economic crisis, import of goods, rising prices, inflation, escalation of the conflict.

Introduction

The Russia-Ukraine conflict has caused turmoil in financial markets and sharply increased uncertainty of the recovery of the global economy. The world has changed, as well as risks.

High prices for commodities heighten the threat of long-term high inflation, which increases the risks of stagflation and social mess.

Russia ranks 3rd in the world by oil production. Natural gas production is on the 2nd place and is 5th top producer of steel, nickel and aluminum. It is also the largest exporter of grain in the world (almost 20% of global trade). Ukraine, on the other hand, is the producer of corn (6th), grain (7th), sunflower (1st) and is in the top ten in terms of sugar beet, barley, soy and rapeseed production.

Since the beginning of the war, prices of oil, natural gas, metals and food products have risen in financial markets in whole world. After the latest features, the price of oil for the first time since 2014 has gone beyond \$ 100 per barrel, while the European gas price on March 4 increased to a record - 192 euros.

Despite the global challenges and the risks arising from the war in Ukraine, Georgia's strategic location and the new perspective of the middle corridor, combined with high economic growth and irreversible stabilization, make the country a kind of gateway for investors seeking to secure supply chains between Europe and Asia.

An important detail is the optimistic attitude towards the medium and long - term prospects of the country's economy, according to official data, 70% of investors interested in Georgia are optimistic about the economy, which is significantly higher than the global average - 55%. This indicator shows that decision-makers give even higher assessments of the country's investment opportunities.

According to the same study, 57% of global investors allocate an average of more than \$ 50 million for each investment project. This figure is higher for investors interested in Georgia - 23% of them consider USD 100-200 million for a separate project.

Main part

The escalation of the conflict increases the probability that commodity prices will remain high for much longer.

The crisis is clearly having a strong impact on the already strained automotive sector due to various shortages and high prices for goods and raw materials: metals, semiconductors, cobalt, lithium, magnesium... Ukrainian automobile factories supply major automakers to Western Europe: the war led to the suspension of factories in Europe. Many factories around the world are already experiencing a shortage of raw materials. Herewith a large Ukrainian aviation engine manufacturer company "Motor Sich" has signed an agreement with the Turkish UAV manufacturer company "Baykar". Based on it, the UAV equipped with Ukrainian engines would have been able to stay in the air continuously for 24 hours, but due to the conflict, the implementation of this project has been postponed at this stage.

Airlines and shipping companies will also be affected by high fuel prices, with airlines most at risk. Fuel accounts for a third of their total costs. The air transport industry is a vital engine of global socio-economic growth and catalyst for economic development. The industry creates direct and indirect employment and supports tourism and local businesses as well, thereby stimulating foreign investment and international trade as well. ICAO's aviation data/Statistics program provides accurate, reliable and consistent aviation data, and states, international organizations, the aviation industry, tourism and other stakeholders should be able to:

- Making accurate predictions;
- Control of costs and risks;
- Improvement of business quality;
- ensuring the fulfillment of plans.

European countries, the US and Canada have banned Russian airlines from accessing their territories, and Russia has also banned European and Canadian aircraft from entering its airspace. This has led to higher costs as airlines take longer routes. Transportation of railway freight is also affected: European companies are prohibited from doing business with Russian Railways, which hinders freight activity between Asia and Europe through Russia.

North America's trade and financial ties with Russia and Ukraine are rather limited, the impact of the conflict is less felt. Despite slowing economic growth and the prospect of higher inflation, it is not expected that the Russian-Ukrainian war will hamper monetary policy in North America at this stage. Russia became opposite by the Western countries, which produces more than 40% of the gross domestic product of the world economy, actually determines the world order, and until now Russia's regional success was only the result of total ignorance by the west rather than the desire to restore the Russian neo-Empire.

Openly supported by the West, both financially and militarily, we are getting Ukraine as a sharply anti-Russian European state, which can become even a new face of Europe in the near future.

Conclusion

The depth of the impact on the global economy depends on how long the war will last and the extent of destruction caused by it. Russia's unjustified and motiveless war against Ukraine has greatly affected the energy and food markets. Shortage of raw materials and increased transportation costs greatly affect production. EU countries are actively working to regulate rising prices and to deal with shortage of supplies. In particular, these directions are:

- Energy prices and supply security;
- Food markets;
- Mobility of people and goods;
- Energy prices and security of supply;
- Further diversification of energy supply sources and routes;
- Accelerating the spread of renewable energy;
- Further improvement of energy efficiency;
- Improving the interconnections of gas and electric networks;
- Strengthening the sustainability of the transport sector;

References:

- [1] <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-response-ukraine-invasion/impact-of-russia-s-invasion-of-ukraine-on-the-markets-eu-response/>
- [2] <https://www.coface.com/News-Publications/News/Economic-consequences-of-the-Russia-Ukraine-conflict-Stagflation-ahead>

რუსეთ-უკრაინის კონფლიქტის გავლენა გლობალურ ეკონომიკაზე

ანა კურტანიძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზ. 16, 0103, თბილისი,
საქართველო

მაია ჩინჭლაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კოსტავას ქ. 77, 0160, თბილისი, საქართველო

ირაკლი ბაქრაძე

საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის სააგენტო, I დასაწყისი, ხეივანის III ქ. 0114, თბილისი,
საქართველო

ანოტაცია

2022 წლის მარტში შემუშავდა ვერსალის დეკლარაცია, რომლის ფარგლებშიც ევროკავშირის 27 ქვეყნის ლიდერები შეთანხმდნენ, რომ რაც შეიძლება მალე ეტაპობრივად დაძლიონ ევროკავშირის დამოკიდებულება რუსეთის წიაღისეულ რესურსებზე. ევროპის საბჭოზე დაინიშნა ზომები ენერგორესურსებზე მაღალი ფასების ზემოქმედების შესამცირებლად და ენერგორესურსების მიწოდების უზრუნველსაყოფად.

ასევე, 2022 წლის 23-24 ივნისს, ევროკავშირის ლიდერებმა განიხილეს ენერჯის ფასების ზრდის მიზეზები. გამოიკვეთა ენერგორესურსების ფასების ზრდის შეკავების გზები, განიხილეს ფასის დროებითი ლიმიტის შემოღების შესაძლებლობა. 2022 წელს, 26 ივლისს, ევროკავშირის ენერჯეტიკის მინისტრებმა მიაღწიეს პოლიტიკურ შეთანხმებას ბუნებრივ აირზე მოთხოვნის ნებაყოფლობით შემცირებაზე 2022 წლის ზამთარში 15%-ით.

2022 წლის 5 აგვისტოს საბჭომ მიიღო დებულება წერილობითი წესით ბუნებრივი აირის მოთხოვნის 15%-ით შემცირების შესახებ.

რუსეთი ასევე პასუხისმგებელია გლობალურ სასურსათო კრიზისზე.

აქტუალური პრობლემაა საწვავის მიწოდება და საწვავის ფასების ზრდა, ასევე ლოგისტიკური გამოწვევები, რომლებიც დაკავშირებულია საზღვრის გადაკვეთასთან და საჰაერო სივრცის შეზღუდვასთან. გარდა ამისა, გარკვეული სირთულეები გამოიწვია საქონლის იმპორტმა და უკრაინელი ლტოლვილების დიდმა ნაკადმა ევროკავშირის ქვეყნებში.

საკვანძო სიტყვები: ეკონომიკა, ეკონომიკური კრიზისი, საქონლის იმპორტი, ფასების ზრდა, ინფლაცია, კონფლიქტის ესკალაცია.

Ways of measuring the number of foreign particles in the gas turbine engine air intake

Robert Khachidze, Andro Maisuradze, Vazha Kelikhashvili,

Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedopli Ave., Tbilisi, 0103, Georgia

Resume

The article analyzes the problems of creating a device for measuring the physical and geometric parameters of foreign particles in the air intake device of aircraft gas turbine engines and suggests possible solutions based on various physical principles.

The flow in the air intake, which contains solid bodies together with the air, is considered as the two-phase flow in the pipe (gas / solid bodies) and the appropriate method is selected to measure the solid phase parameters in the flow under the above conditions. The measures required to establish a device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake equipment of aircraft gas turbine engines.

Keywords: Gas turbine engines, air intake equipment, two-phase flow, measuring device, concentration of heavy and light components in the flow.

Introduction

As it is known, a certain number of aircraft air turbine engines are removed from the aircraft before the warranty period is exhausted, the main reason being damage to the compressor, combustion chamber and air turbine and other parts of the engine as a result of objects falling into the engine air intake device. External items may include: small particles of dust or sand of various sizes, pebbles, runway and pavement concrete products, ice fragments, surface cleaning machine brush wires, etc.

Atmospheric air pollution with dust occurs as a result of the movement of air masses both horizontally (wind) and vertically (ascending currents).

As the flight altitude increases, the concentration of dust in the air decreases. The average value of dust concentration in the air is: 1 mg / m³ above the sea, 3 mg / m³ above the mountains, 5 mg / m³ above the large industrial cities, 10 mg / m³ above the runways.

The maximum concentration of dust is observed in the lower zone of the bearing screw rotor of the aircraft at a distance of 15-30 m from its axis and reaches 5 g / m³ for sandy runways. During the operation of the helicopter, the concentration of dust at the altitude of 2-2.5 m decreases and does not exceed 0.5 g / m³. At this time, coarse dust particles (above 200 mg) make up about 20% of the mass and 2-3% of the mass at 2-2.5 m at height. If the distance between the helicopters on the runway is less than 50 m, then the dust from one helicopter due to the

movement of air currents significantly affects the performance of the engines of the other helicopter.

It is known that during the operation of aircraft turbine engines, they are periodically inspected in accordance with the established regulations to determine the degree of damage to its components. If it is determined that damage to the engine is dangerous for its further operation and it is impossible to repair it, then the engine is removed from the aircraft and replaced with a new one.

But if the aircraft takes off before the engine inspection time has elapsed so that the degree of engine damage was above or close to the limit, then there is a risk not only of the engine malfunctioning but also of the aircraft crashing. Therefore, it is advisable to equip the aircraft with a device that will detect dust and other solid particles as they enter the engine air intake device, also evaluate their composition and concentration, as well as their number during the flight (s) and display the data on the appropriate screen.

Using such a device, it is possible to operatively determine the degree of damage to the engine, the level of approach to the limit of the warranty resource and decide on the need for its repair, thus avoiding premature engine failure, as well as the risk of impending catastrophe.

To create a device for measuring the physical and geometrical parameters of foreign particles in the air intake equipment of aircraft gas turbine engines, the air intake in the intake manifold, which contains solid bodies together, can be considered as a two-phase flow in the tube and select the appropriate flow method in the above-mentioned flow method. As can be seen from the above data, in our case the solid phase parameters (dust concentration, particle size and density, velocity, etc.) will not be uniform along the trajectory of the aircraft, as well as across the air intake device, for different flight time intervals, which complicates Determine the type and number of foreign particles in the device during the long life of the aircraft.



Fig. 1. A photo that shows how a non-uniform flow is going into the aircraft engine air intake device

In the case of any substance flow, including two-phase flow, the mass or volume of substance per unit time per tube, or flow rate - Q_m or Q_v , depends on flow parameters such as mixture composition and heterogeneity, component phase velocities (usually different from each other).) Structure and concentration of substances in each phase, etc. Often the concentration of a single phase of the mixture varies along the length of the tube, so instantaneous flow measurements will never be relevant to the actual flow. In this case, the average value of the flow in a defined time interval is used to characterize two-phase flow. The average velocities of the heavy phase (in our case solid particles) are usually less than the velocities of the light phase.

Depending on the method of measurement (mass or volume) the concentration of the substance can also be mass or volume.

The actual concentration over a section of pipe of a certain length, i.e. the share of one of the constituent components in a mixture, such as a heavy component, is its volume V (heavy comp) or mass M (heavy comp) = V (heavy comp) ρ (heavy comp) Is proportional to the total volume V (s) = V (heavy comp) + V (light comp) Or to the total mass M (s) = V (heavy comp) ρ (heavy comp) + V (light comp) ρ (ms. K). Here V (light comp) is the volume of the light component of the mixture, while ρ (heavy comp) And ρ (light comp) Are the densities of the heavy and light components of the mixture. The relationship between the concentrations of both components is expressed by the equations:

$$\varphi_v = 1 - \eta_v; \quad \varphi_m = 1 - \eta_m,$$

Where: φ_v and φ_m are the volumetric and mass concentrations of the light component, while η_v and η_m are similar concentrations of the heavy component [1, p. 622].

If we are interested in determining the total mass of the heavy components of the mixture M (heavy comp) that can be trapped in the aircraft turbine engine air intake unit before take-off, flight time T should be divided into n equal sections Δt_i , during which it will be possible by any selected method to measure the mass of heavy components in the receiving device in each i -th time M_i (heavy comp) and sum them for the entire time of engine operation:

$$M_t(\text{heavy comp}) = \sum M_i(\text{heavy comp})$$

Since the magnitude of the T_i part of the selected time is known, the mass flow rate of the heavy components Q_{im} (heavy comp) must be measured and multiplied by T_i to determine the mass of the heavy components in the receiving device at this time.

As it is known [1, p. 632], for a two-phase flow where the velocities of the heavy and light components of the flow are equal to each other, the mass flow rate of the heavy components Q_{i^m} (heavy comp) can be determined by the formula

$$Q_{i^m}(\text{heavy comp}) = k_i (\rho_i(\text{mix}) - \rho_i(\text{light comp})) Q_{i^v}(\text{mix}),$$

where $k_i = \rho_i(\text{heavy comp}) / (\rho_i(\text{heavy comp}) - \rho_i(\text{light comp}))$.

In the case when the velocities of the heavy and light components of a two-phase flow **differ significantly from each other**, then

$$Q_{i^m} = k_i (\rho_i(\text{mix}) - \rho_i(\text{light comp})) F v_i(\text{heavy comp}),$$

where F - Is the cross-sectional area of the pipe.

It follows from these equations that to determine the Q_{i^m} mass flow of a heavy component in two-phase flow, we need to know for each i -th period of time:

- A) in case of equal velocities (in case of dust the average velocities of the heavy and light components of the flow can be considered equal to each other)
- $\rho_i(\text{mix})$ - The flow density of the mixture entering in the air intake device;
- $\rho_i(\text{heavy comp})$ - Density of heavy components in the mixture stream;
- $\rho_i(\text{light comp})$ - Density of light components in the mixture stream;

- $Q_i^v(\text{mix})$ - Volumetric flow rate.

B) in case of different speeds

- $\rho_i(\text{mix})$ - The flow density of the mixture entering in the air intake device;
- $\rho_i(\text{heavy comp})$ - Density of heavy components in the stream (in most cases - dust, sand or their mixture);
- $\rho_i(\text{light comp})$ - Density of light components in the flow (in our case - air);
- $v_i(\text{heavy comp})$ - Average speed of movement of heavy components (in case of sand or other heavy particles, the average speed of their movement will be different from the average speed of air flow entering in the air intake device);
- F - The cross-sectional area of the pipe (in our case it is equal to the cross-sectional area of the air intake device).

By measuring the above values and then delivering them digitally to the appropriate computing devices, a device can be created to measure the total mass of foreign bodies in the engine air intake (see Fig. 2).

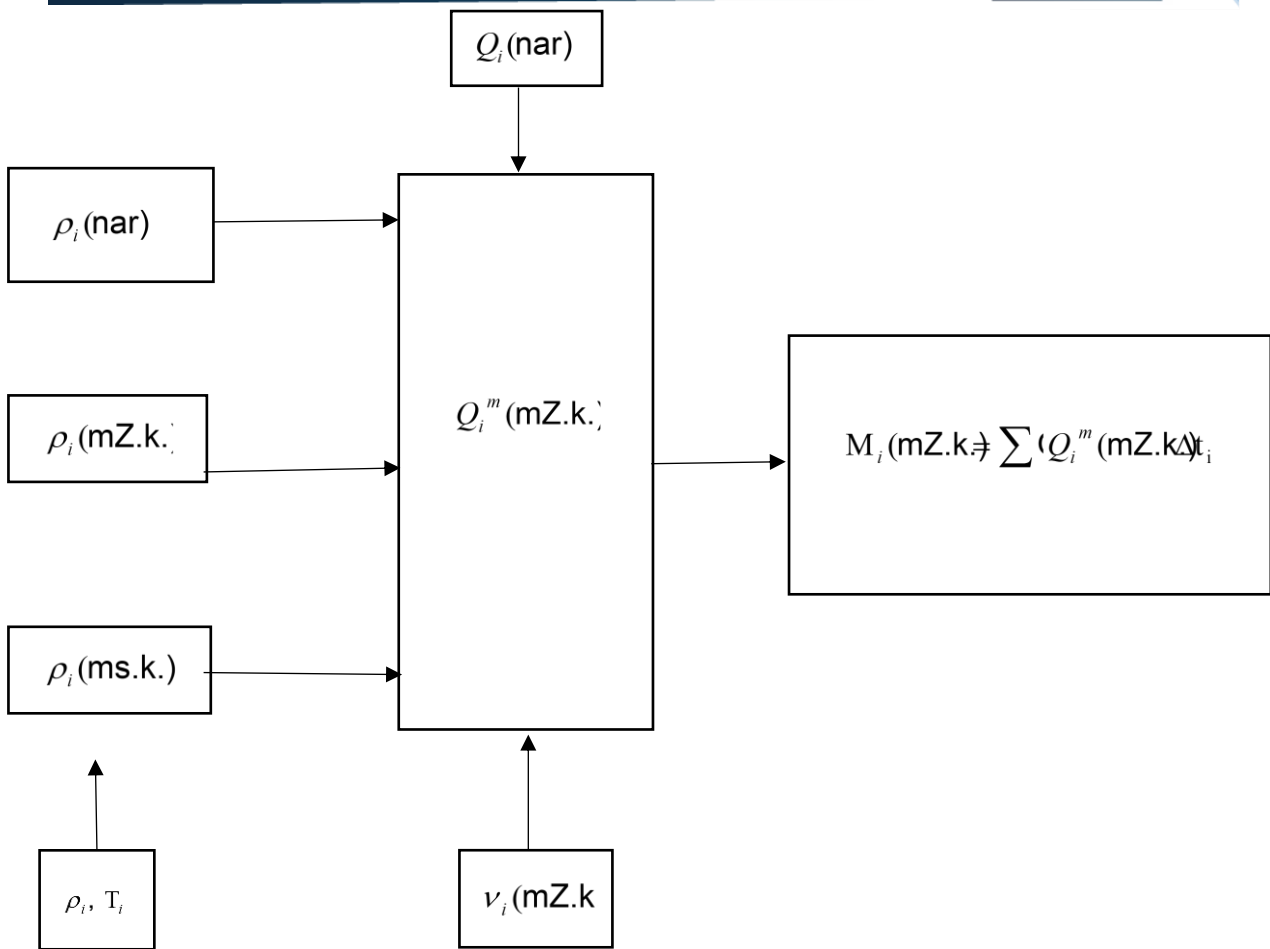


Fig. 2. The total number of masses of foreign bodies in the air intake equipment of aircraft gas turbine engines, Block diagram of the measuring device

The following problems need to be solved for the design and practical implementation of a device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake equipment of aircraft gas turbine engines:

Problem 1. Find and develop technical principles and methods and digital measuring instruments based on these methods (or modernize and use ready-made instruments if they are available) that can measure the flow of airborne equipment and its components within the above parameters. , In the conditions of dynamic processes of flight and landing.

Such necessary tools are:

- Measurements of mixture flow as well as heavy and light components in the flow;

- Volumetric flowmeter of mixture flow;
- Measure the speed of heavy components;

In addition, it is necessary to use the altimeter, the data of which must be taken into account to determine the density of the light component (or air) in the flow of the engine intake device, because the determinants of air density ρ - pressure p and temperature - T depend on altitude - h .

It is known that the change in ρ density of air according to the altitude h above sea level is expressed by the formula [3]

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{pM}{RT_0(1 - Lh/T_0)} = \frac{p_0 M}{RT_0} \left(1 - \frac{Lh}{T_0}\right)^{gM/RL-1}$$

Where p_0 is the standard atmospheric pressure at sea level, 101,325 kPa;

T_0 - The standard air temperature is 15 K°;

R - Universal gas constant, 8,314 J / mol kelv;

M - Molar mass of air, 0.0289;

g - Free fall acceleration, 9.81 m / s²;

L - Temperature gradient, 0.0065 kV /

Below is a table from the same source, showing how atmospheric temperature, pressure, and air density change with altitude (0 to 10 km).

altitude h , m	temperature T , K°	pressure p , Kpaskal	Density ρ , kg / m ³
0	288,150	101,325	1,225
250	286,525	98,876	1,196
500	284,900	95,461	1,167
750	283,276	92,635	1,139
1000	281,651	89,876	1,112
1500	278,402	84,560	1,058
2000	275,154	79,501	1,006
2500	271,906	74,692	0,957
3000	268,659	70,121	0,909
3500	265,413	65,780	0,863
4000	262,166	61,660	0,819
4500	258,921	57,752	0,777
5000	255,676	54,048	0,736
5500	252,431	50,540	0,697
6000	249,187	47,218	0,660
6500	245,943	44,074	0,624
7000	242,700	41,105	0,590
7500	239,457	38,300	0,557
8000	236,215	35,652	0,525
8500	232,974	33,154	0,496
9000	229,733	30,801	0,467
9500	226,492	28,825	0,440
10000	223,252	26,500	0,414

As can be seen from the table above, when the aircraft is flying at an altitude of 10 km above sea level, the air density can be reduced from 1,225 kg / m³ to 0.414 kg / m³, three times.

There are many physical principles and methods based on them for measuring the density of heavy and light components in a stream as well as for measuring the flow rate of the mixture and the velocity of the heavy components.

The problems posed in Task 1 can best be solved by the physical methods used in contactless and non-invasive control tools. Consider some of them.

A) Use of radioisotope gamma radiation

As is well known, the intensity of monochromatic and parallel rays of gamma radiation passing through a substance changes according to the following Lambert-Berry law.

$$I = I_0 \exp(-\mu d),$$

Where I_0 is the initial intensity of the gamma-ray flux and μ is the linear absorption coefficient, depending on the type of substance and its ρ density, is the thickness of the d -substance in which the gamma-ray passed under partial absorption.

The above principle is used, for example, to determine the dissipient characteristic of the volumetric content of gas in a two-phase flow (water-gas) $\beta = Q(\text{gas}) / (Q(\text{gas}) + Q(\text{water}))$, where

$$\beta \gamma = 1 - \ln(I(\text{gas})/I) / \ln(I(\text{gas})/I(\text{water})),$$

Where I is the intensity of the measured gamma radiation passing through the substance I , and Q is the volumetric consumption [4]. The authors of the latter designed a three-phase (gas-water-oil) flow parameters in the pipe to determine the parameters of the isotope gamma-density measurement, which used ammonium 241 ($\text{Am}241$) and cesium 137 ($\text{Cs}137$) radioisotopes.

It should be noted that the use of radioisotope gamma radiation to determine the parameters of the components in a multiphase flow in a pipe is better than others because its use does not change the dynamic and kinematic characteristics of the flow or the geometric dimensions and mechanical characteristics of the pipe. . Because of these properties, radioisotope tools are widely used for a variety of scientific research and technical tasks in a variety of industries and services, including aviation. One example of this is the radioisotope indicator RIO-3, which contains a radioisotope source - strontium 90 + yttrium 90 ($90\text{Sr} / 90\text{Y}$).

But the disadvantage of this method is that during the operation of radioisotope equipment it is necessary to strictly adhere to radiation safety measures, which primarily involves placing the radioisotope in a protective container made of high-density substances (lead, tungsten, etc.), which will inevitably increase the load. In addition, when equipping an aircraft with a radioisotope device, there is a possibility of radiation pollution in the event of an aircraft crash.

In addition, in some cases, when there are limitations on the volume and weight of the measuring instrument due to its technical requirements and operating conditions (such as aircraft constructions and weight minimization requirement when installing additional equipment), it becomes unreasonable to use this method if this requirement is not satisfied.

B) Use of ultrasound method

The flow of air in an air intake device, which is mixed with outside objects, is treated as a two-phase flow - a mixture of gas and solid phase. In practice, a similar flow of air containing solid particles takes place in pipes that transport cement, flour, fuel coal dust, and other similar substances through pneumotransport.

During the passage of acoustic oscillations in fluids, effects are generated, the parameters of which depend on the density and velocity of these substances.

At present, three methods are used to measure the flow rate in a pipe using ultrasonic oscillations.

1. A method based on the measurement of changes in the displacement characteristics of ultrasonic oscillations in the direction of flow and countercurrent. Fig. Figure 3 shows three variants of this method: temporal (when the time difference between the corresponding pulses of the ultrasonic oscillations is measured, Fig. 3a), phase (when the difference between the phases of the ultrasonic oscillations is measured, Fig. 3b) and frequency (when the frequency of the ultrasonic oscillations is measured). Difference, Fig. 3 c).

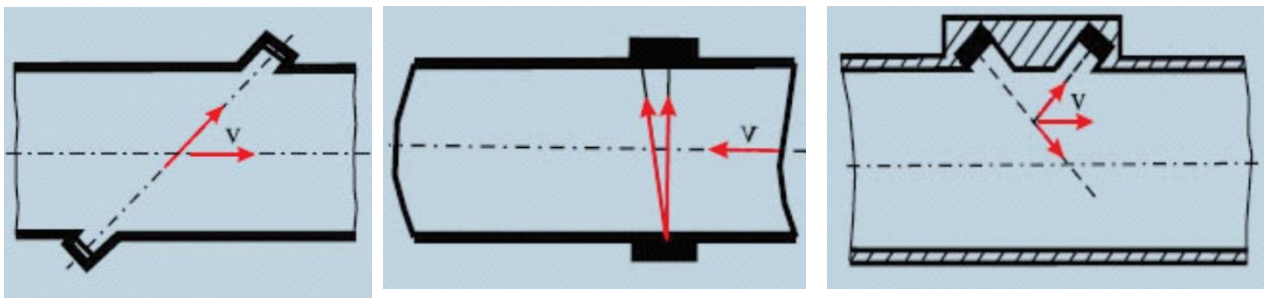


Fig. 3. Variants of the method of measuring the change in the characteristics of the movement of ultrasonic oscillations in the direction and in the flow: temporal a), phase b), frequency.

1. A method in which ultrasonic oscillations are directed perpendicular to the direction of flow and are measured from the initial state of the oscillations when the oscillations between these oscillations as they pass through the environment.

2. A method based on the Doppler effect.

Radiation and receiver elements made of piezoceramic materials are used to inject ultrasonic fluctuations into the flow, as well as to measure the parameters of the output fluctuations, the characteristics of which are of great importance for the selection to be used in the given specific conditions.

Devices based on the ultrasound method are varied according to both the primary converters as well as the measurement circuits and the conditions of use [1]. For example, high frequencies (0.1-10 MHz) are typically used to measure the flow rate of clean liquids, while in the case of contaminants, tens of kilohertz frequencies are used to prevent the scattering and absorption of acoustic oscillations by contaminants. It is essential that the wavelength be one order of magnitude greater than the diameter of the solid particles. Low frequencies are also used to measure gas flow.

Due to the variety of devices based on the ultrasound method, in this article we will not discuss the physical foundations of the construction of each type of device and the functional schemes of their operation. Let's just say that they can be used to measure the volumetric flow of airflow into an aircraft. As for the light and heavy components of the flow, as well as the total densities of the flow, their measurement will require the production of special emitting and receiving ceramic piezoelectric elements, as well as the processing of a measuring circuit.

Today, many countries around the world produce ultrasound screens for various purposes, which are used in the transportation of crude oil products by oil companies, in the transportation of various hazardous substances in chemical plants by special pipes, in the pneumatic transport of coal dust, and more. The leading manufacturers of ultrasonic density measurements and cost measurements are - ExAir Corporation, USA; Georg Fischer; Emerson et al.

C) use of radiofrequency (radar) method

The phase velocity of the radio wave propagation at the inlet of the air intake and the absorption coefficient are directly related to the composition of the propagation medium [2]. An interesting option from measuring devices is therefore the registration of objects without the radio frequency method.

The phase velocity of the radio wave propagation at the inlet of the air intake and the absorption coefficient are directly related to the composition of the propagation medium. In particular, the initial amplitude of a wave decreases with distance r by the following regularity:

$$A = \frac{A_0}{r} e^{-\frac{\omega \chi r}{c}}$$

Where χ is the absorption rate and is calculated as follows:

$$\chi = \sqrt{\frac{1}{2} \varepsilon (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} - 1)}$$

ω - Is the angular frequency of the radio wave, c is the speed of light, $\operatorname{tg} \delta$ is the tangency of the loss angle, ε is the electrical constant.

The phase of the radiated electromagnetic wave changes with the following regularity:

$$\psi = \omega t - \frac{\omega n r}{c}$$

Where n is the refractive index:

$$n = \sqrt{\frac{1}{2} \varepsilon (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} + 1)}$$

In our case we must assume that the propagation environment is of a dielectric nature and at this time $\operatorname{tg} \delta \ll 1$. The values of $\operatorname{tg} \delta$ and ε depend on the frequency of the radiation, the temperature and the structure of the environment. These values should be determined experimentally. In this

case, typical samples such as dust and sand particles, runway decay products, water and ice particles, etc. should be used as an environment.

Knowledge of the frequency dependence of the parameters of external particles allows to determine their composition by radiation of several frequencies. Dimensions of objects can be determined using high-frequency range radar methods:

- ✓ The development of modern technology has made it possible to utilize high-frequency radio frequencies (20-120 GHz) that were difficult to use in the past. We consider it expedient to use the technologies of radar systems in this range to solve the posed problem.

Using this method it will be possible to determine the composition of substances, for example: rain, fog, ice debris, sand, volcanic ash, salts, etc. Since each type of molecule has specific absorption frequencies in the specified radio frequency range. Substances will be classified according to the absorbed frequencies. And the amount of energy absorbed determines mass and volume. Because the wavelength of the radiation is in the micrometer range, this allows the geometric dimensions of the particles to be measured.

D) Optical (laser) method

One of the most interesting options for creating a device for recording objects and measuring parameters in the air intake without an air intake is the use of an optical method, in which information is transmitted using fiber-optic means.

With the optical-fiber method it is possible to "see" the objects of observation, as well as to transmit the relevant information with reliable accuracy to the device for receiving and processing information. If the gas stream contains small particles with two beams of laser pointing at it. When the particle passes the first laser beam, it is scattered and hits the photodetector, which generates the corresponding electro-pulse signal. When the same particle passes through a second laser beam, it is also scattered and hits the photodetector, which generates a second electropulse signal. If we measure the time interval T between these two signals and know the current F through the distance and the distance L between the sources of the first and second laser beams, we can calculate both the flow velocity v and the volumetric flow Q_v with the classical formulas

$$v = L / T, \quad Q_v = v * F.$$

Laser flowmeters measure the velocity of a moving and flowing particle, which does not depend on the physical properties of the particle or the gas composition and composition. Therefore, laser measurement technology provides more accurate data than other methods when they cannot be used or are measured with large errors (at high temperatures, pressure and humidity, or during vibration and acoustic noise. Laser flowmeters can measure flow velocities of 0.1 m / s). From 100 m / s.

In addition to the methods discussed above, there are many other methods on the basis of which density and cost measurements of different types and purposes are created [1]. Most of them can be used in their current form or it is impossible or inappropriate to solve the problems posed in the article.

Problem 2. Find and determine the space and locations required for the placement and installation of experimental samples of measuring instruments in the air intake equipment of air turbine engines so as not to alter the aerodynamic characteristics of the aircraft.

In our opinion this can be solved by adding a pipe or other structural element of the same diameter to the inlet of the air intake device, on which it will be possible to further install the measuring instruments (see Fig. 4). The dimensions of the additional tube or other structural element shall be determined on the one hand by the technical conditions necessary for the installation of the handled equipment and on the other hand limited by the principle of inadmissibility of deterioration of the aerodynamic characteristics of the aircraft.

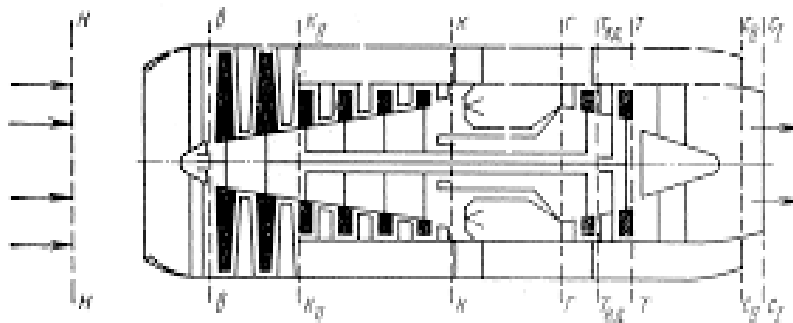
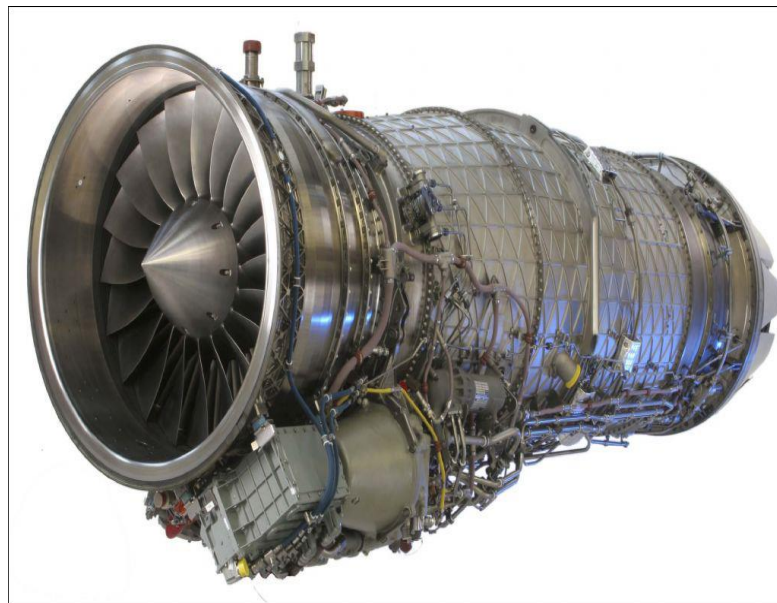


Fig. 4 Aircraft engine air intakes for one type of aircraft

As shown in Figs. Figure 4 shows that there is some space in the air intake device from its start to the fan where specially designed or existing devices can be arranged so that their placement does not alter the aerodynamic characteristics of the engine. As much as possible to install them, these are technical problems that will be solved taking into account the design features of a particular device.

Problem 3. To process the electronic circuit of the device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake device of aircraft turbine engines and to connect and supply the devices for measuring the flow and parameters of its components in the air intake device.

The practical implementation of the block diagram presented in Fig. 2 of the total number of masses of foreign bodies in the air intake equipment of aircraft turbine engines is a problem in the sense that each element of the processed measuring device must ensure their reliable operation in the aircraft. In the range of air temperature and humidity during operation of the equipment, it must withstand mechanical overloads and noise during flight, etc.

Conclusion

To create a device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake equipment of aircraft turbine engines, it is necessary to:

1. Selection of methods for automatically measuring the flow characteristics of the air entering the air intake device and the accompanying foreign particles, such as average flow density and velocity or volume flow, as well as the densities of the light and heavy components;
2. Processing of individual measuring instruments (velocity or volumetric flowmeters, flow and its heavy and light component densities) included in the total number of foreign body mass measuring devices included in the engine air intake device and receiving-processing units;
3. Development of a general electronic circuit of the device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake device of engines;
4. Processing of design and installation documentation to accommodate the device for measuring the total number of masses of foreign bodies in the air intake device, taking into account the design and technical capacity of the air intake device of each type of engine.

References:

- [1] Кремлевский П. П. , Расходомеры и счетчики количества, Справочник, Лю отд-ниеб 1989, ISBN 5-217-00412-6];

[2] “Analysis of foreign objects ingress into aircraft gas turbine engines and methods of their recording”, A. Maisuradze, G. Mushkudiani, D. Metreveli, G. Gedaminski, International Scientific Journal “Air Transport”, #1, 2019)

[3] hmgong.ru/wiki/Air_density

[4] Двухизотопный спектрометрический плотномер для диагностики трехфазных потоков нефть-вода-газ. Б. Н. Свешников, С. Н. Смирнов, А. Ю. Филиппов, Ю. П. Филиппов, ЭЧАЯ, 2021, Т. 18, N1

**საფრენი აპარატების აირტურბინულ ძრავების ჰაერმიმღებ მოწყობილობაში
მოხვედრილი უცხო ნაწილაკების რაოდენობის გაზომვის გზები და საშუალებები**

რობერტ ხაჩიძე, ანდრო მაისურაძე, ვაჟა კელიხაშვილი,

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103,
საქართველო

ანოტაცია

სტატიაში განალიზებულია საფრენი აპარატების აირტურბინულ ძრავების ჰაერმიმღებ მოწყობილობაში მოხვედრილი უცხო ნაწილაკების ფიზიკური და გეომეტრიული პარამეტრების ფრენის რეჟიმში გამზომი მოწყობილობის შექმნის პრობლემები და შემოთავაზებულია მისი გადაჭრის შესაძლო გზები, დამყარებული სხვადასხვა ფიზიკურ პრინციპებზე.

ჰაერმიმღებში შემავალი ნაკადი, რომელიც ჰაერთან ერთად შეიცავს მყარ სხეულებს, განხილულია როგორც მილში გამავალი ორფაზიანი ნაკადი (აირი/მყარი სხეულები) და შერჩეულია შესაბამისი მეთოდიკა ნაკადში მყარი ფაზის პარამეტრების გასაზომად ზემოთ აღნიშნულ პირობებში. დასახულია ღონისძიებები, რომლებიც საჭიროა საფრენი აპარატების აირტურბინულ ძრავების ჰაერმიმღებ მოწყობილობაში მოხვედრილი უცხო სხეულების მასების ჯამურ რაოდენობის გამზომი მოწყობილობის შესაქმნისათვის.

საკვანძო სიტყვები: აირტურბინული ძრავები, ჰაერმიმღები მოწყობილობა, ორფაზიანი ნაკადი, გამზომი მოწყობილობა, ნაკადში შემავალი მძიმე და მსუბუქი კომპონენტების კონცენტრაცია.

Quantitative assessment of aviation emissions for international airport zones in Georgia

Robert Khachidze, Kartlos Chokheli, Avtandil Svianadze

Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedofali avenue, Tbilisi, 0103, Georgia

Abstract

This article discusses the ICAO-recommended method for determining the amount of pollutants emitted from the engines of civil aircraft aircraft and calculates the levels of carbon monoxide (CO/CO₂), unburned hydrocarbon (C_nH_m) and nitrogen oxides (NO_x/NO₂) emissions for international airport zones in Georgia, which will be emitted during 2022 summer flight schedule. Our research addresses the necessity of investigating and assessing the ecological hazards in the airport zones caused by the pollutants emitted from the engines.

Keywords: Air emissions, air pollution, mass of pollutants, airport area, standard take-off cycle, aircraft engine operating mode, exhaust gases, emission index.

During the movement of aircraft both on the territory of the aerodrome, as well as during their take-off and landing - the so-called During the take-off (landing) cycle (ADC), as well as in the horizontal movement at the last altitude in the air, air pollutants are released from the engines, which according to the requirements of the International Civil Aviation Organization (ICAO) are grouped as follows: Carbon oxides - CO/CO₂, Unburned hydrocarbons - C_nH_m, Nitrogen oxides - NO_x/NO₂ and airborne solid particles in the form of smoke- SN.

Each of the above substances, individually and collectively, has a negative impact on both the environment and climate. Carbon dioxide (CO₂) is the most viable (about 100 years), interferes with the lower layers of the atmosphere and accumulates there, which helps to increase the greenhouse effect. Carbon dioxide CO is produced due to incomplete combustion of fuel. It is poisonous to humans and warm-blooded animals when it enters their body through the respiratory tract. It plays a role in the formation of ozone in the troposphere. Nitrogen oxides (NO_x/NO₂) in the exhaust of the aircraft engine are also one of the most harmful substances. They negatively affect humans (respiratory organs) as well as vegetation and the ecosystem in general. Solid weighted particles SN, which are emitted directly from the engine or after secondary processes, form a complex mixture of particles containing various substances (heavy metals, sulfates, nitrates, ammonium, organic carbon, etc.) with dimensions of 2.5 micrometers or less. They have a negative impact on human health (damage to the respiratory system and blood vessels, increase the risk of death and the development of oncological diseases), as well as vegetation, polluting and contaminating soil and groundwater.

Data on which aircraft engine emits each of these substances per kilogram of fuel burned per second are provided in the relevant ICAO guidance document. [1].

The total impact of the listed components of the emissions on the environment and the planet's climate is not insignificant. The percentage of pollution from aviation engine emissions is about 3% of the total anthropogenic greenhouse effect (14% for road transport, 3.8% for rail, sea and other transport). In 2016, the ICAO Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) reached an agreement on the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) for international aviation [2] and according to that fact the aviation industries from all around the world from 2020 year should not increase hydrocarbon emissions, and by 2050 it should reduce it twice compared to 2005 levels. Currently, CORSIA unites 73 countries, which control 88% of the world's airlines.

Air pollution caused by air emissions is unevenly distributed in the airspace and covers both the lower part of the stratosphere - the surrounding area and areas of the airport, as well as its upper part and reaches the ozone sphere.

Exhaust from the engine generated during the take-off and landing cycle of the aircraft primarily pollutes the environment surrounding the airport, where usually there are settlements and agricultural land. In addition, as the engine operates in different modes at different altitudes, the exhaust emissions are different, both in terms of composition and quantity.

Figure 1 shows the conventional flight stages of the aircraft adopted by ICAO, and Table 1 shows the characteristics of the operations performed by the aircraft in the airport area and indicates the operating modes of its engine.

Figure 1. Aircraft standard take-off and landing cycle according to ICAO

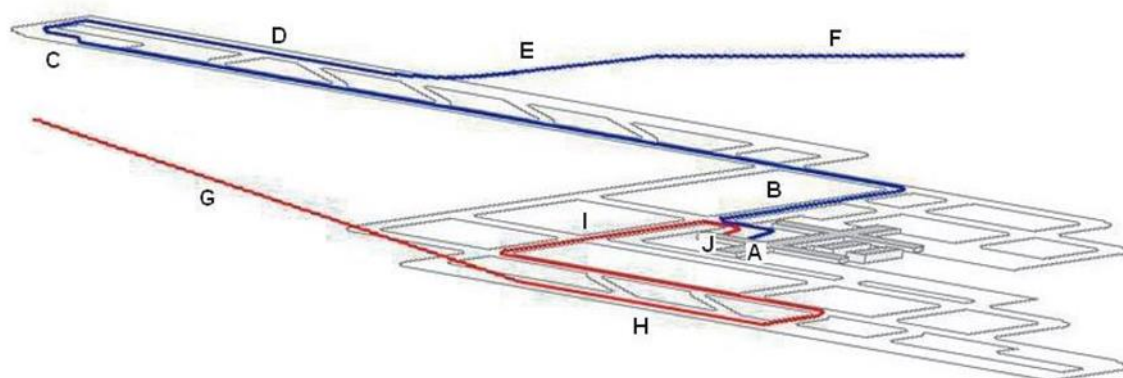


Table 1. Landing Take-Off (LTO) cycle definition according to ICAO databank

Operating mode	Duration (min)	Engine power (%)	Remark
Take-off	0,7	100	
Climb	2,2	85	
Approach	4,0	30	
Taxi	26	7	Before take-off - 19 minutes, after take-off - 7 minutes

As stated in the ICAO Guidelines [3], in the airport area and the surrounding environment air pollution from aviation emissions occurs during the standard take-off and landing cycle, ie up to 900 m above the aerodrome surface. As the aircraft moves at higher altitudes, emissions from its engine are no longer present in the airport area.

It should be noted that the concentration of harmful components of aircraft emissions in the air and the characteristics of their spatial distribution in the atmosphere and in the airport area largely depend on both local and global meteorological conditions at the time. The wind direction and speed play an extremely important role in concentrating harmful components of aircraft emissions in the air. The influence of other factors (air temperature and humidity, solar radiation) have less influence and has a more complex dependence on these factors. The methodology for assessing aircraft engine emissions is set out in the International Civil Aviation Organization Guidance Paper [4], which states that the mass of each pollutant emitted into the atmosphere during the run-off of the standard take-off cycle operations is due to the mass of each pollutant in M_i (kg):

$$M_i = \sum EI_{ij} * G_j * T_j.$$

Where i - is the number of the contaminant;

j - is the number of engine operating mode during the Landing Take-Off (LTO) cycle;

EI_{ij} - is "i" pollutant emission index during "j" engine operation mode;

G_j - is the amount of fuel consumed by the engine (kg / s) during "j" engine operation mode;

T_j - is the duration of operation of the engine during "j" engine operation mode.

Based on the ICAO database of air emissions of different types of aircraft engines, using the above formula and Excel spreadsheets, it is possible to calculate the individual and total mass of exhaust pollutants from air engines for any airport at any time during its operation. If the flight schedule and number of flights performed (or to be performed), types of aircraft and their engines are known. There are seven operating civil airports in Georgia. Three of them are international - Tbilisi, Kutaisi and Batumi, whose operating loads are much higher than the others. Consequently, the air pollution rates caused by the operation of international airports will be

much higher than those of the locals, so the article discusses only the international airports mentioned above. Using the methodology described above, the share of emissions from aircraft engines involved in changing global climatic conditions (creating a greenhouse effect, promoting the emergence of ozone holes, etc.) was calculated. In particular, the amounts of carbon monoxide (CO/CO₂), unburned hydrocarbons (C_nH_m) and nitrogen oxides (NO_x/NO₂) for the zones of international airports in Georgia. For instance, we used the flight schedule of summer 2020 . The results are given in the table below.

Airport	The aircraft and engine to be used	Number of Landing Take-Off (LTO) cycles	Aviation emissions, kg			
			HC	C O	NO _x	Sum
Tbilisi International Airport	A320, CFM56-3C2	2493	5234	32640	35287	73161
	A321, CFM56-3C3	1237	2498	15886	19218	37601
	A223, PW1519G	124	7	617	664	1287
	B737, CFM56-3C1	2637	1513	29488	25370	56370
	E190, CF-10E	434	924	7854	4172	12950
Total in Tbilisi Airport Zone, kg			10175	86484	84710	181370
Kutaisi International Airport	A320, CFM56-3C2	1172	2460.55	15344.65	16589.16	34394.36
	A321, CFM56-3C3	62	125.1	796.21	963.21	1884.63
	B737, CFM56-3C1	88	50.48	984.04	846.63	1881.15
	E290, PW1919G	310	16.52	1601.24	1720.26	3338.02
Total in Kutaisi Airport Zone, kg			2650	18730	20120	41500
Batumi International Airport	A320, CFM56-3C2	667	1400.33	8732.83	9441.10	19574.26
	A321, CFM56-3C3	336	678.55	4314.96	5219.97	10213.48
	B737, CFM56-3C1	381	218.56	4260.44	3665.54	8144.54
	A223, PW1519G	51	2.69	253.71	272.90	529.30
Total in Batumi Airport Zone, kg			2300	17560	18600	38460
In all three international airport zones, t			16	122	123	261

As it can be seen from the table, during the summer period of this year (approximately 8 months) the air of Tbilisi International Airport will be polluted with 181 tons of air emissions,

Kutaisi - 41 tons, Batumi - 38 tons. Also, the emissions from vehicles used in aircraft maintenance services at the airport will be added to that, however the report of that vehicles is a separate issue and is not discussed in this article. To clarify the results, it is indicating to mention again that this article also does not discuss aviation emissions that are emitted into the atmosphere during the flight of an aircraft at altitudes above 900 m (so-called cruising speed flight conditions), as the emissions emitted at such times do not reach the airport area.

According to the Georgian Civil Aviation Agency, monitoring of carbon dioxide emissions released into the atmosphere annually after January 1, 2020 has started by airlines registered in Georgia. The results presented in the aviation emission calculations will be relevant to the implementation of the measures required to comply with CORSIA requirements.

Moreover, additional studies are to be conducted to determine how the above-mentioned emitted harmful substances are distributed in each airport and the surrounding environment - considering the meteorological and climatic conditions in the air, soil and groundwater.

Conclusions

1. It is necessary to determine the amount of aviation emissions in the international airport zones of Georgia according to the data for 2019/2020 and to determine the relevant level of environmental threat in the vicinity of the airports for comparison with the data of the following years;
2. In order to meet the requirements of CORSIA, it is necessary to develop a computer program to determine the amount of annual aviation emissions and the consequences of the emissions to the environment;

References:

- [1] Emissions databank ICAO, Doc. 9646-AN/943].
- [2] Airport Air Quality Manual. Doc9889. ICAO.
- [3] ICAO, Doc 9889;
- [4] ICAO Document 08_CORSIA Eligible Emissions Units_March 2022
- [5] Website of the Georgian Civil Aviation Agency - <https://gcaa.ge>

**საავიაციო ემისიების რაოდენობრივი შეფასება საქართველოს საერთაშორისო
აეროპორტების ზონებისათვის**

რობერტ ხაჩიძე, ქართლოს ჩოხელი, ავთანდილ სვიანაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103, საქართველო

ანოტაცია

სტატიაში განხილულია სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების რაოდენობის განსაზღვრის ICAO-ს მიერ რეკომენდებული მეთოდოლოგია და გამოთვლილია თვითმფრინავების ძრავებიდან გამოფრქვეული ნახშირბადის ოქსიდების (CO/CO_2), დაუწვავი ნახშირწყალბადების - (C_nH_m) და აზოტის ოქსიდების (NO_x/NO_2) რაოდენობები საქართველოს საერთაშორისო აეროპორტების ზონებისათვის, რასაც ადგილი ექნება 2022 წლის ზაფხულის ფრენის განრიგის განხორციელების დროს. დასმულია საკითხი ჰაერისა და აეროპორტების მიმდებარე გარემოს შესაბამისი დაბინძურებით გამოწვეული ეკოლოგიური საფრთხის შესწავლისა და შეფასების აუცილებლობის შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: საჰაერო ემისიები, ჰაერის დაბინძურება, აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლი, თვითმფრინავის ძრავას მუშაობის რეჟიმი, გამონაბოლქვი აირები, ემისიის ინდექსი.

საფრენი აპარატების მართვის ინტელექტუალური სისტემები

დემურ ვეფხვაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი
ქეთევან დედოფლის გამზირი 16, 0103, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია: მომავალი თაობის საფრენი აპარატების შექმნის გზაზე ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს მართვისა და გადაწყვეტილებათა მიღების მხარდაჭერის საბორტო ინტელექტუალური სისტემების აგების საკითხების კვლევა და დამუშავება. მიღებული ტერმინოლოგიის შესაბამისად ესენი არიან სისტემები, რომლებიც აქტიურად იყენებენ ექსპერტის ცოდნას და გამოცდილებას - ორიენტირებულს მართვის ობიექტის მუშაობაში ჩართვისათვის გარე და შიგა გარემოს უწყვეტად ცვალებადი მოდელის ანალიზის საფუძველზე. სტატიაში განხილულია ასეთი სისტემების მთავარი არქიტექტურული თავისებურება და განსხვავება ტრადიციული სქემით აგებული მართვის სისტემებისგან, რაც დაკავშირებულია მათში ცოდნის შენახვისა და დამუშავების მექანიზმების არსებობასთან და რომლებსაც განუსაზღვრელობის პირობებში შეუძლიათ საჭირო ფუნქციების შესრულება გარე შემფოთებების ზემოქმედების დროს. განხილულია მართვის ინტელექტუალური სისტემის განზოგადებული სტრუქტურა, ინტელექტუალური სისტემების სტრუქტურული სქემა, საბორტო საკონსულტაციო ინტელექტუალური სისტემების მუშაობის პრინციპი. დამუშავებულია და მოყვანილია საბორტო საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემის ჩართვის სქემა საბორტო საინფორმაციო-მმართველი სისტემის შემადგენლობაში და განსაზღვრულია მისი ფუნქციები.

საკვანძო სიტყვები: საფრენი აპარატები, მართვის ინტელექტუალური სისტემა, დინამიკური ექსპერტული სისტემა, ხელოვნური ინტელექტი, დროის რეალური მასშტაბი.

შესავალი

გასული საუკუნის 90-იანი წლების დასაწყისში ცნობილი გახდა, რომ საფრენი აპარატების ეფექტურობის ამაღლება მხოლოდ საბორტო მოწყობილობების (საბორტო გამზომი და შემსრულებელი მოწყობილობები) სრულყოფის ხარჯზე შეუძლებელი იყო. ამ ამოცანის გადაწყვეტისთვის აუცილებელი გახდა მთელი ძალების მობილიზება და წარმართვა საფრენი აპარატების სრულყოფისათვის საავიაციო კომპლექსში ინტელექტუალური მდგენელის აუცილებელი ჩართვის მოთხოვნითა და გამოყენებით. ამან კი დღის წესრიგში დააყენა ამოცანა - ახალი თაობის საფრენ აპარატებში მომხდარიყო ორი სახის ალგორითმების ერთობლივი გამოყენება, კერძოდ საფრენი აპარატის ალგორითმული სისტემა პერსპექტიულ დამუშავებებში უნდა აღჭურვილიყო საბორტო კომპიუტერებში რეალიზებადი საბორტო ალგორითმებისა და ეკიპაჟის მოქმედების ალგორითმების ერთობლიობით. ამ ამოცანის გადაწყვეტა კი შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ რაც კიბერნეტიკის, გამოთვლითი ტექნიკის, ხელოვნური ინტელექტის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა რთული მართვის სისტემების ახალი მეთოდების, მართვისა და ოპტიმიზაციის საშუალებების დამუშავება. მართვის თეორიის და ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების ურთიერთგანჭოლვამ წარმოშვა მართვის ახალი მიმართულება რომელიც იწოდება ინტელექტუალურ მართვად [3,6].

პერსპექტიული დინამიკური ობიექტების, კერძოდ კი საფრენი აპარატების მართვის სისტემების დამუშავება მოითხოვს მათი დაპროექტებისათვის ახალი მიდგომების შესწავლას, ახალი კონცეფციების შექმნას, არსებული ალგორითმულ-პროგრამული უზრუნველყოფის მოდერნიზაციას, ახალი ელემენტური ბაზის შექმნას და ახალი ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებას. ყველაფერ ამასთან ერთად, ინტელექტუალური მართვის მეთოდების და შესაძლებლობების გამოყენება არის სწორედ გარანტი საფრენი აპარატების ინტელექტუალური მართვის განხორციელებისათვის [6].

დღესდღეობით მართვისა და გადაწყვეტილებათა მიღების ინფორმაციული მხარდაჭერის საბორტო ინტელექტუალური სისტემების დამუშავება და გამოყენება წარმოადგენს მეტად აქტუალურ ამოცანას, რომელიც ჯერ კიდევ შეიცავს ბევრ თეორიულ, ტექნიკურ თუ ალგორითმულ-პროგრამული უზრუნველყოფის გადაუჭრელ საკითხებს, ამიტომ მისი კომპლექსური გადაწყვეტის ყოველი მცდელობა ამ სფეროში მომუშავე სპეციალისტებისთვის, თუნდაც კონცეპტუალური მიდგომის დონეზე, ძალზე მიშვნელოვანია.

ძირითადი ნაწილი

ამჟამად საფრენი აპარატების, როგორც რთული დინამიკური ობიექტების მართვის ტექნიკური სისტემების დამუშავებისას, მთავარ მოთხოვნად ითვლება ისეთი სისტემების შექმნა და დამუშავება, რომლებიც აღჭურვილი იქნება ავტონომიურობის, ფუნქციონირების, საიმედოობის და ადაპტირების მაღალი უნარით განუსაზღვრელობის პირობებში [1,2,3].

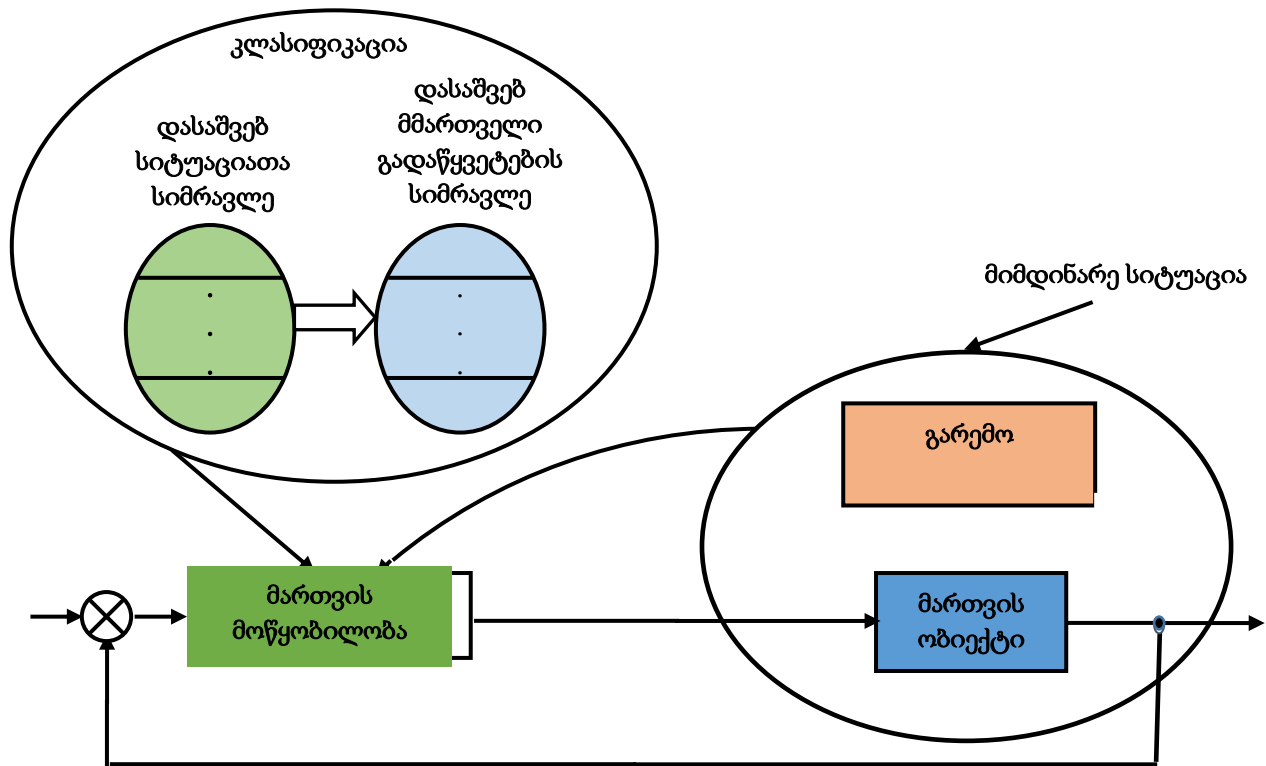
ზოგადად მართვის ამოცანებში განუსაზღვრელობის გამოვლენის მთავარ წყაროებს წარმოადგენს შემდეგი ძირითადი ფაქტორები:

- ობიექტებისა და მართვის ამოცანების ფორმალიზებული აღწერის სირთულე აუცილებელი გამოთვლებისა და გაზომვების ცდომილებების გათვალისწინებით;
- მართვის ამოცანებისა და ფუნქციონირების მიზნების არამკაფიოობა;
- მართვის სისტემისა და ობიექტის პარამეტრების არასტაციონარულობა;
- ფუნქციონირების ვითარებისა და პირობების აპრიორული განუსაზღვრელობა;
- გარემოს შემთხვევითი ზემოქმედებების არსებობა.

საჭირო საექსპლუატაციო მახასიათებლების უზრუნველყოფა, ფუნქციური შესაძლებლობების ფართო ნაკრების მიზანმიმართული ქმედების ფორმირება და შესასრულებელი ოპერაციების თანმიმდევრობის დაგეგმვა გარემოს ზემოქმედებებისადმი აქტიურ ადაპტაციაზე გათვლით, უზრუნველყოფს ინტელექტუალური მართვის მეთოდების და საშუალებების დამუშავებას, დაფუძნებულს ცოდნის დამუშავების ტექნოლოგიის კომპლექსურ გამოყენებაზე.

მართვის ამოცანების პრინციპულად ახალი ნაირსახეობის გაჩენა, რომელიც დაკავშირებულია რთული დინამიკური ობიექტების ფუნქციონირების მხარდაჭერასთან განუსაზღვრელ პირობებში, მიეკუთვნება ცუდად ფორმალიზებულ ამოცანათა რიცხვს, რომელთა გადაწყვეტისათვის საჭიროა სპეციფიკური მეთოდების დამუშავება ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიის გამოყენებით [4,5].

ასეთი მიდგომის საფუძველი ემყარება სიტუაციური მართვის კონცეფციებს. გამომდინარე მისი საკვანძო მდგომარეობიდან, სიტუაციის თითოეულ კლასს, რომელთა წარმოშობა დასაშვებად ითვლება სისტემის ფუნქციონირების პროცესში, შეესაბამება რაღაც გადაწყვეტილება მართვის მიხედვით (მმართველი ზემოქმედება, პროგრამულ-ალგორითმული მმართველი პროცედურა და ა.შ.). შექმნილი სიტუაცია განისაზღვრება რა როგორც თვითონ ობიექტის, ისე მისი გარემოს ფაქტორების გათვალისწინებით და იდენტიფიცირდება გამზომ - საინფორმაციო საშუალებების დახმარებით, შეიძლება მიეკუთვნოს რაღაც კლასს, რომლისთვისაც საჭირო მართვა უკვე ცნობილია. ავტომატურ სისტემებში სიტუაციური მართვის პრინციპების რელიზაციის სქემა მოყვანილია ნახ.1-ზე [1,4].



ნახ.1. ავტომატურ სისტემებში სიტუაციური მართვის პრინციპების რეალიზაცია

სიტუაციური მართვის კონცეფციის პრაქტიკული რეალიზაცია თანამედროვე ინტელექტუალური ტექნოლოგიების საფუძველზე გვთავაზობს არსებული ცოდნის ბაზის გაფართოებას, რომელიც ემყარება სისტემის აგების პრინციპებს და ფუნქციონირების მიზნებს, სხვადასხვაგვარი ალგორითმების გამოყენების სპეციფიკას, შემსრულებელი მექანიზმების და სამართავი ობიექტების თავისებურებებს. ამ შემთხვევაში, არსებული ცოდნის კვალიფიკაციურმა ანალიზმა საზომ-ინფორმაციული საშუალებების მიმდინარე მაჩვენებლების მიხედვით უნდა უზრუნველყოს მართვის ალგორითმების პარამეტრული და სტრუქტურული გადაწყობა, მართვის მიზნების მიღწევის პროგრამების მოდიფიკაცია, ხოლო აუცილებლობის შემთხვევაში კი მათი კორექციაც.

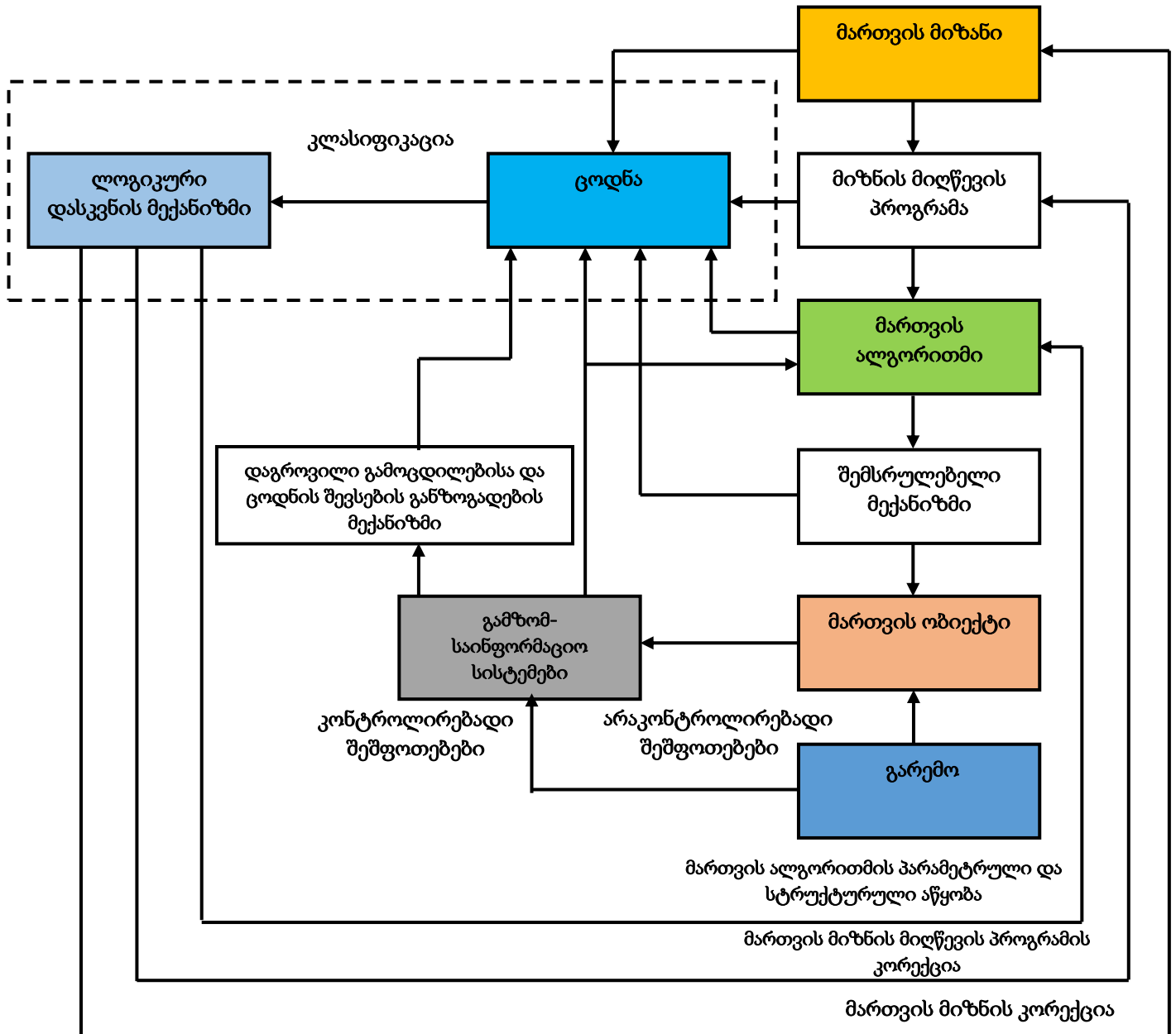
ნახ. 2-ზე მოყვანილია მართვის ინტელექტუალური სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა [3]. უნდა ხაზგასმით აღინიშნოს, რომ მთავარი არქიტექტურული თავისებურება, რომელიც განასხვავებს მართვის ინტელექტუალურ სისტემას ტრადიციული სქემით აგებული მართვის სისტემისგან, დაკავშირებულია მასში ცოდნის შენახვის და დამუშავების მექანიზმების არსებობასთან. ასეთ ინტელექტუალურ სისტემას განუსაზღვრელობის პირობებში შეუძლია საჭირო ფუნქციების შესრულება გარე შეშფოთებების ზემოქმედების დროს. ამგვარ შეშფოთებებს შეიძლება წარმოადგენდეს მიზნების გაუთვალისწინებელი ცვლილებები, სისტემებისა და მართვის

ობიექტის საექსპლუატაციო მახასიათებლები, გარემოს პარამეტრები და ა.შ. გარდა ამისა, აუცილებლობის შემთხვევაში, სისტემის შემადგენლობას თვითსწავლების ემატება საშუალებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დაგროვილი გამოცდილების განზოგადებას და ამის საფუძველზე ცოდნის შევსებას.

ზოგად შემთხვევაში მართვის ობიექტი შესაძლებელია იყოს საკმაოდ რთული და შეიცავდეს თავის შემადგენლობაში ფუნქციურად დაქვემდებარებულ ქვესისტემებს. მათი დაქვემდებარების იერარქია განსაზღვრავს საწყისი მიზნების და მართვის ამოცანების დეკომპოზიციას კომპონენტების რეკურსიული თანმიმდევ-რობითი დალაგებით. საბოლოო ჯამში ასეთი დაყოფა გულისხმობს მართვის სისტემის მრავალდონიან ორგანიზაციას, რომელიც ფლობს განვითარებულ ინტელექტუალურ შესაძლებლობებს ვითარების ანალიზისა და ასახვისათვის, მიზან-მიმართული ქცევის სტრატეგიის ფორმირებისთვის, თანმიმდევრობითი ქმედებების დაგეგმისთვის, ასევე შემსრულებელი კანონების სინთეზს ხარისხის მოცემული მაჩვენებლების დაკმაყოფილებისთვის. ამასთან, მართვის ინტელექტუალური სისტემის სტრუქტურა რთული დინამიკური ობიექტის, კერძოდ კი საფრენი აპარატის შემთხვევაში, უნდა შეესაბამებოდეს აგების იერარქიულ პრინციპს და მისი მართვის მრავალდონიანი იერარქიული სისტემის ალგორითმების სტრუქტურა უნდა მოიცავდეს მართვის სამ გლობალურ დონეს - სტრატეგიულ (III დონე), ტაქტიკურ (II) და შემსრულებელ (I) დონეებს, ასევე აუცილებელ გამზომ-ინფორმაციული საშუალებების კომპლექსს.

მართვის III დონე წარმოადგენს დონეს, რომელზედაც ხორციელდება მართვის ინტელექტუალური სისტემის ფუნქციონირების მიმდინარე მიზნის ფორმირება საფრენი აპარატის ფრენის პროცესში. გამოყენებული ალგორითმები საბორტო წყაროების ინფორმაციის საფუძველზე ახდენენ საფრენი აპარატის შიგა და გარე მდგომარეობების ანალიზს და იღებენ გადაწყვეტილებას ფრენის მართვის სტრატეგიის შენარჩუნების ან სახეცვლილების შესახებ.

მართვის II დონე - ეს არის დონე დასახული მიზნის მიღწევის ხერხის შესახებ. ამ დონის მართვის ალგორითმები გადაწყვეტილებათა მიღების პროცესში იყენებს იმიტაციური მოდელირების მეთოდებს.



ნახ.2. მართვის ინტელექტუალური სისტემის განზოგადებული სტრუქტურა

მართვის I დონე წარმოადგენს დონეს დასახული მიზნის მისაღწევად არჩეული ხერხის რეალიზაციისათვის. ამ დონის ალგორითმები შესაძლებელია წარმოდგენილ იქნეს როგორც სისტემები ადაპტაციით, რომლებშიც საფრენი აპარატის ფუნქციონირების შეცვლისას გათვალისწინებულია მმართველი ზემოქმედებების ფორმირების ალგორითმის შესაბამისი გადაწყობა.

მართვის იერარქიის სამივე დონე მთლიანობაში და ინტელექტუალური მართვის თითოეული დონის ორგანიზაცია საშუალებას იძლევა ცოდნის წარმოდგენის საკუთარი მოდელების ერთობლიობის გამოყენების შედეგად მოხდეს სამართავი და საკონტროლო

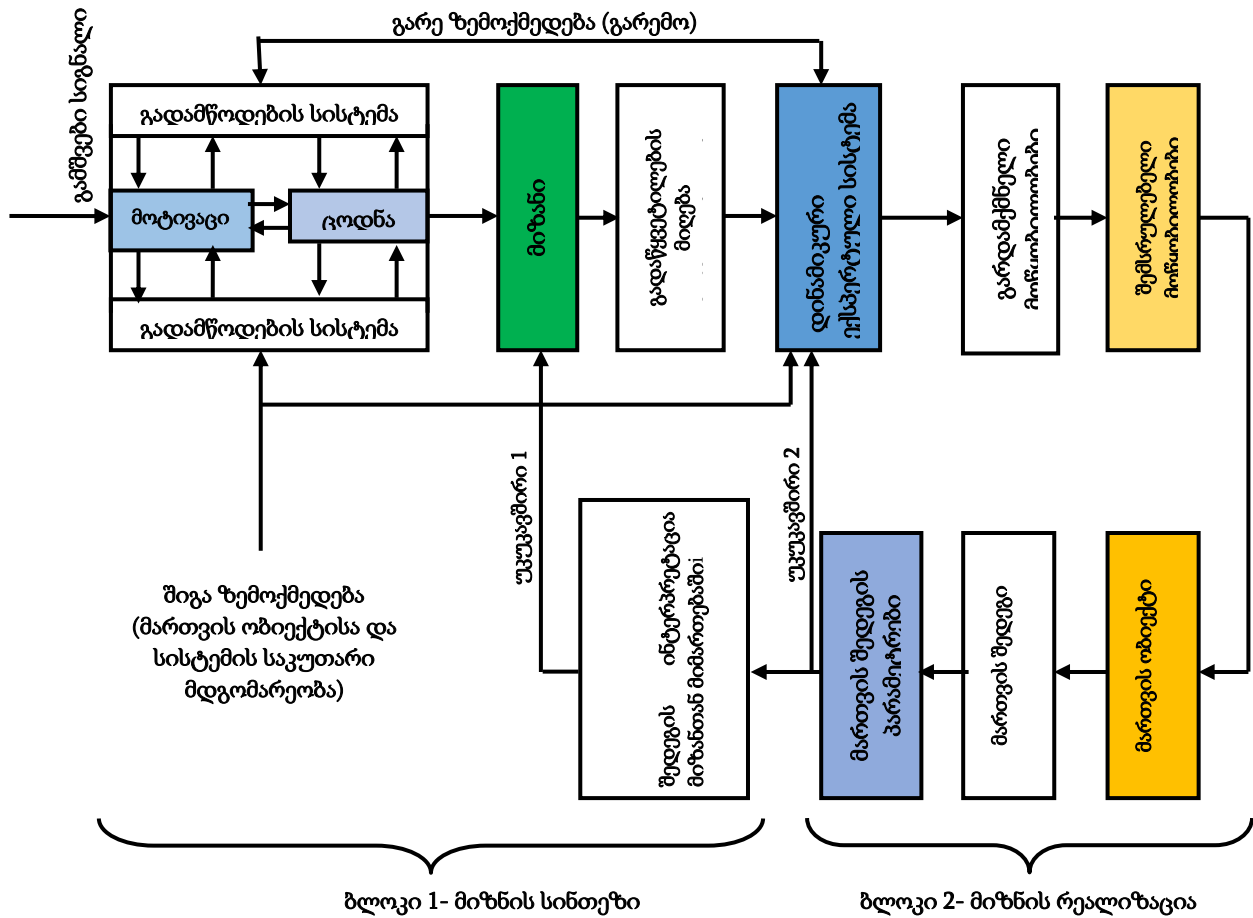
რთული დინამიკური ობიექტების აღწერა, ინფორმაციული მხარდაჭერა და მართვა.

რთული დინამიკური ობიექტების მართვის სისტემების იერარქიული აგების ახალი კონცეფცია გულისხმობს ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებისა და ტექნოლოგიების, როგორც ძირითადი საშუალებების გამოყენებას საფრენი აპარატის ფრენის მართვის პროცესის ოპტიმალური რელიზაციისათვის გარემოს ზემოქმედებისას განუსაზღვრელობის პირობებში. მართვის თითოეული დონის ინტელექტუალიზაციის აუცილებლობა განპირობებულია გარემოს განუსაზღვრელი სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედებისადმი რეაგირების ფუნქციის შესრულებაში. ამ კონცეფციის პრაქტიკული განხორციელება გულისხმობს ცოდნის დამუშავების ამა თუ იმ ტექნოლოგიის შერჩევით გამოყენებას, რომელიც დამოკიდებულია გადასაწყვეტი ამოცანის სპეციფიკაზე, სამართვი ობიექტის თავისებურებებზე, მის ფუნქციურ დანიშნულებაზე, ექსპლუატაციის პირობებზე და ა.შ.

ნახ.3-ზე მოყვანილია ინტელექტუალური სისტემების სტრუქტურული სქემა [3,6], რომელიც ახალი ელემენტების პარალელურად შეიცავს ტრადიციულ ელემენტებს და კავშირებს, რომელთა შორის ცენტრალურ ადგილს იკავებს დინამიკური ექსპერტული სისტემა.

ინტელექტუალური სისტემების დინამიკური თვისებები შესაძლებელია აღწერილ იქნეს მდგომარეობათა სივრცეში. ინტელექტუალური ოპერატორები, რომლებიც უზრუნველყოფენ წარმოდგენას, ცნების ფორმირებას, მსჯელობას და დასკვნას შემეცნების პროცესში, წარმოადგენენ ცოდნის წარმოდგენის ფორმალურ საშუალებებს, ასევე საშუალებას გადაწყვეტილების მიღებისას. ყველა ეს ასპექტი საფუძვლად უნდა დაედოს დინამიკური ექსპერტული სისტემის აგებას, რომელიც უნდა ფუნქციონირებდეს რეალურ დროსა და რეალურ გარემოში. დინამიკურ ექსპერტულ სისტემას გააჩნია უნარი შეაფასოს გარემოსა და სისტემების მდგომარეობა, შეაჯეროს სასურველი და რეალური პარამეტრების მოქმედების შედეგები, მიიღოს გადაწყვეტილება და გამომუშაოს მიზნის მიღწევის უნარის მქონე მართვა. ამისათვის დინამიკური ექსპერტული სისტემა უნდა ფლობდეს ცოდნის მარაგს და განაგებდეს ამოცანის ამოხსნის მეთოდებს. მის ფუნქციებს წარმოადგენს აგრეთვე ამოცანების გადაწყვეტის შედეგების შეფასება, მოქმედების შედეგებისთვის პარამეტრების ფორმირება, მართვაზე გადაწყვეტილების მიღება, მართვის განხორციელება, სასურველი და რეალური პარამეტრების შედარება, უკუკავშირის წარმოქმნა, მიზნის კორექტირება [6].

სტრუქტურულ სქემაში გამოყოფილია სისტემის ორი მსხვილი ბლოკი: მიზნის სინთეზი და მიზნის რეალიზაცია.



ნახ.3. ინტელექტუალური სისტემის სტრუქტურული სქემა

მიზნის ქვეშ იგულისხმება მოქმედების იდეალური გააზრებული განჭვრეტა ინფორმაციის აქტიური შეფასების საფეხურზე გარემოსა და სისტემის საკუთარი მდგომარეობის შესახებ. მიზნის მისაღწევად ვარიანტების შეჯერებით შესაძლებელია გადაწყვეტილების მიღება მოქმედებისთვის.

პირველ ბლოკში (მიზნის სინთეზის ბლოკი) გადამწოდების სისტემებისგან მიღებული ინფორმაციის აქტიური შეფასების საფუძველზე, ცოდნისა და მოტივაციის არსებობისას ხდება მიზნის სინთეზირება და მიიღება გადაწყვეტილება მოქმედებისთვის. მას შემდეგ რაც მიღებული იქნება გადაწყვეტილება რეალიზდება მართვა.

მე-2 ბლოკში (მიზნის რეალიზაციის ბლოკი) დინამიური ექსპერტული სისტემა მიმდინარე ცნობების საფუძველზე (გარემოს და ინტელექტუალური სისტემის საკუთარი მდგომარეობის შესახებ ცნობები) მიზნისა და ცოდნის არსებობისას ახორციელებს ექსპერტულ შეფასებას, ღებულობს გადაწყვეტილებას მართვაზე, პროგნოზირებს მოქმედებების შედეგებზე, გამომუშავებს მართვას. მართვა წარმოდგენილი ფიზიკურ სიგნალში კოდირებული სახით მიეწოდება შემსრულებელ მოწყობილობებს. მართვის მოწყობილობა მიიღებს რა სიგნალს შემსრულებელი მოწყობილობებისგან, ახორციელებს

ამა თუ იმ მოქმედებას, რომლის შედეგები წარმოდგენილი პარამეტრების სახით, მე-2 წრედით (უკუკავშირი 2) მიეწოდებიან დისკრეტულ ექსპერტულ სისტემაში, სადაც ისინი ედრებიან პროგნოზირებულს. იმავდროულად მოქმედების შედეგის პარამეტრები ინტეგრირებულნი მიზნის თვისებების შესაბამისად მიეწოდება 1-ელ ბლოკში და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მიღებული შედეგის შეფასებისათვის. თუ მიზანი მიღწეული იქნება ყველა პარამეტრის მიხედვით, მაშინ მართვა განხორციელდება, წინააღმდეგ შემთხვევაში ხდება მართვის კორექცია.

ფორმალურად ინტელექტუალური სისტემის ობიექტების აღწერა ხდება სისტემის, გარემოს, მოტივაციის, მიზნის, პროგნოზირებადი და რეალური შედეგების სიმრავლეებით და გარდაქმნის ინტელექტუალური ოპერატორებით.

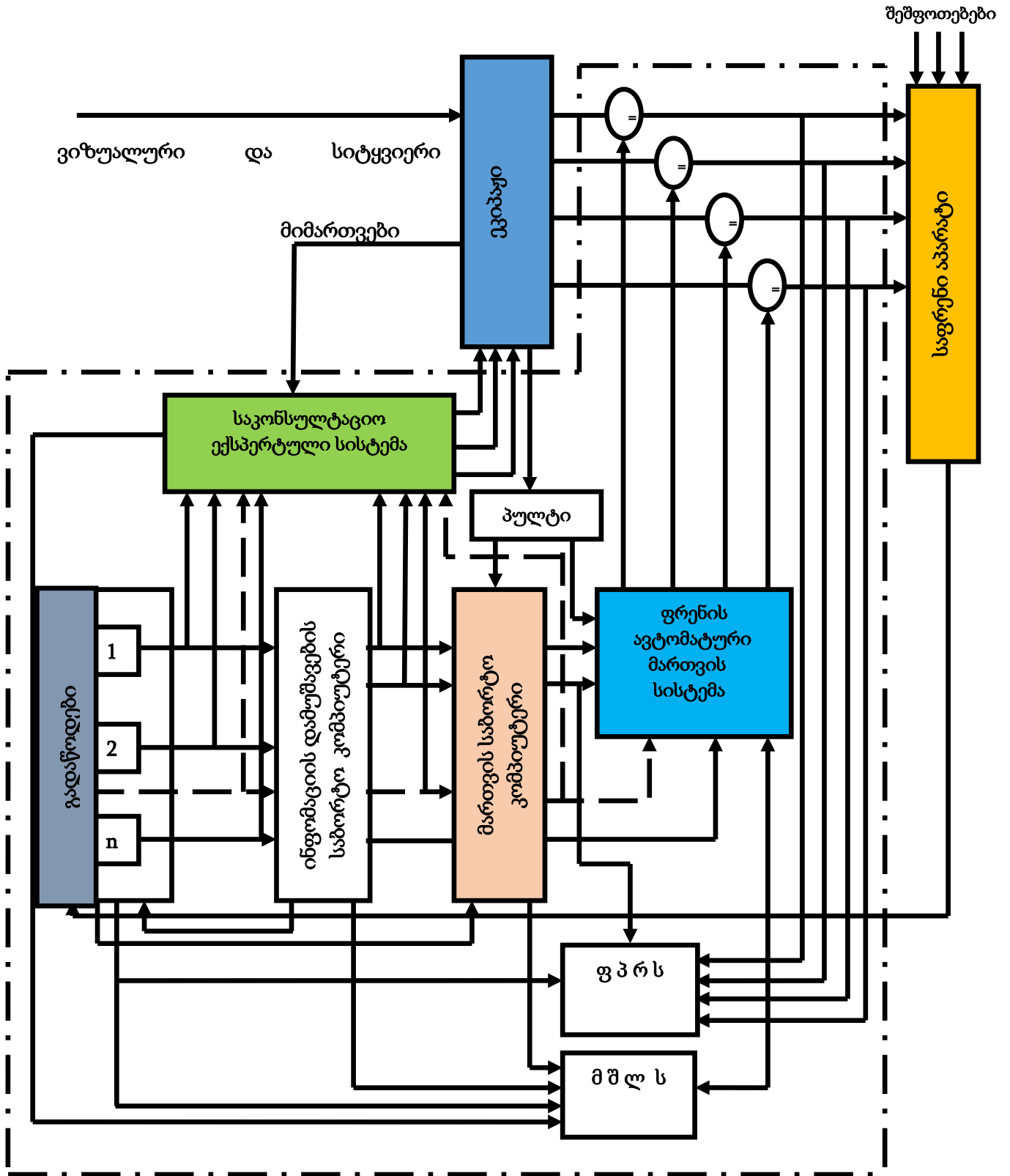
ამჟამად თანამედროვე საფრენ აპარატებში ფართოდ გამოიყენება საკონსულტაციო ინტელექტუალური სისტემები. ესენი არიან სისტემები, რომლებიც აქტიურად იყენებენ ექსპერტების ცოდნას და გამოცდილებას ორიენტირებულს მართვის ობიექტის მუშაობაში ჩართვისათვის (ამ შემთხვევაში მართვის ობიექტს წარმოადგენს საფრენი აპარატი და მისი ქვესისტემები), გარე და შიგა გარემოს უწყვეტად ცვალებადი მოდელის ანალიზის საფუძველზე. ფუნქციონირებენ რელურ საინფორმაციო გარემოში და ორიენტირებული არიან გარემოს ვითარების შესაძლო სცენარების რეალურ პირობებზე.

საბორტო საკონსულტაციო ინტელექტუალური სისტემები თავის შემადგენლობაში საბორტო საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემის გარდა შეიცავს ასევე საბორტო გამზომ და შემსრულებელი მოწყობილობების ექსპერტულ სისტემებს, რომელთა დანიშნულებაა უზრუნველყონ მაქსიმალურად სრული ინფორმაციის მიღება მოცემულ მომენტში საბორტო აპარატურის მდგომარეობის შესახებ, ასევე მაქსიმალურად ზუსტად შეასრულონ მიღებული გადაწყვეტილებების რეალიზება. ეს სისტემები საკონსულტაციო ექსპერტულ სისტემასთან მიმართებაში მუშაობენ მჭიდრო ურთიერთქმედების რეჟიმში.

საბორტო საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემა მუშაობს დროის რეალურ მასშტაბში. რეკომენდაციის გარდა, აუცილებლობის შემთხვევაში ექსპერტული სისტემა მფრინავს აწვდის მოკლე მითითებებს მიმდინარე რეკომენდაციების შესასრულებლად.

ამჟამად არსებული საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემების (გადაწყვეტილების მიღების ინფორმაციული მხარდაჭერების სისტემები) მონაცემთა ბაზები და ცოდნის ბაზა ატარებენ დეტერმინირებულ ხასიათს. ექსპერტული სისტემის შემდგომი განვითარება აუცილებლად გულისხმობს ალბათური შეფასებისა და არამკაფიო ცოდნის აპარატის გამოყენებას [7].

ახალი თაობის საფრენი აპარატების საბორტო საინფორმაციო-მმართველი სისტემების (სსმს) შემადგენლობაში საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემის ჩართვის სქემა წარმოდგენილია ნახ.4-ზე [2.].



ნახ.4. საბორტო საინფორმაციო - მმართველი სისტემის სტრუქტურული სქემა

როგორც ნახაზიდან ჩანს სიგნალები ინფორმაციის გადამწოდებიდან 1,2,3,...n ფრენის პარამეტრების კონტროლის შესახებ მიეწოდება ფრენის ინფორმაციის დამუშავების საბორტო კომპიუტერს. ამ საბორტო კომპიუტერში ხორციელდება სისტემის მდგომარეობის ვექტორის ოპტიმალური შეფასება სიზუსტის მიხედვით, გადამწოდების გამართულობის კონტროლი, ფორმირდება გადამწოდების მართვის სიგნალები. დამუშავებული ინფორმაცია მიეწოდება საკონსულტაციო ექსპერტულ სისტემას, ასევე მმართველ საბორტო კომპიუტერს, რომლის დანიშნულებაცაა მოცემული ოპტიმალური კრიტერიუმების მიხედვით საფრენი აპარატის მართვის ალგორითმების რეალიზაცია და საბორტო-საინფორმაციო მმართველი სისტემის შემადგენლობაში შემავალი ძალური დანადგარების და ქვესისტემების მართვა. სისტემის შემადგენლობაში ჩართული საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემა საშუალებას იძლევა ეკიპაჟი უზრუნველყოს ახნა-განმარტებითი ან სარეკომენდაციო ინფორმაციით ფრენის დროს განსაკუთრებული სიტუაციების წარმოშობისას. საბორტო საინფორმაციო-მმართველი სისტემის მნიშვნელოვან ფუნქციურ ელემენტს წარმოადგენს მტყუნებების შეკრებისა და ლოკალიზაციის სისტემა (მშლს), რომლის დანიშნულებაცაა საინფორმაციო-მმართველი სისტემის მუშაობის უნარიანობის შემოწმება, სისტემაში წარმოშობილი მტყუნებების აღმოჩენა, ლოკალიზება და აღმოფხვრა. ფრენის პარამეტრების რეგისტრაციის სისტემები (ფპრს) მუდმივად ახორციელებენ ფრენის პარამეტრების რეგისტრაციას და კონტროლს.

უნდა ხაზგასმით აღინიშნოს რომ ასეთი სტრუქტურის მქონე საბორტო საინფორმაციო-მმართველი სისტემები ექსპერტული სისტემების გამოყენებით მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს საფრენი აპარატების მართვის პროცესს.

დასკვნა

ამჟამად ნაწილობრივ მიღწეულია გარკვეული წარმატებები საფრენი აპარატების მართვის ინტელექტუალური სისტემების და საკონსულტაციო ინტელექტუალური სისტემების დამუშავების საქმეში. გამოკვეთილია საფრენი აპარატების ინტელექტუალური სისტემების განსაზღვრული ჯგუფი, რომელიც თავის თავში მოიცავს საკონსულტაციო ექსპერტულ სისტემას და საბორტო გამზომ და საბორტო შემსრულებელი მოწყობილობების ექსპერტულ სისტემებს. საკონსულტაციო ექსპერტული სისტემა მოწოდებულია გამოიმუშაოს რჩევები ეკიპაჟისთვის ფრენის მიმდინარე მომენტში წარმოშობილი პრობლემების გადასაწყვეტად. რაც შეეხება საბორტო გამზომი და შემსრულებელი მოწყობილობების ექსპერტულ სისტემას, ის უზრუნველყოფს მოცემულ მომენტში მაქსიმალურად სრული ინფორმაციის მიღებას, როგორც საბორტო აპარატურის მდგომარეობის, ისე საფრენი აპარატის გარემომცველი გარემოს შესახებ. ეს ორი ექსპერტული სისტემა მუშაობს მჭიდრო ურთიერთქმედების და ურთიერთკავშირის რეჟიმში. რაც შეეხება მმართველი დინამიკური სისტემების სრულყოფისა და ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდას, ეს მოითხოვს მეთოდოლოგიური საკითხების უფრო სიღრმისეულ ანალიზს და დამუშავებას ექსპერტული სისტემების შექმნისა და

გამოყენების თვალსაზრისით.

მომავალში შექმნადი მართვის და საკონსულტაციო ინტელექტუალური სისტემები უნდა ექვემდებარებოდნენ ჰიბრიდულობის პრინციპს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათ თავის თავში შერწყმული ექნებათ როგორც აბსოლუტურად განსაზღვრული, დეტერმინირებული, ისე ინტელექტუალური და არამკაფიო ელემენტები. დიდი როლი ექნება მინიჭებული მონაცემების ფიქსაციის მეთოდებს - საკმაოდ სხვადასხვა სახის გადამწოდების შექმნას და არამკაფიო ცოდნის დამუშავებას.

შეგვიძლია ვივარაუდოთ რომ მომავალი თაობის ინტელექტუალური ექსპერტული სისტემები თავის გაზრდილ ფუნქციათა რელიზაციის გზით შეძლებენ განუსაზღვრელობის პირობებში მიიღონ ოპტიმალური გადაწყვეტილება და საჭირო დონეზე გადაჭრან საფრენი აპარატების ფრენის მართვის რთული ამოცანები ექსტრემალურ სიტუაციებში

ლიტერატურა:

- [1] ს.ტეფნაძე, დ. ვეფხვაძე. ფრენის მართვის სისტემები. ლექციების კურსი. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2020. 203 გვ.
- [2] Вепхвадзе Д.А. Применение экспертных систем в гражданской авиации. Грузинский технический университет. Труды Автоматизированные системы управления №2, 2019, с. 51-56.
- [3] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. Физматлит 2000, 420 с.
- [4] Макаров И.М., Лохин В.М. Интеллектуальные системы автоматического управления. Москва.: Физматлит, 2001, -576 с.
- [5] Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. Москва.: Наука, 2006, -333 с.
- [6] Пролетарский А. В., Алексеева Е.Ю. Интеллектуальные системы управления летательными аппаратами. Наука и образование, Научное издание МГТУ, им. Н.Э. Баумана, №9, 2012, с.219-234.
- [7] Ручкин В.Н., Фулин В.А. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы. Санкт-Петербург: БХВ –Петербург, 2009. -260 с.

The intelligent systems of aircraft flight control

Demuri Vepkhvadze

Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedopli Ave., Tbilisi, 0103, Georgia

Abstract

The general structure of flight control intelligent systems, the structural scene of intelligent systems and the working process of board consulting intelligent systems are discussed in the article. The running scheme of onboard consulting intelligent system in the onboard information control system and its functions are defined. It is supposed that future generation intelligent expert systems within their increasing functions will be able to obtain optimal decision in the unlimited conditions and solve the difficult tasks of aircraft flight control in extreme situations.

Keywords: flying machines, intelligent control system, dynamic expert system, artificial intelligence, real time scale.

ვიბრო-აკუსტიკური მოვლენების შესწავლა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მოდერნიზებულ აეროდინამიკურ მილზე

ბიჭიკო მაზანიშვილი, ვაჟა კელიხაშვილი, ავთანდილ სვიანაძე, ნიკა ტაბატაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103, საქართველო

ანოტაცია

სტატიაში გამოკვლეულია აეროდინამიკურ მილში გამოსაცდელი ობიექტის ვიბრო-აკუსტიკური პროცესები, რომელიც საფრენი აპარატის პირველადი გამოცდებისას მუდმივად იჩენს თავს. აღნიშნული პროცესების შესწავლისთვის გამოყენებულია ორ არხიანი ოსცილოგრაფი და სხვადასხვა ტიპის თანამედროვე (MEMS) სენსორები, რომელთა საშუალებით შესწავლილია სხვადასხვა ტიპის ვიბრო-აკუსტიკური სიგნალები, მათზე განხორციელებულია ვიზუალური დაკვირვება, ჩატარებულია ანალიზი და ლოგირება.

საკვანძო სიტყვები: აეროდინამიკური მილი, ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკა, ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, ფლატერ-ეფექტი.

სსუ-ის მოდერნიზებული აეროდინამიკური მილის მონაცემთა შეგროვების კომპიუტერული სისტემის საშუალებით გამოსაცდელ აეროდინამიკურ (ად) მოდელებზე შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი სიზუსტით გაიზომოს:

- ძალები და მომენტები X, Y, Z დერძების მიმართულებით
- წნევებისა და გაუხშობების მნიშვნელობები ად მოდელის 12 წერტილში
- აეროდინამიკური გარსდენის ფოტო და ვიდეო მასალა და კიდევ მრავალი სხვა პარამეტრი.



ნახ.1 კომპიუტერული გაზომვის სისტემით აღჭურვილი სსუ აეროდინამიკური მილი

ამასთან ერთად, საფრენი აპარატების პროექტირებისას და შემდგომი გამოცდებისას ხშირად თავს იჩენს არასასურველი ვიბრაციული თუ აკუსტიკური

მოვლენები, რომელთა საფუძვლიანი შესწავლა საშუალებას იძლევა გამოვლენილ იქნას აღნიშნული პრობლემები და თავიდან იქნას აცილებული არასასურველი შედეგები.

მოდელების აეროდინამიკური პარამეტრების გაზომვასთან ერთად ვიბრო-აკუსტიკური ამოცანების გადაწყვეტა აეროდინამიკური მილის ფუნქციურ შესაძლებლობებს კიდევ უფრო უნივერსალურს გახდის და გაიზრდება მასზე სამეცნიერო ამოცანათა გადაწყვეტის პოტენციური შესაძლებლობები. გამოსაკვლევ ამოცანათა შესაძლო ჩამონათვალში შედის:

1. ციკლური ხაიათის მექანიკური და აეროდინამიკური დატვირთვებით გამოწვეული ვიბრაციები;
2. ფლატერ-ფექტების ამოცანების გამოკვლევები როგორც საფრენი აპარატების ასევე სამშენებლო ნაგებობების მოდელებზე.
3. რეზონანსული მოვლენების და სხვა მსგავსი ტიპური ამოცანების გამოკვლევები ტექნიკის მრავალ სფეროში და სხვა.

ასეთი სახის პრობლემები წარმატებით შეიძლება შესწავლილ იქნას, როგორც დღეისათვის არსებული კომპიუტერული სიმულაციების გამოყენებით: ANSYS, Solidworks და სხვა პროგრამულ უზრუნველყოფათა გამოყენებით, ასევე ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის აპარატურის, სენსორებისა და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით უშუალოდ გამოსაცდელ ად მოდელებზე.

ტექნიკის სფეროში მრავლად გვხვდება მსოფლიოს მოწინავე ფირმების მიერ დამუშავებული ვიბრო-აკუსტიკური, სწრაფი დიაგნოსტიკის მეთოდები და შესაბამისი სამეცნიერო-კვლევითი აპარატურა. მათ თან ახლავს სპეციალური ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკის პროგრამული უზრუნველყოფა. გამოსაკვლევი ტექნიკის შესაბამისად ანალიზისა და დიაგნოსტიკის პროგრამები სრულად მოიცავს ამ სფეროში შემავალ მოწყობილობებისა და დანადგარების ვიბრო-აკუსტიკური კვლევების მონაცემთა ბაზებს, სერიული აგრეგატების, ელექტროძრავების, საკისრების და სხვა მოწყობილობათა ანუ ე.წ. „ეტალონების“ გამოცდების შედეგების ვიბრაციული პორტრეტების ბიბლიოთეკას.

ყველა ამ კომპონენტთა დახმარებით ადვილად ხერხდება დანადგარ მოწყობილობათა დაუმლელად და დაუზიანებლად უწყესივრობების წარმოშობის მიზეზთა დროული ანალიზი და დეფექტების აღმოფხვრა. ცნობილია მაგალითად, რომ დიაგნოსტიკის ასეთი მეთოდებით 7-ჯერ უფრო სწრაფად ხდება ტურბორეაქტიული ძრავების უწყესივრობების აღმოჩენა ვიდრე სხვა საშუალებებით. ვიბროაკუსტიკური მეთოდების სწორედ ასეთმა შესაძლებლობებმა განაპირობა მათი მრავალჯერადი გამოყენება საავიაციო ტექნიკის ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

გარდა დაგეგმილი ტექნიკური მომსახურების დროს ჩატარებული ვიბრო-აკუსტიკური დიაგნოსტიკისა, თანამედროვე ავიალაინერები აღჭურვილია კომპიუტე-

რებით, სადაც ფრენის მთელი ხანგრძლივობის განმავლობაში, ყველა სხვა საჭირო პარამეტრების გაზომვასთან ერთად უკვე რეალიზებულია ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის და საფრთხეების მოახლოების შეტყობინების სისტემები. მაგალითისთვის გამოდგება **Boeing 787** და **Airbus A380** -ზე დანერგილი შვეიცარული ფირმა **MEGGITT**-ის ძრავას ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის სისტემა **EVM**. ამავე ფირმის სისტემებია გამოყენებული **Goodrich (Sikorsky)** და **Eurocopter** ვერტმფრენებზე.

ასეთი მიდგომა ახანგრძლივებს საფრენი აპარატების შემადგენელი კვანძებისა და აგრეგატების საექსპლუატაციო რესურსს და რა თქმა უნდა იგი პირველ რიგში გამიზნულია ფრენის უსაფრთხოების ასამაღლებლად.

სსუ ადმ-ზე ფართე სპექტრის ვიბრო-აკუსტიკური სახის ამოცანების გადასაწყვეტად და სამეცნიერო კვლევების ჩასატარებლად გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი აეროდინამიკური პარამეტრებისა: ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, მოდელზე მოქმედი X, Y, Z ძალების და მომენტებისა და სხვა, საჭიროა გამოსაკვლევი ობიექტის მუშაობის ვიბრაციული სურათის ცოდნა. ინტერნეტის საშუალებით შესაძლებელია როგორც სასურველი აპარატურის, ასევე პროგრამული უზრუნველყოფის შერჩევა. ზემოთ დასახული მიზნებისთვის შეირჩა:

- უნივერსალური, მცირე გაზომვების მქონე ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრონული მოდული **MAX-4466** ელექტრეტული სენსორით, მუშა დიაპაზონით 20Hz-20kHz და სიხშირეთა გატარების ზოლით 600kHz. მოდული საშუალებას იძლევა რხევების ფართო დიაპაზონში მოგვცეს გაძლიერებული და მაღალი სიზუსტის სიგნალები მცირედი გარეშე ხმაურით. იგი მცირე გაზომვების გამო შესაძლებელია დამონტაჟდეს როგორც უშუალოდ გამოსაცდელ ობიექტზე, ასევე მის გარეთ.



ნახ.2: ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრეტული სენსორი **MAX-4466**

- ვიბრო-აკუსტიკური მოდულიდან გამომავალი სიგნალის რეგისტრაციისა და მისი შემდგომი ანალიზისთვის შერჩეულ იქნა 7“ მონიტორიანი, ორარხიანი ელექტრონული ციფრული ოსცილოსკოპი **OWON SDS1102** მეხსიერების ბლოკით, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ვიბრო-აკუსტიკური ან სხვა

სწრაფადცვლადი პროცესების დეტექტირება და ოსცილოსკოპის ეკრანზე წარმოდგენა.

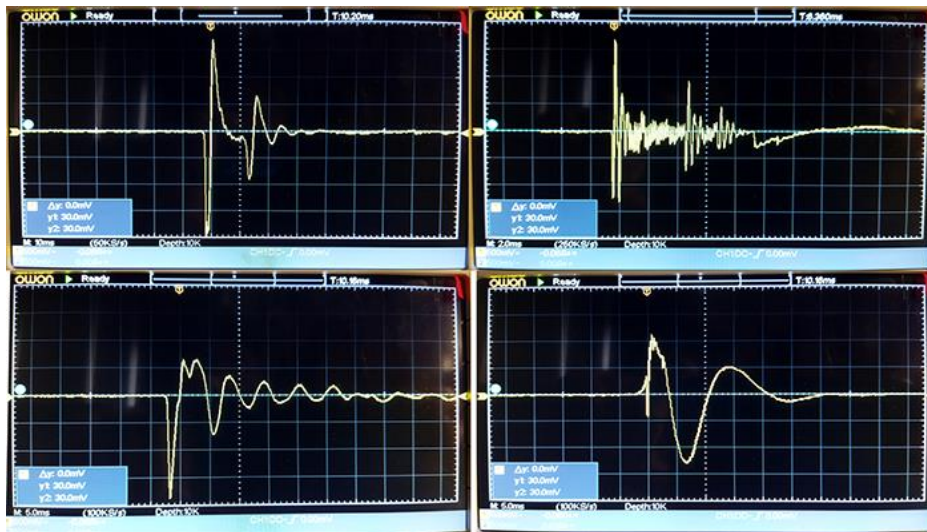


ნახ.3: ელექტრონული ციფრული ოსცილოსკოპი **OWON SDS1102**

ოსცილოსკოპით ხდება ვიბრო-აკუსტიკურ სიგნალზე ვიზუალური დაკვირვება, ანალიზი და ლოგირება.

- ვიბრაციული მოვლენის შესატყვისი გამომავალი სიგნალის დასამუშავებლად და გასაშიფრად თვით ოსცილოსკოპს გააჩნია ვიბროაკუსტიკური ანალიზის თანმხლები პროგრამული უზრუნველყოფა რომელსაც შეუძლია ჩაწერილი ვიბროაკუსტიკური სიგნალის ფურიეს მწკრივებად სწრაფი დაშლა და სიხშირებად დაყოფა FFT (Fast Fourier transforms).
- ოსცილოსკოპზე შესაძლებელია როგორც პერიოდული ასევე ერთჯერადი იმპულსური მოვლენების ჩაწერა და მისი შემდგომი ანალიზი. მასზე არსებული USB პორტის საშუალებით შესაძლებელია მონაცემთა ჩაწერა როგორც USB ფლეშ-მეხსიერებაში, ასევე გადაგზავნა პერსონალურ კომპიუტერზე მისი შემდგომი დამუშავების მიზნით.

ქვემოთ, მაგალითისთვის ნაჩვენებია ვიბრო-აკუსტიკური ელექტრეტული **MAX-4466** სენსორით ციფრულ ოსცილოსკოპ **OWON SDS1102**-ზე ჩაწერილი **სხვადასხვა მასალათა დარტყმის შედეგად მიღებული ვიბროაკუსტიკური სიგნალების სემპლების ჩანაწერის მაგალითები.**



ნახ.4: ელექტრონულ ციფრულ ოსცილოსკოპ OWON SDS1102-ზე ჩაწერილი ვიბროაუსტიკური სიგნალების სემპლების მაგალითები

პირველ ეტაპზე, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი შესაძლებლობებისა, ინტერნეტში წარმოდგენილი ვიბრო-აკუსტიკური პროცესების სპექტრული ანალიზის თავისუფალი მოხმარების პროგრამებით შესაძლებელია მრავალი სხვადასხვა სახის საკმაოდ რთული ამოცანების და ტექნიკური სისტემების ვიბრაციული პარამეტრების განსაზღვრა და უწყესირობათა დიაგნოზის დასმა. ეს პროგრამები გამიზნულია როგორც პერსონალური კომპიუტერებისთვის ასევე iPhone და Android-ის ტიპის სმარტფონებზე გამოყენებისთვის. მაგალითისთვის გამოდგება:

- VibrationAnalysis - Smart Vibration Meter - (<https://apkpure.com/vibration-analysis-smart-vibration-meter/com.a4uteam.vibrationmeter/>);
- Vibration analyzer – ARGUS; (<https://www.sandsindia.com/vibration-analyzer/>) - საკმაოდ ახალი და მოხერხებული ანდროიდის ბაზაზე აგებული ვიბროაკუსტიკური დიაგნოსტიკის სისტემა, სადაც კარგადაა გამოყენებული თანამედროვე სმარტფონის შესაძლებლობები.



ნახ.4: ვიბროანალიზატორი Vibration analyzer – ARGUS და მისი გამოყენების სფეროები

ვიბროანალიზატორი არის მინიატურული, წყალმდედგობის IP65 დაცვის კლასიანი, სამღერძიანი აჩქარების სენსორით და პროგრამული უზრუნველყოფით, რომელიც მუშაობს სმარტფონის საშუალებით: ზომავს თითქმის ყველა სახის ვიბროპარამეტრს და აკეთებს სპექტრულ FFT ანალიზს.

უფრო რთული და მაღალი დონის სამეცნიერო-კვლევების ჩატარების აუცილებლობის შემთხვევაში მოხდება პროექტის შესაბამისი უფრო ძვირფასი და ზუსტი სენსორების, მაღალი დონის აპარატურის და სათანადო ფასიანი პროგრამული უზრუნველყოფის მოძიება და მათი გამოყენება, მაგ: „GRAS Sound & Vibration“ ან სხვ.

გამოყენებული ლიტერატურა:

[1] Engine Health Monitoring Systems; vibro-meter®-Meggitt SA

https://meggittsensing.com/wp-content/uploads/2017/02/Aero-EVM-EHM-Systems_v1-0_11-08.pdf

[2] Monitoring System of Vibroacoustic Parameters of a Working Zone

<https://www.ijast.org/issues/vm02is02/article30.pdf>

Диагностика самолетов

<https://avia.pro/blog/diagnostika-samoletov>

Method of Vibration Diagnostics of Aircraft Mechanical Components in Civil Aviation.

A.A. San'ko, A.L. Starichenkov .

https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n5_22.pdf

[3] Vibroacoustic Analysis In The Assessment Of The Technical Condition Of The Aircraft

Airframe Composite Elements

<http://www.dianostyka.net.pl/pdf-135098-65605?filename=Vibroacoustic%20analysis%20in.pdf>

[4] Vibration Control Analysis of Aircraft Wing by Using Smart Material

<https://core.ac.uk/download/pdf/234643531.pdf>

[5] Теория и методы мониторинга и диагностики

https://omgtu.ru/general_information/faculties/radio_engineering_department/department_quot_radio_devices_and_diagnostic_systems_quot/educational-materials/Theory_and_methods_of_monitoring_and_diagnostics/Теория%20и%20методы%20мониторинга%20и%20диагностики%20ЛЕКЦИИ%202018-11-28-83.pdf

[6] Методы и средства диагностирования авиационной техники

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8yervvb76AhWBhP0HHUkuA_YQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fspbgu.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F12%2FMetodi_i_sredstva_dagnostirovaniya.doc&usg=AOvVaw3MD0sE9pm6Kssf8P4y3OFL

[7] Wind Tunnel Testing for Vibration Analysis of High

[8] Rise Building Due to Wind load

[9] Wind Tunnel Testing for Vibration Analysis of High Rise Building Due to Wind load

https://www.researchgate.net/publication/337365403_Wind_Tunnel_Testing_for_Vibration_Analysis_of_High_Rise_Building_Due_to_Wind_load

[10] Тиц С.Н. Контроль наличия повреждений авиационных конструкций из композиционных материалов

<https://ms.b-ok.asia/book/3258676/4ee64c>

[11] Vibration Meter & Analyzer

https://www.google.com/search?q=Vibration+Meter+%26+Analyzer&tbm=isch&ved=2ahUKEwia4pDijsL6AhXmh_0HHVGnCc0Q2-cCegQIABAA&oq=Vibration+Meter+%26+Analyzer&gs_lcp=CgNpbWcQDFAAWABggBVoAHAAeACAAX-IAx-SAQMwLjGYAQcGaqGqAQnd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=Z9A5Y9qSMuaP9u8P0c6q6Ao&bih=939&biw=1842&client=opera

[12] OWON SDS1000 2CH SERIES DIGITAL OSCILLOSCOPE

http://www.owon.com.hk/list_Digital_Oscilloscopes?seek=1102

[13] GRAS; Aerospace & Defense; GRAS Sound & Vibration

<https://www.grasacoustics.com/industries/aerospace-defense>

Abstract

The article investigates the vibro-acoustic processes of the test object in the wind tunnel, which constantly occurs during the initial tests of the aircraft. Two-channel oscilloscope and different types of modern (MEMS) sensors are used for the study of the mentioned processes, with the help of which different types of vibro-acoustic signals are studied, they are visually observed, analyzed and logged.

Key words: aerodynamic pipe, vibro-acoustic diagnostics, air flow speed, flutter effect.

კონტურზე ხისტად ჩამაგრებული წრიული ფირფიტის ანალიზი მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში

ს.ნ. ზლიაძე, ს.ს. ზლიაძე, ნ.ს. ზლიაძე, ი. ლოლაძე

სსიპ სსტც „დელტა“, ბერი გაბრიელ სალოსის გამზ. 191. 0144 თბილისი,
საქართველო

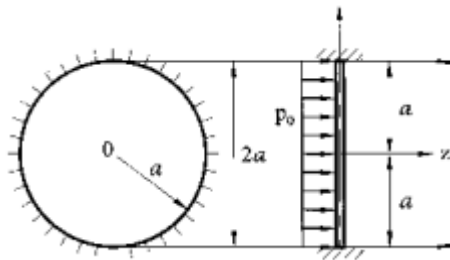
ანოტაცია

წრიული სახის ფირფიტები ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებულ ფირფიტებს წარმოადგენს მართკუთხა ფირფიტების შემდეგ, კერძოდ მისი ფართოდ გამოყენების სფეროს წარმოადგენს თვითმფრინავმშენებლობა (ლუკები), ხოლო რაც შეეხება მის ჩამაგრებას კონტურზე ფართოდ გავრცელებულია ხისტი ჩამაგრება. სტატიის მიზანს წარმოადგებს სწორედ ასეთი სახის ფირფიტების ანალიზი სიმტკიცეზე, მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში. მიღებულია ჩალუნვის ფუნქციის ანალიზური მნიშვნელობა და მლუნავ მომენტთა აღმწერი გამოსახულებები. მოცემულია ასევე გრაფიკული ინტერპრეტაცია. შევნიშნოთ, რომ ასეთი სახის ამოცანები გადაწყვეტილია პოლარულ კოორდინატთა სისტემაში.

საკვანძო სიტყვები: წრიული ფირფიტა, ძაბვები, ჩალუნვის ფუნქცია, მლუნავი მომენტები.

ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ კონტურზე ხისტად ჩამაგრებული r რადიუსისა და h სისქის მქონე წრიული ფირფიტა, რომლის მთელ ზედაპირზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა p_0 ინტენსიობით.



ნახ.1

ვთქვათ $r = a$ კოორდინატთა სათავე მოთავსებულია ფირფიტის ცენტრში (იხ. სქემა). დავეწყოთ წრეწირის განტოლება რომელიც შემოსაზღვრავს ფირფიტას $x^2 + y^2 - r^2 = 0$, ჩალუნვის ფუნქცია ვეძებთ შემდეგი სახით:

$$w = k \cdot (x^2 + y^2 - r^2)^2 \quad (1)$$

სადაც k - ჯერჯერობით უცნობი მუდმივი კოეფიციენტია. დავეწყოთ ფირფიტის ლუნვის დიფერენციალური განტოლება რომელიც მიიღო ლაგრანჟმა 1811 წ.

მათემატიკურად დიფ. განტოლება შეიძლება კლასიფიცირდეს როგორც წრფივი, მეოთხე რიგის კერძოწარმოებულებიან მუდმივკოეფიციენტებიანი დიფერენციალური განტოლება

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p_0}{D} \quad (2)$$

სადაც $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$, წარმოადგენს ცილინდრულ სიხისტე. ამასთან შევნიშნოთ, რომ h

ფირფიტის სისქეა, ხოლო μ პუანსონის კოეფიციენტი, ხოლო E დრეკადობის მოდულია. (1) გამოსახულებაში არსებითი მნიშვნელობა აქვს მეორე ხარისხს რადგანაც პირველი ხარისხი (2) განტოლებას არ დააკმაყოფილებს, ამასთან მსგავსი ამოცანების ამოხსნა მოსახერხებელია მართკუთხა კოორდინატთა სისტემიდან პოლარულ კოორდინატთა სისტემაზე გადასვლით. გამოვთავალოთ (2) განტოლებაში შემავალი წევრები და ვნახოთ რა შემთხვევაში აკმაყოფილებს მას (1) გამოსახულება:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 4kx(x^2 + y^2 - a^2);$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = 4ky(x^2 + y^2 - a^2);$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 4k(3x^2 + y^2 - a^2); \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 4k(x^2 + 3y^2 - a^2); \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 8kxy;$$

$$\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} = 24kx; \quad \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} = 24ky; \quad \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = 24k; \quad \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 24k;$$

$$\frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 8ky; \quad \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial^2 y} = 8k;$$

ჩავსვათ მიღებული გამოსახულებები (2) დიფერენციალურ განტოლებაში მივიღებთ:

$$24k + 2 \cdot 8k + 24k = \frac{p_0}{D} \Rightarrow k = \frac{p_0}{64D};$$

შესაბამისად ჩაღუნვის ფუნქცია მიიღებს შემდეგ სახეს (იხ. ნახ.1) [1,2,3,4]:

$$w = \frac{p_0}{64D} \cdot (x^2 + y^2 - a^2)^2 \quad (5)$$

რადგანაც (5) გამოსახულებაში შედის წრეწირის განტოლება, ცხადია კონტურზე $w = 0$.

გარდა ამისა რადგანაც ფირფიტა ხისტადაა ჩამაგრებული $\frac{\partial w}{\partial x}$ და $\frac{\partial w}{\partial y}$ ტოლი უნდა იყოს

ნულის. რადგანაც

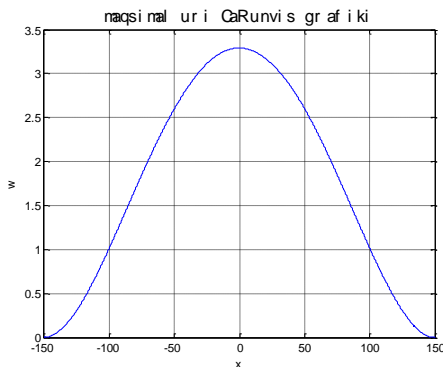
$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{P_0}{16D} x(x^2 + y^2 - a^2); \quad \text{და} \quad \frac{\partial w}{\partial y} = \frac{P_0}{16D} y(x^2 + y^2 - a^2);$$

ორივე ამ გამოსახულებაში შედის წრეწირის განტოლება ამიტომ $\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial y} = 0$.

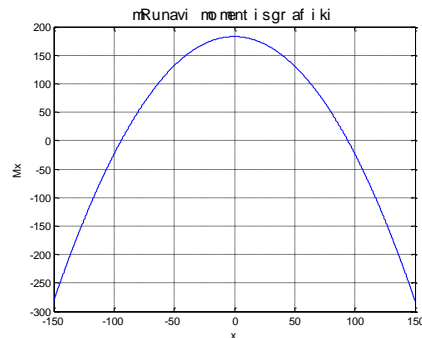
ცხადია ჩაღუნვა თავის უდიდეს მნიშვნელობას მიაღწევს ცენტრში როდესაც $x = y = 0$; მართლაც, დავწეროთ ექსტრემუმის არსებობის აუცილებელი პირობა:

$$\begin{cases} \frac{\partial w}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial w}{\partial y} = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x(x^2 + y^2 - a^2) = 0; \\ y(x^2 + y^2 - a^2) = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 0; \\ y = 0. \end{cases}$$

$$A = \left. \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|_{x=0, y=0} = \frac{P_0 a^2}{16D}; \quad B = \left. \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right|_{x=0, y=0} = \frac{P_0 a^2}{8D} xy = 0; \quad C = \left. \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right|_{x=0, y=0} = \frac{P_0 a^2}{16D};$$



ნახ.2



ნახ.3

რადგანაც $AC - B^2 = \frac{q^2 r^2}{256D^2} > 0$ და $A > 0$ აქედან გამომდინარე ჩაღუნვის w ფუნქციას

$(0;0)$ წერტილში გააჩნია უმცირესი მნიშვნელობა რომელიც ტოლია: $w_{\max} = w_{(0;0)} = \frac{P_0 a^4}{64D}$

(6)

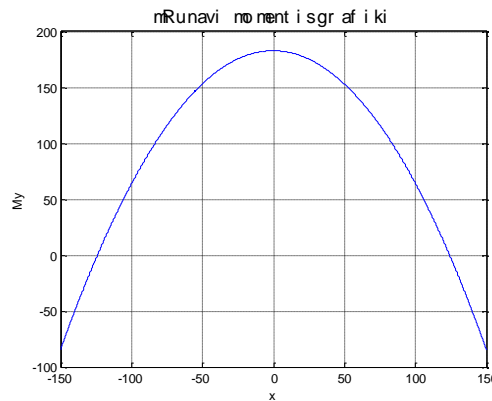
გამოვთვალოთ მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები ox ღერძის გასწვრივ (იხ. ნახ. 3):

$$\begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = \\ &= -D \left[\frac{P_0}{16D} (3x^2 + y^2 - a^2) + \mu \frac{P_0}{16D} (x^2 + 3y^2 - a^2) \right] = \\ &= -\frac{P_0}{16} [3x^2 + y^2 - a^2 + \mu(x^2 + 3y^2 - a^2)] = \\ &= -\frac{P_0}{16} [x^2(\mu + 3) + y^2(1 + 3\mu) - a^2(1 + \mu)]; \end{aligned} \quad (7)$$

ფირფიტის ცენტრში მომენტის მნიშვნელობა $(0;0)$ წერტილში ტოლია:

$$M_x|_{(0;0)} = \frac{P_0 a^2}{16} (1 + \mu), \text{ ხოლო ფირფიტის კიდეზე } (r,0) \text{ წერტილში } M_x|_{(r;0)} = -\frac{P_0 a^2}{8}, [1,2,4].$$

გამოვთვალოთ მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა xy ღერძის გასწვრივ (იხ. ნახ. 3) [1,2,4]:



ნახ.4

$$\begin{aligned} M_y &= -D \left(\mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = \\ &= -D \left[\mu \frac{P_0}{16D} (3x^2 + y^2 - a^2) + \frac{P_0}{16D} (x^2 + 3y^2 - a^2) \right] = \\ &= -\frac{P_0}{16} \left[\mu (3x^2 + y^2 - a^2) + x^2 + 3y^2 - a^2 \right] = \\ &= -\frac{P_0}{16} \left[x^2 (1 + 3\mu) + y^2 (3 + \mu) - a^2 (1 + \mu) \right]; \end{aligned} \quad (8)$$

ფირფიტის ცენტრში მომენტის მნიშვნელობა $(0;0)$ წერტილში ტოლია:

$$M_y|_{(0;0)} = \frac{P_0 a^2}{16} (1 + \mu), \text{ ხოლო ფირფიტის კიდეზე } (r,0) \text{ წერტილში } M_y|_{(r;0)} = -\frac{P_0 a^2 \mu}{8}. \quad (7) \text{ და}$$

(8) ფორმულების ანალიზით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მაქსიმალური ძაბვა მიიღება ფირფიტის კონტურზე რომელიც ტოლია:

$$\sigma_x = -\frac{12Dz}{h^3} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \quad z = \frac{h}{2} \quad \text{მივიღებთ: } \sigma_{\max} = -\frac{6M_x}{h^2} = -0.75 \cdot \frac{qr^2}{h^2}.$$

$$\text{გამოვთვალოთ მგრეხავი მომენტი: } M_{xy} = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \frac{P_0(1 - \mu)}{8} xy;$$

ძვრის მიერ გამოწვეული ძაბვა ტოლია:

$$\tau_{xy} = -\frac{6M_{xy}}{h^2} = -\frac{3P_0(1 - \mu)}{4h^2} xy.$$

განვსაზღვროთ ფირფიტაზე მოქმედი გადამჭრელ ძალები [1,4]:

$$Q_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = -D \cdot 4 \cdot \frac{p_0}{64D} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (4x^2 + 4y^2 - 2a^2) =$$

$$= -32D \frac{p_0}{64} x = -\frac{p_0}{2} x.$$

$$Q_y = -D \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = -D \cdot 4 \cdot \frac{p_0}{64D} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (4x^2 + 4y^2 - 2a^2) =$$

$$= -32D \frac{p_0}{64} y = -\frac{p_0}{2} y.$$

ღუნვის დეფორმაციების განსაზღვრა მცირე ჩაღუნვების შემთხვევაში:

$$\varepsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -\frac{h}{2} \cdot \frac{4p_0}{64D} (3x^2 + y^2 - a^2) = -\frac{p_0 h}{32D} (3x^2 + y^2 - a^2);$$

$$\varepsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{h}{2} \cdot \frac{4p_0}{64D} (x^2 + 3y^2 - a^2) = -\frac{h q}{32D} (x^2 + 3y^2 - a^2);$$

განვსაზღვროთ ძვრის დეფორმაცია:

$$\gamma_{xy} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = -2 \cdot \frac{h}{2} \cdot 8 \cdot \frac{p_0}{64D} xy = -\frac{h p_0}{8D} xy.$$

დასკვნა

მიღებულია მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში ჩაღუნვის ფუნქციის გამოსახულება, ასევე მიღებულია ორივე ღერძის მიმართ მღუნავი მომენტების და გადამჭრელ ძალთა გამოსათვლელი ფორმულები, მოყვანილია ამონახსენთა გეომეტრიული ინტერპრეტაცია ox ღერძის გასწვრივ მოცემულია დეფორმაციათა გამოსათვლელი ფორმულები მცირე ჩაღუნვების შემთხვევაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] Тимошенко С.П. и Войновский-Кригер С. Плфстинки и оболочки. Москва. Изд. “Наука”, 1966 г., 636 стр.
- [2] Жемочкин Б.Н. Теория упругости. Москва. Гос. Издательство лителатуры по строительству и архитектуре. 1957 г., 257 стр.
- [3] nВайнберг Д.В. Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. Киев, Изд. “Бндівельник”, 1970 г., 437 стр.
- [4] Ventsel E., Krauthammer T. Thin Plates and Shells. New York. Basel, Marcel Dekker, Inc. 2001, 651p.

Analysis in a rectangular coordinate system rigidly fixed round plate along the contour

S.N. Bliadze, S.S. Bliadze, N.S. Bliadze, I. Loladze
191 Monk Gabriel Salos Ave. 0144, Tbilisi, Georgia

Abstract

An image of the deflection function in a rectangular coordinate system is obtained, as well as formulas for calculating bending moments and shearing forces along both axes, a geometric interpretation of the solutions is given, and formulas for calculating deformations along the ox axis at small mixing are given.

Key words: circular plate, stresses, bending function, bending moments.

აეროდინამიკურ მილში ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა ველის განსაზღვრა პიტოს მილის საშუალებით

ბ. მაზანიშვილი, ა. სვიანაძე, ვ. კელიხაშვილი

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103, საქართველო

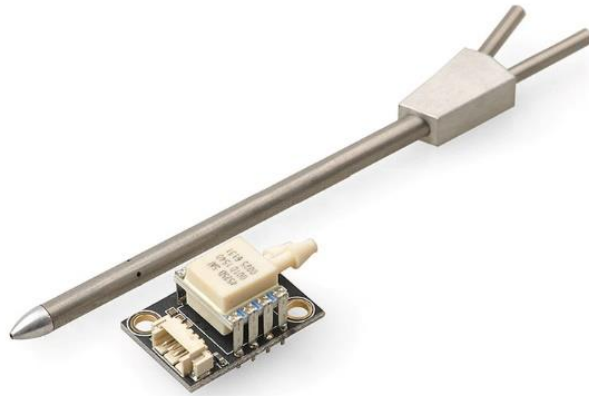
ანოტაცია

სტატიაში ექსპერიმენტულად შესწავლილია აეროდინამიკურ მილში ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების ცვლილება მილის კედელთან სასაზღვრო ზონაში პიტოს მილის გამოყენებით. მეთოდიკა ითვალისწინებს ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ზუსტ და წერტილოვან გაზომვებს აეროდინამიკური მილის სატესტო ზონის როგორც ცენტრალურ, ასევე პერიფერიულ უბნებში X, Y და Z კოორდინატების მიმართულებით. **საკვანძო სიტყვები:** აეროდინამიკური მილი, პიტოს მილი, ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, სატესტო ზონა

აეროდინამიკურ მილში (ადმ) მოდელების გამოცდისას საჭიროა მისი სამუშაო ზონის ზღვრების ზუსტი ცოდნა, რადგან ცნობილია, რომ ჰაერის ნაკადის სიჩქარე პერიფერიებთან მიახლოებისას კლებულობს. აეროდინამიკური გამოცდებისას საჭიროა ამ ზონაში ჰაერის ნაკადის სითანაბრე, რათა გამოსაცდელი მოდელის გარშემო იყოს ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა თანაბარი, ჰომოგენური ველი. როგორც წესი, ცნობილ ფორმებში ადმ ტექნიკური შემოწმებისას ასეთ გაზომვებს სპეციალური საატესტაციო გამზომი ლაბორატორიები აწარმოებენ.

სსუ-ის ადმ-თვის ამ საკითხის წარმატებით გადასაწყვეტად შედგენილ იქნა ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა ველის სივრცითი განაწილების გაზომვის მეთოდიკა და შეირჩა სათანადო სიზუსტის გამზომი აპარატურა. მეთოდიკა ითვალისწინებს ჰაერის ნაკადის სიჩქარის ზუსტ და წერტილოვან გაზომვებს აეროდინამიკური მილის **სატესტო ზონის** როგორც ცენტრალურ, ასევე პერიფერიულ უბნებში X, Y და Z კოორდინატების მიმართულებით.

ჰაერის ნაკადის სიჩქარის წერტილოვანი გაზომვებისთვის მოძიებული იქნა ლაბორატორიული ციფრული პიტოს მილი (ნახ.1), რომლის საშუალებით შესაძლებელია სატესტო ზონის განსაზღვრული კოორდინატების წერტილებში სანტიმეტრის გრადაციით გაიზომოს მისი მნიშვნელობები ციფრული სახით და შემდგომ დადგინდეს ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა ველის სივრცითი სურათი 3-32 მ/წმ-ის დიაპაზონში.



ნახ. 1. პიტოს მილი წნევის ციფრული დიფერენციალური MEMS სენსორით

ექსპერიმენტული სამუშაოების საწყის ეტაპზე, სიჩქარეთა სრულ დიაპაზონში, მოხდა პიტოს მილის ე.წ. დაკალიბრება უფრო ზუსტი, ტურბინული ანემომეტრის (ნახ.2) საშუალებით.



ნახ. 2. ტურბინული ანემომეტრი

მინიატურული პიტოს მილი შედგება უშუალოდ ლაბორატორიული, მცირე გაზარიტების მქონე პიტოს მილისგან და ელექტრონული ბლოკისგან. თვით ელექტრონული ბლოკი, რომელშიც მოთავსებულია წნევის დიფერენციალური მინიატურული MEMS სენსორი, აღჭურვილია 24 ბიტის ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით. ამოტომაა, რომ იგი გამოირჩევა ელექტრულ სიგნალთა გაზომვის მაღალი სიზუსტით. გამომავალი სიგნალი მიემართება ადმ-ის პარამეტრთა გაზომვის კომპიუტერული სისტემის (DAQ) კონტროლერში, ხოლო შემდგომ ექსპრეს მონიტორზე,

სადაც ეს პარამეტრი წარმოდგება ციფრული სახით.

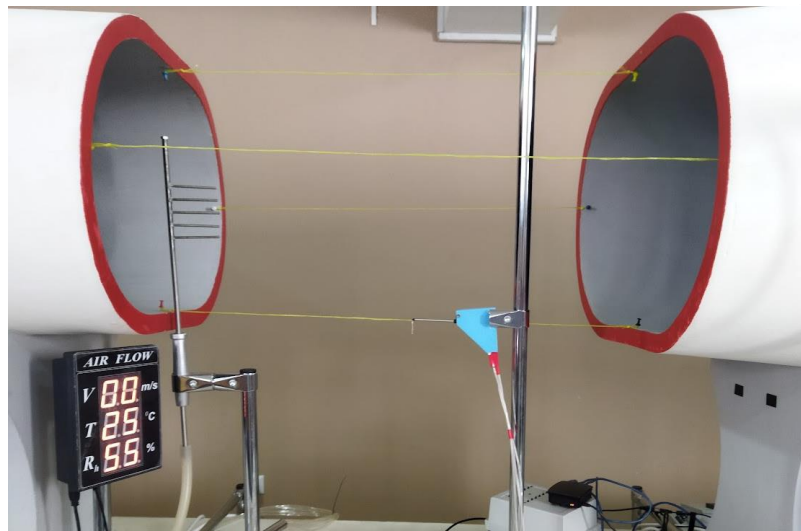
უშუალოდ ტურბინული ანემომეტრით შეუძლებელია სამუშაო ზონის კიდებთან ახლოს ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა წერტილოვანი მნიშვნელობების განსაზღვრა მისი დიდი გაბარიტების გამო, რის გამოც ძირითადი გაზომვები ჩატარდა პიტოს მილის საშუალებით.

მეორეს მხრივ პასპორტში მითითებულია, რომ პიტოს მილით გაზომილი ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა მნიშვნელობები 0-3 მ/წმ-მდე არ გამოირჩევა დიდი სიზუსტით. ჰაერის ნაკადის 3 მ/წმ სიჩქარის ზევით პიტოს მილის მიერ გაზომვის სიზუსტეები შეადგენს $\pm 0,5$ მ/წმ, რაც სავსებით აკმაყოფილებს გაზომვის სიზუსტის მოთხოვნებს. ნახ. 3-ზე მაგალითისთვის ნაჩვენებია ანემომეტრისა და პიტოს მილით გაზომილი ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა ჩვენებები დაახლოებით 20 მ/წმ სიჩქარისას.



ნახ.3: ტურბინული ანემომეტრის ჩვენებაა 20,1 მ/წმ, ხოლო პიტოს მილის 20 მ/წმ

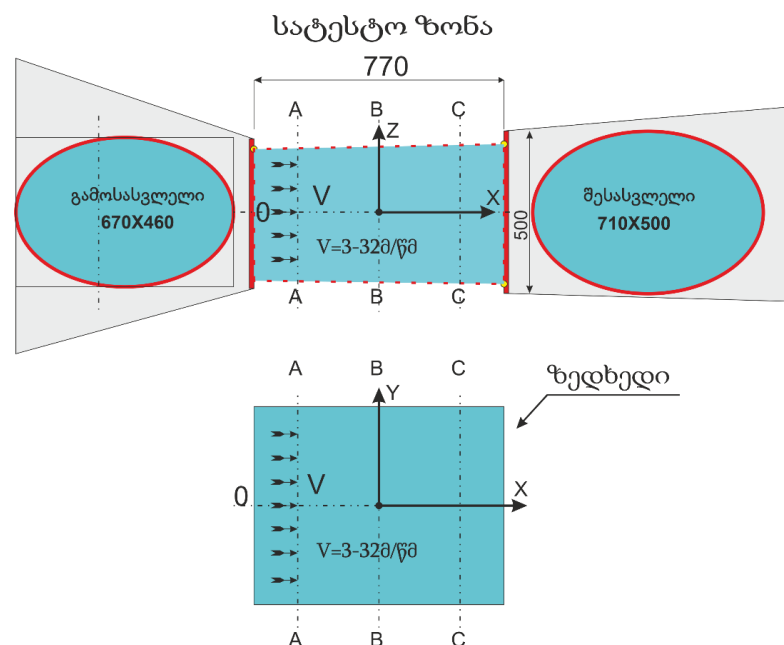
გაზომვების პროცედურის სიზუსტის უზრუნველსაყოფად ადმ-ის დიფუზორისა და კონფუზორის ტუჩების შიგა მხრიდან გაჭიმული იქნა გაბარიტული ზონარები გვერდებზე, ზემოთ და ქვემოთ (ნახ.4).



ნახ. 4: ადმ-ის ტუჩების შიგნით გაჭიმული, გაბარიტული ზღვრების აღმნიშვნელი ყვითელი ფერის ზონარები

მათი დახმარებით, შემდგომში, ადვილად მოხერხდა პიტოს მილის ზუსტი დაფიქსირება საზღვრებთან მიახლოვებისას, უშუალოდ კიდეებთან.

სამუშაო ზონა X ღერძის გასწვრივ პირობითად დაიყო 3 სახასიათო სიბრტყედ, ცენტრალური B-B, სადაც კოორდინატა სათავეა ანუ ადმ-ის ცენტრში, 25 სმ-ით წინ - A-A და ცენტრიდან 25 სმ-ით უკან - C-C.



ნახ.4 ჰაერის ნაკადის სიქარეების გაზომვის სიბრტყეები და კოორდინატა ღერძების განლაგება აეროდინამიკური მილის სატესტო ზონაში.

გაზომვის მეთოდის შესაბამისად, წინასწარ განსაზღვრულ კოორდინატებში,

მოხდა ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა მნიშვნელობების გაზომვა. გაზომვა იწყებოდა ადმ-ის სამუშაო ზონის ცენტრიდან და შემდეგ სრულდებოდა მის პერიფერიებზე X, Y და Z მიმართულებით. ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების გაზომვის სიბრტყეები და კოორდინატთა ღერძების განლაგება ნახ.4-ზე.

ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების მრავალჯერადმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ მათი მნიშვნელობები სატესტო ზონის მთელ არეში, საკმად თანაბარმნიშვნელოვანია და მხოლოდ კიდეებთან, უშუალოდ 1-2 სმ-ით მიახლოვებისას უცებ ვარდება ნულამდე, ანუ ყველა კიდეებთან მიახლოვებისას X, Y და Z მიმართულებით გაზომვის შედეგები იდენტურია.

გაზომვის შედეგებიდან გამომდინარე დასკვნის სახით უნდა ითქვას, რომ სსუ მოდერნიზებული ადმ-ის სატესტო ზონის სიჩქარეთა სივრცითი ველის მახასიათებელი საკმაოდ თანაბარია და მცირდება მხოლოდ უშუალოდ მის კიდეებთან 1-2 სმ-ით მიახლოვებისას.

დასკვნა

ასეთი მეთოდით ადმ-ის სატესტო ზონაში ჰაერის ნაკადის სიჩქარეთა სივრცითი ველის გაზომვა საშუალებას იძლევა, რომ სსუ ადმ დახვეწილი ტექნიკური მახასიათებლების გამო მივიჩნიოთ, როგორც ნატიფი ტექნიკური მოწყობილობა. ფაქტიურად დადგინდა სატესტო ზონის ზუსტი ზღვრები, რომლის შიგა არეშიც შეიძლება გამოიცადოს სხვადასხვა ფორმისა და ზომის აეროდინამიკური მოდელები. ტექნიკურ მონაცემებში უკვე შესაძლებელია მიეთითოს გამოსაცდელი მოდელების რეკომენდებული მაქსიმალური დასაშვები გაბარიტების მნიშვნელობები:

სიგრძე X=55-65 სმ; სიგანე Y=55-65 სმ; სიმაღლე Z=35-40 სმ.

Abstract

The article experimentally studies the change of air flow velocities in an wind tunnel in the border zone of the tube wall using a pitot tube. The methodology provides accurate and spot measurements of air flow velocity in both the central and peripheral areas of the test zone of the wind tunnel in the direction of X, Y and Z coordinates.

Keywords: aerodynamic tube, pitot tube, air flow rate, test area.

ლიტერატურა:

[1] Differential PITOT https://www.amazon.com/gp/product/B01J7NCML0/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o03_s00?ie=UTF8&th=1

[2] <https://ssu.edu.ge/2021/10/22/აეროდინამიკური-მილი/>

[3] <https://www.aerolab.com/products/>

ავიაციაში მანქანური სწავლების ღია პლატფორმების შესაძლო გამოყენების თაობაზე

ს. ბარნოვი, დ. საცერაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 0160, საქართველო, თბილისი, კოსტავას 77

ანოტაცია

სტატიაში განხილულია ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის პროცესის არსებული რეალობა და პერსპექტივები და მასთან დაკავშირებული საკითხები, რომლებიც გულისხმობენ პირველადი და მეორადი ამოცანების გადაჭრას. განხილულია ღია კოდზე დაფუძნებული მანქანური სწავლების ხუთი პროგრამული ბიბლიოთეკა და მათი შესაძლებლობები. შემოთავაზებულია ღია პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით ვირტუალური სტენდის შექმნის კონცეფცია, რომელსაც გააჩნია მუშაობის ორი ძირითადი რეჟიმი, როგორც ვირტუალურ გარემოში ისე რეალურ მოწყობილობებთან.

საძიებო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, მანქანური და ღრმა სწავლება, PyTorch, TensorFlow, Microsoft Cognitive Toolkit.

შესავალი

მანქანური სწავლების (ML, Machine Learning) მეთოდები და პროგრამები სწრაფად ცვლიან სხვადასხვა ინდუსტრიას. ბევრმა საწარმომ შეამცირა წარმოებისა და ექსპლუატაციის ხარჯები, ვინაიდან დანერგა მანქანური სწავლების მოდელებითა და ალგორითმებით აღჭურვილი ინსტრუმენტების გამოყენება. ღრმა სწავლება (DL, Deep Learning), რომელიც არის მანქანური სწავლების ქვეჯგუფი, უკვე აქტიურად გამოიყენება წარმოებებში, წამლების შექმნაში, კომპიუტერული ხედვასა და პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირებაში [1].

ზოგადად მანქანური სწავლება (ML) არის ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების კლასი, რომლის დამახასიათებელი ნიშანია არა პრობლემის პირდაპირი გადაწყვეტა, არამედ სწავლა მრავალი მსგავსი პრობლემის გადაწყვეტის გამოყენებით. ასეთი მეთოდების შესაქმნელად გამოიყენება მათემატიკური სტატისტიკის ინსტრუმენტები, რიცხვითი მეთოდები, მათემატიკური ანალიზი, ოპტიმიზაციის მეთოდები, ალბათობის თეორია, გრაფთა თეორია, ციფრული ფორმით მონაცემებთან მუშაობის სხვადასხვა ტექნიკა.

არსებობს სწავლების ორი მეთოდი:

1) სწავლება ნიმუშებზე, მიეკუთვნება ე. წ. ინდუქციური სწავლების მეთოდს რომლის დროსაც სწავლების პროცესი მიმდინარეობს კონკრეტულიდან ზოგადისკენ. სწავლება ნიმუშებზე, ეფუძნება მონაცემებში ემპირიული ნიმუშების აღმოჩენას, რომლის დროსაც ემპირიული კანონზომიერება დაფუძნებულია ექსპერიმენტულ მონაცემებზე და საშუალებას გვაძლევს ტიპიურ სიტუაციებში მივიღოთ ზუსტად მიახლოებული შედეგი. ასეთი კანონზომიერებები ადვილად დასამახსოვრებელია და შესაძლებელს ხდის გარკვეული მნიშვნელობები გამოვთვალოთ რთული ინსტრუმენტების გარეშე. აღნიშნული კანონზომიერებები გამოიხატება როგორც მათემატიკური ფორმულა, რომელიც საკმარისი სიზუსტით ასახავს დაკვირვების შედეგად მიღებულ შედეგებს. ასეთ ფორმულას ან არ აქვს მკაცრი თეორიული წარმოშობა, ან არის უფრო რთული ზუსტი თეორიული მიმართების საკმაოდ მარტივი ანალოგი.

2) დედუქციური სწავლება (პროცესი, რომლის დროსაც სწავლება მიმდინარეობს ზოგადიდან კონკრეტულისაკენ) გულისხმობს საექსპერტო ცოდნის ფორმალიზებას და მის გადაცემას კომპიუტერში ცოდნის ბაზის სახით.

დედუქციური სწავლება ჩვეულებრივ მიეკუთვნება საექსპერტო სისტემების სფეროს, ამიტომ ტერმინები მანქანური სწავლება და სწავლება ნიმუშებზე შეიძლება სინონიმად ჩაითვალოს. აღსანიშნავია რომ მრავალი ინდუქციური სწავლის მეთოდი შემუშავდა, როგორც კლასიკური სტატისტიკური მიდგომების ალტერნატივა. ბევრი მეთოდი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ინფორმაციის მოპოვებასთან, ინფორმაციის მოძიებასთან და მონაცემთა მოპოვებასთან.

რაც შეეხება ღრმა სწავლება (DL) იგი არის მანქანური სწავლების მეთოდების ერთობლიობა (მასწავლებელთან, მასწავლებლის გარეშე, მასწავლებლის ნაწილობრივი ჩართულობით (ცოდნა განმტკიცებით), რომელიც დაფუძნებულია არა კონკრეტული ამოცანის ალგორითმებზე არამედ სასწავლო ნაკრების საფუძველზე.

ღრმა სწავლების მრავალი მეთოდი ცნობილი იყო ჯერ კიდევ 1980-იან წლებში, თუმცა შთამბეჭდავი შედეგები გამოჩნდა მას შემდეგ, რაც განხორციელდა წინსვლა ხელოვნური ნეირონული ქსელების თეორიაში და გაიზარდა კომპიუტერის გამოთვლითი სიმძლავრეები, რომლებიც უკვე საშუალებას იძლევა გადაიჭრას პრობლემების ფართო სპექტრი, მაგალითად, კომპიუტერული ხედვის, მანქანური თარგმანის, მეტყველების ამოცნობის და სხვა. მნიშვნელოვანია, რომ პრობლემის გადაწყვეტის ხარისხი ხშირ შემთხვევაში უკვე უტოლდება, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში აღემატება ადამიანის შესაძლებლობას [2].

როგორც მანქანურ ისე ღრმა სწავლება ეფუძნება სხვადასხვა არქიტექტურის მქონე ხელოვნური ნეირონული ქსელების გამოყენებას. ისინი შედგებიან მრავალი შრისაგან და პირობითად მათ ყოფენ შემავალ, ფარულ და გამომავალი შრეებზე.

სწავლების მიზნების მისაღწევად ნეირონულ ქსელს სჭირდება ე. წ. dataset-ი ანუ მონაცემთა ნაკრები, რომელიც პირველ რიგში უნდა მომზადდეს. ის წარმოადგენს მონაცემთა დამუშავებულ და სტრუქტურირებულ მასივს. მასში თითოეულ ობიექტს აქვს სპეციფიკური თვისებები: მახასიათებლები, ობიექტებს შორის კავშირი ან კონკრეტული ადგილი მონაცემთა ნაკრებში. იგი გამოიყენება მონაცემების საფუძველზე ჰიპოთეზების შესაქმნელად, დასკვნების გასაკეთებლად ან ნეირონული ქსელების მოსამზადებლად. პრიმიტიულად, მონაცემთა ნაკრები შეიძლება იყოს წარმოდგენილი, როგორც დაჯგუფება მახასიათებლების მიხედვით.

ნეირონული ქსელის სწავლების მიზანია მის გამოსასვლელზე მივიღოთ ქსელის შემავალი სიგნალების შესაბამისი სასურველი, ან სასურველთან მიახლოებული სიგნალების მნიშვნელობები. ამისათვის, კი საჭიროა იტერაციული პროცედურების განხორციელება შესაბამისი მიზნობრივი ფუნქციით. იტერაციის ყოველ ბიჯზე ხდება მიზნობრივი ფუნქციის გამოთვლა და შედარება წინა ბიჯზე მიღებულ შედეგთან. შედარების შედეგი განსაზღვრავს მომდევნო ბიჯზე შესასრულებელ მოქმედებებს. მას შემდეგ რაც, განხორციელებული იტერაციების შედეგად ნეირონული ქსელის გამოსასვლელზე მიღებულ იქნება შესაბამისი სასურველი, ან სასურველთან მიახლოებული მნიშვნელობები ითვლება, რომ ქსელი უკვე დასწავლილია.

ძირითადი ნაწილი

ცხადია მანქანურმა სწავლებამ და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიებმა არც ავიაციას აურა გვედი. განვითარებულ ქვეყნებში აქტიურად მიმდინარეობს ღრმა მანქანური სწავლებისა და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების დანერგვა როგორც სამხედრო საჰაერო ძალებში, ისე სამოქალაქო ავიაციაში. კერძოდ, აშშ-ის თავდაცვის სამინისტროს პერსპექტიული კვლევითი პროექტების სააგენტოს (DARPA) განცხადებით, მათ დაასრულეს საჰაერო ბრძოლების ტექნოლოგიების განვითარების პროგრამის (ACE) პირველი ფაზა, რომლის დროსაც ხელოვნურმა ინტელექტმა, მართავდა რა გამანადგურებელს F-16 ვირტუალურ ბრძოლაში დაამარცხა იმავე ტიპის გამანადგურებლის გამოცდილი პილოტი ანგარიშით 5:0. [3]

სამოქალაქო ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის დანერგვისათვის სხვადასხვა ქვეყნებში მიღებულია შესაბამისი დოკუმენტები. კერძოდ, ევროკავშირის საავიაციო უსაფრთხოების სააგენტომ EASA-მ, 2020 წლის თებერვალში გამოაქვეყნა თავისი ე. წ. საგზაო რუკა, რომელიც მთლიანად ეხება ხელოვნური ინტელექტის დანერგვას ავიაციაში. იმავე ორგანომ, 2021 წლის აპრილში გამოაქვეყნა პირველი მოქმედი სახელმძღვანელო „მანქანური სწავლების პირველი დონის პროგრამების გამოყენების თაობაზე“. ეს კონცეპტუალური დოკუმენტი საფუძველს უქმნის EASA-ს მომავალ ხელმძღვანელობას

დაამტკიცოს მანქანური სწავლების პროგრამები და სადაც საჭიროა შემდგომი კვლევების განხორციელება იმ ეფექტური და პრაქტიკული საშუალებების გამოსავლენად, რომელთა მიზანია დაამტკიცონ ხელოვნური ინტელექტის საიმედოობა [4].

აღნიშნული დოკუმენტის თანახმად, კვლევის შედეგები იქნება ანგარიშების ერთობლიობა, რომელიც განსაზღვრავს მეთოდებისა და ინსტრუმენტების ერთობლიობას შემდეგი სამი მნიშვნელოვანი თემის მოსაგვარებლად:

- მანქანური სწავლების მოდელის განზოგადების გარანტიები;
- "მონაცემების სისრულის" გარანტიები;
- ალგორითმისა და მოდელის საიმედოობის გარანტიები;

აუცილებელი მოთხოვნაა, რომ მინიმუმ ერთი რეალური მასშტაბის საავიაციო გამოყენების შემთხვევა უნდა შემუშავდეს პროექტთან ერთად, რათა დამტკიცდეს შემოთავაზებული მეთოდებისა და ინსტრუმენტების ეფექტურობა და გამოყენების შესაძლებლობა. გამოყენების ეს შემთხვევები უნდა განვითარდეს ტექნიკისა და პროგრამული უზრუნველყოფის გარემოში, რომელიც ხელმისაწვდომია დისტანციურად EASA-ს მიერ ან EASA-სთვის პროგრამული პაკეტების მიწოდებით.

პროექტზე მუშაობის სტრუქტურა ასე გამოიყურება:

- ამოცანა 1: მეთოდები და ინსტრუმენტები მონაცემთა ნაკრების სისრულისა და საიმედოობის შესაფასებლად (ტრენინგი, ვალიდაცია და ტესტირება) ML და DL მონაცემებზე დაყრდნობით;
- ამოცანა 2: ML და DL მოდელების გარანტიების რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდები და ინსტრუმენტები;
- ამოცანა 3: ML ალგორითმის და მოდელის საიმედოობის/სტაბილურობის შემოწმების მეთოდები და ინსტრუმენტები;
- ამოცანა 4: კომუნიკაცია, გავრცელება, ცოდნის გაზიარება, დაინტერესებული მხარეების მართვა;
- ამოცანა 5: პროექტის მართვა;

ამჟამად, მიმდინარებს ავიაციის იმ მიმართულებების განსაზღვრა, სადაც გამოყენებული იქნება ხელოვნური ინტელექტი. ჩვენი აზრით, სამოქალაქო ავიაციაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება პირველ რიგში, განხორციელდება შემდეგში მიმართულებებით:

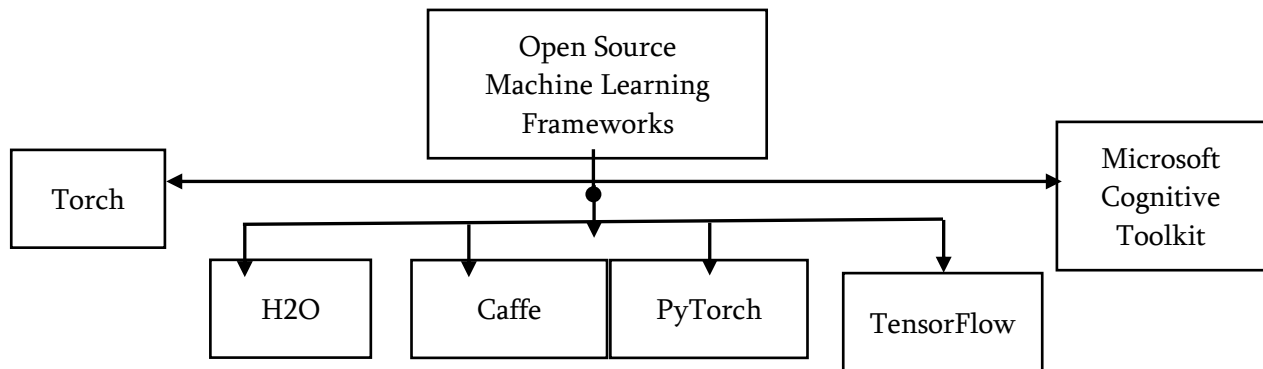
- ინფორმაციის დამუშავება და ანალიზი - ნებისმიერი ხელმისაწვდომი ინფორმაციის შეგროვება, დამუშავება და ანალიზი (აერონავიგაციის ინფორმაცია, მეტეოროლოგიური ინფორმაცია, სათვალთვალო სისტემების მონაცემები აეროდრომზე საჰაერო ხომალდის მოძრაობაზე და თვითმფრინავის მდებარეობაზე ფრენისას, გამგზავრების დაგვიანების მიზეზები, თვითმფრინავის სიჩქარე, საჰაერო მოძრაობის მეთვალყურეების განრიგი, თუნდაც მათი კვალიფიკაცია, უნარები და ა. შ.). მომავალში, ეს ისტორიული მონაცემები

შეიძლება გამოყენებულ იქნას ფრენის ორგანიზაციის პროცესების ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

- საჰაერო სივრცის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია. პროგნოზირებადი ანალიტიკური მეთოდების გამოყენება შესაძლებელს გახდის შეიქმნას მოქნილი საჰაერო სივრცის სტრუქტურა სწორი სექტორიზაციით, რომელიც მაქსიმალურად მოერგება რეალური თვითმფრინავების ნაკადებს.
- გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერა უფრო მაღალ დონეზე, მეტი ფაქტორისა და წარსული წარმატებული გამოცდილების გათვალისწინებით.
- გამტარუნარიანობის გაზრდა ძირითადად საჰაერო მოძრაობის დისპეტჩერებზე დატვირთვის შემცირებით, რაც გამოწვეულია გადაწყვეტილების მიღების დროის შემცირებით და საჰაერო სივრცის სტრუქტურის ოპტიმიზაციით.
- ფრენის მარშრუტების ოპტიმიზაცია დეკლარირებული ბიზნეს-ტრაექტორიების შესაბამისად.
- თვითადაპტირებადი ადამიანი-მანქანის ინტერფეისი.
- საჰაერო სივრცის მართვის ფრაზეოლოგიისა და ტექნოლოგიის წესების დაცვის მონიტორინგი.
- ინტელექტუალური აპლიკაციები და სისტემები (მაგალითად, ხმოვანი/ტექსტური ბოტები მეტყველების და/ან ტექსტის ამოცნობის ტექნოლოგიით, სათვალთვალო და საკომუნიკაციო ინსტრუმენტებთან ერთად, ფრენის გეგმები, ნებართვები, მეტეოროლოგიური ინფორმაცია და ა.შ.). ბოლო პერიოდში, უპილოტო საჰაერო სისტემების (UAS) გავრცელებამ აქტუალური გახადა საჰაერო სივრცისა და აეროდრომების გამოყენების თემა, ვინაიდან პირველ რიგში თავიდან უნდა იყოს აცილებული თვითმფრინავსა და UAS-ის შეჯახება.

ცხადია, მანქანური სწავლებით სხვადასხვა საკითხების დანერგვით უკვე დაინტერესდნენ ავიაციის ინდუსტრიის ისეთი მსხვილი მოთამაშეები, როგორცაა Airbus-ი, Boeing-ი, American Airlines-ი, United Airlines-ი, Southwest Airlines-ი, Delta Airlines-ი და სხვები. ბუნებრივია, რომ აღნიშნული კომპანიები მუშაობას ამ მიმართულებით გააგრძელებენ საკუთარ სპეციალისტებთან ერთად, ხოლო მიღებულ შედეგებს დაიცავენ საავტორო უფლებებით, რის შემდეგაც მოხდება მათი გატანა ბაზარზე გასაყიდად.

მიუხედავად ამისა, ე. წ. სტარტაპერებსა და პატარა კომპანიებს კვლავ აქვთ შანსი ჩაერთონ როგორც მანქანურ, ისე ღრმა სწავლების ზოგიერთ მიმართულებაში და კონკურენცია გაუწიონ მსხვილ მოთამაშეებს. ამისათვის, მათ შეუძლიათ გამოიყენონ მანქანური სწავლების ღია პლატფორმები, რომლებიც ნაჩვენებია სურ. 1-ზე



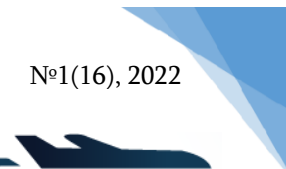
ნახ.1 მანქანური სწავლების ღია პლატფორმები

Torch-ი არის პროგრამირების ენა Lua-ს ღია კოდის ბიბლიოთეკა, რომელსაც გააჩნია დიდი რაოდენობით ალგორითმები ღრმა სწავლებისა და სამეცნიერო გამოთვლებისათვის. ბირთვი დაწერილია C-ზე, ხოლო გამოყენებითი ნაწილი შესრულებულია LuaJIT-ში, რომელიც უზრუნველყოფს გამოთვლების პარალელურ დათვლას CUDA-სა და OpenMP-ის საშუალებით. დიდ მასივებთან მუშაობის სტილი Matlab-ისა და Octave-ის მსგავსია და ამიტომ მას ზოგჯერ მოიხსენიებენ, როგორც „Matlab-ის მსგავს გარემოს მანქანური სწავლისთვის“[4]. Torch-ს იყენებენ Facebook-ის ხელოვნური ინტელექტის კვლევითი ჯგუფი, IBM-ი, Yandex-ი, Purdue, NVIDIA და Idiap-ის კვლევითი ინსტიტუტი.

H2O არის Java-ზე დაფუძნებული პროგრამული უზრუნველყოფა მონაცემთა მოდელირებისა და ზოგადი გამოთვლებისათვის. მისი ავტორები ცდილობენ შექმნან მანქანური სწავლების სწრაფი, მასშტაბირებადი და ღია პლატფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს დიდი რაოდენობით მოდელის აგების პროცესის ავტომატიზაციას, რათა იპოვონ საუკეთესო მოდელი ყოველგვარი წინასწარი ცოდნის გარეშე.

Caffe (Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding): ის შეიქმნა Berkeley Vision and Learning Center-ში (BVLC). ეს არის ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფი სისტემა DNN-ისთვის (ღრმა ნეირონული ქსელი) და შეუძლია დღეში 60 მილიონი სურათის დამუშავება მხოლოდ ერთი GPU-ს გამოყენებით. მოდელის ტრენინგისთვის Caffe იძლევა მარტივ კონფიგურაციას და GPU-სა და CPU-ს შორის გადართვას შესაძლებლობას. კომპანიები, როგორცაა Google და Pinterest, იყენებენ Caffe-ს კომპიუტერული ხედვის, მეტყველებისა და მულტიმედიური შინაარსის ანალიზისთვის. Caffe გამოიყენება კონვოლუციური ნეირონული ქსელის (CNN) შესაქმნელად გამოსახულების კლასიფიკაციისთვის.

PyTorch: წარმოადგენს ობიექტზე ორიენტირებულ პროგრამას სადაც კოდის დაწერა შედარებით მარტივია შესაბამისი ფუნქციონალობის გამო. PyTorch გამოიყენება ისეთი კომპანიების მიერ, როგორცაა IBM-ი, Facebook-ი და Yandex-ი.



Tensorflow: ღია კოდის მანქანური სწავლების პროგრამული ბიბლიოთეკაა, რომელიც შემუშავებულია Google-ის მიერ, რათა გადაჭრას ხელოვნური ნეირონული ქსელის აგებისა და სწავლების პრობლემები, რათა ავტომატურად მოიძიოს და კლასიფიცირება გაუწიოს გამოსახულებებს, გამოიყენება Google-ის საკუთარი პროდუქტების კვლევისა და განვითარებისთვის. ბიბლიოთეკასთან მუშაობის მთავარი API დანერგილია Python-ისთვის, ასევე არის განხორციელებები პროგრამირების სხვა ენებზეც, კერძოდ, R-ზე, C Sharp-ზე, C ++ -ზე, Haskell-ზე, Java-ზე, Go-ზე და Swift-ისთვის.

Microsoft Cognitive Toolkit: (CNTK) არის სტანდარტიზებული ინსტრუმენტების ნაკრები სხვადასხვა სახის ხელოვნური ნეირონული ქსელების დაპროექტებისა და განვითარებისთვის, უზრუნველყოფს ხელოვნურ ინტელექტს დიდი რაოდენობით მონაცემებთან მუშაობისთვის ღრმა სწავლების გზით, იყენებს შიდა მეხსიერებას თვითნებური სიგრძის თანმიმდევრობის დასამუშავებლად. თავდაპირველად, იგი შეიქმნა ადამიანის ტვინის ნიმუშის შესასწავლად, ხოლო ახლა მისი გამოყენება შესაძლებელია ღრმა ნეირონული ქსელის (DNN), რეკურენტული ნეირონული ქსელების (RNN) და კონვოლუციური ნეირონული ქსელებისთვის (CNN). Microsoft Cognitive Toolkit ავითარებს მზარდ გაფართოებას, სიჩქარეს და სიზუსტეს კომერციული პროგრამების დონის ხარისხით. მას აქვს მკაფიო და მარტივი არქიტექტურა, რომელიც თავსებადია პოპულარულ ენებთან და ქსელებთან, როგორცაა C++ და Python.

ჩამოთვლილი პროგრამული უზრუნველყოფის შესაძლებლობები მოყვანილია ცხრილ 1-ში.

მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკები	პროგრამული ენის მხარდაჭერა	მხარდამჭერი პლატფორმა	ავტორი	გამოყენება
TensorFlow	Python და C++	Windows, macOS და Linux	Google	ჭკვიანი პასუხები და კომპიუტერული ხედვა
Microsoft Cognitive Toolkit	Python, C++ და C#	Windows და Linux	Microsoft Research	ხელნაწერის, გამოსახულებები და ხმის ამოცნობა
Caffe	C, C++, Python და MATLAB	Ubuntu, MacOS და Windows	VBLC	სწავლების მოდელების შექმნა კლასიფიკაციისათვის
H2O	Java და Python	Windows და Linux	H2O	უზრუნველყოფს მანქანური სწავლების მოდელებს შექმნის.
Torch	Lua	Linux, Android, MacOS, iOS და Windows	რონანი, კლემენტი, კორაი და სუმიტი	მონაცემთა ნაკადებისთვის ტექნიკური

				პრობლემების გამოვლენა და გადაჭრა
PyTorch	Python	Linux, Android, MacOS, iOS და Windows	რონანი, კლემენტი, კორაი და სუმიტი	სწავლა მასწავლებლის ნაწილობრივი ჩართულობით და დიდი მოდელების შექმნის შესაძლებლობა.

ცხრილი 1. ღია კოდის მანქანური სწავლების ბიბლიოთეკების შედარებითი ცხრილი

მიგვაჩნია, რომ აღნიშნული ბიბლიოთეკების გამოყენება შესაძლებელია როგორც ცალკეული უპილოტო საფრენი აპარატისა და მათი სისტემების ავტონომიური ფრენის ალგორითმების შესაქმნელად, ისე თვითმფრინავის სხვადასხვა აგრეგატებისა თუ კვანძების საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შესამოწმებლად.

ჩვენი აზრით, ამ ორივე მიმართულების გაერთიანება შესაძლებელია ვირტუალური სტენდის შექმნით, რომელიც უნდა იყოს გადაწყობადი კონკრეტული ამოცანებიდან გამომდინარე. სტენდი უნდა იძლეოდეს შესაძლებლობას გააგზავნოს ბრძანებები სატესტო გარემოში, ასევე მიიღოს მისგან პასუხები როგორც ამ ბრძანებებზე, ისე დასამუშავებელი ინფორმაცია არსებული სენსორებიდან, რომლებიც შეიძლება იყოს ან რეალური ან პროგრამული ან მათი კომბინაცია.

სტენდი უნდა შეიცავდეს 4 (ოთხი) პროგრამულ მოდულს: ბრძანებების, მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისის (GUI), გარემოსა და სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდული, რომელიც კონკრეტულ ბრძანებებსა თუ სერვისებზე იქნება ორიენტირებული.

ბრძანების მოდული

ბრძანების მოდული პასუხისმგებელი უნდა იყოს გადაწყვეტილების მიღებაზე მისიის მიზნებისა და გარემოდან მიღებული ცოდნის საფუძველზე. აქ მანქანური სწავლების მეთოდების გამოყენებით განხორციელებული უნდა იყოს შესაბამისი ინტელექტი, რომელიც საშუალებას მისცემს სხვადასხვა დანიშნულების პროგრამულ აგენტებს (ცალკეული პროგრამული ობიექტები) თუ ალგორითმებს იმუშაონ როგორც დამოუკიდებლად, ისე გუნდურად. ამავე ბლოკში, უნდა ხდებოდეს რეალური სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციის დამუშავება და ანალიზი.

მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისის (GUI) მოდული

GUI მოდული საშუალებას უნდა იძლეოდეს მომხმარებელს მონიტორზე ჰქონდეს

ადვილად გასაგები ინტერფეისი შესაბამისი ინდიკატორებით და ბრძანებების ღილაკებით. ამ მოდულის განსაკუთრებული დანიშნულებაა შესაძლებლობა მისცეს მომხმარებელს აირჩიოს სამუშაო გარემოს გამოყენება, იმის მიხედვით სტენდზე მიმდინარეობს სიმულაცია თუ რეალურ მოწყობილობასთან მუშაობა. ამ მოდულის მთავარი მიზანია გახადოს სატესტო გარემოს არჩევანი გამჭვირვალე მიმდინარე სიმულაციის დროს. გარდა ამისა, მოდულმა უნდა უზრუნველყოფს GUI-ს მრავალი სხვა ადმინისტრაციული ფუნქციების განხორციელება, მაგალითად, რეალურ მოწყობილობებთან მუშაობისას არ უნდა დაუშვას მათი გადასვლა მუშაობის კრიტიკულ რეჟიმებზე. ის ასევე, უნდა შეიცავდეს სიმულაციის ან ტესტირების ჟურნალის ფანჯარას, სადაც შესაძლებელი იქნება ოპერატორის ან სისტემის მიერ განხორციელებული ქმედებების დათვალიერება და ამ ქმედებების შედეგების ნახვა.

გარემოს მოდული

ბრძანების მოდულს უნდა ჰქონდეს საშუალება გააკონტროლოს კონკრეტული სატესტო გარემო - იქნება ეს სიმულაცია თუ რეალური მოწყობილობის ტესტირება. ამიტომაც ამ მოდულს უნდა ჰქონდეს ორი ძირითადი დამოუკიდებელი გარემო: სიმულატორი და რეალური, რომლებსაც თავის მხრივ შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე ე. წ. ქვეგარემო სატესტო ამოცანებიდან გამომდინარე. სასურველია თუ ამ მოდულს ექნება საშუალება სატესტო გარემოს გადაწყობის ან ახალი კონფიგურაციის შექმნის შესაძლებლობა.

სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდული

GUI მოდულსა და გარემოს მოდულებს შორის სრულფასოვანი კომუნიკაციის დასამყარებლად საჭიროა სპეციალური შუამავალი პროგრამული მოდულის არსებობა, რომელიც უზრუნველყოფს ფიზიკური მოწყობილობების სტენდთან მიერთებას შესაბამისი საკომუნიკაციო ოქმების თანახმად (რეალური მოწყობილობის ტესტირებისას) ან სერვისზე ორიენტირებული არქიტექტურის (SOA) გამოყენებას (სიმულაციის დროს) და მათგან მიღებული ინფორმაციის ასახვას GUI მოდულში არსებულ მონიტორებზე.

დასკვნა

საავიაციო ინდუსტრიაში აქტიურად მიმდინარეობს ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის პროცესი, სადაც მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ დარგში არსებული მსხვილი მოთამაშეები, რომლებიც დარგის სპეციფიკიდან გამომდინარე და ფრენის უსაფრთხოების საკითხების გათვალისწინებით არ აძლევენ საშუალებას პატარა კომპანიებს ჩაერთონ აღნიშნულ პროცესში. სტატიაში განხილული ვირტუალური სტენდის კონცეფცია, რომლის რეალიზება შესაძლებელია უფასო პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით როგორც ლოკალურ სერვერზე, ისე ინტერნეტში

არსებული რომელიმე დრუბლოვანი სერვისის გამოყენებით. აღნიშნული სტენდის შექმნა არ უკავშირდება დიდ თანხებს, და მისი აგება შესაძლებელია ეტაპობრივად არსებული თანხებისა და მიზნების შესაბამისად.

ვირტუალური სტენდის არსებობა ხელს შეუწყობს პატარა ბიუჯეტის მქონე კომპანიებს ჩაერთონ ხელოვნური ინტელექტის დანერგვის პროცესში, რომლის დროსაც მათ საშუალება ექნებათ პროგრამული სიმულაციების გამოყენებით გამოსცადონ საავიაციო სისტემების სხვადასხვა კვანძები და მოწყობილობები ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებით, რომლებიც მანქანური სწავლების შემდეგ შესაძლებელს გახდიან ამოიცნონ ამა თუ იმ კვანძისა თუ მოწყობილობის მუშაობის კრიტიკული მნიშვნელობები. ეს კი შესაძლოა გამოყენებულ იქნას, როგორც ფრენის უსაფრთხოების წინასწარი გამოცდების სტადიებზე, ისე თვით ფრენის დროსაც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] Khan, Asharul Islam and Yaseen Al-Mulla. Unmanned Aerial Vehicle in the Machine Learning Environment. in 10th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks. 2019. Portugal: Procedia Computer Science.
- [2] Cireşan, Dan; Meier, U.; Schmidhuber, J. Multi-column deep neural networks for image classification (ანგლ.) // 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition : journal. — 2012. — June. — P. 3642—3649.
- [3] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/research-innovation/ai> - ნანახია 08/11/2022
- [4] Torch7: A Matlab-like Environment for Machine Learning // Neural Information Processing Systems. — 2011.
- [5] <http://code.google.com/p/javadrone/> - ნანახია 08/11/2022

Abstract

The article discusses the existing reality and prospects of the process of introduction of artificial intelligence in aviation and related issues, which involve solving primary and secondary tasks. Five open source machine learning software libraries and their capabilities are discussed. The concept of creating a virtual stand using open software is proposed, which has two main modes of operation, both in the virtual environment and with real devices.

Keywords: Artificial Intelligence, Machine and Deep Learning, PyTorch, TensorFlow, Microsoft Cognitive Toolkit.

აეროდრომზე მოძრაობის კოორდინაციული სიზუსტის მატება

ბადრი ნადარაია

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი
ქეთევან დედოფლის გამზირი 16, 0103, თბილისი, საქართველო;

ანოტაცია

გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარების ერთ-ერთი წამყვანი სექტორის განუყოფელი ნაწილია. მისი გამოყენების არეალიც ფართოვდება და გარკვეულ წილ, ადგილს ჰპოულობს თანამედროვე საავიაციო ინდუსტრიაში.

საავიაციო ტრანსპორტის გადაადგილება ხმელეთზე, აეროპორტების აეროდრომებსა თუ ავია ბაქანზე დაკავშირებულია მრავალ ელემენტთან, რომელიც შეიძლება განსხვავებული ხიფათისა და რისკის შემცველი აღმოჩნდეს.

ზუსტი პოზიციონირების სისტემების გამოყენება ავია ბაქანსა და საჰაერო ხომალდებზე, მოგვცემს საავიაციო ტრანსპორტის უსაფრთხო და დროის თვალსაზრისით ოპტიმალური გადაადგილების შესაძლებლობას.

საკითხის მნიშვნელობიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია, ისეთი ტექნოლოგიების დანერგვა, რომელთა სამომავლო გამოყენების პოტენციალი და პერსპექტივა დიდია.

საკვანძო სიტყვები: თანამგზავრული სისტემა, საჰაერო ხომალდი, ნავიგაცია, დაყოვნების დრო, ტრანზიტული დრო.

შესავალი

საჰაერო ხომალდების მიმოსვლა ადრე-დან მისთვის განკუთვნილ სადგომამდე და პირიქით, აგრეთვე ავიატექნიკის გადაადგილება ბაქანზე, ყოველთვის დაკავშირებულია გარკვეული სახის სირთულეებთან, როგორც ტექნიკურ-ტექნოლოგიური, ასევე ადამიანური ფაქტორით გამოწვეული საკითხებით. აღნიშნულ პროცესში ჩართულია მრავალი სახის ელემენტი. აეროდრომზე მოძრაობის ოპტიმიზაცია გულისხმობს პროცესის გარკვეულ წილ ავტომატიზირებას და უსაფრთხოების მატებას საიმედოობის დონის გაზრდის გზით. ტექნიკურ საკითხებთან ერთად ყოველთვის გასათვალისწინებელია ინოვაციური ტექნოლოგიის ფინანსური ღირებულება, ქმედითუნარიანობა და სამომავლო გამოყენების პერსპექტივა, ისე რომ ცალკეული გარეშე ელემენტები არ ან ვერ ახდენდნენ ზეგავლენას მთლიან ამოცანაზე. მაშასადამე, აეროდრომზე საჰაერო ხომალდის, ისევე როგორც სხვა ყველა დანარჩენი ავია ტრანსპორტის გადაადგილების ოპტიმიზაციის საკითხი აქტუალურია და

ექვემდებარება აწმყო-სამომავლო პერსპექტივების თვალსაზრისით დახვეწა-განვითარებას.

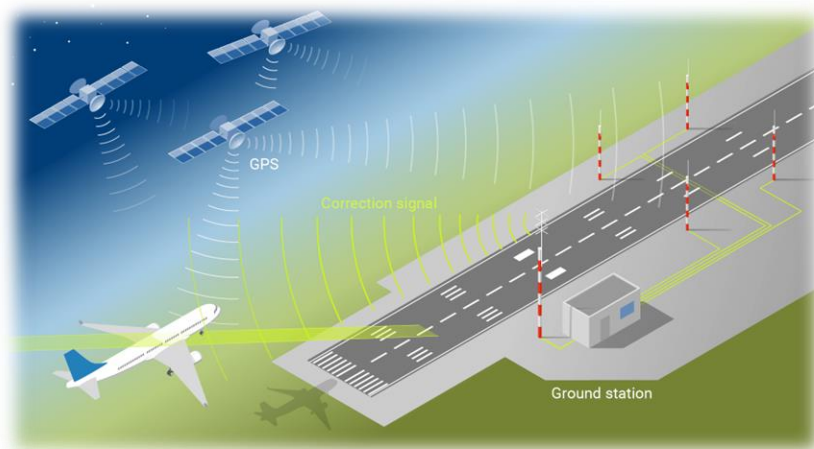
ძირითადი ნაწილი

მას შემდეგ, რაც საჰაერო ხომალდს სადგომზე, ანგარში ან სპეციალურად განკუთვნილ ტერიტორიაზე უტარდება განსაზღვრული სახის წინასაფრენოსნო პროცედურები, ის მიემართება ადზ-ზე, ასაფრენად, ხოლო დაფრენის მერე, საჰაერო ხომალდი სამიმოსვლო ბილიკებით, ან ბილიკების გადაკვეთით გადადის მისთვის განკუთვნილ სადგომზე მგზავრების და ტვირთის მისაღებად, საწვავის დასამატებლად და ა.შ.

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ საჰაერო ხომალდი. სადგომიდან ასაფრენ-დასაფრენ ზოლამდე მივიყვანოთ უსაფრთხოდ, სწრაფად, დროითი დანაკარგების მინიმუმაციით და ისე, რომ გადატვირთული მოძრაობისას ავია ბაქანზე არ მოხდეს საცობების წარმოქმნა. გასათვალისწინებელია, რომ რაც უფრო დიდია აეროდრომის გამტარუნარიანობა, მით უფრო მეტი მანიშნებლის და შუქსანათი სისტემების ინსტალაცია ხდება აუცილებელი. ეს კი ზრდის ჩასატარებელი სამუშაოების ღირებულებას, მოცულობას, დროით დანახარჯებს და ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული შეცდომების ალბათობას საჰაერო ტრანსპორტისა, თუ აეროდრომის ექსპლუატაციისას.

კონცეპტუალური სისტემის მოქმედების პრინციპი, რომელიც დაგვეხმარება ზემოხსენებული საკითხების მოგვარება-ოპტიმიზაციაში მსგავსია GBAS-ის ქმედითუნარიანობისა.

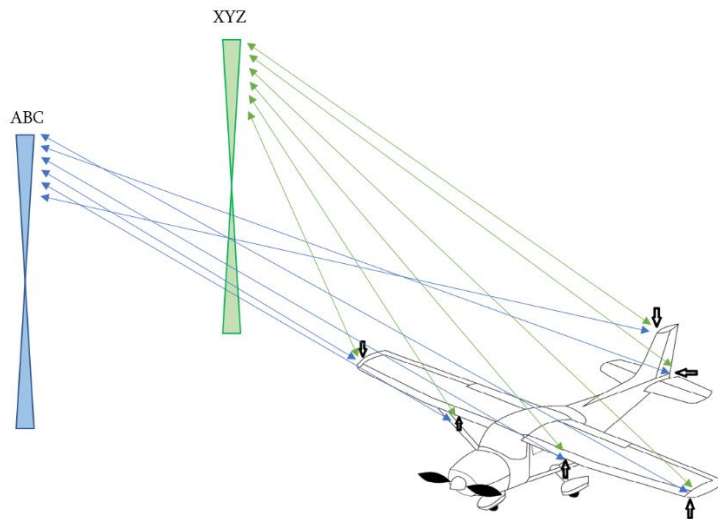
ნახ.1.-ზე ნაჩვენებია GBAS (*Ground Based Augmentation System*) მოქმედების პრინციპი, საიდანაც ჩანს, რომ საჰაერო ხომალდი ღებულობს სიგნალებს უშუალოდ GPS თანამგზავრებიდან და ამავდროულად იგივე სიგნალები მიიღება აეროდრომზე განლაგებული ანტენების მეშვეობით.



ნახ.1. *Ground Based Augmentation System, მოქმედების პრინციპი*

აღსანიშნავია, რომ სააეროდრომო ანტენების კოორდინატები წინასწარ ცნობილია, თუმცა თანამგზავრული სიგნალების მიღებით და კოორდინატები ხელახალი გამოთვლებით მიიღება სხვაობა ჭეშმარიტ და თანამგზავრული სისტემის მეშვეობით დადგენილ კოორდინატებს შორის, რაც მიუთითებს ატმოსფერულ რეფრაქციაზე, რომლის განსაზღვრა საჰაერო ხომალდზე შეუძლებელია. ამრიგად, თვითმფრინავი ეყრდნობა რა GPS სიგნალებს, მის ადგილმდებარეობას სივრცეში ყოველთვის ექნება კოორდინაციული ცდომილება რეფრაქციის ცვალებადი კოეფიციენტის გამო. აეროდრომზე განთავსებული ანტენების ადგილმდებარეობის განსაზღვრა გვაძლევს შესაძლებლობას დავადგინოთ რეფრაქციის კოეფიციენტი მიმდებარე ტერიტორიისათვის და შესაბამისად, ე.წ. კოორდინატების მაკორექტირებელი სიგნალი გადასცეს ხომალდს, რომელიც გაითვალისწინებს ამ უკანასკნელს GPS-ის გამოყენებისას კონკრეტულ არეალში დაფრენისათვის.

სამომავლო პერსპექტივების მქონე კონცეფციის გათვალისწინებით საჰაერო ხომალდის აეროდრომზე გადაადგილება უნდა იყოს უსაფრთხო, ითვალისწინებდეს მაღალ გამტარუნარიანობას, რომელიც განზოგადებულია სამიმოსვლო დროის ოპტიმიზაციით. GBAS-ის მსგავსად, შესაძლებელია აეროდრომის ტერიტორიაზე, ადგილზე, სამიმოსვლო ბილიკებზე, ბაქანსა და უშუალოდ ტერმინალზეც კი გარკვეული სახის გადამწოდ-სენსორების განთავსება, რომელთა გეოდეზიური კოორდინატები იქნება წინასწარ განსაზღვრული.

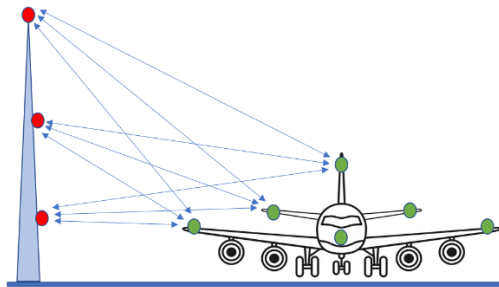


ნახ. 2. საჰაერო ხომალდის სივრცეში ორიენტირების პრინციპი

ნახ. 2.-ზე ნაჩვენებია საჰაერო ხომალდის სივრცეში კოორდინაციის მეთოდი, რომელიც გულისხმობს კოორდინირებული ობიექტიდან ფიუზელაჟზე განლაგებულ სენსორებამდე მანძილების მრავალჯერად გაზომვას.

Ground Based Augmentation System ანუ GBAS-თან მიმართებაში განხილვისას, ზემოხსენებულ ანტენურ გადამწოდებს არ აქვთ არანაირი კავშირი თანამგზავრულ

სანავიგაციო სისტემასთან, ისინი ერთმანეთში სიგნალების გასხივების სინქრონიზაციის დაცვით მოქმედებენ. სიგნალებს ღებულობს როგორც საჰაერო, ასევე აეროდრომზე მოძრავი ტრანსპორტი. თვითმფრინავის მაგალითზე შეიძლება აღინიშნოს, რომ მიზანშეწონილი იქნება მიმღები ანტენური სენსორების განთავსება ფიუზელაჟზე, კერძოდ კი ხომალდის ცხვირა ნაკვეთურში, ფრთის კიდურა ნაწილებსა და ფრთასხმულობაზე. ეს დაგეხმარება ს.ხ. ვირტუალიზაციაში და შესაბამისად ვირტუალურ რუკებზე ასახვაში. აღნიშნულ შემთხვევაში ოპტიმიზაცია ვლინდება ალგორითმის შედგენის შესაძლებლობაში, რომელიც მართული იქნება არა ადამიანებით, არამედ სპეციალური კომპიუტერული სისტემებით. ეს გამორიცხავს ადამიანური ფაქტორით გამოწვეულ ხარვეზებს. აგრეთვე გასათვალისწინებელია, აეროდრომზე მოძრაობა ვირტუალური რუკებისა და მანიშნებლების გამოყენებით, რის შესაძლებლობასაც გვაძლევს თანამედროვე Virtual Reality (VR) ტექნოლოგია.



ნახ. 3. კოორდინატების პარამეტრული ვიქსაცია

ამ შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება ბაქანზე უსაფრთხოების დონის მატების გათვალისწინებით სამიმოსვლო დროის ოპტიმიზაციის მაჩვენებლის გაზრდა სისტემაში სპეციალური ალგორითმების დაწესების გზით. ეს გვაძლევს შესაძლებლობას, მინიმუმამდე დავიყვანოთ სააეროდრომო მანიშნებელი სისტემები.

საავიაციო ტრანსპორტის სამომავლო განვითარების პერსპექტივების გათვალისწინებით, აღსანიშნავია, რომ ხსენებული სისტემის პოტენციური უკიდურესად დიდია, როგორც დედამიწის პლანეტარულ, ისე კოსმოსური სფეროს მასშტაბში, იმდენად, რამდენადაც მისი გამოყენებით მარტივდება საჰაერო ხომალდების მართვისადმი ხელმისაწვდომობა. კონცეპტუალური სამომავლო ტრანსპორტი ნაჩვენებია მე-4 სურათზე.



ნახ.4. სამომავლო ტრანსპორტის პოტენციური განვითარების იერსახე

დასკვნა

აეროდრომზე კოორდინაციული სიზუსტის მატება GBAS (Ground Based Augmentation System) ტექნოლოგიის მსგავს პრინციპებზე დაყრდნობით, რომელშიც გამოყენებული იქნება „შემთხვევითი“ პრინციპებით განლაგებული, მაგრამ უზუსტესი პოზიციების გათვალისწინებით, მიმღებ-გადამწოდები, მოგვცემს შესაძლებლობას საწყის ეტაპზე მაინც, არ გამოვიყენოთ სამიმოსვლო ბილიკებზე გასვლისთვის გათვალისწინებული მანიშნებლები. შესაძლებელი იქნება მეგა აეროდრომებზე სატრანსპორტო მიმოსვლის ერთდროული კონტროლი და არა ცალკეული სექტორების. სახმელეთო სააეროდრომო მოწყობილობების, მაგ. შუქ სანათი სისტემების აუცილებლობა აღარ იარსებებს, რაც შესაძლებლობას მოგვცემს დავზოგოთ ფინანსური ხარჯები. ეს უკანასკნელი გამოიწვევს იმას, რომ აეროპორტების ოპერატორი კომპანიები კონკურენტუნარიან გარემოში შეამცირებენ ავიარების ფინანსური გადასახადის.

აქვე აღსანიშნავია სისტემის ქმედითუნარიანობის უსაზღვრო პოტენციალი, როგორც პლანეტა მარსის კოლონიზაციური მისიების შესრულებისას, ასევე დედამიწაზე ტრადიციული ავტო ტრანსპორტის მფრინავი სატრანსპორტო დრონებით ჩანაცვლების შემთხვევაში.

[1] “Airport operations: A system-of-systems approach” - *Saeid Nahavandi, Doug Creighton – 2015;*
[2] “Assessing GNSS Integrity Augmentation Techniques in UAV Sense-and-avoid Architectures” – Roberto Sabatini, 2022;
[3] “Aerodromes Exempts” – *Ministere Charge Des Transports; 2021*
[4] “Essentials of Satellite Navigation” – *Jean-Marie Zogg; U-blox, February 2009.*
[5] «Управление воздушным движением на воздушных трассах и местных воздушных линиях» - *Д.А. Князевский, М.В. Стионов; Ульяновск 2010.*

Abstract

The Global Navigation Satellite System is an integral part of one of the leading sectors in the development of modern technologies. The area of its use is also expanding and has a certain share of space in the modern aviation industry.

The movement of air transport on land, airfields or air platforms of airports is associated with many elements that may be of different danger and risk.

The use of precise positioning systems on air platforms and aircraft will give us the possibility of safe and optimal movement of air transport in terms of time.

Based on the issue, it is advisable to introduce such technologies, which are great in their potential and prospects of future usage.

Keywords: satellite system, aircraft, navigation, delay time, transit time.

