



№1(17) 2023

ISSN1512-4916

საჰაერო ტრანსპორტი

AIR TRANSPORT



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

Georgian Aviation University

თბილისი - Tbilisi
2023

საერთაშორისო სამეცნიერო
ჟურნალი

საჰაერო ტრანსპორტი
AIR TRANSPORT

International Scientific Journal

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

ანდრო მაისურაძე 80.....	5
Profiling Methods in Airport Security: Balancing Efficacy and Civil Liberties.....	7
Modeling of a plate with an elliptical hole under axial load considering plastic deformation	13
Modern Avionics-ATM Ergonomy and Innovation Technologies Implementation Gap Analyses. Latvian and Georgian Case Studies	19
კომპოზიტური მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდი ..	33
კვანტური კომპიუტერები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ავიაციაში	41
საჰაერო ხომალდების ძრავებში ფრინველების მოხვედრის თავიდან აცილების მიზნით დამცავი ბადეების შესაქმნელად საექსპლუატაციო პირობების კვლევა და ტექნიკური მოთხოვნების დადგენა.....	56
Использование ультразвукового метода для выявления усталостных трещин в металло-конструкциях	70
მონრეალის კონვენციაში მოცემული სხეულის დაზიანების დეფინიციის ცვლილება ევროკავშირის სასამართლოს ახალი პრაქტიკის შედეგად	78
პერსონალურ მონაცემთა დაცვა.....	84
კვლევები და პრაქტიკული ნაბიჯები ქართული საავიაციო ტექნიკური ტერმინოლოგიის განვითარებისა და სრულყოფისათვის	95
უპილოტო საფრენი აპარატების ფრენის მართვის პროცესის თავისებურებები	103
ფრინველების საჰაერო ხომალდებთან დაჯახებისას ძრავაში მათი მოხვედრით გამოწვეული დაზიანებების სტატისტიკის ანალიზი და მათი აღმოფხვრისათვის გასაწევი ხარჯების შეფასება.....	109
საჰაერო ხრახნი გაზრდილი ენერგოეფექტურობით და შემცირებული ხმაურით	119

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. ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციაში.

სამეცნიერო-სარედაქტორო საბჭო

ანდრო მაისურაძე, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ხელმძღვანელი, აკადემიური დოქტორი, საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორი, თბილისი, საქართველო.

იგორ კაბაშკინი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, რიგის ტრანსპორტისა და ტელეკომუნიკაციების ინსტიტუტის ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი პროფესორი, რიგა, ლატვია.

რობერტ გლენბოცკი, ვარშავის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, ვარშავა, პოლონეთი.

კონსტანტინოს კალიგიანისი, კაზიმირას სამონავიჩიუს პროფესორი, უნივერსიტეტის ვილნიუსი, ლიეტუვა.

თამაზ ნატრიაშვილი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, სსიპ რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის დირექტორი. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, თბილისი, საქართველო.

დემურ ვეფხვაძე, აკადემიური დოქტორი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორი, თბილისი, საქართველო.

სეით ბლიაძე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის პროფესორი, თბილისი, საქართველო.

რობერტ ხაჩიძე, აკადემიური დოქტორი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის უფროსი მეცნიერი-თანამშრომელი, თბილისი, საქართველო.

ბიჭიკო მაზანიშვილი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მთავარი მეცნიერი-თანამშრომელი. დოქტორის აკადემიური

ხარისხი საინჟინრო მეცნიერებაში, თბილისი, საქართველო

აღმასრულებელი მდივანი

ბიძინა აბესაძე, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტის მეცნიერი-თანამშრომელი, ასოცირებული პროფესორი. ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი მექანიკის ინჟინერიაში და ტექნოლოგიაში.

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 scientific field, Dean of engineering faculty, PhD of Engineering in Air Transport Operations, Professor.

Scientific-Editorial Board

Andro Maisuradze, Head of scientific-research center at Georgian Aviation University. PhD, Professor of the Engineering Faculty, Tbilisi, Georgia.

Igor Kabashkin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Riga Transport and Telecommunication Institute, Riga, Latvia.

Robert Glenbotski, Doctor of Technical Sciences, Professor of Warsaw University of Technology Warsaw, Poland.

Konstantinos Kalligiannis, Professor of Kazimieras Simonavičius University Vilnius, Lithuania

Tamaz Natriashvili, Doctor of Technical Sciences, director of the Rafiel Dvali institute of Mechanical Engineering and Technologies, Academician of the Georgian Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia.

Demur Vepkhvadze, PhD, Professor of the Engineering Faculty of the Georgian Aviation University, Tbilisi, Georgia.

Seit Bliadze, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Georgian Aviation University, Tbilisi, Georgia.

Robert Khachidze, PhD, senior scientist-collaborator of the Georgian Aviation University, Tbilisi, Georgia.

Bichiko Mazanishvili, Chief scientist-collaborator of the Georgian Aviation University. PhD degree in Engineering Science, Tbilisi, Georgia.

Executive Secretary

Bidzina Abesadze, Scientist-collaborator of the Engineering Faculty of the Georgian Aviation University, associate professor. PhD degree in Engineering of Mechanical Engineering and Technology, Tbilisi, Georgia.

ანდრო მაისურაძე - 80

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
სამეცნიერო კვლევითი ცენტრის ხელმძღვანელი, პროფესორი



პროფესორი ანდრო მაისურაძე დაიბადა 1943 წელს 27 დეკემბერს ქალაქ თბილისში. 1957 წელს ჩაირიცხა თბილისის მანქანათმშენებლობის ტექნიკუმში, რომელიც დაამთავრა 1961 წელს.

1961-1963 წლებში მუშაობდა თბილისის საავიაციო ქარხანაში ტექნიკოსად. 1993 წელს სწავლა გააგრძელა მოსკოვის საავიაციო ინსტიტუტში საფრენი აპარატების ძრავების ფაკულტეტზე, რომელიც დაამთავრა 1969 წელს. იმავე წელს მუშაობა დაიწყო ქალაქ მოსკოვის ტუმინოს მანქანათმშენებელ საკონსტრუქტორო ბიურო „სოიუზ“-ში საფრენოსნო

საგამომცდელო განყოფილებაში ჯერ ინჟინრის, შემდეგ კი უფროსი ინჟინრის თანამდებობაზე. 1972 წელს მუშაობა გააგრძელა საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში დაარსებულ თვითმფრინავმშენებლობის კათედრაზე ასისტენტად.

1974 წლიდან ანდრო მაისურაძის მოღვაწეობის გარკვეული პერიოდი დაკავშირებულია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის როტაციული ძრავების განყოფილებასთან, სადაც მას ეკავა უფროსი ინჟინრის და შემდგომში - უფროსი მეცნიერი თანამშრომლის თანამდებობები. ამ პერიოდში მისი უშუალო მონაწილეობით შემუშავდა, დამზადდა და დაინერგა როტორულ-დგუმიანი და როტაციულ-ფრთიანი ძრავების ექსპერიმენტული ნიმუშები, რომლებიც დადასტურებულია შესაბამისი საავტორო მოწმობებით და წარმოებაში მათი დანერგვის დოკუმენტაციით. ამავე ინსტიტუტში 1992 წელს დაიცვა დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხის მოსაპოვებლად.

1992 წელს მუშაობა გააგრძელა საქართველოს პოლიტექნიკური უნივერსიტეტის საავიაციო ინსტიტუტში დოცენტის თანამდებობაზე. 1993-1995 წლებში ასრულებდა საფრენი აპარატებისა და ძრავების ტექნიკური ექსპლუატაციის

კათედრის გამგის მოვალეობას.

1995 წლიდან მუშაობდა საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის სხვადასხვა ავიაკომპანიების საჰაერო ხომალდების ტექნიკური მომსახურების საინჟინრო სამსახურში. იგი არის მაღალკვალიფიციური ექსპერტი და კონსულტანტი ამ სფეროში, რომელშიც სისტემატიურად მონაწილეობს საავიაციო ძრავების ექსპლუატაციის დროს წარმოქმნილი დაზიანებების მიზეზების დადგენასა და შეფასებაში.

2017 წლიდან ანდრო მაისურაძე დაინიშნა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სამეცნიერო კვლევითი ცენტრის ხელმძღვანელად და არჩეული იქნა საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორად. იგი კითხულობს ლექციებს ბაკალავრიატის, მაგისტრატურის და დოქტორანტურის სტუდენტებისათვის საგნებში: „საავიაციო ძრავების მართვის ავტომატიზებული სისტემები“, „საავიაციო ძრავები“, „ტექნიკური თერმოდინამიკა და თბოგადაცემა“, „საავიაციო ძრავების სტრუქტურული ანალიზი“, „ექსტრემალური ფაქტორების გავლენა საავიაციო ძრავების საექსპლუატაციო მახასიათებლებზე“.

პროფესორი ანდრო მაისურაძე არის მრავალი სამეცნიერო სტატიის, გამოგონებისა და სახელმძღვანელოს ავტორი. მისი ხელმძღვანელობითა და ოპონირებით დაცულია მრავალი სადოქტორო დისერტაცია. მის ძირითად სამეცნიერო მიმართულებას წარმოადგენს საჰაერო ხომალდების აირტურბინული ძრავების საიმედოობის ამაღლება საექსპლუატაციო ფაქტორების გათვალისწინებით. იგი აქტიურ მონაწილეობას ღებულობს საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მიერ წამყვან საავიაციო და სამეცნიერო ორგანიზაციებთან დადებულ ურთიერთთანამშრომლობის მემორანდუმებით გათვალისწინებულ სამუშაოებში.

ჰყავს მეუღლე - ცარო ბიჩინაშვილი, პროფესორი მუსიკის პედაგოგი. შვილები: გიორგი მაისურაძე - „AIRBUS“ 320, 330, 350 ტიპის სამოქალაქო ავიაციის საჰაერო ხომალდების მთავარი პილოტი; ლაშა მაისურაძე - საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის კურსდამთავრებული, აკადემიური დოქტორი და ქალიშვილი ნინო მაისურაძე, მოჭადრაკე, საერთაშორისო დიდოსტატი.

საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალის „საჰაერო ტრანსპორტი“ სარედაქციო კოლეგია ულოცავს პროფესორ ანდრო მაისურაძეს დაბადებიდან 80 წლის იუბილეს. უსურვებს მას ჯანმრთელობას, ბედნიერებასა და წარმატებებს პედაგოგიურ და სამეცნიერო საქმიანობაში.

Profiling Methods in Airport Security: Balancing Efficacy and Civil Liberties

David Alania

Associate Professor of Georgian Aviation University
Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

The purpose of this research: is to shed light on the critical and complex issue of utilizing profiling methods in airport security. We aim to explore the science and practice behind these methods, which include behavioral profiling, demographic profiling, and document verification, while emphasizing the need to strike a delicate balance between their efficacy in enhancing safety and the preservation of civil liberties. By delving into the scientific foundations and applications of profiling methods, I seek to provide a comprehensive understanding of how these tools operate and their importance in ensuring the safety of travelers. Ultimately, this research serves as an informative guide to navigate the complex landscape of airport security profiling, offering insights into both the advantages and challenges posed by these methods.

The results of research: applications, ethical considerations, and the ongoing evolution of these security practices. The conclusion emphasizes the delicate balance that must be struck between the efficacy of these methods and the protection of civil liberties. It underscores the importance of anti-discrimination policies, transparency, oversight, and data privacy to ensure responsible implementation while adapting to the ever-changing security landscape. This research offers a well-rounded perspective on the complex issues surrounding airport security profiling, providing valuable insights for those interested in the topic. It recognizes the critical importance of enhancing security while respecting individual freedoms and human rights, setting the stage for informed discussions and responsible practices in this critical domain.

Keywords: *airport security, profiling methods, behavioral profiling, demographic profiling, biometric profiling.*

Introduction

Airport security has undergone significant transformations in the wake of evolving global threats. One such transformation involves the use of profiling methods to identify potentially dangerous individuals. Profiling is a complex and often controversial technique, but when implemented responsibly, it can significantly enhance airport security. In this article, we explore the science and ethics behind profiling methods used in airport security.

Profiling Methods: An Overview

Profiling involves the systematic analysis of various factors to assess the potential security risk posed by an individual. The factors considered can be broadly categorized as follows:

1. **Behavioral Profiling:** This approach examines the behavior, body language, and responses of passengers to detect signs of nervousness, deception, or unusual conduct.

Behavioral profiling involves the systematic observation of individuals as they move through the airport. Trained security personnel look for subtle indicators that might suggest a passenger poses a security risk. These indicators can include: Nervousness, Deception and Unusual Conduct.

Excessive sweating, trembling hands, or erratic movements can be signs of nervousness, especially when disproportionate to the situation. Individuals engaging in deceptive behavior may avoid eye contact, provide inconsistent responses to questions, or appear evasive in their communication. Suspicious behavior can encompass actions such as loitering, spending excessive time in certain areas, or avoiding standard security procedures.

Behavioral profiling draws on principles from psychology and neuroscience to interpret passengers' actions and reactions. Some of the key scientific elements include: Behavioral Psychology and Pattern Recognition.

Understanding human behavior in stressful situations is crucial. Passengers may exhibit unusual behavior when faced with the stress of traveling, and distinguishing normal anxiety from something more suspicious requires a deep understanding of behavioral psychology. Training and technology enable us to identify potential threats based on deviations from normal behavior.

Behavioral profiling, like other security methods, raises ethical concerns. It's important to ensure that profiling is conducted without bias and that passengers are treated with respect and dignity. Striking a balance between security and civil liberties is crucial to the responsible implementation of this method. Effective behavioral profiling requires rigorous training and continuous improvement.

2. **Demographic Profiling:** This method considers demographic characteristics, such as age, gender, nationality, and travel history, to identify individuals who may fit certain risk profiles.

Demographic profiling relies on the statistical analysis of certain traits to identify potential security risks. Key demographic factors include: Age, Gender, Nationality and Travel History.

Younger passengers, particularly those in their late teens and early twenties, are sometimes considered more likely to engage in risky behavior or exhibit signs of suspicious conduct. Statistical data may suggest that males have been involved in a higher proportion of security-related incidents, leading to gender-based profiling in some cases. Travelers from countries with known terrorist associations or higher crime rates may undergo additional scrutiny. Frequent travelers or individuals with a history of traveling to high-risk areas may be subject to more extensive screening.

Demographic profiling is seen as a valuable tool in airport security for several reasons: Risk Assessment and Resource Allocation.

It allows security personnel to focus resources on passengers who may have a higher risk of engaging in suspicious activities. By concentrating efforts on individuals who fit certain risk profiles, security agencies can make more efficient use of their resources.

However, demographic profiling is not without criticism: Ethical Concerns, False Positives and Changing Threat Landscape:

Profiling based on age, gender, or nationality can lead to discrimination and stereotyping. This may infringe upon individuals' civil rights and personal privacy. Relying solely on demographic characteristics can lead to a high rate of false positives, potentially inconveniencing innocent travelers. Demographic profiling may not be effective in identifying threats from individuals who do not fit established risk profiles.

The responsible use of demographic profiling in airport security requires a delicate balance between enhancing security and respecting civil liberties. Key considerations include: Non-Discrimination, Transparency and Oversight and Data Privacy.

Profiling must be conducted without bias and in accordance with anti-discrimination policies. Strict oversight and accountability mechanisms must be in place to ensure responsible implementation. Protecting the privacy of individuals' personal data is essential to uphold human rights.

The efficacy of demographic profiling largely depends on the accuracy of the risk profiles used. Given the dynamic nature of security threats, continuous research and refinement of these profiles is essential to adapt to new challenges.

3. **Document Verification:** Checking the authenticity of travel documents, including passports and visas, helps identify individuals using fraudulent identification.

One of the pivotal methods employed to maintain safety which is document verification entails scrutinizing the authenticity of travel documents, including passports and visas, to identify individuals who may be using fraudulent identification. We explored the science and significance of document verification in the realm of airport security.

Document verification is a multifaceted process that focuses on the examination of travel documents to establish their legitimacy.

The science underpinning document verification combines several key elements: Security Features, Machine-Readable Zones (MRZ) and Biometric Verification.

Modern travel documents are equipped with a range of security features, including holograms, watermarks, microprinting, and UV ink. Document verifiers use advanced technology to inspect these features for signs of tampering or counterfeiting.

The machine-readable zones on passports and other documents contain encoded data that can be read electronically. Verifiers use specialized equipment to check the MRZ against the printed information for consistency.

Biometric data, such as facial recognition, fingerprint scans, or retinal scans, may be cross-referenced with travel documents to confirm an individual's identity.

Document verification plays a pivotal role in airport security for several reasons: Identification of Fraudulent Documents, Screening Travelers, Border Control and Identification of Lost or Stolen Documents.

Document verification is a robust method, but it is not without challenges too.

Fraudsters continually develop more sophisticated methods of document forgery, requiring constant advancements in verification technology. Also, the process should be conducted with respect for individuals' privacy and in compliance with ethical standards, to prevent discrimination or profiling based on race, nationality, or other factors.

4. **Biometric Profiling:** The use of biometric data, like facial recognition and fingerprint analysis, to verify the identity of passengers and cross-reference it with watchlists.

Biometric profiling involves the collection and analysis of unique physical and behavioral characteristics of individuals to confirm their identity. The primary biometric data used in airport security are:

- **Facial Recognition:** This technology captures and analyzes an individual's facial features, such as the arrangement of eyes, nose, and mouth. It then matches this data to a database of known individuals.
- **Fingerprint Analysis:** Fingerprint scanning is a classic biometric method that has been adapted for use in airport security to confirm an individual's identity.

Biometric profiling has a wide range of applications, it ensures that passengers are who they claim to be, reducing the risk of fraudulent travel documents or identity theft. Biometric data is cross-referenced with watchlists of individuals with known security concerns, allowing for early identification and intervention. The technology can streamline the passenger experience, reducing wait times and enhancing security simultaneously.

Biometric profiling relies on a combination of science and technology to achieve its goals.

Biometric data is collected through sensors and cameras at various points within the airport, including during check-in, security checks, and passport control. Advanced algorithms analyze the collected data and compare it to existing records. They look for specific patterns and features unique to each individual. Also, the effectiveness of biometric profiling is due to its high accuracy and precision, enabling it to identify individuals even in crowded or challenging conditions.

While biometric profiling offers substantial benefits, it also raises important ethical and privacy concerns. The secure storage and management of biometric data are critical to prevent misuse or breaches. The collection of biometric data should be done with the explicit consent of individuals, who must understand how their data will be used and protected. Ensuring that the technology is used without bias or discrimination based on factors like race, ethnicity, or gender is essential.

Balancing Efficacy and Ethics

The use of profiling methods in airport security is not without controversy. Critics argue that profiling can lead to racial or ethnic discrimination and infringe upon individual civil liberties. To address these concerns, it is essential to strike a balance between effective security measures and respecting human rights:

1. **Anti-discrimination policies:** Profiling methods should be implemented without bias, and anti-discrimination policies must be in place to prevent racial or ethnic targeting.
2. **Transparency and oversight:** Profiling should be conducted transparently, with strict oversight and accountability to ensure responsible use of the method.
3. **Data privacy:** Safeguarding personal data collected during profiling is crucial to protect individuals' privacy rights.

The science behind profiling is constantly evolving. Advanced technologies, including machine learning and artificial intelligence, are being integrated into profiling methods, making them more accurate and efficient. These technologies enable security personnel to identify patterns and anomalies more effectively, reducing the likelihood of false positives.

The future of profiling methods in airport security holds great promise. Continued research and development in the field of artificial intelligence will likely enhance the accuracy of profiling, making it an indispensable tool in thwarting security threats. However, ethical considerations and responsible use remain paramount.

Conclusion

The use of profiling methods in airport security represents a double-edged sword, with its utility in enhancing safety balanced against potential ethical and civil liberty concerns. While these methods, such

as behavioral profiling, demographic profiling, and document verification, offer significant advantages in identifying potential security threats, their application must be executed responsibly.

Striking a delicate balance between efficacy and civil liberties is essential. Robust anti-discrimination policies, transparency, and strict oversight mechanisms are required to ensure responsible implementation. Additionally, protecting personal data and privacy rights is paramount to uphold individual freedoms.

As the aviation industry and security landscape continue to evolve, the responsible and ethical use of profiling methods remains a critical challenge. The future lies in ongoing research, technological advancements, and a commitment to upholding civil liberties while safeguarding travelers and aviation infrastructure. Only through a judicious application of these methods can we effectively enhance airport security while respecting the fundamental rights and dignity of every passenger.

References:

1. Knol A. Sharpanskykh A. Analyzing airport security checkpoint performance using cognitive agent models. *Journal of Air Transport Management*. March 2019. P. 39-50.
2. Vishra Patel. *Airport Passenger Processing Technology: A Biometric Airport Passenger Processing Technology Journey*. Thesis. Embry- Riddle Aeronautical University. Florida. 2018.
3. Kenneth C. Fletcher. *Aviation Security: A Case for Risk-Based Passenger Screening*. Diploma Work. NSN 7540-01-280-5500. Naval Postgraduate School, U.S. December 2011
4. Weishi Chen, Yifeng Huang, Hao Yang, Jing Li & Xianfeng Lu. A passenger risk assessment method based on 5G-IoT. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. ISSN: 1687-1499, Article number: 5 (2021)
5. Ajay S.Satish. A systematic review of passenger profiling in airport security system *Journal of Transportation Security* 16(1) DOI:10.1007/s12198-023-00260-6, July 2023
6. Douwe Korff. *Passenger Name Records, data mining & data protection: the need for strong safeguards*. Council of Europe, Directorate General Human Rights and Rule of Law, T-PD(2015)11 Strasbourg, 15 June 2015
7. Filippov S. *Criminological Significance of Biometrics Technology in the Context of Combating Cross-Border Crimes*. *Journal of the National Prosecution Academy of Ukraine*. 2018. № 4(1). P. 59-64.
8. Timothy M. Ravich, *Is Airline Passenger Profiling Necessary?*, 62 *U. Miami L. Rev.* 1 (2007)
9. <https://www.everycrsreport.com/reports/R43456.html>
10. <https://www.icao.int/SAM/Documents/DET-SUS-BEAH/M%C3%B3dulo%20trad.pdf>
11. <https://www.gao.gov/assets/gao-23-105201.pdf>
12. <https://www.tsi-mag.com/passenger-profiling-cases-for-and-against/>
13. <https://ivypana.com/essays/aviation-security-behavioral-profiling/>
14. <https://www.airport-technology.com/features/airport-passenger-profiling/?cf-view>

პროფილირების მეთოდები აეროპორტის უსაფრთხოებაში: სამოქალაქო თავისუფლებების და ეფექტურობის დაბალანსება

დავით ალანია

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი
ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია

ამ კვლევის მიზანია, ნათელი მოეფინოს აეროპორტის უსაფრთხოებაში პროფილირების მეთოდების გამოყენების კრიტიკულ და რთულ საკითხს, რომლებიც მოიცავს ქცევითი პროფილის, დემოგრაფიული პროფილის და დოკუმენტის გადამოწმებას, ამასთან, ხაზია გასმული დელიკატური ბალანსის დამყარებას, უსაფრთხოების გაძლიერებასა და სამოქალაქო თავისუფლებების დაცვაში მათ ეფექტურობაზე. პროფილირების მეთოდების სამეცნიერო საფუძვლებსა და აპლიკაციებში ჩაღრმავებით, ვცდილობთ გავერკვეთ, თუ როგორ მუშაობს ეს ხელსაწყოები და როგორია მათი მნიშვნელობა მოგზაურთა უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. საბოლოო ჯამში, ეს კვლევა ემსახურება როგორც ინფორმაციულ გზამკვლევს აეროპორტის უსაფრთხოების პროფილის კომპლექსურ ლანდშაფტში ნავიგაციისთვის, რომელიც გვთავაზობს ამ მეთოდების უპირატესობებსა და გამოწვევებს.

კვლევის შედეგები: აპლიკაციები, ეთიკური მოსაზრებები და უსაფრთხოების ამ პრაქტიკის მიმდინარე ევოლუცია. ხაზია გასმული დელიკატურ ბალანსზე, რომელიც უნდა იყოს დაცული ამ მეთოდების ეფექტურობასა და სამოქალაქო თავისუფლებების დაცვას შორის. ასევე ანტიდისკრიმინაციული პოლიტიკის, გამჭვირვალობის, ზედამხედველობისა და მონაცემთა კონფიდენციალურობის მნიშვნელობაზე, რათა უზრუნველყოფილი იყოს პასუხისმგებლობითი განხორციელება უსაფრთხოების მუდმივად ცვალებად ლანდშაფტთან ადაპტაციის დროს. ეს კვლევა გვთავაზობს კარგად შემუშავებულ პერსპექტივას აეროპორტის უსაფრთხოების პროფილის კომპლექსურ საკითხებზე, რაც უზრუნველყოფს ღირებულ შეხედულებებს თემით დაინტერესებულთათვის. გაცნობიერებულია უსაფრთხოების გაძლიერების კრიტიკული მნიშვნელობა ინდივიდუალური თავისუფლებებისა და ადამიანის უფლებების პატივისცემის დროს, რაც ქმნის საფუძველს გაიმართოს ინფორმირებული დისკუსიები ამ კრიტიკულ სფეროში.

საკვანძო სიტყვები: აეროპორტის უსაფრთხოება, პროფილირების მეთოდები, ქცევითი პროფილირება, დემოგრაფიული პროფილირება, ბიომეტრიული პროფილირება.

Modeling of a plate with an elliptical hole under axial load considering plastic deformation

S.N.Bliadze, S.S.Bliadze, N.S.Bliadze
Georgian Aviation University
Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

One of the problems in the study of rupture theory is the study of the stress field in the area of specific concentrators. From the point of view of practical application, stress concentration is mainly found, not only in the area of sharp change in stiffness, but also in the area of holes. The solution of the concentration problem is further complicated by the physical nonlinearity of the material resulting from the loads. In this article, an infinite plate with a central longitudinal hole, specifically elliptic, under axial load is discussed. The purpose of the article is to create a diagnostic model in the software complex FEMAP, the solution of which will allow us to estimate the concentration zone (spreading area).

Keywords: stress, concentrator, stiffness, finite element.

Main part

Consider a plate with an elliptical hole on which a tensile force acts along the axis (Fig. 1), where l and b the semi-axes are equal to 50 and 25 mm, respectively, if the semi-axes of the hole are several times smaller of the width of the plate, then we can consider that we have an infinite plate that is stretched.

Analytical solution field see Fig. 2, and Fig. 3 where represents the plate according to the Kolosov-Ingles theory of the average stress without a hole, it was found that the most dangerous peak stresses are determined by the curvature of the hole, and at the vertices A.

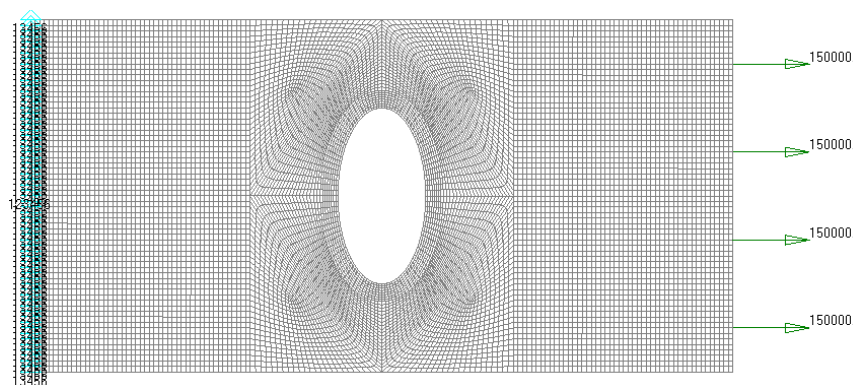


Fig. 1. The geometry of the plate to be constraint, load and mesh

Where the curvature is maximum, they can reach values that are many times higher than stress values in a solid plate: $\sigma_y = \sigma_0 \left(1 + \frac{2l}{b} \right)$. According to the given formula, the stress at the vertices of a

narrow ellipse (l/b – is large) can become very large. If we enter the quantity ρ in the formula, which is called the radius of curvature at the vertex of the section, we get

$$\sigma_y = \sigma_0 \left(1 + 2\sqrt{\frac{l}{\rho}} \right).$$

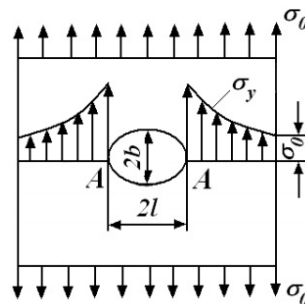


Fig. 2 stress distribution

Solution was found that the calculation of stress concentration by this formula is used not only for elliptical holes, but also for holes of any shape, on the contour of which there are points with a small radius of curvature. Of course, in real materials the stresses may increase to certain limits and the above formula cannot be used without further analysis. Stress concentrations must be carefully considered in strength calculations.

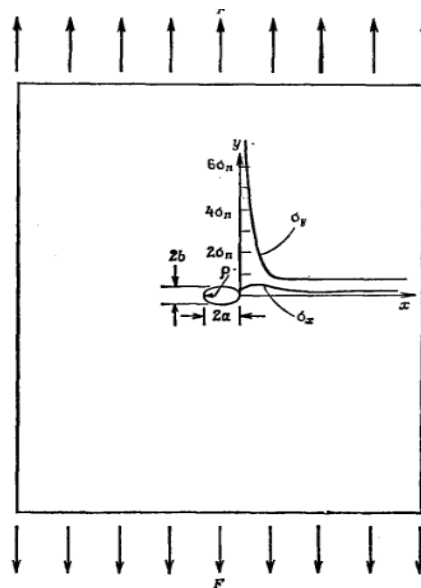


Fig. 3 Analytical solution

Stress concentrations must be carefully considered in strength calculations. Professor K. Thanks to England, the concept of "stress concentration" was introduced. The number that shows how many times the local stresses exceed the nominal is called the stress concentration factor. Consider an example:

Given a steel plate with an elliptical hole at the center of $400 \times 200 \times 2$ mm, whose semi-axes are 50 mm and 25 mm, is subjected to a tensile force of 150 kN. (See Fig. 1.) Mechanical characteristics of the

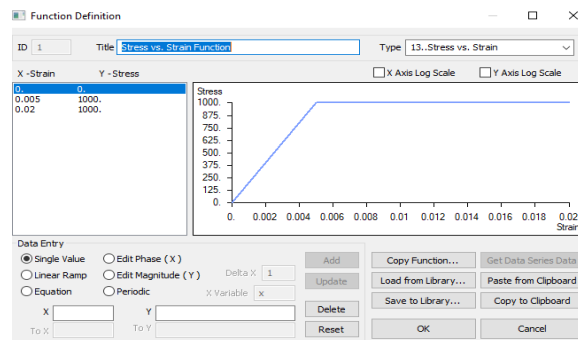
material: modulus of elasticity is equal to $E = 200000$ MGP. Poisson's ratio is $\mu = 0.3$ and the relationship between deformation and stress for a given material is given by the following formula:

$$\sigma = \begin{cases} 200000\varepsilon, & \varepsilon \in [0; 0.005] \\ 1000, & \varepsilon \in (0.005; 0.02] \end{cases}$$

FEMAP, an engineering calculation program created on the basis of finite elements, build a plate of appropriate geometric dimensions (see Fig. 1). Let's model it with a 4-node quadrilateral finite element. Make an ellipse around the elliptical hole with semi-axes of 65 mm and 35 mm, divide the created area into the smallest possible rectangles, where the ratio of the sides will be less than 2, and increase the grid on the remaining area (Fig. 1).

Material and property assignment

Create a functional relationship to describe the characteristics and properties of the material. To describe the stress and deformation relationship, enter the graph coordinates (0;0), (0.005;1000), (0.02;1000). During the calculation, if the deformation exceeds 0.02, extrapolation is required to calculate the remaining points. Also, we indicate that the material is nonlinearly elastic, does not obey Hooke's law.



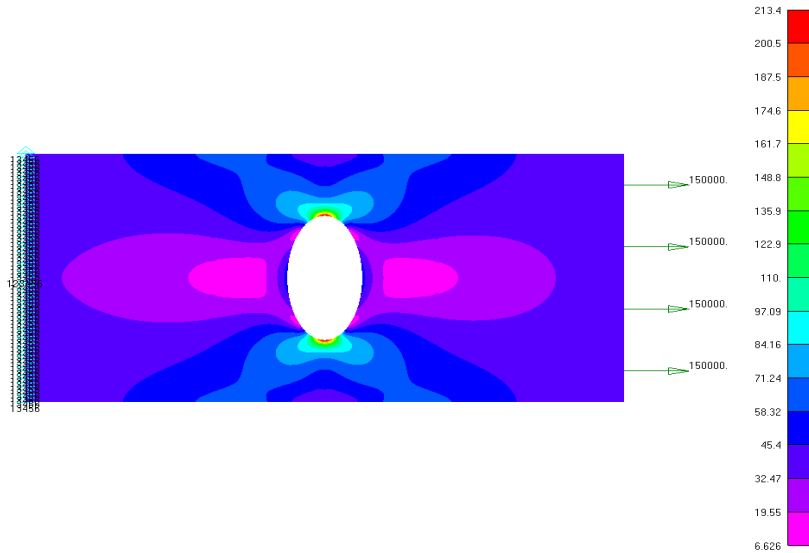
Constraints and loads

Fix the plate in such a way that its nodes on the left side are restricted from moving along the X-axis, and at the same time cannot rotate. All but one of the nodes will be able to move relative to the Y axis, which means that the plate can bend, during stretching, it will be possible to compress the plate in width. FEMAP has the ability to apply force to the line with a total load of 150,000 N, and the program itself will distribute it to the nodes.

Solution

Software results of nonlinear analysis of the given problem:

Case 1 Time 0.1 $0.1 \cdot 150 = 15\text{KN}$ load deformation is 0.099 mm and Mises stress is 213.4 MGP.



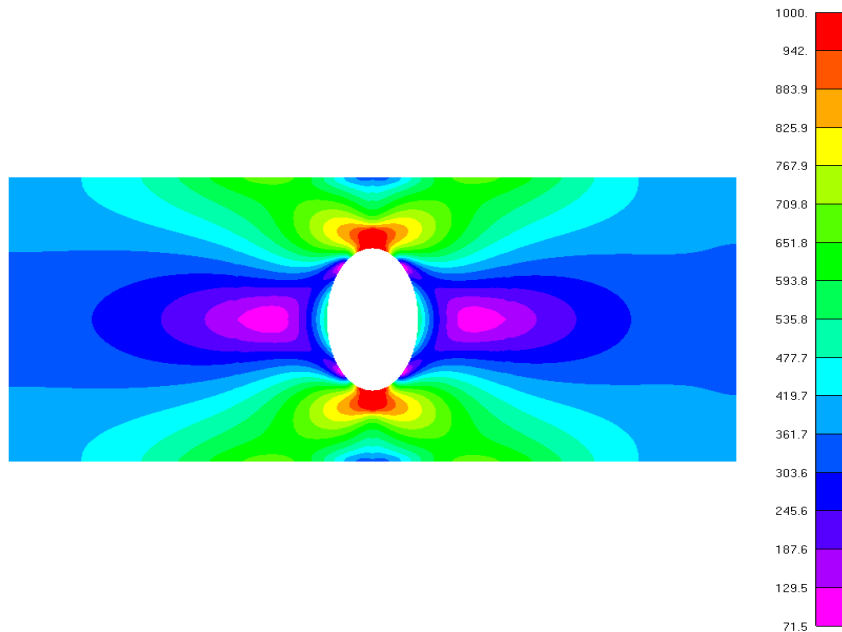
A single element in the concentration area includes no more than two colors, which indicates that the Se grid is well constructed. Also, it can be seen that there are different widths of bars in different elements, this means that we have a non-linear distribution picture.

Case 2 Time 0.2 $0.2 \cdot 150 = 30\text{KN}$ load did not change the picture, the voltage increased to 426.6 MGP. And the deformation will be 0.199 mm.

Case 3 Time 0.3. The load is equal to $0.3 \cdot 150 = 45\text{KN}$, the picture is the same, only the value of voltage 639.7 MGP has changed. And the deformation will be 0.298 mm. until the equivalent Mises voltage exceeds 1000 MPa. This image will not change.

Case 4 Time 0.4 $0.4 \cdot 150 = 60\text{KN}$, and the equivalent Mises stress is equal to 852.6 MPa. After that, the image will change qualitatively.

Case 5 Time 0.5, $0.5 \cdot 150 = 75\text{KN}$. The equivalent Mises voltage on the load is exactly 1000 MPa. The deformation is equal to 0.496 mm. The image will change qualitatively and on all subsequent cycles the image will change and the voltage will be unchanged at 1000 MPa. The deformations will increase on the tenth stage (at the final stage) and I can see the picture visually:



The deformation is equal to 1.026 mm. As can be seen from the picture, plastic flow of the material took place.

Summary

Based on the numerical experiment, we can make the following conclusion, if we approximate the surface of the plate with 4-node quadrilateral elements of different sizes (it is not necessary to use parametric e.g. 8-node quadrilateral elements), the error with respect to the analytical solution is practically equal to 0, and also if the ratio of the semi-axes of the hole is equal to two, then The voltage value at the vertices of the parabola increases seven times.

References:

1. S. Bliadze, Z. Sesquiria, Structural Modeling and Structural Analysis in MSC/NASTRAN v.4. "Tbilisi", 2008, 339 pp.
2. A.V. Apeksandrov. V.D. Potanov Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. M. "High School" 1990, 400pp.
3. A.G. Shcherbo. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. Novosibirsi PSU 2008, 240pp.
4. V.I. Samul. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. "High School" 1992.
5. H. Jane Helena, Theory of elasticity and plasticity PHI learning 2017y 264p.
6. Kolosov G.V. On one application of the theory of functions of a complex variable to a plane problem in the mathematical theory of elasticity. - Yuriev: Printing house of K. Matthiesen, 1909. - 187 pp.
7. Inglis C. E. Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners // Trans. Inst. Naval Arch. - 1913. - 105, pt 1. - P. 219 - 230.

ელიფსური ნახვრეტის მქონე ფირფიტის მოდელირება ღერძული დატვირთვის შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებით

ს.ნ. ზლიაძე, ს.ს. ზლიაძე, ნ.ს. ზლიაძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103, თბილისი, საქართველო

რღვევის თეორიის შესწავლის ერთ-ერთი პრობლემაა დამაბულობის ველის შესწავლა კონკრეტული კონცენტრატორების არეში. პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, დამაბულობის კონცენტრაცია ძირითადად გვხვდება არა მხოლოდ სიხისტის მკვეთრი ცვლილების არეში, არამედ ხვრელების მიდამოშიც. კონცენტრაციის პრობლემის გადაწყვეტას კიდევ უფრო ართულებს დატვირთვის შედეგად მიღებული მასალის ფიზიკური არაწრფივობა. ამ სტატიაში განხილულია უსასრულო ფირფიტა ცენტრალური გრძივი ხვრელით, კონკრეტულად ელიფსური, ღერძული დატვირთვის ქვეშ. სტატიის მიზანია პროგრამულ კომპლექსში FEMAP-ში სადიაგნოსტიკო მოდელის შექმნა, რომლის გადაწყვეტა მოგვცემს კონცენტრაციის ზონის (გავრცელების არეალის) შეფასებას.

რიცხვითი ექსპერიმენტიდან გამომდინარე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა, თუ ფირფიტის ზედაპირის აპროქსიმაციას მოვახდენთ სხვადასხვა ზომის 4 - კვანძიანი ოთხკუთხა ელემენტებით (არაა საჭირო იზოპარამეტრული მაგ. 8 კვანძიანი ოთხკუთხა ელემენტების გამოყენება) ცდომილება ანალიზურ ამონახსნთან მიმართ პრაქტიკულად 0-ის ტოლია და ასევე თუ ნახვრეტის ნახევარღერძების შეფარდება ორის ტოლია მაშინ ძაბვის მნიშვნელობა პარაბოლის წვეროებზე იზრდება შვიდჯერ.

საკვანძო სიტყვები: დატვირთვა, კონცენტრატორი, სიმტკიცე, სასრული ელემენტი.

Modern Avionics-ATM Ergonomy and Innovation Technologies Implementation Gap Analyses. Latvian and Georgian Case Studies

Nika Tikanashvili¹, Monta Aleksandra Lacane²

¹Georgian Aviation University,
16 Ketevan Dedopali Ave. 0103, Tbilisi, Georgia

²Transport and Telecommunication Institute
Riga, Latvia, 1 Lomonosova iela, LV-1019

Abstract: According to EUROCONTROL research, by 2035 year, airports across Europe are expected to be handling 14.4 million flights and 1.4 billion passengers. However, the current air traffic management (ATM) system is not adequately prepared for this volume of air traffic. The system cannot handle such a large number of airplanes in a timely manner, resulting in congested airspace and causing delays for aircraft on the ground and in the air. This situation is economically inefficient and has a significant negative impact on the environment due to carbon emission and noise pollution. For this reason, continuous development and modernization of the air traffic management system is necessary. The Global Air Navigation Plan (GANP) is a flexible engineering-technical methodological document, that allows all International Civil Aviation Organization (ICAO) member states to advance their air navigation capacities based on their specific operational requirements. One of the most problematic parts for successful implementation of the GANP is an innovative air traffic management, and aircraft on-board modern technologies effective interrelationship, taking into account ergonomic factors. System operator-machine-environment main effective functionality is determined by the characteristics of the human operator and depends on a level of process automation and a number of main technical parameters.

Paper is focused on the Latvian and Georgian case studies, as in both counties ATM technologies and automatization level continuously grows and becomes more advanced. Consequently, the development of aircraft on-board systems and new skills of aviation professionals becomes even more critical. As a result of research, methodological approach and general model for effective interconnection of on-board and innovative ATM technologies taking into account human factors is proposed.

Keywords: *air traffic management, avionics, innovative technologies, ergonomics.*

Introduction

ATM significantly contributes to the safety and efficiency of air traffic management. The regulation of air traffic flow further enhances the quality of air navigation service and improves the operational effectiveness of the ATM system. It also has a positive impact on the environment, reducing operational and fuel costs. Ultimately, air traffic flow regulation enables effective airspace organization, maximizing its utilization and providing dynamic and flexible flight routes to customers. Airspace organization involves optimizing the structure of airspace, its classification, air traffic service routes as well as visual and instrument flight procedures. These optimizations are conducted in accordance with standards and recommended set by ICAO GANP [1]. It is becoming clear that the currently existing navigational aids are gradually becoming outdated and, as a result, they cannot meet modern requirements. The next stage of the development of air navigation is closely tied to the utilization of GPS, GLONASS and GNSS for civil purposes. This advancement allows for the reception of signals from space satellites, enabling the determination of object coordinates anywhere around the globe. It becomes clear that these systems provide much greater reliability and accuracy. They are also stable against atmospheric conditions, increase airspace capacity, offer economic benefits and reduce the impact of human factors. Additionally, an innovative concept Performance-Based Navigation (PBN), is utilized to enhance aviation security, improve aircraft flight performance, increase airspace capacity and enhance air navigation services [2].

Under these circumstances the development and implementation of innovative on-board technologies becoming critical, and it requires more proactive approach and further enhancement, which might also include new functionalities, new technologies, such are: On-board Automatic Dependent Surveillance – Broadcast/Contract (ADS-B/C), Controller and Pilot Data Link Communication (CPDLC), Electronic Attitude Direction Indicator (EADI), Electronic Flight Instrument System (EFIS), Electronic Horizontal Situation Indicator (EHSI) and others.

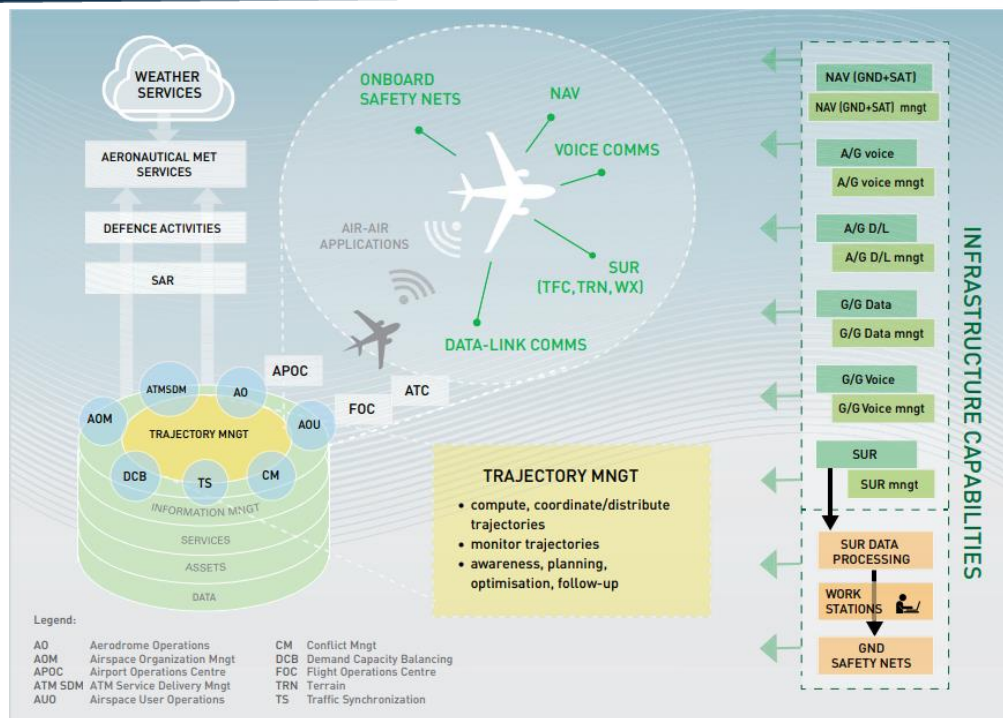


Figure 1. ATM logical architecture

Ground based satellite navigation and innovative technologies are in active phase of implementation global, regional and national levels proposed by the GANP activities, in order to achieve increase capacity, efficiency, and accuracy level of ATM system. Every ICAO member state is requested to fulfill GANP requirements and implement the best international practices on national level in their Air Navigation Service Providers (ANSP's) operation [3].



Figure 2. Multilayer Structure of the GANP on National Level



With other priorities, human performance-related considerations in the following areas should be taken into account for effective modernization of ATM on regional and national level:

- Quality of initial training;
- Adaptation developed procedures for new staff;
- Requalification smooth and effective process for active professionals;

- Implementation of new knowledge, skills and attitudes;
- New roles, autonomy, and responsibilities;
- Social factors and management of the cultural changes linked to increased automation [5].

Main problem in the more active implementation of the GANP is that, there are currently no unified requirements for all categories of ATM personnel, and also, the development of ATM technologies is faster, than training of personnel with appropriate qualifications. This problem is more visible in countries which, just have started an active modernization of ATM infrastructure. In particular, Latvia and Georgia are among these countries. The figure below shows the progress made so far, per Single European Sky ATM Research (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 2022 – Local Single Sky Implementation, Latvia, Georgia) [4].

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

Latvia 	Georgia 	Essential Operational Changes in ATM system
100%	100 %	Interconnected ATM Networks
91%	84 %	Traffic Management System (TMA) and Airport Performance
87 %	82 %	Infrastructure and Services of Communication and Navigation Systems (CNS)
100 %	100 %	Digital Aeronautical Information Management (AIM) and Meteorological (MET) Services
100 %	90 %	Fully Dynamic and Optimised Airspace
100%	100 %	Trajectory Based Operations

Additional problem in this situation is that, as investigation reports and statistics of aviation accidents and incidents proves, there are still exist several facts, which have the straight connection with the human incomplete competencies in ATM maintenance [9].

Research Methodology

To fulfill the objectives, the research based on the following methodology: literature analysis, in particular, the theoretical works of scientists in aviation field common area of the research. Also the synthesis of information from reports, plans, broadcasts, analytical documents, and useful data from international aviation organizations (ICAO, EUROCONTROL, SESAR), the processing official investigation reports on aviation accidents and incidents. Basically in order to achieved aim of the research used analysis, synthesis, qualitative, statistical, deductive and comparison methods.

The aim of the research is to develop a methodological approach based on gap analyzes and modeling, that automatically determines the air traffic management system and on-board innovative technologies logical relationship and also will be connected through implementation to the learning outcomes of the proper educational programs of the educational institutions for human performance development.^[7]

The main objectives of the research are as follows:

1. To create taxonomy of ATM innovative technologies, on-board modern systems and human performance;
2. To propose a methodology for assessment of gap between the implementation of ATM and avionics innovative technologies taking into account human factors;
3. To design, implement and evaluate an algorithm for educational courses syllabus and modules development of ATM and avionics technicians educational programs.

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

1. Which main parameters are enhanced by implementation of innovative technologies in avionics and ATM systems operation?
2. How affects the technologies development on the reliability and safety level of flights assurance?
3. What theoretical and practical part should utilized in educational courses and syllabus in parallel of technological environment changes in this area of aviation?
4. What technical characteristics should be developed in cockpit systems to catch up ATM technologies development in order to achieve more effective interrelationship?
5. What type ergonomic factors are activated after active modernization of technologies on-board and ATM systems?

The main contribution of this work is, that by putting of developed models into practice together with enhanced ergonomic factors in new technological environment of ATM and on-board systems, it is possible to harmonize them effectively, which represents the scientific value of the research results and provides an increased level of flights safety, better throughput and enhanced efficiency of the air traffic.

Early Results

At the first stage of research presented methodology for assessing the accuracy and reliability of the radio navigation and radar systems widely used for today, in particular, Very High Frequency Omni directional radio range (VOR), Distance Measuring Equipment (DME), the Instrument and Microwave Landing Systems (ILS-MLS) and their proper on-board systems. Mathematical calculations, as well as methods of analysis and synthesis were used to determine compliance with modern technical requirements and norms of international aviation organizations, and a taxonomy of the main problematic issues were classified.^[13]

A methodology for partially solving the above-mentioned problematic issues is proposed, including ways to increase the accuracy of the VOR radio beacon.

The formula for the dependence of phase on azimuth is given:

$$U = U_m [1 + m \cos(\Omega t - \alpha)] \cos \omega t \quad (1)$$

Where m is the modulation coefficient; Ω - rotation frequency of the moving antenna; α - azimuth of the aircraft; ω - angular frequency of high frequency oscillations.

Several modifications to improve the accuracy of a VOR radio beacon using the formula are given in Table 2.

Table 2. VOR radio beacon modifications

Radio Beacon	Azimuth measurement error (degrees)	Note
VOR	2,5	P-Precision
DVOR	1,5	D- Doppler
PDVOR	0,8	H- High
PDVOR(H)	0,5	M-Medium
PDVOR(M)	0,3	

Mathematical calculations have established practical approaches to extend the DME and bring it into line with ICAO requirements:

$$\begin{aligned} D^2_d &= R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \\ \cos \eta &= 2(1 - \cos \eta)(R^2 + RH) + H^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$D^2_d = 4 \sin^2 \frac{\eta}{2} (R^2 + RH) + H^2 \rightarrow \sin^2 \frac{\eta}{2} = \frac{D^2_d - H^2}{4(R^2 + RH)} \quad (3)$$

Arc of spherical length at distances of no more than 600-700 km $\eta = \frac{D_s}{R}$

$$\text{So} \quad \sin^2 \frac{\eta}{2} = \sin^2 \frac{D_s}{2R} = \frac{D^2_d}{4R^2} \quad \text{than} \quad \frac{D^2_s}{4R^2} = \frac{D^2_d - H^2}{4(R^2 + RH)}; \rightarrow D_s = \frac{\sqrt{D^2_d - H^2}}{\sqrt{1 + \frac{H}{R}}} \quad (4)$$

Based on the research as well compared to the metric range ILS and MLS systems with following main advantages: increased accuracy and protection from obstacles; great reliability; providing wider airspace coverage, take-off management; runway and ground traffic management. The MLS device operates in the 5 GHz band. Compared to the ILS system, the MLS system provides an azimuth overlap in the forward sector up to $\pm 60^\circ$, with an elevation angle of 10-200.

Different methods of increasing the effectiveness of ground radar and on-board systems has been also investigated during the research, however, the implementation of the mentioned techniques in practice, based on the data of international aviation organizations, is insufficient to meet the airspace requirements expected by GANP 2016-2030.^[11]

That is why the research work focused on analysis of the implementation of alternative innovative technologies necessary to meet the increased requirements caused by the growth intensity of flights, in order to successfully solve the given problems: lower material costs, provide easy technical service, increase accuracy, reliability and meet the safety requirements imposed on the system. In particular, the ways of automatic solution of navigation tasks are classified below, which should ensure the quality of adjustment of flight modes, especially the quality of transition processes.

- Frequency (aperiodicity);
- Shortness (short time constant);
- Astatism (absence of systematic error after the end of transient processes);
- Sustainability.

In order to fulfill these tasks, it is necessary to implement the following innovative technologies in the air traffic management system, on ground and in the cockpit. Alternative radio broadcasting technology of aircraft navigation service ADS-B, ADS-C and Multilateration (MLAT) system, in the work mathematically developed, algorithm of operation of each system and classified their advantages in relation to existing analogues.

The closed form of the lateralization algorithm allows to establish linear relationships between the parameters as a result of mathematical transformations, and does not require prior knowledge of any information about any aircraft. For these reasons, the closed form of the lateralization algorithm is adopted in practice. Determine how aircraft coordinates are obtained using the hybrid time of Time Difference Of Arrival (TDOA) lateralization algorithm. Let's assume that the first stage has already been completed and time readings have been received from the antennas.^[12]

If τ_i is TDOA measurement performed by the principle, which is defined by the i number of antennas whose coordinates are: (x_i, y_i, z_i) . Then, the equation that defines $X = (x, y, z)$ from the transmitter to the antennas TDOA measurement of received signals will have the following form

$$\tau_i = \sqrt{\frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}{c}} \quad (5)$$

Where $c = 3 \times 10^5$ km.

Eq. (5) describes the non-linear relationship between aircraft location (x) and TDOA measurement (τ) . If we square both sides of the equation, then equation (1) will take the form:

$$(\tau_i \times c)^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \quad (6)$$

By further simplifying formula (6), will have:

$$(\tau_i \times c)^2 = (x^2 + y^2 + z^2) - (2xx_i + 2yy_i + 2zz_i) + (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \quad (7)$$

Designation:

$$\tau_i \times c = R_i, \quad R = (x^2 + y^2 + z^2), \quad K_i = (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \quad (8)$$

If enter the formula (8) into (7), then will get:

$$R_i^2 = R - (2xx_i + 2yy_i + 2zz_i) + K_i \quad (9)$$

In the case of 4 receiving antennas, will have:

$$R_1^2 = R - (2xx_1 + 2yy_1 + 2zz_1) + K_1 \quad (10a)$$

$$R_2^2 = R - (2xx_2 + 2yy_2 + 2zz_2) + K_2 \quad (10b)$$

$$R_3^2 = R - (2xx_3 + 2yy_3 + 2zz_3) + K_3 \quad (10c)$$

$$R_4^2 = R - (2xx_4 + 2yy_4 + 2zz_4) + K_4 \quad (10d)$$

Large-scale use of the MLAT and ADS-B, ADS-C and other innovative ATM technologies system compared to primary and secondary radars significantly reduces material costs, facilitates maintenance work required for system operation, and increases the level of reliability and efficiency of the air traffic control system. The advantages of the these systems are expressed by meeting the requirements of

EUROCONTROL [6] and ICAO, technical testing showed that mentioned systems significantly exceeded the previous systems in detecting defects, this number reached a percentage of 98%, and the accuracy and quality of work were also improved.

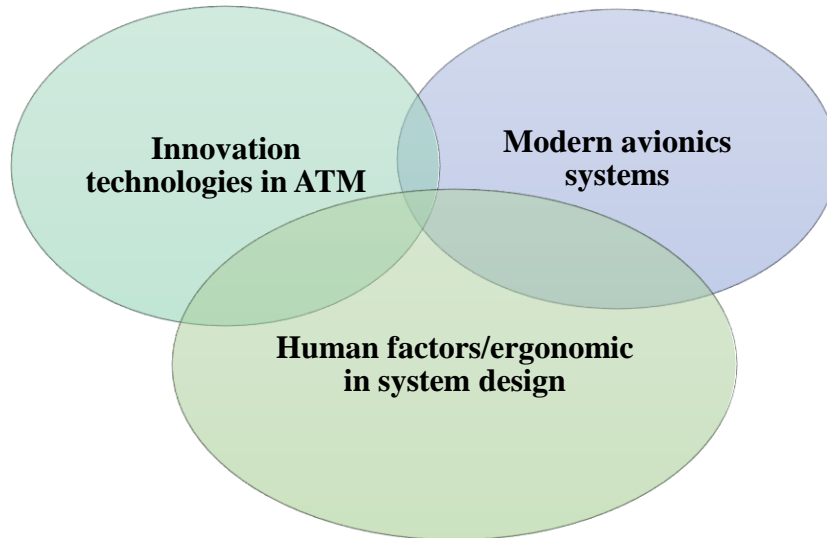


Figure 3. Vienne diagram for graphic representation main aim of research

Table 3. Gap analyses and taxonomy of ATM system complex operation

Taxonomy of avionics modern technologies for better integration in system design	Taxonomy ATM innovation technologies implementation in system design	Principles for a better integration of human factors/ergonomic (HF/E) in system design
On-board Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)	Optimization of approach procedures including vertical guidance, by using of performance-based navigation (PBN) and ground-based augmentation system (GBAS)	Build joint design teams and don't treat HF/E as a mandatory add-on
Control and Pilot Data Link Communication (CPDLC)	Increased runway throughput through optimized wake turbulence separation Improve traffic flow through sequencing (AMAN/DMAN)	Make a coherent user centred design logical HF/E product
Electronic Attitude Direction Indicator (EADI)	Safety and efficiency of surface operations and enhanced vision systems (EVS)	Trying for a short, iterative user-centred design process
Electronic Flight Instrument System (EFIS)	Improved airport operations through. Increased interoperability, efficiency and	Develop objective HF/E criteria instead of follow on user opinions

		capacity through ground-ground integration	
Electronic Horizontal Situation Indicator (EHSI)		Service improvement through digital aeronautical information management	Assess as early as possible with the help of different prototypes
On-board Automatic Dependent Surveillance – Contract (ADS-C)		Meteorological information supporting enhanced operational efficiency and safety	Select convenient conditions for assessment: Evaluate daily operations as well as critical decisions and solutions
		Improved operations through enhanced en-route trajectories. Improved flow performance through planning based on a network-wide view	Help to be organized the problem-solving process during implementation by facilitating trade offs
		Initial capability for ground surveillance. Air traffic situational awareness (ATSA)	Do a proper problem design in the first place when it's possible to understand real problem and the find mechanisms and necessities Be part in strategic decisions and provide a purpose focused view of technology

Conclusions - Innovation technologies: new opportunities and risks

A case studies have been handled in order to identify possible gaps in training of aviation personnel involved- air traffic controllers, pilots and ATM engineers/technicians. The case studies have identified and have considered examples of recently developed and introduced new technologies which either are already used or might be used in the nearest future in Latvia and Georgia.

The technologies considered are summarized in a table:

Table 4. Methodological approach and general model for effective interconnection of on-board and ATM systems taking into account human factors

Change: new system or technology	Impact on ATC's	Impact on pilots	Impact on ATM engineers/technicians	Risks
Cockpit layout - A liquid-crystal displays (LCD)	No impact	Better quality picture	Different principle of operations	Incompatibility with other systems
New functionality- CPDLC	Additional tool to use when air traffic intensity is low	Additional tool to use when air traffic intensity is low	Complicated programming of the system, necessity to	Missed information due to inappropriate programming of

	New operational procedures New functional window to pay attention to	One more system to pay attention to New operational procedures	understand key issues, functions required by ATC and pilots (layout, message types, formats of messages, response times etc.)	messages Inability by technical personnel to fix issue due to lack of knowledge in pilotage or ATC
New flight parameters displayed or available – angle of attack	No impact	Additional parameter available which might influence safety of a flight	New parameter to distinguish, calculate and fix if necessary	Inappropriately shown parameter
New software tool for air traffic controllers- AMAN	New ATC tool which helps in approach phase to organize air traffic. But needs additional training to start using it and training when system becomes operational so that controllers are able to control traffic in case of failure of this system	Possibly shorter approach trajectories	New software functionality which can become inoperative	Air traffic controllers unable to work normally without this system. Engineers unable to understand problem of system's functionality which is vital for controllers because of lack of knowledge in air traffic control
Circle around radar blip to indicate which aircraft calls Air Traffic Controllers (ATCO)	Faster response time to a call from a pilot Easier to determine which aircraft calls	Possible faster reaction from ATCO	New item on list which should be checked New item on the list which can malfunction	ATCOs get used to the indication, unable to keep time of response within normal limits when the function is not available
New navigation aids available - Ground Based Augmentation System (GBAS) Landing System (GLS) - Performance Based Navigation (PBN) approaches	New approach trajectories, which are more flexible to environment and layout of an aerodrome	New flight trajectories	Use of additional systems (Global Positioning System GPS + GBAS), system compatibility	Systems incompatible

In the research six different technologies have been analysed and the conclusions have been made:

- New software technologies or tools are designed to make operational processes more flexible, to make air traffic controllers more reliable by introducing more automation, where automation analyse parameters and give solutions. Risk: air traffic controller step by step gets used to automation and loses skills in manual operation, consequently- unable to complete tasks without automation, not enough skills for manual operations;
- New radio navigation tools introduced to increase accuracy of systems and reliability of service. Risk: GLS is based on GPS, PBN is based on GPS. Might experience some difficulties of GPS is lost;

- New specific functionalities for air traffic controllers and pilots require more detailed understanding of operational procedures of air traffic control or pilotage of aircraft to keep systems operational. Risk - technicians unable to fix problems due to lack of knowledge in pilotage of aircraft or air traffic control procedures.

As a result, this research shows that on the one hand every new system, tool or function introduces more reliable parameters of characteristics, but on the other hand - more attention should be focused on personal training and maintenance procedures. More harmonized interconnection of main three research tasks provides increased safety, capacity and efficient level of ATM operation for the future growth requirements of air transportation in Latvia, Georgia and globally. With the fast-growing and high-density global air traffic, ensuring efficiency and air transportation safety becomes a critical challenge. Innovative technologies and automatization is already revolutionizing the way air traffic management systems are manufactured and hence is believed to play a key role in optimizing air traffic flow [13].

In the gained recommendations of the research obtained international experience and is possible to be provided, for both, as for aviation training institutions as well, for the air navigation service providers, and have a positive impact for the further development of aviation industry.

ACKNOWLEDEMENTS

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

References

- [1] Doc 9750-AN/963, 2016–2030 Global Air Navigation Plan. ICAO.
- [2] ASBU Implementation Monitoring Report ICAO EUR States (2020) ICAO.
- [3] European Air Navigation Plan (2022), ICAO EUR States, Volume III.
- [4] EUROCONTROL (2022) Local Single European Sky Implementation (LLSIP) Latvia, Georgia.
- [5] SESAR. *The Roadmap for Delivering High Performing Aviation for Europe*. Executive View European ATM Master Plan.
- [6] EUROCONTROL *Forecast Update 2023-2029 years*
<https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-forecast-update-2023-2029>
- [7] „*Ontology based approach for human competency gap analysis in Air Traffic Management*“ Autors: Igor Kabaskin, 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)
- [8] Human Factors Digest No.6 ERGONOMICS, ICAO Circular 238-AN/143.
- [9] Official Web-Page of Causes of Fatal Accidents by Decade. <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm>
- [10] Protégé - a free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. <https://protege.stanford.edu/>
- [11] International Standards and Recommended Practices, *ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation*.
- [12] Szabó, P., Ferencová, M. and Železník, V.: *Cloud Computing in Free Route Airspace Research*, 2022, Algorithms, MDPI.
- [13] Nika Tikanashvili doctoral thesis “*Implementation of innovative technologies in the air traffic management system taking into account human factors in order to ensure the safety of flights*” scientific supervisors: DScTech, Professor Sergo Tepnadze., and Dr.habil.sc.ing., Professor Igor Kabashkin., Tbilisi 2019.
- [14] AN-Conf/13-WP/232 ICAO 2018 “*Potential of Artificial Intelligence (AI) in Air Traffic Management (ATM)*”.
- [15] SESARJU, 2022 *MAHALO – Modern ATM via Human/Automation Learning Optimisation*

თანამედროვე ავიონიკის - საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ერგონომიკა და ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის შედეგებითი ანალიზი. ლატვიისა და საქართველოს შემთხვევების შესწავლა

ნიკა თიკანაშვილი¹, მონტა ალექსანდრა ლაჩანე²

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი
№ 16, 0103, თბილისი, საქართველო

²ტრანსპორტისა და ტელეკომუნიკაციის ინსტიტუტი
რიგა, ლატვია, ლომონოსოვას ქუჩა №1, LV-1019

რეზიუმე

ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციის (EUROCONTROL)-ის კვლევის მიხედვით, 2035 წლისთვის ევროპის აეროპორტები მოემსახურება 14.4 მილიონ ფრენას და 1.4 მილიარდ მგზავრს. საჰაერო მოძრაობის მართვის ამჟამინდელი სისტემა (ATM) არ არის სრულ მზადყოფნაში საჰაერო მიმოსვლის მსგავსი მოცულობისათვის. სისტემა ვერ გაუმკლავდება თვითმფრინავების ასეთ დიდ რაოდენობას დროულად, რაც გამოიწვევს საჰაერო სივრცის გადატვირთულობას და მოძრაობის შეფერხებას მიწაზე და ჰაერში. ეს მდგომარეობა ეკონომიკურად არაეფექტურია და მნიშვნელოვან უარყოფით გავლენას ახდენს გარემოზე ნახშირბადის გამოყოფისა და ხმაურით დაბინძურების გამო. ამ მიზეზით აუცილებელია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის უწყვეტი განვითარება და მოდერნიზაცია. გლობალური საჰაერო ნავიგაციის გეგმა (GANP) არის მოქნილი საინჟინრო-ტექნიკური მეთოდოლოგიური დოკუმენტი, რომელიც საშუალებას აძლევს ყველა სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) წევრ სახელმწიფოს განავითაროს საჰაერო ნავიგაციის შესაძლებლობები მათი სპეციფიკური ოპერატიული მოთხოვნების საფუძველზე. GANP-ის წარმატებული განხორციელების ერთ-ერთი ყველაზე პრობლემური ნაწილია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ინოვაციური და საჰაერო ხომალდის თანამედროვე ტექნოლოგიების ეფექტური ურთიერთკავშირი ერგონომიკური ფაქტორების გათვალისწინებით. სისტემის „ოპერატორი-მანქანა-გარემოს“ ძირითადი ეფექტური ფუნქციონირება განისაზღვრება ადამიანური ფაქტორით და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებულია პროცესის ავტომატიზაციის დონესა და უამრავ ძირითად ტექნიკურ პარამეტრზე.

ნაშრომი ორიენტირებულია ლატვიისა და საქართველოს შემთხვევების შესწავლაზე. წარმოდგენილია დამოკიდებულება, ორივე ქვეყნის საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების სწრაფ დანერგვას, თვითმფრინავების საბორტო სისტემების განვითარებასა და ავია სპეციალისტების შესაბამისი ახალი ცოდნითა და უნარებით მომზადების დონეს შორის. კვლევის შედეგად შემოთავაზებულია მეთოდოლოგიური მიდგომა და ეფექტური ურთიერთ დამოკიდებულების მოდელი საჰაერო მოძრაობის მართვის თანამედროვე სისტემების დანერგვასა და საბორტო ინოვაციური ტექნოლოგიების განვითარებას შორის, ადამიანური ფაქტორების გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: საჰაერო მოძრაობის მართვა, ავიონიკა, ინოვაციური ტექნოლოგიები, ერგონომიკა.

კომპოზიტური მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდი

ზიძინა აბესაძე, ვაჟა კელიხაშვილი, საბა კოპალიანი

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე კომპოზიტური მასალების, გავლენისა და რელაქსაციის ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდიკა, არაწრფივი დეფორმაციის მაგალითზე. მიდგომა დაფუძნებულია ე.წ. მემკვიდრეობის თეორიის გამოყენებაზე. მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრების (A , α და β) განსაზღვრა დღეისათვის ხდება თეორიული და ექსპერიმენტული გრაფიკების შეთავსების მეთოდით [1, 2]. ეს მეთოდი მოძველებულია და გარკვეულ უზუსტობებთანაა დაკავშირებული.

წარმოდგენილ განახლებულ მეთოდში, მასალის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციების პარამეტრების (A , α და β) შერჩევა, კვლევის მოცემული ეტაპისთვის ხდება არსებული მეთოდიკით, ფუნქციათა გრაფიკების უშუალო მსგავსების (შეთავსების) საფუძველზე. ხოლო, შემდგომში, ხდება თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების აპროქსიმაცია ნებისმიერი ხარისხის პოლინომზე, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით. ქვემოთ განხილულ მაგალითში ხდება მე-4 და მე-7 ხარისხის პოლინომებზე აპროქსიმაცია. თეორიული მრუდის შესაბამის პოლინომურ გაშლაში, ფუნქციის გრაფიკის მეტი სიგლუვის მოსაზრებიდან გამომდინარე, ხდება ორი დამატებითი პარამეტრის გათვალისწინება, რომელიც უზრუნველყოფს ამ მრუდის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ღერძებზე გადაადგილებას, რომელიც მაქსიმალურად უნდა დაემთხვეს ექსპერიმენტულ პოლინომის შესაბამის გრაფიკს.

აღნიშნული პარამეტრების განსაზღვრა მოხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიური პროცედურით. კერძოდ, ფუნქციათა არგუმენტების კონკრეტულ წერტილებში, თეორიული და ექსპერიმენტული მნიშვნელობების სხვაობების კვადრატების ჯამი უნდა იყოს მინიმალური. უნდა ამოიხსნას ორი ცვლადის ფუნქციის მინიმუმის პოვნის ამოცანა. შესაბამისი დათვლები ხდება კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს გამოყენებით და მიიღება შესაბამისი ამონახსნები. კონკრეტული მაგალითის საფუძველზე ხდება უკვე არსებული და გაუმჯობესებული მეთოდით მიღებული შედეგების შედარება.

საკვანძო სიტყვები: კომპოზიტური მასალა, რეოლოგია, რელაქსაცია, გავლენის ფუნქცია, დეფორმაცია

შესავალი

დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალები, როგორცაა სხვადასხვა სახის პლასტიკები ან მათ ბაზაზე შექმნილი კომპოზიტური მასალები [5, 6], დატვირთვების პირობებში ავლენენ დეფორმაციის რთულ სურათს, რაც გამოიხატება მათ რეოლოგიურ ხასიათში. მარტივ შემთხვევაში - ცოცვადობის და რელაქსაციის პროცესებში [1].

დრეკად-პლასტიკური მასალების რეოლოგიური თვისებების აღწერის არაერთი თეორია და მიდგომა არსებობს, მათგან გამოიყოფა მოდულების თეორია [3, 4] და მემკვიდრეობის ანუ ბოლცმანის თეორია [1, 2, 6]. წარმოდგენილ ნაშრომში ხდება ამ უკანასკნელის გამოყენება.

მემკვიდრეობის თეორიის ფარგლებში, შემოდის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციები, რომელთა საშუალებითაც აღიწერება დეფორმაციის და დატვირთვების რეოლოგიური ხასიათი. კონკრეტულ შემთხვევაში, ცოცვადობა და რელაქსაციის პროცესი აღიწერება (1) და (2) გამოსახულებებით:

ცოცვადობის შესაბამისი დეფორმაცია

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_c}{E} \left[1 + \int_0^t K(t - \tau) d\tau \right], \quad (1)$$

სადაც σ_c მუდმივი დატვირთვაა, E - დრეკადობის მოდული, ხოლო $K(t - \tau)$ - გავლენის ფუნქცია. რელაქსაციის პროცესი აღიწერება განტოლებით:

$$\sigma(t) = E\varepsilon_c \left(1 - \int_0^t T(t - \tau) d\tau \right), \quad (2)$$

სადაც ε_c დეფორმაციის მუდმივი მნიშვნელობაა, ხოლო $T(t - \tau)$ - რელაქსაციის სიჩქარის ფუნქცია [1].

(2) ინტეგრალური განტოლების გულის რამდენიმე ფორმა არსებობს. წარმოდგენილ კვლევაში გამოყენებულია ა. რჟანიცინის მიერ შემოთავაზებული $T(t - s) = \frac{Ae^{-\beta(t-s)}}{(t-s)^{1-\alpha}}$ ფუნქცია,

ხოლო მ. კოლტუნოვის მიერ განისაზღვრა $K(t - s) = \frac{e^{-\beta(t-s)}}{(t-s)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\Gamma(\alpha)]^n (t-s)^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha)}$ ფუნქცია [1, 2].

ორივე მათგანი შეიცავს სამ დამოუკიდებელ A, α და β პარამეტრს. რომელთა კონკრეტული მნიშვნელობების განსაზღვრა ნიშნავს კონკრეტული მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პოვნას.

აღნიშნული პარამეტრების შერჩევის პროცედურა, არსებული მიდგომებით, დაფუძნებულია გრაფიკების შეთავსების მეთოდზე [1, 3]. ცოცვადობის წრფივი თეორიის ფარგლებში, როცა მოქნილობის ექსპერიმენტული მრუდები $I(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_c}$ ერთმანეთს ემთხვევა, ან თავსდება ვიწრო ზოლში, მაშინ (1) გამოსახულებიდან ხდება თეორიული და ექსპერიმენტული შემადგენლების განცალკევება

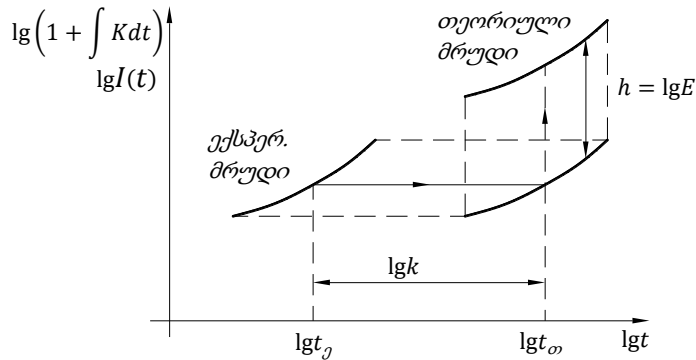
$$E \cdot I(t) = 1 + \int_0^t K(\tau) d\tau, \quad (3)$$

რომლის გალოგარითმებით მიიღება:

$$\lg E + \lg(I(t)) = \lg \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right], \quad (4)$$

სადაც ცალკე შესაკრებად გამოიყოფა მასალის დრეკადობის მოდული. გრაფიკების შეთავსების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ლოგარითმულ სკალაზე აიგება ექსპერიმენტული $\lg(I(t))$ და თეორიული $\lg \left[1 + \int_0^t K(\tau) d\tau \right]$ მრუდები. ექსპერიმენტული მრუდის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებებით მოძრაობისას ხდება ყველაზე მსგავსი თეორიული მრუდის შერჩევა, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრება A, α და β პარამეტრები, ხოლო მრუდის გადაადგილების შესაბამისი მანძილებით განისაზღვრება: ა) ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილების h სიდიდით, განისაზღვრება მასალის დრეკადობის მოდული $\lg E = h \Rightarrow E = 10^h$ და ბ) ჰორიზონტალური გადაადგილებით $\lg t_m - \lg t_j = \lg \frac{t_m}{t_j} = \lg k$ განისაზღვრება თეორიულ

და ექსპერიმენტულ დროებს შორის განსხვავება [1, 3], $k = \frac{t_{\sigma}}{t_j}$ (იხილეთ ნახ. 1). აღნიშნულ მეთოდში გამოყენებულია ათობით ლოგარითმულ სკალაზე (lg) გრაფიკების აგების და მათი ვიზუალური შედარების მეთოდი. შეიძლება გამოყენებული იქნას ნატურალური ლოგარითმული სკალაც (ln) (შემდგომში, ეს მიდგომა იქნება გამოყენებული).



ნახ. 1 გრაფიკების შეთავსების მეთოდის ტიპური სქემა

დეფორმაციის არაწრფივი თეორია, მრუდების მსგავსება

როცა დრეკად-ბლანტი სხეულების დეფორმაციისას მოქნილობის მრუდები $I(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_k}$ ვერ თავსდება ვიწრო ზოლში დამტვირთავი ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს, მაშინ ადგილი აქვს არაწრფივ დეფორმაციას. ასეთ შემთხვევაში არსებობს მასალის პარამეტრების განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი. ერთ-ერთი წარმოდგენს ცოცვალობის ან რელაქსაციის მრუდების მსგავსების შემთხვევას [1]. ამ დროს ხდება საბაზო მრუდის შერჩევა და მისი შესაბამისი თეორიული პარამეტრების განსაზღვრა, ხოლო სხვა დანარჩენ შემთხვევაში საბაზო მონაცემები გამრავლდება შესაბამის მსგავსების კოეფიციენტებზე.

შემდგომში, განხილულ მაგალითში წარმოდგენილია მასალის რელაქსაციაზე გამოცდის მონაცემების ანალიზი. არაწრფივი დეფორმაციის ფარგლებში, მუდმივი დეფორმაციის შესაბამისი, რელაქსაციის პროცესის ამსახველი დამოკიდებულება მოიცემა სახით:

$$\sigma(t, \varepsilon_k) = \psi(\varepsilon_k) \left(1 - \int_0^t T(t - \tau) d\tau \right), \quad (5)$$

სადაც ε_k არის დეფორმაციის კონკრეტული მნიშვნელობა, ხოლო $\psi(\varepsilon_k) = \varepsilon_k \cdot \varepsilon_0$. თავის მხრივ, ε_0 არის $\sigma(t, \varepsilon_0)$ საბაზო მრუდის მსგავსების კოეფიციენტი $f(t) = 1 - \int_0^t T(t - \tau) d\tau$ თეორიულ მრუდთან, ხოლო $\varepsilon_k = \frac{\sigma(t, \varepsilon_k)}{\sigma(t, \varepsilon_0)} = \frac{\psi(\varepsilon_k)}{\psi(\varepsilon_0)}$ არის $\sigma(t, \varepsilon_k)$ ექსპერიმენტული მრუდის მსგავსების კოეფიციენტი $\sigma(t, \varepsilon_0)$ საბაზო მრუდთან [1].

საბაზო მრუდის მონაცემების საფუძველზე, მასალის თეორიული პარამეტრების შერჩევა ხდება ისეთივე გზით, როგორც წრფივი დეფორმაციის თეორიაში არის მოცემული - გრაფიკების შეთავსების მეთოდით. ლოგარითმულ (ln) სკალაზე აიგება თეორიული $f(t)$ და ექსპერიმენტული $\sigma(t, \varepsilon_0)$ მრუდები. უკანასკნელის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური წანაცვლებით შეირჩევა ყველაზე მსგავსი თეორიული მრუდი, განისაზღვრება შესაბამისი A, α და β პარამეტრები. ექსპერიმენტული მრუდის ვერტიკალური წანაცვლების სიდიდე იქნება ε_0 მსგავსების კოეფიციენტის ლოგარითმის ტოლი $h = \ln(\varepsilon_0) \Rightarrow \varepsilon_0 = e^h$, ხოლო ჰორიზონტალური წანაცვლება განსაზღვრავს თეორიულ და ექსპერიმენტულ დროებს შორის განსხვავებას $k = \frac{t_{\sigma}}{t_j}$.

მასალის პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდი

აღწერილი გრაფიკების შეთავსების მეთოდი დაფუძნებულია მრუდების ვიზუალურ შედარებაზე, რამაც შესაძლოა მნიშვნელოვანი ცდომილება გააჩინოს.

სასურველია დამუშავდეს რაიმე სხვა უფრო ზუსტი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს სიზუსტის მეტად გაზრდას. ასეთ მეთოდად ნაშრომში შემოთავაზებულია რიცხვითი მონაცემების დამუშავების ფორმა, რომელიც დაფუძნებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებაზე. პირდაპირ ანალიზური მეთოდის გამოყენება, გავლენისა და რელაქსაციის ფუნქციების რთული მათემატიკური ფორმის გამო, დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული.

ქვემოთ წარმოდგენილ მაგალითში, მასალის პარამეტრების შერჩევა მოხდა გრაფიკების ვიზუალური მსგავსებით, ხოლო ექსპერიმენტული და თეორიული მრუდების ღერძების მიმართ წანაცვლების სიდიდეების განსაზღვრა მოხდა განახლებული მეთოდის საშუალებით, კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს გამოყენებით. განსახილველ მაგალითში შემავალი ექსპერიმენტული მონაცემები აღებულია [1] ლიტერატურიდან.

განიხილება მასალა II-200 - ის კუმშვაზე არაწრფივი რელაქსირების შემთხვევა. ფიქსირებული ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon_0 = 1.39\%$, ხოლო საწყისი ძაბვა $\sigma_0 = 0.088$ კგ/მმ². რელაქსაციის ამსახველი ძაბვის დროში ცვლილების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.

ცხრ. 1 II-200 მასალის კუმშვაზე

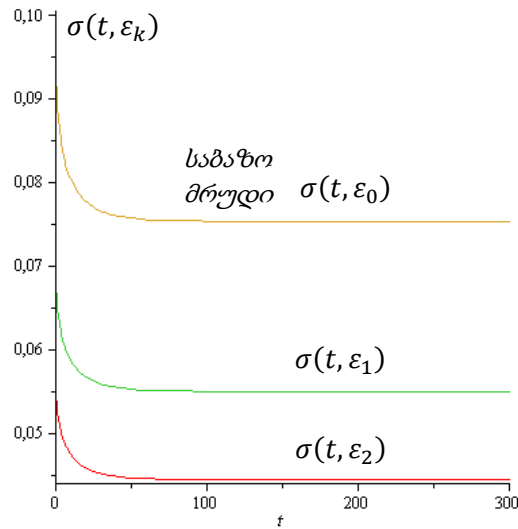
ცხრ. 1 არაწრფივ რელაქსაციაზე გამოცდის შედეგები

t წთ	$\sigma(t)$ კგ/მმ ²	$\frac{\sigma(t)}{\varepsilon_k}$	$f(t) = 1 - \int T dt$
0	0.088	6.33	1
2	0.085	6.20	0.86360
4	0.083	5.97	0.83572
6	0.082	5.90	0.81837
8	0.081	5.83	0.80602
10	0.080	5.76	0.79667
20	0.078	5.61	0.77121
30	0.077	5.47	0.76067
50	0.076	5.47	0.75311
60	0.076	5.47	0.75177
90	0.075	5.39	0.75043
120	0.075	5.39	0.75020
300	0.075	5.39	0.75015

ნახ. 2 ზე წარმოდგენილია მასალის რელაქსაციის ამსახველი ექსპერიმენტული მრუდები. აირჩა საბაზო მრუდი, შემდგომ შედარდა და განისაზღვრა სხვა მრუდების მსგავსების კოეფიციენტი საბაზო მრუდთან მიმართებით: $\varepsilon_1 = 0,77\%$, $\varepsilon_1 = \frac{\sigma(t, \varepsilon_1)}{\sigma(t, \varepsilon_0)} = 0,73$;

$$\varepsilon_2 = 0,55\%, \varepsilon_2 = \frac{\sigma(t, \varepsilon_2)}{\sigma(t, \varepsilon_0)} = 0,59. \quad (6)$$

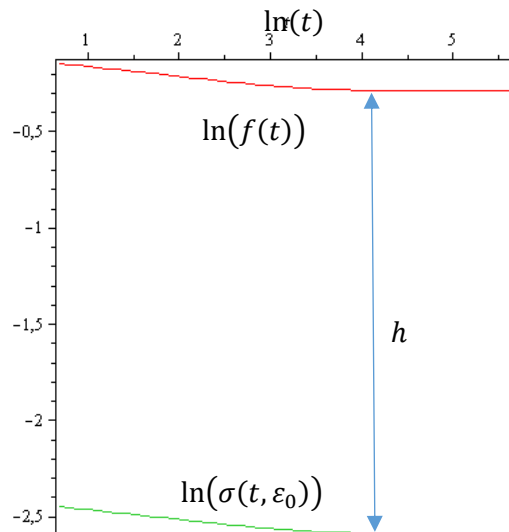
თეორიული მრუდის შერჩევა ხდება შემდეგნაირად: ლოგარითმულ სკალაზე უნდა აიგოს ექსპერიმენტული საბაზო მრუდი, რომელიც შემდგომ უნდა დადარდეს თეორიულ მრუდებს, რომელიც წინასწარ მზა ფორმით არის მოცემული შესაბამის ცნობარებში. უნდა მოიძებნოს მაქსიმალური მსგავსება და, განსახილველ შემთხვევაში, განისაზღვროს, რელაქსაციის სიჩქარის თეორიული მრუდის პარამეტრები.



ნახ. 2 მასალა II-200-ის რელაქსაციაზე გამოცდის ექსპერიმენტული მრუდები მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში შეირჩა თეორიული მრუდი $f(t) = 1 - \int_0^t T(t - \tau) d\tau$ შემდეგი პარამეტრებით:

$$A = 0.034; \alpha = 0.3 \text{ და } \beta = 0.05 \quad (7)$$

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია ლოგარითმულ სკალაზე გამოსახული ექსპერიმენტული საბაზო და თეორიული მრუდები.



ნახ. 3 ლოგარითმულ სკალაზე გამოსახული ექსპერიმენტული საბაზო და თეორიული მრუდები

გრაფიკების შეთავსების პარამეტრები, რაც გულისხმობს ექსპერიმენტული მრუდის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილების შესაბამისი მანძილების პოვნას, განისაზღვრება ანალიზურად, განახლებული მეთოდით. მეთოდიკა დაფუძნებულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებაზე.

ექსპერიმენტული მონაცემები წარმოდგენილია დისკრეტული წერტილების სახით, რომელზეც უნდა გაივლოს უწყვეტი მრუდი. ამ შემთხვევაში გამოყენებულია მე-4 რიგის პოლინომი, ხოლო ფუნქცია შედგენილია $\ln(\sigma(t, \epsilon_0)) \cong P_4(t)$ ფორმით. განსაზღვრულია შესაბამისი პოლინომიალური კოეფიციენტები.

მიუხედავად იმისა, რომ თეორიული ფუნქციის ანალიზური ფორმა ცნობილია, შემდგომი გამოთვლების გამარტივების მიზნით, მოხდა ამ ფუნქციის წარმოდგენაც პოლინომური ფორმით, მხოლოდ ამ შემთხვევაში მე-7 რიგამდე $\ln(f(t)) \cong P_7(t)$, განისაზღვრა შესაბამისი პოლინომიალური კოეფიციენტებიც.

თეორიული და ექსპერიმენტული გრაფიკების შეთავსება გულისხმობს, რომ უნდა შესრულდეს შემდეგი პირობა:

$$\sigma(t_j, \varepsilon_0) \cong \alpha_0 \cdot f(k \cdot t_j). \quad (8)$$

იმის გამო, რომ თეორიული მრუდი უფრო მეტად გლუვია, ვიდრე ექსპერიმენტული, ამიტომ ანალიზური თვალსაზრისით, ნაკლები ცდომილების მიღების გამო, ხდება თეორიული მრუდის მოძრაობა ღერძების გასწვრივ, ხოლო ექსპერიმენტული მრუდი უძრავად რჩება. ლოგარითმულ სკალაზე, ასეთი დამაკავშირებელი განტოლება მიიღებს სახეს:

$$P_7(\ln t_j + \ln p) - h \cong P_4(\ln t_j) \quad (9)$$

ამის შემდგომ ამოიხსნა, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიურად, ექსტრემუმის (მინიმუმის) პოვნის ამოცანა შემდეგი გამოსახულებისთვის:

$$S_n = \sum_{i=1}^n [P_7(\ln t_{ji} + \ln p) - h - P_4(\ln t_{ji})]^2, \quad (10)$$

განსახილველი არის $n = 10$ წერტილისთვის. რიცხვითი მეთოდებით, კომპიუტერული პროგრამის „Maple“-ს საშუალებით ამოიხსნა განტოლებები:

$$\frac{\partial S_n}{\partial(\ln p)} = 0 \text{ და } \frac{\partial S_n}{\partial h} = 0. \quad (11)$$

(11) განტოლებათა სისტემას აქვს ერთი ნამდვილი ამონახსნი, რომელიც მოიცემა სახით: $h = 2.2981$ და $\ln p = 0.0698$. (8) გამოსახულებასთან შედარების შემდეგ გვექნება: $\ln \alpha_0 = -h = -2.2981$ და $\ln k = \ln p = 0.0698$, საიდანაც:

$$\alpha_0 = e^{-2.2981} = 0.10045 \text{ და } k = \frac{t_{\omega}}{t_j} = e^{0.0698} = 1.07225 \quad (12)$$

აღსანიშნავია, რომ [1] ლიტერატურაში მოცემული მეთოდით დაანგარიშებული მონაცემების მიხედვით $\alpha_0 = 0.098$, ხოლო k -ს მნიშვნელობა თავიდანვე მიჩნეულია 1-ის ტოლად. წარმოდგენილ განახლებულ მეთოდში უფრო დიდი სიზუსტის მიღწევა არის შესაძლებელი, ანალიზური დათვლების სირთულის მიუხედავად.

(12)-ით განსაზღვრული k -ს მნიშვნელობის შესაბამისად, შეიძლება განისაზღვროს მასალის რელაქსაციის სიჩქარის ფუნქციის ექსპერიმენტული პარამეტრებიც, კერძოდ: $\alpha_j = \alpha_{\omega} = \alpha = 0.3$; $\beta_j = k \cdot \beta_{\omega} = 0.05361$ და $A_j = k^{\alpha-1} \cdot A_{\omega} = 0.03238$, ხოლო თეორიული დრო $t_{\omega} = k \cdot t_j = 1.07225 \cdot t_j$. II-200 მასალის რელაქსაციის განტოლება მიიღებს შემდეგ საბოლოო ფორმას:

$$\sigma(t_j, \varepsilon_k) = \psi(\varepsilon_k) \left(1 - \int_0^{1.07225 \cdot t_j} 0.03238 \cdot e^{-0.05361 \cdot (t_j - \tau)} \cdot (t_j - \tau)^{-0.7} d\tau \right), \quad (13)$$

სადაც $\psi(\varepsilon_0) = \alpha_0 = 0.10045$ კგძ/მმ²; $\psi(\varepsilon_1) = \alpha_1 \cdot \alpha_0 = 0.07333$ კგძ/მმ² და $\psi(\varepsilon_2) = \alpha_2 \cdot \alpha_0 = 0.05937$ კგძ/მმ².

შეიძლება განისაზღვროს ასევე მასალის დრეკადობის მოდულებიც, შესაბამისი ფიქსირებული დეფორმაციების დროს: $E = \frac{\sigma(0, \varepsilon_k)}{\varepsilon_k}$, გვექნება:

$$E_0 = \frac{0.10045}{0.0139} = 7.227 \text{ კგძ/მმ}^2; E_1 = \frac{0.07333}{0.0077} = 9.523 \text{ კგძ/მმ}^2 \text{ და } E_3 = \frac{0.05937}{0.0059} = 10,063 \text{ კგძ/მმ}^2. \quad (14)$$

წარმოდგენილმა დათვლის განახლებულმა მეთოდმა აჩვენა რომ II-200 მასალის მექანიკური მახასიათებლები მცირედით უკეთესია ადრე გამოყენებულ დათვლის მეთოდებით მიღებულ შედეგებზე.

დასკვნები

კომპოზიტური მასალების პარამეტრების განსაზღვრის წარმოდგენილი მეთოდიკა, რომელიც გულისხმობს თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსების გაუმჯობესებულ ანალიზურ მეთოდს, იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად გაიზარდოს გრაფიკების შეთავსების პარამეტრების განსაზღვრის სიზუსტე. სიზუსტის ხარისხი დამოკიდებულია აპროქსიმაციის პოლინომის რიგის სიდიდეზე.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის და პროგრამების გამოყენებით რთული გამოთვლების ჩატარება მნიშვნელოვნად არის გაადვილებული, ამიტომ მსგავსი ანალიზური კვლევის მეთოდის გამოყენება გამართლებულია.

წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია მასალის არაწრფივ რელაქსაციაზე გამოცდის მაგალითი, თუმცა დათვლის ეს მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას ექსპერიმენტული და თეორიული გრაფიკების შეთავსების კონცეფციაზე დაფუძნებულ ნებისმიერი ამოცანის გადასაწყვეტად, როგორცაა: წრფივი და არაწრფივი ცოცვადობა; პუასონის კოეფიციენტის განსაზღვრა; ტემპერატურისა და დროის ანალოგიის განხილვა თუ სხვა ამოცანები.

აღსანიშნავია, რომ წარმოდგენილი კვლევის მეთოდი არ მოიცავს მასალის რეოლოგიური თეორიული ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრას. პარამეტრების შერჩევა ხდება გრაფიკების ვიზუალურად დამთხვევის შედეგად. სამომავლოდ ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი სამუშაოებია ჩასატარებელი, რათა გაზრდილი იყოს პარამეტრების განსაზღვრის სიზუსტე.

როგორც განხილული მაგალითიდან ჩანს, დათვლის განახლებული მეთოდის გამოყენების შემდეგ, არსებულ მეთოდებთან შედარებით, დაზუსტდა II-200 მასალის ექსპერიმენტული რელაქსაციის ფუნქციის სახე და გამოჩნდა, რომ მას აქვს უკეთესი მექანიკური მახასიათებლები.

მადლიერება:

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [YS-23-796, კომპოზიტური სივრცითი კონსტრუქციების გაანგარიშების ახალი მეთოდი, ალგორითმი და პროგრამა].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - A. Dumbadze, "Mechanics of composite body", Tbilisi, 2015
- [2] - B. Noton, APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN TECHNICS, Volume 3, Moscow "Mechanical Engineering" 1978.
- [3] - B. Abesadze. Comparative analysis of methods for stress calculation for composite skins of aircrafts // Dissertation work. 2019.
- [4] - Bidzina Abesadze. THE PURE BENDING TASK IN CASE OF COMPOSITE ROD BASED ON FOUR-ELEMENT MODEL. Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series (Scopus), 2020.
- [5] - Khmelidze T. Kipiani G. Composite constructions // Georgian Technical University. Tbilisi 2022.
- [6] - B. Abesadze, V. Kelikhashvili, An improved method for determining the parameters of the composite material rheological functions within the framework of the nonlinear theory of deformation // SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL, "BUILDING" №3(67), Tbilisi - 2023. ISSN 1512-3936.

An Updated Method for Determining the Rheological Parameters of Composite material

Bidzina Abesadze, Vaja Kelikhashvili, Saba Kopaliani

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

Abstract

The paper discusses the improved methodology for determining the parameters of the influence and relaxation functions of composite materials with elastic-plastic properties, on the example of nonlinear deformation. The approach is based on the so-called on the application of the heredity theory. Due to the existence of a complex mathematical apparatus, the parameters of the rheological functions of the material (A , α and β) today, it is determined by combining theoretical and experimental graphs [1, 2]. This method is outdated and associated with certain inaccuracies. In particular, the determination of the strength characteristics of a specific material and the coefficient of theoretical and experimental time displacement gives a significant error during further calculations.

In the presented improved method, parameters of material influence and relaxation functions (A , α and β) the selection for the given phase of the research is done using the existing methodology, based on the simple similarity (combination) of the graphs of the functions. Also, subsequently, theoretical and experimental curves are approximated to a polynomial of any degree, using the least squares method. In the example discussed below, approximations are made to 4th and 7th degree polynomials. In the corresponding polynomial expansion of the theoretical curve, based on the consideration of greater smoothness of the graph of the function, two additional parameters are calculated, which ensure the displacement of this curve on the horizontal and vertical axes, which should coincide as much as possible with the corresponding graph of the experimental polynomial.

The mentioned parameters will be determined by a procedure similar to the least squares method. In particular, the sum of the squares of the differences between the theoretical and experimental values at specific points of the functions arguments should be minimal. The task of finding the minimum of a function of two variables should be solved. The corresponding calculations are made using the computer program "Maple" and the corresponding solutions are obtained. Based on a specific example, the results obtained by the existing and improved method are compared.

Keywords: *composite, deformation, relaxation, influence function, nonlinear theory.*

კვანტური კომპიუტერები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ავიაციაში

დემურ ვეფხვაძე

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

ანოტაცია

დღეს კვანტური კომპიუტერების თემა წარმოადგენს ერთ - ერთ ყველაზე უფრო პერსპექტიულ და აქტუალურ თემას თანამედროვე მეცნიერებასა და ტექნოლოგიებში. კვანტური კომპიუტერები იმედს იძლევიან მოახდინონ გარღვევები მთელ რიგ ისეთ სფეროებში, როგორცაა ხელოვნური ინტელექტი, მართვის სისტემები, კრიპტოგრაფია, ბიოლოგია, მედიცინა, ფინანსები, ქიმია და რა თქმა უნდა ავიაცია. ისინი შეძლებენ გადაწყვიტონ ისეთი რთული ამოცანები (რთული სისტემების ოპტიმიზირება, მოლეკულების და ატომების ქცევის სიმულაცია, ახალი მასალების დამუშავება, დაცული მონაცემების გაშიფვრა, თანამედროვე საფრენი აპარატების მართვა და კონტროლი რთულ გარემოში და ექსტრემალურ სიტუაციებში და ა.შ.), რომელთა გადაწყვეტა შეუძლებელი ან ძნელად გადასაწყვეტია კლასიკურ კომპიუტერებზე. კვანტური კომპიუტერები საჭიროა დიდ მონაცემებთან მუშაობისთვის, რადგან ეს მონაცემები მოითხოვს უამრავი ვარიანტების გადარჩევას, რაც შეუძლია მხოლოდ კვანტურ კომპიუტერებს.

ნაშრომში განხილულია კვანტური კომპიუტერების აგების ძირითადი პრინციპები, მათი საბაზისო ინფორმაციული ერთეულის კუბიტის დანიშნულება, დახასიათება და ძირითადი ტიპები. მოყვანილია კვანტური კომპიუტერის პრინციპული სქემა და მუშაობის პრინციპი. განხილულია კვანტური გამოთვლების ძირითადი ალგორითმები. მოცემულია კვანტური კომპიუტერების კლასიკურ კომპიუტერებთან შედარებითი დახასიათება და ნაჩვენებია კვანტური კომპიუტერების უპირატესობა მათთან შედარებით. შემოთავაზებულია ავიაციაში კვანტური კომპიუტერების გამოყენების შემთხვევაში მთელი რიგი ფართო სპექტრის რთული საავიაციო ამოცანების (ოპტიმიზაციის ამოცანები, რთული სისტემების მოდელირება და ანალიზი, ახალი საავიაციო მასალების დამუშავება, საჰაერო მოძრაობის მართვა და სხვ.) ოპტიმალური გადაწყვეტის შესაძლებლობები, პრინციპები და შესაძლო შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: კვანტური კომპიუტერი, კუბიტი, სუპერპოზიცია, კოჰერენტულობა, კვანტური ალგორითმი, საჰაერო მოძრაობის მართვა.

შესავალი

კვანტური კომპიუტერების შექმნის დასაწყისს საფუძველი ჩაუყარა ორმა მნიშვნელოვანმა აღმოჩენამ, რომელთა ავტორები შემდეგ გახდნენ ნობელის პრემიის ლაურეატები. 1918 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა მაქს პლანკმა აღმოაჩინა კვანტი, ხოლო 1921 წელს ალბერტ აინშტაინმა ფოტონი. კვანტური კომპიუტერების შექმნის იდეა ჩაისახა 1980 - იან წლებში, როცა დამტკიცებულ იქნა კვანტური თეორიის ჭეშმარიტება.

1980 წელს ამერიკელი ფიზიკოსის პოლ ბენიოფის მიერ შემოთავაზებულ იქნა ტურინგის მანქანის კვანტური მექანიკური მოდელი და აღწერა ასეთი კომპიუტერის აგების თეორიული საფუძვლები. იმავე წელს კვანტური გამოთვლის იდეა გამოთქვა ასევე რუსმა მათემატიკოსმა იური მანინმა. კვანტური კომპიუტერის ერთ-ერთი პირველი მოდელი შემოთავაზებულ იქნა ამერიკელი ფიზიკოსის რიჩარდ ფეინმანის მიერ 1981 წელს. 1983 წელს კი კვანტური კომპიუტერის აგების კონცეფცია ჩამოაყალიბა სტივენ ვისნერმა. 1998 წლიდან კვანტური კომპიუტერების აგებისათვის გადაიდგა პირველი პრაქტიკული ნაბიჯები.

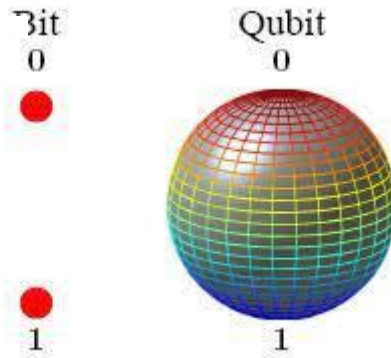
მომავალში კომპიუტერულ სფეროში სილიციუმის მიკროელექტრონიკის ერა დასრულდება და ელექტრონულ კომპიუტერებს ჩაანაცვლებს კვანტური კომპიუტერები, რომლებიც კვანტური ალგორითმების შესრულების გზით მუშაობისას გამოიყენებს კვანტურ-მექანიკურ ეფექტებს. ისინი თანამედროვე კომპიუტერებთან შედარებით გაცილებით სწრაფი, კომპაქტური იქნება და შეეძლება რთული ამოცანების გადაწყვეტა გაცილებით უფრო სწრაფად, ვიდრე ტრადიციულ კლასიკურ კომპიუტერებს. კვანტური გამოთვლები ჯერ კიდევ საწყის სტადიაშია, თუმცა მიმდინარეობს ფართო მასშტაბიანი, მიზანმიმართული, პერმანენტული პრაქტიკული და თეორიული კვლევები კვანტური კომპიუტერების დამუშავებაში მათი გამოყენებისათვის.

ძირითადი ნაწილი

კვანტური კომპიუტერები ტრადიციული კომპიუტერებისგან იმით განსხვავდება, რომ ჩიპების ნაცვლად იყენებენ ელექტრონებსა და ატომებს ინფორმაციის შესანახად კუბიტების საშუალებით (ტერმინი „კუბიტი“ დაამკვიდრა ფიზიკოსმა სტივენ ვისნერმა). მათ შეუძლიათ ერთდროულად მოიხელთონ ინფორმაციის მილიარდობით ნაწილი და ამით გვერდი აუარონ ტრადიციული კომპიუტერების ნაკლს, რაც გამოწვეულია მათ მიერ ინფორმაციის მხოლოდ თითო ნაწილის თანმიმდევრულად დამუშავების შესაძლებლობით [1,6,10].

კვანტური ინფორმაციის თეორიაში კუბიტი წარმოადგენს კვანტური ინფორმაციის ერთეულს, რომელიც გამოიყენება კვანტური გამოთვლებისათვის და კლასიკური ბიტის (ნახ.1 ა) კვანტური ანალოგია [6]. მას ისე როგორც ბიტს გააჩნია ორი მდგომარეობა 0 და 1, მაგრამ ამასთან ერთად შეუძლია იმყოფებოდეს სუპერპოზიციაში, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეუძლია მიიღოს ერთდროულად ორივე მნიშვნელობა (კვანტურ მექანიკაში სუპერპოზიცია ეწოდება ეფექტს, როდესაც მატერიალური წერტილი იმყოფება ბევრ სხვადასხვა მდგომარეობაში). სუფთა

მდგომარეობების (კუბიტები ასეთ შემთხვევაში არ არიან სხვა კუბიტებთან გადახლართული) წარმოდგენა შესაძლებელია ბლოხის სფეროზე (სფეროს სახელწოდება ადებულია შვეიცარიელი ფიზიკოსის ფელიქს ბლოხის საპატივსაცემოდ) უსასრულო რაოდენობის წერტილების სახით (ნახ.1 ბ). მისი ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსები არის 0 და 1, ხოლო ყველა სხვა წერტილი არის შუალედური მნიშვნელობები. სფეროს ზედაპირზე წერტილები შეესაბამება კვანტური სისტემის სუფთა მდგომარეობებს, სფეროს შიგნითა წერტილები კი შერეულ მდგომარეობებს (ნახ.2).



ა) მნიშვნელობა 1 ან 0 ბ) $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
ნახ. 1 ბლოხის სფერო



ნახ.2 სუფთა და შერეული მდგომარეობების ამსახველი წერტილები სფეროზე

კვანტური გადახლართულობა, რომელიც კუბიტებს შორის უნიკალურ კორელაციას განაპირობებს, კვანტური გამოთვლების საფუძველია. სუპერპოზიციაში მყოფი კუბიტი, გაზომვისას კოლაფსირებს ორი დეტერმინირებული მდგომარეობიდან (0 ან 1)-დან ერთში. 0 ან 1 მდგომარეობათა ალბათობა განისაზღვრება კუბიტის სუპერპოზიციით. თუ კუბიტი იმყოფება თანაბარ (ტოლ) სუპერპოზიციაში, მაშინ ის იმყოფება ნახევრად 0 მდგომარეობაში და ნახევრად 1 მდგომარეობაში. მთელი სფერო მთლიანობაში იქნება სწორედ კუბიტის სუპერპოზიცია. კუბიტს, პრინციპში, არ შეიძლება ჰქონდეს კონკრეტული მნიშვნელობა - რადგან ის ჩნდება მხოლოდ გაზომვის მომენტში.

ორ მდგომარეობას, რომელთა მიმართაც კუბიტი შეიძლება გაიზომოს, საბაზისო მდგომარეობებს უწოდებენ. ისე როგორც ნებისმიერი სახის კვანტური მდგომარეობის წარმოდგენა, ამ მდგომარეობების წარმოდგენაც ბრიტანელი ფიზიკოს-თეორეტიკოსის პოლ დირაკის მიერ შემოტანილი „ბრა-კეტ“ აღნიშვნით ხდება. შესაბამისად, პირველ მათგანი აღინიშნება როგორც $|0\rangle$ და მეორე როგორც $|1\rangle$.

თითოეული მდგომარეობა დაკვირვებისას რეალიზდება კონკრეტულ ბინარულ მნიშვნელობაში - 0 ან 1. ჩაწერა $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, ნიშნავს, რომ კუბიტის მდგომარეობა შეიძლება ჩაიწეროს როგორც $|0\rangle$ და $|1\rangle$ მდგომარეობების წრფივი კომბინაცია (ნახ.1ბ), სადაც α და β შესაბამის მდგომარეობაში ყოფნის ამპლიტუდებია და ზოგადად შეიძლება კომპლექსური რიცხვები იყოს. კუბიტს მოცემულ მდგომარეობაში შეუძლია მიიღოს მნიშვნელობა 0 ალბათობით α^2 და მნიშვნელობა 1 ალბათობით β^2 . აქედან ბუნებრივია გამოდის შეზღუდვა, რომელიც ედება კუბიტის შესაძლო მნიშვნელობებს, კერძოდ, რადგან ამპლიტუდების კვადრატები ალბათობების ტოლფასია, ამიტომ α და β უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ ტოლობას

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

კუბიტების მკვეთრად გამოხატულ განსხვავებას ბიტებთან მიმართებაში წარმოადგენს სუპერპოზიციური მდგომარეობების არა უწყვეტი ბუნება, არამედ კვანტური ჩახლართულობის მდგომარეობების შესაძლებლობა კუბიტების სისტემაში.

კუბიტების ჯგუფზე ერთი ოპერაცია გამოითვლება მაშინვე ყველა მის შესაძლო მნიშვნელობებზე, რაც უზრუნველყოფს სწორედ გამოთვლების უპრეცედენტო პარალელიზმს. რამდენიმე ათასი კუბიტისგან აგებულ კვანტურ კომპიუტერს შეუძლია გამოთვლების შესრულება თანამედროვე სუპერკომპიუტერებისთვის მიუწვდომელი სიჩქარით.

არსებობს რამდენიმე ძირითადი პარამეტრი, რომლებიც ახასიათებენ კვანტურ კომპიუტერებს:

- კუბიტების რიცხვი - განსაზღვრავს კვანტური მდგომარეობის ზომას და ინფორმაციის რაოდენობას, რომლებიც შეიძლება შენახულ იქნეს და დამუშავდეს კვანტურ კომპიუტერზე. რაც უფრო დიდია კუბიტების რაოდენობა, მით უფრო მეტია რთული ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობა;
- კოჰერენტულობის დრო - განსაზღვრავს დროს, რომლის განმავლობაშიც კუბიტი ინარჩუნებს თავის მდგომარეობას ინფორმაციის დაკარგვის გარეშე გარე ფაქტორების ზემოქმედებისას. რაც უფრო ხანგრძლივია კოჰერენტული დრო, მით უფრო საიმედოდ მუშაობს კვანტური კომპიუტერი;

- ოპერაციის სიჩქარე - განსაზღვრავს დროს, რომელიც აუცილებელია ერთი ელემენტარული ოპერაციის შესასრულებლად ერთი ან რამდენიმე კუბიტის მიერ. რაც უფრო მაღალია ოპერაციის სიჩქარე, მით უფრო სწრაფად მუშაობს კვანტური კომპიუტერი;
- ოპერაციის სიზუსტე - განსაზღვრავს შეცდომის ალბათობას ერთი ელემენტარული ოპერაციის შესრულებისას ერთ ან რამდენიმე კუბიტზე. რაც დაბალია ოპერაციის სიზუსტე, მით უფრო მეტია ხმაური და მეტი დამახინჯება შეიტანება გამოთვლებში;
- მასშტაბურობა - განსაზღვრავს კვანტურ კომპიუტერში კუბიტების რიცხვის და მათ შორის კავშირების გაზრდას. რაც უფრო მაღალია მასშტაბურობა, მით უფრო დიდია კვანტური კომპიუტერის განვითარების და შესაძლებლობის პოტენციალი.

ტექნოლოგიის განვითარების თანამედროვე დონე საშუალებას იძლევა შეიქმნას კუბიტების რამდენიმე ძირითადი ტიპი, რომლებიც გამოიყენება კვანტური კომპიუტერების შესაქმნელად: ზეგამტარი კუბიტები, იონური კუბიტები, ფოტონური კუბიტები, სპინური კუბიტები.

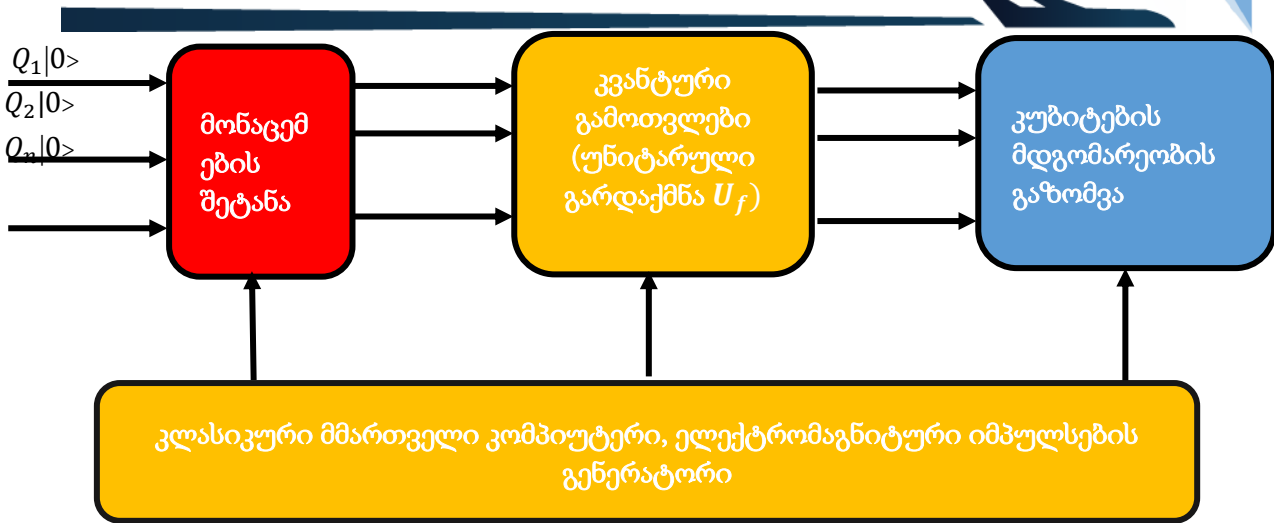
ზეგამტარი კუბიტები დაფუძნებულია ზეგამტარი მასალებისგან დამზადებულ ელექტრულ წრედებზე, რომლებსაც აქვთ ორი დისკრეტული ენერგეტიკული დონე. ზეგამტარ კუბიტებს აქვთ ოპერაციების მაღალი სიჩქარე და მასშტაბურობა, მაგრამ დაბალი კოჰერენტული დრო და ოპერაციების სიზუსტე. სუპერგამტარ კუბიტებს იყენებენ IBM, Google, Intel და Rigetti - ის კომპანიები კვანტურ კომპიუტერებში.

იონური კუბიტები დაფუძნებულია დამუხტულ ატომებზე (იონებზე), რომლებიც ელექტრული ან მაგნიტური ველით დაჭერილი არიან ხაფანგში. იონურ კუბიტებს აქვთ მაღალი კოჰერენტული დრო და ოპერაციის სიზუსტე, მაგრამ ოპერაციის დაბალი სიჩქარე და მასშტაბურობა. იონური კუბიტები გამოიყენება IonQ და Alpine Quantum Technologies კომპანიების კვანტურ კომპიუტერებში.

ფოტონური კუბიტები დაფუძნებულია სინათლის ნაწილაკებზე (ფოტონებზე), რომლებიც შეიძლება კოდირებული იყოს პოლარიზაციით ან სიხშირით. ფოტონურ კუბიტებს აქვთ მაღალი კოჰერენტული დრო და ოპერაციების სიჩქარე, მაგრამ ოპერაციების დაბალი სიზუსტე და მასშტაბურობა. ფოტონური კუბიტები გამოიყენება Xanadu და PsiQuantum კვანტურ კომპიუტერებში.

სპინური კუბიტები ეფუძნება ელექტრონის ან ატომის ბირთვის სპინს, რომელიც შეიძლება იყოს ორიენტირებული ზევით ან ქვევით. სპინურ კუბიტებს აქვთ საშუალო კოჰერენტული დრო და ოპერაციის სიზუსტე, მაგრამ მაღალი მასშტაბურობა. სპინური კუბიტები გამოიყენება Spinl QuTech-ის კვანტურ კომპიუტერებში.

კვანტური კომპიუტერის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ.3 - ზე [2,3,4].

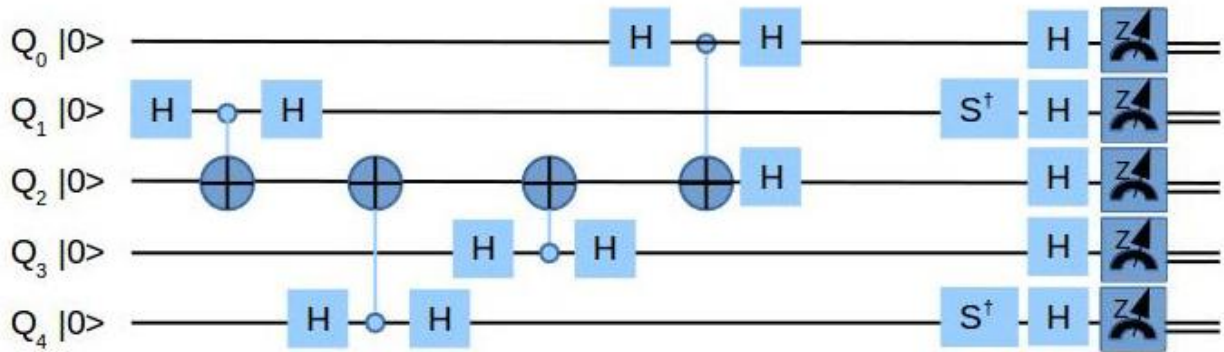


ნახ.3 კვანტური კომპიუტერის პრინციპული სქემა

კომპიუტერის კვანტური ნაწილი შედგება n კუბიტებისგან, რომლებზეც ოპერაციების ჩატარებისთვის უნდა განხორციელდეს სელექციური ზემოქმედება რეზონანსული გარე ცვლადი ველის იმპულსებით. ველების გენერატორების ჩართვა და მოცემულ კუბიტზე მათი გამოსხივების დამისამართება ხორციელდება ჩვეულებრივი (კლასიკური) კომპიუტერის U_f მართვის შედეგად (ნახ.3). კვანტური კომპიუტერი რეალიზებული n კუბიტური რეგისტრებით წარმოადგენს კვანტურ პროცესორს (კლასიკური პროცესორის ანალოგიურს) და იმართება ჩვეულებრივი კომპიუტერის სიგნალებით. n კუბიტიან რეგისტრში ორი კუბიტის დაკავშირება არ არის პრობლემა, ბევრი კუბიტის დაკავშირება კი უკვე პრობლემაა. ამჟამად შესაძლებელია ერთი კუბიტი დაუკავშირდეს მაქსიმუმ ექვს მეზობელს. ამიტომ აუცილებელია კომპლექსური კავშირის სქემების აგება მულტიკუბიტური პროცესორების მისაღებად. გარდა ამისა, იდეალური კვანტური კომპიუტერის სქემაში შედის კუბიტების გაზომვის სისტემა, რომელიც კითხულობს შედეგებს და კრავს კვანტური კომპიუტერით მართვის კონტურს [5].

მისი მუშაობა, ისე როგორც ჩვეულებრივი კლასიკური კომპიუტერისა იწყება ინიციალიზაციის მდგომარეობით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მანამ, სანამ დაიწყება გამოთვლითი პროცესი კვანტურ კომპიუტერზე, ყველა n კუბიტი მოყვანილ უნდა იქნეს $|0\rangle$ მდგომარეობაში ($Q_1|0\rangle, Q_2|0\rangle, \dots, Q_n|0\rangle$). ამასთან, მისი კუბიტების მდგომარეობა მიიღწევა ზედაბალ ტემპერატურამდე გაცივებით ან ამ მდგომარეობის მართვის გზით. ინფორმაცია შესასვლელ კვანტურ რეგისტრში იმპულსური ზემოქმედების შედეგად გარდაიქმნება ბაზისური მდგომარეობების კოჰერენტულ სუპერპოზიციაში. ამის შემდეგ ამ ინფორმაციას ამუშავებს კვანტური პროცესორი ამოცანის გადაწყვეტის ალგორითმის შესაბამისად. კვანტური გამოთვლის ალგორითმი რელიზაციის შედეგად იძლევა ინფორმაციას, რომლის მიღება შესაძლებელია კუბიტების მდგომარეობების კვანტური გაზომვის გზით (ნახ.4), რითაც დაფიქსირებული იქნება გამოთვლის შედეგი, რაც იმას ნიშნავს, რომ განისაზღვრება კუბიტების კვანტურ მდგომარეობებში ყოფნის ალბათობა [7].

კვანტურ კომპიუტერზე რეალიზებული კვანტური გამოთვლის მოდელი წარმოადგენს ალბათურ ანალოგურ - ციფრულს. ანალოგური ნაწილი წარმოადგენს კვანტურ გარემოს, რომელშიც კვანტური პროცესორი ასრულებს უნიტარულ გარდაქმნებს და ზომავს კუბიტების მდგომარეობას. ციფრული ნაწილი კი კლასიკური მმართველი კომპიუტერია რომელზეც მომხმარებელი იღებს გამოთვლის შედეგს.



ნახ.4 კუბიტების მდგომარეობების კვანტური გაზომვა

ერთკუბიტური ოპერაციები აღწერს ცალკეული კუბიტის მდგომარეობას, ხოლო ორკუბიტური ოპერაციები კვანტურ ალგორითმში აღწერს ერთი საკონტროლებელი კუბიტის ურთიერთკავშირს მეორე მაკონტროლებელ კუბიტთან. შესაძლებელია მრავალკუბიტური ოპერაციები, რომლებიც შეადგენს კვანტურ რეგისტრს. კუბიტების კავშირი მოითხოვს მათ შორის ფიზიკურ ურთიერთქმედებას. ამ კავშირს ახორციელებს კვანტური გეიტები (ნებისმიერი ლოგიკური ოპერაცია კუბიტებთან იწოდება კვანტურ გეიტად), რომლებსაც კუბიტები გადაჰყავს ერთი მდგომარეობიდან მეორეში, რაც იმას ნიშნავს, რომ მუშაობს სუპერპოზიციით. ისე როგორც კლასიკურ ლოგიკურ ბაზისში, გეიტის მოქმედება კუბიტებზე აღიწერება ჭეშმარიტების ცხრილით, რომელიც ასახავს საბაზისო მდგომარეობების ცვლილებას.

კვანტური რეგისტრის მდგომარეობის ვექტორი $|\Phi\rangle$ შემდგარი n კუბიტებისგან შეიძლება დაიშალოს საბაზისო მდგომარეობებად ($|\phi\rangle$ სუპერპოზიცია შეიცავს 2^n შესაკრებებს), ეს იმას ნიშნავს, რომ შემოსაზღვრული ფიზიკური რესურსი, რომელიც შედგება $n=10^3$ კუბიტისგან, ქმნის უდიდეს $2^{1000} = 10^{300}$ მათემატიკურ ინფორმაციულ რესურსს სუპერპოზიციური მდგომარეობების შესაკრებების ფორმაში და ხდება მიუღწევადი ყველაზე უფრო სწრაფი კლასიკური კომპიუტერებისთვის (თანამედროვე სუპერკომპიუტერი ასრულებს 10^{15} ოპერაციას წამში, ე.ი. 10^{23} ოპერაციას წელიწადში). სახელდობრ ამ გარემოებიდან გამომდინარე იკვეთება კვანტური კომპიუტერების უპირატესობა კლასიკურ კომპიუტერებზე [7].

სუპერპოზიციის პრინციპის შედეგს წარმოადგენს 2^n ჯერადი გამოთვლების პარალელიზმი ე.ი. მხოლოდ ერთი კუბიტის მდგომარეობის ცვლილება გადააწყობს მთელ სუპერპოზიციას (2^n საბაზო მდგომარეობათა ამპლიტუდები). გამოთვლითი პროცესი ატარებს ინტერფერენციულ ხასიათს, იმდენად რამდენადაც საბაზისო მდგომარეობათა ამპლიტუდები წარმოადგენს

კომპლექსურ რიცხვებს. კვანტური კომპიუტერები შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც რთული ინტერფერენციული მოწყობილობა, რომელშიც მდგომარეობათა ინტერფერენცია ქმნის კომპიუტერის გამოთვლით სიძლიერეს, სინათლის ინტერფერენციის დროს ამპლიტუდის გაზრდის ანალოგიურად.

კვანტურ კომპიუტერზე გამოთვლის პროცესი აღიწერება როგორც კვანტური რეგისტრის საწყისი მდგომარეობის ვექტორის $|\phi_{in}\rangle$ -ის გარდაქმნა საბოლოო ვექტორში $|\phi_f\rangle$, $|\phi_{in}\rangle$ ვექტორის გამრავლების გზით უნიტარულ მატრიცაზე U ზომით $2^n \times 2^n$ (რომელშიც ჩადებულია ამოცანის ფორმულირება და მისი გადაწყვეტის ალგორითმი):

$$|\phi_f\rangle = U (2^n \times 2^n) |\phi_{in}\rangle$$

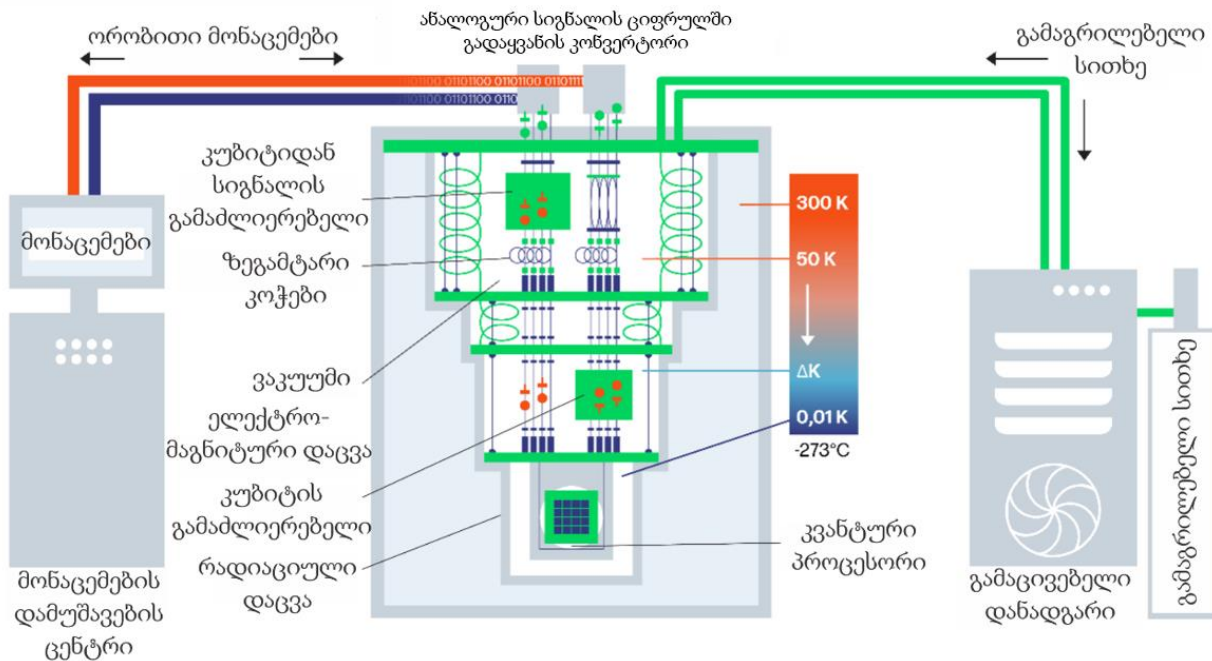
კვანტურ კომპიუტერზე ამოცანის გადაწყვეტისათვის მოითხოვება კუბიტების აუცილებელი რაოდენობა, რომლებიც მოყვანილ უნდა იქნეს საწყის მდგომარეობაში $|0\rangle$, ე.ი. მოხდეს მათი ინიციალიზაცია. მათი კვანტური ევოლუციის მართვა მოითხოვს შესრულდეს გარდაქმნა $|U\phi_{in}\rangle$, ის მიიღება კუბიტების მდგომარეობების გაზომვით ბაზისში $|0\rangle, |1\rangle$.

ცალკეული კუბიტის მდგომარეობის გაზომვის ფიზიკური რეალიზაცია დაკავშირებულია საკმაოდ რთული ტექნოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტასთან, იმდენად რამდენადაც, აუცილებელია ჩატარდეს ცალკეული ატომური ნაწილაკის მდგომარეობის გაზომვა: ელექტრონის ან ატომის ბირთვის სპინის, ატომში ან კვანტურ წერტილში ელექტრონის ოპტიმალური მოძრაობის გაზომვა. არსებითად თითოეული კუბიტის რეალიზაციისათვის მოითხოვება მისი მდგომარეობის გაზომვის შესაბამისი ფიზიკური მეთოდის დამუშავება. კვანტური გაზომვის შედეგი წარმოადგენს ალბათურს (რადგან კვანტური კომპიუტერი ციფრული ალბათური კომპიუტერია), ამიტომ უტყუარი შედეგის მისაღებად საჭიროა ალგორითმის მრავალჯერადი გამეორება და მათგან საუკეთესო ვარიანტის არჩევა. ამისათვის არსებობს სპეციალური მათემატიკური ოპერატორები, რომლებიც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს გამოთვლის სწორი შედეგი. კვანტური კომპიუტერი მართვის მიხედვით წარმოადგენს ანალოგურ კომპიუტერს. თანამედროვე შეფასებებით კომპიუტერის მმართველი სიგნალების პარამეტრები უნდა კონტროლდებოდეს $10^{-4} - 10^{-5}$ სიზუსტით [8].

დღეს უმეტესად კომერციულ კვანტურ კომპიუტერებში გამოიყენება პროცესორები, რომლებიც დაფუძნებულია ზეგამტარულ კუბიტებზე. ნახ.5 - ზე ნაჩვენებია კვანტური კომპიუტერის სქემა ზეგამტარული კუბიტებით [9].

ზეგამტარული კუბიტების პოპულარობა განპირობებულია ტექნიკურად მათი დამზადების მსგავსებით კლასიკურ ნახევარგამტარულ მიკროსქემებთან.

კვანტური კომპიუტერი



ნახ.5 ზეგამტარულ კუბიტებზე დაფუძნებული პროცესორი

ისტორიულად, ზეგამტარები ითვლება ყველაზე უფრო პერსპექტიულ მიმართულებად მათი კარგი მასშტაბურობის, დროში სტაბილურობის და პარამეტრების კონტროლის მართვის შედარებითი სიადვილით.

კვანტური გამოთვლითი ტექნიკის სისტემების და შიგა მოწყობილობების მაღალი მწარმოებლურობისა და ეფექტური ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია დაბალი ტემპერატურა. კვანტური კომპიუტერის მდგრადი მუშაობისთვის ატომები უნდა იმყოფებოდნენ სტაბილურ მდგომარეობაში. ერთადერთი შესაძლო ხერხი, რომელიც ატომების სტაბილურობას უზრუნველყოფს არის ტემპერატურის შემცირება კელვინის ნულამდე. მხოლოდ ასეთი ტემპერატურის დროს რჩებიან ატომები სტაბილური და არ გამოყოფენ სითბურ ენერგიას.

თანამედროვე ზეგამტარული კუბიტების უმრავლესობა აგებულია რხევითი კონტურის პრინციპის მიხედვით: ეს არის ელექტრული წრედი, რომელიც შედგება კონდენსატორისგან, ინდუქციურობის კოჭისგან ნანოზომის წყვეტებით (ჯოზეფსონური გადასასვლელებით). დამუხტვად ზეგამტარულ კუბიტში მდგომარეობებს $|0\rangle$ და $|1\rangle$ შეესაბამება ერთი კუპერული წყვილის (დასახელება ეწოდა ამერიკელი ფიზიკოსის ლეონ კუპერის საპატივსაცემოდ) მუხტის არარსებობა და არსებობა ლითონურ ზეგამტარ კვანტურ წერტილში. $|0\rangle$ და $|1\rangle$ კუბიტის მდგომარეობებს მაგნიტურ ველში ზეგამტარული რგოლით და ჯოზეფსონის გადასასვლელებით შეესაბამება ზეგამტარული დენები ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებებით.

კვანტური პროცესორი მოთავსებულია დიდ, ვაკუუმით შევსებულ კორპუსში, რომელიც დაცულია ნებისმიერი რადიოაქტიური და სხვა ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისგან. ყველა ეს ზომები აუცილებელია დეკოჰორენციის წინააღმდეგ ბრძოლისათვის - რომლის დროსაც ხდება კუბიტების მიერ გამოთვლების შესრულების შესაძლებლობების დაკარგვა გარე გარემოს

სხვადასხვა ფაქტორებთან ურთიერთქმედების შედეგად. კორპუსი მიერთებულია გამაცივებელ დანადგართან, რომელიც აგრილებს კომპიუტერს სითხით ძალიან დაბალი ტემპერატურის დახმარებით - 273° C –მდე (კელვინის ნულ გრადუსამდე მნიშვნელობის მისაღწევად). ადრე აბსოლუტური ნულის შესანარჩუნებლად კვანტურ კომპიუტერებში გამოიყენებოდა განსაკუთრებულად იშვიათი და ძვირი იზოტოპი ჰელიუმ 3. ამჟამად გამოიყენება გათხევადებული გაზები, რომლებიც შედარებით ნაკლებად ძვირია, თუმცა რთულია ტექნიკური რეალიზაციის თვალსაზრისით. სულ ახლახან მიუნხენის ტექნიკური უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრის მეცნიერებმა განაცხადეს გაგრილების მუდმივი მაგნიტური სისტემის შექმნის შესახებ, რომელსაც გააჩნია უნარი დაადაბლოს ტემპერატურა ექსტრემალურად დაბალ დონეებამდე - თვით აბსოლუტურ ნულამდე.

დღესდღეობით კი გაგრილების სისტემა 2000Q, დამუშავებული D – Wave კანადური კომპანიის მიერ, წარმოადგენს ყველაზე პროგრესულს, იმდენად რამდენადაც საშუალებას იძლევა გააცივონ პროცესორები 0,015 კელვინამდე.

კვანტური კომპიუტერები ახდენს გარკვეული რთული ამოცანების გადაწყვეტას სპეციალური ალგორითმების გამოყენებით.

ცნობილი კვანტური ალგორითმებიდან შესაძლებელია გამოიყოს სამი [10]:

- შორის ალგორითმი;
- გროვერის ალგორითმი;
- დოიჩ - იოჟის ალგორითმი.

შორის ალგორითმი გამოიყენება დიდი შედგენილი რიცხვების მარტივ მამრავლებლად დაშლის (ფაქტორიზაციის) ამოცანის გადაწყვეტისათვის კვანტური კომპიუტერების გამოყენებით და საშუალებას იძლევა მოხდეს ამ ამოცანის გადაწყვეტა კვანტურ დონეზე ბევრად უფრო სწრაფად ვიდრე ამას აკეთებენ ფაქტორიზაციის კლასიკური ალგორითმები.

გროვერის ალგორითმი გამოიყენება დაუხარისხებელ მონაცემთა ბაზებში ძიებისათვის, რომელიც უზრუნველყოფს კვადრატულ აჩქარებას კლასიკურ ალგორითმებთან შედარებით.

დოიჩ - იოჟის ალგორითმი, რომელიც ეფუძნება კვანტური ჩახლართულობის მოვლენასა და სუპერპოზიციის პრინციპს, აჩვენებს კვანტურ უპირატესობას - მნიშვნელოვნად უფრო ეფექტურ მუშაობას კონკრეტული ტიპის ამოცანების გადაწყვეტისას ცნობილ კლასიკურ ალგორითმებთან შედარებით. კერძოდ ის განსაზღვრავს რამდენიმე ცვლადის ორობითი ფუნქცია მუდმივია თუ ბალანსირებული.

კვანტურ და კლასიკურ კომპიუტერებს შორის არსებითი განსხვავება ძირითადი მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება წარმოდგინდეს ასეთი სახით [7,12]:

	კლასიკური კომპიუტერი	კვანტური კომპიუტერი
ლოგიკა	0/1	$a 0\rangle + b 1\rangle, a^2 + b^2 = 1$
ფიზიკა	ნახევარგამტარული ტრანზისტორი	კვანტური ობიექტი

ინფორმაციის მატარებელი	მაბვის დონეები	პოლარიზაცია, სპინი,...
ოპერაციები	NOT, AND, OR, XOR ბიტებზე	ვენტილები: CNOT, ადამარა,..
ურთირთკავშირი	ნახევარგამტარული ჩიპი	გადახლართულობა
ალგორითმები	სტანდარტული	სპეციალური (შორის, გროვერის)
პრინციპი	ციფრული,დეტერმინებული	ანალოგური, ალბათური

კვანტურ კომპიუტერებს განსხვავებით კლასიკური კომპიუტერებისგან გააჩნია სპეციალური კვანტური ვენტილები CNOT – ის და ადამარას სახით კუბიტებთან ოპერაციებისთვის. CNOT ვენტილები გამოიყენება კუბიტების ჩასახლართად, ხოლო ადამარას ვენტილები მდგომარეობათა სუპერპოზიციის შესაქმნელად.

სრულფასოვანი უნივერსალური კვანტური კომპიუტერის აგება წარმოადგენს ძალიან რთულ და ძვირადღირებულ ამოცანას, რომელიც მოითხოვს ახალ აღმოჩენებს და მიღწევებს კვანტურ ფიზიკაში. ამიტომ ზოგიერთი კომპანია იძლევა შეთავაზებას მათი კვანტური კომპიუტერები გამოყენებულ იქნეს ღრუბლის საშუალებით. ეს იმას ნიშნავს, რომ მომხმარებლებს, რომლებსაც არ გააჩნიათ საკუთარი კვანტური კომპიუტერი, კვანტურ გამოთვლებთან დაშვება შეეძლება ინტერნეტის საშუალებით.

იმ კომპანიებს შორის, რომლებიც იძლევიან კვანტური გამოთვლების შესაძლებლობას ღრუბლებში შეიძლება დასახელდეს IBM, Google, Microsoft და D – Wave. ისინი სთავაზობენ მომხმარებლებს სხვადასხვა პლატფორმებს და სერვისებს კვანტურ კომპიუტერებთან მუშაობისათვის.

კვანტურ კომპიუტერებს გააჩნია უდიდესი პოტენციალი რთული ამოცანების გადაწყვეტისათვის [11]. ერთ-ერთი იმ სფეროებიდან, რაზეც კვანტურ კომპიუტერებს შეუძლიათ მოახდინონ მნიშვნელოვანი გავლენა წარმოადგენს ავიაცია. ისინი გვთავაზობენ თანამედროვე საავიაციო ინდუსტრიაში დიდ პოტენციალს ისეთი რთული ამოცანების გადაწყვეტისათვის როგორცაა მარშრუტების ოპტიმიზაცია, მოლექულური პროცესების სიმულაცია ახლი მასალების დამუშავებისათვის, კრიპტოგრაფიის გაუმჯობესება და სხვ.

პერსპექტივაში კვანტური კომპიუტერების გამოყენებით ავიაციაში გადასაწყვეტი ამოცანების ნუსხა, შეიძლება ასე წარმოდგინდეს [1]:

- ოპტიმიზაციის ამოცანები. კვანტურ კომპიუტერები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ისეთი რთული ამოცანების და პროცესების ოპტიმიზაციისათვის, როგორცაა საჰაერო ხომალდების ფრენების მარშრუტების დაგეგმვა, ტრაფიკის მართვა, აეროდინამიკური გამოთვლები, უსაფრთხოების ანალიზი და მრავალი სხვ;
- ახალი საავიაციო მასალების დამუშავება. კვანტურ კომპიუტერები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მასალების მოლექულური სტრუქტურების მოდელირებისათვის, რასაც შეუძლია

გამოიწვიოს ახალი მსუბუქი და მტკიცე მასალების შექმნის პროცესის დაჩქარება საავიაციო მრეწველობისთვის;

- რთული სისტემების მოდელირება და ანალიზი. კვანტური გამოთვლები იძლევა საშუალებას წარმოდგინდეს რთული სისტემების მოდელირებისათვის ახლი შესაძლებლობები, კერძოდ ისეთების, როგორცაა ატმოსფერო, მეტეოროლოგიური მოვლენები, ტურბულენტურობა, სითბური პროცესები და სხვა ფაქტორები, რაც მეტად სასარგებლო იქნება ფრენების უსაფრთხოების გაუმჯობესებისათვის;
- საჰაერო მოძრაობის მართვა. კვანტური გამოთვლები სასარგებლო იქნება ავიაგადასაზღვრებისა და მარშრუტიზაციისათვის ახალი ალგორითმების დამუშავების დროს. ეს შესაძლებელს გახდის გაუმჯობესდეს ფრენების ეფექტურობა, შემცირდეს საწვავის დანახარჯი. კვანტურ კომპიუტერებს რეალურ დროში ინფორმაციის მრავალი წყაროდან მიღებული მონაცემების ანალიზით შეუძლიათ დაეხმარონ საჰაერო მოძრაობის მაკონტროლებელ სამსახურებს და სისტემებს საჰაერო მოძრაობის ნაკადის მართვასა და ოპტიმიზაციაში, მიიღონ ოპტიმალური გადაწყვეტილებები მარშრუტიზაციის, გადატვირთულობის შემცირებისა და უსაფრთხოების გაუმჯობესების კუთხით. კვანტურ ალგორითმებს შეუძლია დიდი როლი ითამაშონ საჰაერო მოძრაობის რეგულირებაში და უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში ამაღლებული ტრაფიკის პირობებში, გათვალონ საჰაერო ხომალდების ნაკადები, გამორიცხონ შესაძლო შეჯახებები და დაყოვნებების შემთხვევები. კვანტური გამოთვლები და კვანტური ალგორითმები შესაძლებელს გახდის გადაწყდეს ზოგადად კომივიოიაჟორის ამოცანა, რომელიც მიზნად ისახავს მრავალ ობიექტებს შორის უმოკლესი მარშრუტის დადგენას საწყის ობიექტში დაბრუნებამდე. ამ ამოცანის დასმა და გადაწყვეტა ავიაგადასაზღვრების შესაძლებელს გახდის დაიგეგმოს ნავიგაცია და ფრენის მარშრუტები ოპტიმალურად მთელი მსოფლიოს მასშტაბით, რაც მნიშვნელოვნად გააიაფებს და გაამარტივებს ადამიანების და ტვირთების გადაყვანას და გადაზიდვას;
- საჰაერო ხომალდების ტექნიკური მომსახურება და ოპტიმიზაცია. კვანტურ კომპიუტერებს შეუძლიათ ჩაატარონ საჰაერო ხომალდების სისტემების, ძრავების და სხვა კომპონენტების სენსორული მონაცემების დიდი რაოდენობის ანალიზი ანომალიების გამოვლენით, ოპტიმიზირება გაუკეთონ საავიაციო ტექნიკის მომსახურების განრიგს და მომსახურების პროცესს, რაც გამოიწვევს რესურსების უფრო ეფექტურ გამოყენებას, დაუგეგმავი გაჩერებების შემცირებას და საჰაერო ხომალდების საიმედოობის ამაღლებას;
- სიმულაცია და ვირტუალური ტესტირება. კვანტურ კომპიუტერებს შეუძლია დააჩქარონ ახალი საჰაერო ხომალდების დიზაინის, ძრავის კონფიგურაციისა და ფრენის სისტემების სიმულაცია და ტესტირება. ეს მნიშვნელოვნად შეამცირებს დამუშავების დროს და შესაძლებელს გახდის ინოვაციები სწრაფად დაინერგოს საავიაციო ინდუსტრიაში;
- კვანტური კომუნიკაცია და უსაფრთხო ქსელები. კვანტურ გამოთვლას შეუძლია ხელი შეუწყოს ავიაგადასაზღვრების უსაფრთხო საკომუნიკაციო ქსელების განვითარებას. კვანტური გასადების განაწილების (QKD) პროტოკოლები გვთავაზობენ ურღვევ დაშიფვრას და შეუძლიათ დაიცვან მგრძობიარე ინფორმაცია, რომელიც გადაცემულია საჰაერო

ხომალდებს, სახმელეთო სადგურებსა და საჰაერო მოძრაობის კონტროლის სისტემებს შორის;

- ამინდის პროგნოზირება. კვანტურ კომპიუტერებს შეუძლიათ ამინდის პროგნოზირების მოდელების გასაუმჯობესებლად ამინდის დიდი რაოდენობის დამუშავება და ანალიზი. ამან შეიძლება გამოიწვიოს ამინდის უფრო ზუსტი და დროული პროგნოზი, რაც ავიაკომპანიებს დაეხმარება ფრენების განრიგის ოპტიმიზაციაში, შეფერხებების შემცირებაში და ფრენების უსაფრთხოების გაზრდაში;
- დაშიფვრა და კიბერუსაფრთხოება. კვანტურ კომპიუტერებს აქვთ პოტენციური დაარღვიონ ამჟამად გამოყენებული დაშიფვრის მეთოდები, როგორცაა RSA (Rivest – Shomir – Aldeman) და ელიფსური მრუდის კრიპტოგრაფია. თუმცა, მათ ასევე შეუძლიათ შემოგთავაზონ დაშიფვრის ახალი ტექნიკა, რომელიც დაფუძნებულია კვანტურ პრინციპებზე, რამაც შეიძლება მნიშვნელოვნად გააძლიეროს საავიაციო სისტემებისა და კომუნიკაციების უსაფრთხოება.

მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ კვანტური გამოთვლა ჯერ კიდევ განვითარებადი ტექნოლოგიაა და არსებობს მრავალი ტექნიკური გამოწვევა, რომელიც უნდა დაიძლიოს მისი სრული პოტენციალის რეალიზებამდე. თუმცა, საავიაციო ინდუსტრიის მკვლევარები და კომპანიები აქტიურად იკვლევენ და სწავლობენ კვანტური გამოთვლის პოტენციურ აპლიკაციებს საჰაერო ხომალდების ტექნიკური თუ ტექნოლოგიური შესაძლებლობების ასპექტების გასაუმჯობესებლად.

დასკვნა

ამჟამად მეცნიერებისა და ინჟინრების წინაშე დგას რამდენიმე საკვანძო პრობლემა, რომელთა გადაწყვეტა აუცილებელია სამომავლოდ კვანტური კომპიუტერების შექმნისათვის. ეს პრობლემებია: კვანტური დეკოჰერენცია; ეფექტური კვანტური ლოგიკური ელემენტების შექმნა; კვანტური უწყვეტობა (კვანტური ტალღური უწყვეტი ფუნქციებიდან დისკრეტულზე გადასვლის პრობლემის ეფექტური გადაწყვეტა); კვანტური შეცდომების კორექცია (კვანტური შეცდომების გასწორების საიმედო მეთოდების დამუშავება); სტაბილურობის და გარემომცველ გარემოსთან იზოლირების უზრუნველყოფა; მასშტაბურობა; კლასიკურ კომპიუტერთან ინტეგრაცია.

კვანტური კომპიუტერების შექმნა წარმოადგენს დიდ სამეცნიერო და ტექნიკურ გამოწვევას. ამისათვის საჭიროა დამუშავდეს ახალი ფიზიკური პლატფორმები, ალგორითმები, პროგრამული უზრუნველყოფა და ინტერფეისები. კვანტური კომპიუტერების განვითარება კი მოითხოვს მეცნიერების, ინჟინრების, დამპროგრამებლების და ინვესტორების ერთობლივ ძალისხმევას სხვადასხვა ქვეყნების მასშტაბით. უეჭველია დადგება ის დროც, როცა ეს ერთობლივი ძალისხმევა გამოიღებს შედეგს და მომავალში კვანტური კომპიუტერების დამუშავებისას აუცილებლად გადაწყდება კვანტური კომპიუტერების წინაშე ჯერ კიდევ მდგარი მრავალი ტექნიკური, ინჟინრული და ალგორითმული პრობლემები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. დ.ვეფხვაძე. საბორტო კომპიუტერები და ინფორმაციული სისტემები. ლექციების კურსი. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2023. – 391 გვ.
2. Борзунов С. В., Кургалин С. Д. Квантовые вычисления. БХВ – Петербург, 2022. – 144 с.
3. Джек Д. Хидари. Квантовые вычисления. ДМК – Пресс, 2021. – 370 с.
4. Соловьев В. М. Квантовые компьютеры и квантовые алгоритмы. Ч. 1. Квантовые компьютеры //Иzv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Matematika. Mexanika. - Информатика. 2015. Т. 15, вып. 4. С. 462–477
5. Гуц А.К. Архитектура, процессор и работа квантового компьютера. Математические структуры и моделирование. 2010. Вып. 21. С. 55-64
6. Что такое кубиты в квантовых компьютерах?– URL: <http://www.bolshoyvopros.ru/questions/2887426>
7. Как работают квантовые компьютеры. Собираем пазл / – URL: <https://habr.com/ru/>
8. Валиев К.А., Холево А.С. Квантовый компьютер. Большая российская энциклопедия. 2004 – 2017.
9. Как работает квантовый компьютер? - URL: <https://Postnauka.org>
10. Колесников П.О., Голубничий А.А. К вопросу о квантовых компьютерах их развитии и современном состоянии. Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей “StudNet” №1/ 2022, с. 754 – 762.
11. Julian Eberling. Quantum computers: state of development and areas of application. <https://www.lead-innovation.com/englishblog/quantum-computers-state-of-development/>
12. Quantum computers work in a completely different way from conventional computers. <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/11/where-is-the-electron-and-howmany-of-them.html/>

Quantum computers and their application prospects in aviation

Demur Vepkhvadze

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

Abstract

The article discusses the basic principles of building a quantum computer, the purpose, description and main types of their basic information unit qubit. The principle scheme and working principle of a quantum computer are presented. Basic algorithms of quantum computing are discussed. A comparison of quantum computers with classical computers is given and the advantages of classical computers compared to them are shown. The possibilities and principles of optimal solution of a wide range of complex aviation tasks (optimization tasks, modeling and analysis of complex systems, processing of new aviation materials, air traffic management, etc.) are proposed in the case of using quantum computers in aviation.

Keywords: *quantum computer, qubit, superposition, coherence, quantum algorithm, air traffic control.*

საჰაერო ხომალდების ძრავებში ფრინველების მოხვედრის თავიდან აცილების მიზნით დამცავი ბადეების შესაქმნელად საექსპლუატაციო პირობების კვლევა და ტექნიკური მოთხოვნების დადგენა

რ. ხაჩიძე, ბ. აბესაძე, ა. მაისურაძე, ვ. კელიხაშვილი

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

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია საჰაერო ხომალდების ტურბორეაქტიული ძრავების ჰაერმიმღებ მოწყობილობაში ფრინველების მოხვედრისაგან დამცავი ბადის დაყენების საკითხები, დადგენილია ტექნიკური მოთხოვნები, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელია ეფექტური დამცავი ბადის ექსპერიმენტული ნიმუშების დაპროექტებისა და დამზადებისას, დადგენილია მისი პარამეტრების სავარაუდო მნიშვნელობები და დიაპაზონები.

საკვანძო სიტყვები: საჰაერო ხომალდი, ტურბორეაქტიული ძრავა, დამცავი ბადე, ტექნიკური მოთხოვნები.

ძირითადი ნაწილი

მოდრაობაში მყოფ საჰაერო ხომალდთან ფრინველების დაჯახებამ შესაძლოა გამოიწვიოს მისი სხვადასხვა ნაწილის დაზიანება, მათ შორის ძრავების მწყობრიდან გამოსვლა ან გაუმართაობა, რაც წარმოადგენს გარკვეულ რისკს ფრენების უსაფრთხოებისათვის და დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ადამიანურ და მატერიალურ დანაკარგებთან.

ზემოაღნიშნულის დასადასტურებლად შესაძლებელია მრავალი ინციდენტის ამსახველი მაგალითის მოყვანა საავიაციო ფრენების ისტორიიდან. ამის ერთ-ერთი თვალსაჩინო მაგალითია ინციდენტი, რომელიც შეემთხვა „Eastern Airlines“-ის საჰაერო ხომალდს (Lockheed L-188). აფრენიდან მალევე მას ბელურების გუნდი შეეჯახა და ოთხივე ძრავა დაუზიანა. თვითმფრინავი ჩამოვარდა და 72 მგზავრიდან მხოლოდ ათი გადარჩა. ასევე განმარტებულია საავიაციო შემთხვევა, რომელიც მოხდა 2009 წელს: “US Airways” -ის საჰაერო ხომალდს Airbus A320 აფრენიდან 3 წუთში 858 მ სიმაღლეზე ბატების გუნდს შეეჯახა, რამაც გამოიწვია თვითმფრინავის ორივე ძრავის გაჩერება. კაპიტანმა წარმატებით განახორციელა ავარიული დაშვება მდინარეზე. 150 მგზავრი და ეკიპაჟის 5 წევრი სასწაულებრივად გადარჩა.

ძრავაში უცხო საგნების მოხვედრის მოვლენებს შორის ფრინველის მოხვედრის პრობლემა უმთავრესი და სპეციფიკურია. ეს პრობლემა აქტუალურია პრაქტიკულად ყველა სახეობის საფრენი აპარატებისათვის, დაწყებული დიდი სამოქალაქო საჰაერო ხომალდებიდან დამთავრებული მსუბუქ თვითმფრინავებამდე ან მცირე შევლმფრინავებამდე. ავიაკომპანიებისათვის ეს სერიოზული პრობლემაა, რადგან ამ მიზეზით მომხდარი ინციდენტის შემდეგ თვითმფრინავი დეტალურ შემოწმებას საჭიროებს, რათა დაზიანება შეუმჩნეველი არ დარჩეს, რომელმაც შესაძლოა საჰაერო ხომალდი კატასტროფამდე მიიყვანოს [1].

გარდა ზემოაღნიშნულისა, ფრინველის საჰაერო ხომალდთან შეჯახების ყოველი ინციდენტი (ამ შემთხვევაში მხედველობაში არ გვაქვს ისეთი ინციდენტი, როცა ადგილი აქვს ადამიანურ მსხვერპლს) პირდაპირ ან ირიბად დაკავშირებულია სხვადასხვა ფინანსურ და მატერიალურ ხარჯებთან, რომელთა დადგენა ადვილი არ არის. არსებული ინფორმაციით ჩრდილოეთ ამერიკისათვის მსგავსი ირიბი დანახარჯები შეადგენს დაახლოებით 500 მილიონ დოლარს წელიწადში.

ICAO-ს მონაცემებით, რომელიც 91 ქვეყნის მონაცემებს ეყრდნობა, 2008-2015 წლებში შემოსული შეტყობინებების საერთო რაოდენობიდან (97 751) მხოლოდ 33 376 შემთხვევაში (34 %) დაფიქსირდა თვითმფრინავის დაზიანების ფაქტი, აქედან უმრავლესობა 30 817 (92%) - უმნიშვნელო დაზიანებაა, 1874 შემთხვევაში - მსუბუქი დაზიანება, 600 - მნიშვნელოვანი დაზიანება, 17 შემთხვევაში შეჯახებამ გამოიწვია საჰაერო ხომალდის დაზიანებული მონაკვეთის დამტვრევა. 2501 შემთხვევაში შეჯახებამ ფრენაზე გავლენა იქონია, რამაც ავარიული დაშვება (49%) გამოიწვია, 20%-ის შემთხვევაში აფრენა ვერ მოხერხდა და 3%-ის შემთხვევაში ძრავები გამოირთო [2].

პროცენტულად, ყველაზე ხშირად ფრინველები ეჯახება თვითმფრინავის საქარე მინას (15%), ფრთებს (14%), ცხვირის ნაწილს (14%) და ძრავას (13%). დარტყმის შედეგად ყველაზე ხშირად ხდება შემდეგი ნაწილების დაზიანება: ძრავა (21%), ფრთა (19%), შუქსიგნალები (6%), საქარე მინისა და თვითმფრინავის ცხვირის შორის მონაკვეთი (7%), ცხვირი (6%), შასი (5%).

უნდა აღინიშნოს, რომ წარმოდგენილი სტატისტიკიდან ჩანს, ფრინველების თვითმფრინავთან დაჯახების შედეგად დაზიანების ყველაზე დიდი პროცენტული მაჩვენებელი აქვს ძრავას. მისი დაზიანება კი ყველაზე ხშირად იწვევს კატასტროფულ შედეგებს: თუ ერთი ძრავა გამოვიდა მწყობრიდან, შესაძლებელია უახლოეს აეროპორტამდე მიფრენა ექსტრემალური დაშვების მოთხოვნით, ორი ძრავის გამორთვის შემთხვევაში კი საჰაერო ხომალდი დაუყონებლივ უნდა დაჯდეს და პილოტმა საამისოდ მეტ-ნაკლებად მისაღები ადგილი უნდა შეარჩიოს. 2016 წელს მხოლოდ გაერთიანებული სამეფოს მასშტაბით ჩიტის ძრავაში შეფრენის 1835 დადასტურებული შემთხვევა დაფიქსირდა, ანუ 8 შემთხვევა ყოველ 10 ათას ფრენაზე.

საჰაერო ხომალდების შეჯახება ფრინველებთან ყველაზე მეტად ხდება მისი აფრენისა და დაშვების დროს ან დაბალ სიმაღლეებზე (150-300 მ) ფრენისას (75%). შეჯახების 20% ხდება 20 % - 300-1500 მ სიმაღლეზე და მხოლოდ 5% - 1500 მ-ზე მაღლა. შემჩნეულია, რომ ბატები დაფრინავენ 10 175 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან. [2,3,4].

ფრინველების კლასი მოიცავს 8,6 ათას სახეობას. ისინი გავრცელებულია მთელ მსოფლიოში ხმელეთზე და წყლებში, ვერტიკალური მიმართულებით ისინი აღწევენ 7 ათას მეტრამდე. ზოგიერთი ფრინველი გარკვეულ ტერიტორიაზე ბინადრობს, ბევრი კი იცვლის საბინადრო ადგილს (მიგრირებს) და გადაფრენების საშუალებით (სეზონური მიგრაციით) უფრო ხელსაყრელ ადგილზე გადადის. საჰაერო ხომალდებთან დაჯახების ინციდენტებში ყველა სახეობა არ მონაწილეობს.

საჰაერო ხომალდებთან შეჯახების ოფიციალურ შეტყობინებებში დაჯახებების მონაწილეთაგან ყველაზე გავრცელებული სახეობებია: ბელურასნაირნი (22%), თოლიები და სხვა წყლის ფრინველები (11%), მტაცებელი ფრინველები (9%), მტრედისნაირნი (7%), ღამურები (3%), იხვები, ბატები, გედები (2%), ნამგალასნაირნი (2%), ბუ (2%), ყანჩა, ყარყატი, წერო, ფლამინგო (1%). ოფიციალური შეტყობინებების 39%-ის შემთხვევაში სახეობები უცნობია [5, 6]. ცხადია, ეს

მონაცემები განსხვავებული იქნება ტერიტორიულად სხვადასხვა ადგილას მდებარე და სხვადასხვა კლიმატისა და გარემოს მქონე აეროპორტებისთვის.

მაგალითისთვის საჰაერო ხომალდთან შეჯახებაში მონაწილე ყველაზე გავრცელებული ფრინველების სახეობები და მათი მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრ. 1. ყველაზე გავრცელებული ფრინველების სახეობები

#	ფრინველის დასახელება	შეჯახ. მაჩვენ. %	ზომები, სმ		წონა, კგ
			სიგრძე	ფრთათ შორისი განი	
1	ბელურასნაირნი				
1.1	მერცხალი/House Martin	22	12-15	29	0,023
1.2	ტოროლა /Skylark		16-18	33	0.045
1.3	მწყერი/Meadow Pipit		18	31	0,100
1.4	შოშია /Starling		19-22	≤100	0.100
1.5	შაშვი /Fieldfare		22-27	40	0.110
1.6	კაჭკაჭი /Magpie		44-46	52-60	0,250
1.7	ჭილყვავი /Rook		41-49	81-94	0,340-0,530
2	ნამგალასნაირნი				
2.1	ნამგალა/Swift	2	16-17	42-48	0,050
3	მტრედები				
3.1	მტრედი /Racing Pigeon	7	29-35	≤ 68	≤ 0,500
3.2	ქედანი /Woodpigeon		38-43	68-77	0.450
4	თოლიები				
4.1	შავთავა/Black Headed Gull	22	35-39	86-99	0,280
4.2	ვერცხლისფერი თოლია /Herring Gull		54-60	123-148	1-1,5 მამ 0,720-1,1 დ
4.3	ზღვის დიდი თოლია /Great Black Backed Gull		61-74	144-166	1,4
5	წყლის ფრინველები				
5.1	გარეული იხვი/ Mallard		58-62	81-95	≤ 1,0
5.2	რუხი ბატი/Canada Goose		70-90	147-180	2,1-4,5

5.3	კანადური ბატი /Canada goose	32	39-55	127-185	2,6-6,5
5.4	სისინა გედი/Mute Swan		130-155	200-230	10-12
5.5	მყვიანი გედი /Whooper swan		145-160	225-235	9-11
5.6	რუხი ყანჩა /Grey Heron		84-102	155-175	1,5-2,0
6	მტაცებელი ფრინველები				
6.1	ალალი /Merlin	20	26-33	55-69	0.200
6.2	მიმინო / Sparrowhawk		29-34/მ 35-41/დ	58-65 მამ. 67-80 დედ.	0,220
6.3	შევარდენი/Peregrine Falkon		38-51	≤100	0,7-1.4
7	ბუსებრნი				
7.1	ყურებიანი ბუ (ოლოლი) /Long Eared Owl	2	31-37	98	0,250
8	ლამურასებრნი				
8.1	ლამურა/Parti-colored Bat	3	3,7-4,4	6,9-7,6	0,010-0,015
9	სხვა				
		39			

ფრინველების დასაფრთხოვად, რომლებიც აეროდრომის რაიონში საჰაერო ხომალდის ექსპლუატაციას უქმნიან საფრთხეს, გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები და საშუალებები. აეროპორტის ადმინისტრაცია ვალდებულია გამოსცეს სახელმძღვანელო დოკუმენტი [7] და ჩამოაყალიბოს სპეციალური სამსახური, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს აეროდრომებზე ფრენის უსაფრთხოება, აეროდრომის ტეროტორიაზე და მის შემოგარენში ველური ბუნების წარმომადგენლების მიერ შექმნილი საფრთხეების და მასთან დაკავშირებული რისკების შემცირება.

- ბიოაკუსტიკური საშუალებები (მტაცებელი ფრინველის ჩაწერილი ხმა, ხმამაღალი სირენა და სხვა);
- გაზის ქვემეხი (პროპანის იარაღი, რომელიც გაზის მეშვეობით გამოცემს ხმას, რომელიც 1 კმ-ის დაშორებით ისმის);
- პორტატული ლაზერული იარაღი;
- მკვეთრი სინათლე და ამრეკლი ბურთები;
- სპეციალურად მომზადებული მტაცებელი ფრინველები (ძირითადად ფალკონები) და ძაღლები;
- და სხვა.

მაგრამ, როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ფრინველები სწრაფად ეგუებიან აღნიშნულ დამაფრთხოებელ საშუალებებს და ამდენადვე სწრაფად და მნიშვნელოვნად მცირდება ამ ღონისძიებების ეფექტურობა.

ზემოაღნიშნული პრევენციული ღონისძიებების გარდა არსებობს თვითმფრინავის ძრავების დაცვის სხვა მიდგომაც, კერძოდ, დამცავი ბადეების გამოყენების საშუალებით. მაგალითად, ისინი გამოიყენება ვერტმფრენებში [8]. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სამეცნიერო კვლევების ცენტრის სპეციალისტების მიერ ჩატარებულია კვლევები დამცავი ბადეებით ფრინველების დანაწევრების პირობების შესახებ [9,10].

ბადეების გამოყენებას აქვს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი მხარეები. დადებით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ მისი გამოყენება გამორიცხავს ფრინველის მოხვედრას ძრავაში. უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ თუ ბადე არ არის მოქსოვილი შესაბამისი სიმტკიცის მასალისაგან, მან შესაძლოა ვერ გაუძლოს დარტყმას ფრინველთან შეჯახებისას, გაიგლიჯოს და ფრინველთან ერთად მისი ნაწილებიც მოხვდეს ძრავაში.

ზემოაღნიშნული პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია ბადის ან ბადეთა სისტემის ოპტიმალური კონსტრუქციის დამზადებით თანამედროვე ზემტკიცე კომპოზიტური მასალებისაგან. ამის მისაღწევად პირველ რიგში საჭიროა დამცავი ბადის ფიზიკური და გეომეტრიული პარამეტრების ოპტიმიზაცია.

დამცავი ბადის გეომეტრიული პარამეტრებია მისი შემადგენელი ძაფის დიამეტრი d და ბადის კვადრატული უჯრედის გვერდის სიგრძე a , ბადის ღიობის ფართობი (რომელშიც უნდა გაიაროს ძრავაში შეწოვილმა ჰაერმა) $S_{\phi} = (a - d)^2$, ასევე ძაფის მასალის ფიზიკური და საექსპლუატაციო მახასიათებლები: სიმკვრივე, სიმტკიცე (წინააღმდეგობის გაწევის უნარი დარტყმისა და დინამიკური დატვირთვის მიმართ), მდგრადობა ხახუნისა და მდგრადობის მიმართ და მედეგობა გარემო პირობების ცვლილების მიმართ.

დამცავი ბადისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნებია:

- ბადის უჯრედის ზომები უნდა იყოს ისეთი, რომ მასში არ გაძვრეს ყველაზე პატარა ზომის ფრინველიც კი იმ ფრინველთაგან, რომლებიც შესაძლოა შეეჯახოს საჰაერო ხომალდს. ეს შესაძლებელია ბადის უჯრედის ზომების შემცირებით, მაგრამ აქ თავს იჩენს სხვა პრობლემა: ბადის უჯრედის ზომების შემცირება გამოიწვევს საფრენი აპარატის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გაზრდას, რაც შეამცირებს ძრავის ენერგოეფექტურობას. ამიტომ უნდა შეირჩეს ბადის ისეთი პარამეტრები, რომელთა შემთხვევაში აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გაზრდა იქნება უმნიშვნელო.
- ბადემ უნდა გაუძლოს იმ დარტყმებს, რომელთაც ადგილი აქვს საჰაერო ხომალდის ფრინველთა შეჯახებისას. სხვადასხვა წყაროებში საილუსტრაციოდ მოყვანილია შემდეგი მაგალითები: ა) 1,5-2,0 კგ ფრინველის შეჯახების ეფექტი თვითმფრინავთან, რომელიც მოძრაობს მის მიმართ 700 კმ/სთ ფარდობითი სიჩქარით, იგივეა, რაც მასზე 50 მმ კალიბრის ქვემეხიდან გასროლილი ჭურვის მოხვედრისა; ბ) ენერგია 5 კგ წონის ფრინველისა, რომელიც მოძრაობს 275 კმ/სთ ფარდობითი სიჩქარით, დაახლოებით უდრის 100 კგ წონის ტვირთის ენერგიას, რომელიც ვარდება 15 მ სიმაღლიდან.
- ბადე უნდა იყოს მედეგი აეროპორტებში არსებული საჰაერო ხომალდის საექსპლუატაციო პირობების მიმართ.

განვიხილოთ ბადის სავარაუდო საექსპლუატაციო პირობები, პროცესები დაჯახებამდე და დაჯახების შემდეგ და დადავადგინოთ კონკრეტული ტექნიკური მოთხოვნები ზემოაღნიშნული ინოვაციური ბადეების დასამზადებლად. კერძოდ დასადგენია:

1. რა სიჩქარეები შეიძლება გააჩნდეთ ფრინველებს საჰაერო ხომალდთან შეჯახებისას?

ფრინველის ფრენა განპირობებულია ფრინველის ფრთების მოძრაობით აღძრული აეროდინამიკური ძალისა და ფრინველზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მაჯამებელი ძალის მანიპულირებით. ფრინველის ფრენის სიჩქარეზე გავლენას ახდენს ქარი, რომლის სიჩქარე შესაბამისად ზრდის ფრინველის ფრენის სიჩქარეს, თუ ქარისა და ფრინველის ფრენის მიმართულება ერთმანეთს ან ამცირებს მას, თუ ქარისა და ფრინველის ფრენის მიმართულება ურთიერთსაწინააღმდეგაა.

როგორც წესი ფრინველების ფრენის სიჩქარე სეზონური მიგრაციული გადაფრენებისას უფრო მეტია, ვიდრე არასეზონური ფრენებისას. მაგალითად, *რუხი წეროები, ვერცხლისფერი თოლიები, ზღვის დიდი თოლიები* გადაფრენებს ახორციელებენ 50 კმ/სთ სიჩქარით, *სკვინჩა, ჭიკჭავი* - 55 კმ/სთ სიჩქარით, *მერცხლები* - 55-60 კმ/სთ სიჩქარით, სხვადასხვა სახეობის *ველური ბატები* - 70-90 კმ/სთ სიჩქარით, *შავი ნამგალა* - 110-150 კმ/სთ. ფრენის ყველაზე დიდი სიჩქარე გააჩნია *შევარდენს* პიკირებისას - ის აღწევს 320 კმ/სთ-ს. სხვა ფრინველების ფრენის მონაცემები ასევე წარმოდგენილია 1-ელ ცხრილში.

2. რა ძალები წარმოიქმნება ფრინველების საჰაერო ხომალდთან შეჯახებისას?

ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება ფრინველების საჰაერო ხომალდთან შეჯახებისას, დამოკიდებულია იმ კინეტიკური ენერგიაზე, რომელსაც ფრინველი გადასცემს თვითმფრინავს მასთან შეჯახებისას და გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$E_{კინ} = \frac{m_{ფრ}(v_{ხომ} + v_{ფრ})^2}{2} \quad (1)$$

სადაც $m_{ფრ}$ - ფრინველის მასაა,

$v_{ხომ}$ - ხომალდის სიჩქარე,

$v_{ფრ}$ - ფრინველის სიჩქარე.

ფრინველი თვითმფრინავს ეჯახება გარკვეული ფართობით $S_{ფრ}$. ამ შემთხვევაში ფრინველი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც საგანი, რომელსაც გააჩნია ფუძის ფართობი $S_{ფრ}$ და საშუალო სისქე $H_{ფრ}$. ამ პარამეტრებით კინეტიკური ენერგია, რომელიც გადაეცემა დაჯახების ზედაპირს, გამოისახება ფორმულით

$$E_{კინ} = \rho_{ფრ} \cdot V_{ფრ} \cdot \frac{(v_{ხომ} + v_{ფრ})^2}{2} = \rho_{ფრ} \cdot S_{ფრ} \cdot H_{ფრ} \cdot \frac{(v_{ხომ} + v_{ფრ})^2}{2} \quad (2)$$

ამრიგად, ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება ფრინველების საჰაერო ხომალდთან შეჯახებისას, დამოკიდებულია შემდეგ სიდიდეებზე:

ა) თვითმფრინავის სიჩქარეზე დედამიწის მიმართ $v_{ფრ}$.

თვითმფრინავის სიჩქარე, ცხადია, დამოკიდებულია თვითმფრინავის ძრავის ტიპზე და იმ სიმაღლეზე, რომელზეც ხდება ფრინველთან შეჯახება თვითმფრინავის აფრენის, საკრუიზო ფრენისა და დაფრენის სხვადასხვა მომენტში. ICAO-ს მონაცემებით თვითმფრინავის ფრინველთან შეჯახების უმრავლესობა (90%) ხდება აეროდრომების ახლოს ან თვითონ აეროდრომებზე თვითმფრინავის აფრენის, დაფრენის ან მათთან დაკავშირებულ ეტაპებზე 900 მეტრზე ნაკლებ სიმაღლეზე. ცხრ. 2-ში მოცემულია აფრენისა და დაშვების სიჩქარეები ზოგიერთი ფართოდ გავრცელებული საჰაერო ხომალდებისათვის.

ცხრ. 2. საჰაერო ხომალდების აფრენის და დაშვების სიჩქარეები

#	საჰაერო ხომალდის სახეობა	სიჩქარე აფრენის დროს, კმ/სთ	სიჩქარე დაშვების დროს, კმ/სთ	საკრუიზო სიჩქარე, კმ/სთ	ფრენის მაქსიმალური სიმაღლე, კმ
1	Boing 737	250	278	800	11,3
2	Boing 747	290	268-278	920-970	10,7-12,5
3	Airbus 320	275	260	870	-
4	Embraer 190	255	243	835	-

ბ) ფრინველის მასაზე $m_{ფრ}$ და სიჩქარეზე დედამიწის მიმართ $v_{ფრ}$.

ფრინველის მასა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა სახეობისაა ის, დედალია თუ მამალი, რა ასაკისაა და რა გარემოში ბინადრობს (მთა, ველი, წყალი, ჭაობი და სხვა).

მთელ მსოფლიოში გავრცელებულია ფრინველები 8,6 ათასი სახეობა და ზოგიერთი ფრინველი ბინადრობს გარკვეულ ტერიტორიაზე, ბევრი კი იცვლის საბინადრო ადგილს და სეზონური გადაფრენებით მიგრირებს უფრო ხელსაყრელ ადგილებში.

თვითმფრინავის ძრავაში შეიძლება მოხვდეს ორივე კატეგორიის ფრინველი, რომელთაც უწყვეტ მიმოფრენა სივრცეში, სადაც დაფრინავენ თვითმფრინავები. როგორც 1-ელი ცხრილიდან ჩანს, მათი მასები იწყება რამდენიმე ათეული გრამიდან და აღწევს რამდენიმე კილოგრამს.

რაც შეეხება ფრინველის ფრენის სიჩქარეს დედამიწის მიმართ, მათი მაქსიმალური მნიშვნელობა ასევე დამოკიდებულია ფრინველის სახეობაზე. ფრინველის საშუალო სიჩქარედ დედამიწის მიმართ მიჩნეულია 60-70 კმ/სთ. თუმცა, როგორც 1-ელი ცხრილიდან ჩანს, ზოგიერთი ფრინველისათვის ის შეიძლება იყოს გაცილებით დიდი - შავი ნამგალასათვის ის შეიძლება იყოს 180 კმ/სთ, ხოლო ზოგიერთი ტიპის შევარდენისათვის - 300 კმ/სთ-ზე მეტი. უნდა აღინიშნოს, რომ ფრინველთა ამ უკანასკნელ სახეობებს წარმოდგენილი ზღვრული სიჩქარეები აქვთ მათ ფრენის პიკირების რეჟიმში. რადგან ფრინველის თვითმფრინავთან დაჯახების სიჩქარე ტოლია დედამიწის მიმართ თვითმფრინავისა და ფრინველის სიჩქარეების ვექტორული ჯამის, მისი მნიშვნელობა მაქსიმალური იქნება მაშინ, როცა ზემოაღნიშნული სიჩქარეების ვექტორები მიმართული იქნება ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ, ანუ როცა ფრინველი მოძრაობს თვითმფრინავის შემხვედრად. ფრინველის პიკირების პირობებში ფრინველისა და თვითმფრინავის სიჩქარეები მიმართული იქნება თითქმის მართობულად, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფრინველის პიკირების სიჩქარეს მნიშვნელობა ექნება მხოლოდ ფრინველის თვითმფრინავის კორპუსთან დაჯახებისას, ხოლო ძრავაში მოხვედრისას მონაწილეობას მიიღებს მისი უმნიშვნელო სიდიდის მქონე მდგენელი, რომლის წილი დაჯახების პროცესისათვის იქნება უმნიშვნელო.

გ) ფრინველის საშუალო სიმკვრივეზე $\rho_{ფრ}$, დაჯახების ფართობზე $S_{ფრ}$ და საშუალო სისქეზე $H_{ფრ}$.

ცხადია, ფრინველის სიმკვრივე $\rho_{ფრ}$ სხვადასხვა სახეობისათვის სხვადასხვაა, მაგრამ მისი ცვლილება არც თუ დიდია და მოთავსებულია დიაპაზონში: 600 – 700 კგ/მ³.

რაც შეეხება დაჯახების ფართობს $S_{ფრ}$, იგი განისაზღვრება ფრინველის ზომებით (რომლებიც, როგორც 1-ელი ცხრილიდან ჩანს, საკმაოდ განსხვავებულია) და იცვლება ფართო დიაპაზონში.

სიმულაციური გამოთვლების ჩასატარებლად ფრინველი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ცილინდრის სახით, რომლის ფუძის დიამეტრია D , ხოლო სიმაღლე H . თუ ფრინველის სიმკვრივეა $\rho_{ფრ}$, ხოლო მოცულობა - $V_{ფრ}$ მაშინ ფორმულა (2)-ის თანახმად, დაჯახების კინეტიკური ენერჯია ფრინველის ცილინდრული მოდელისათვის გამოისახება შემდეგნაირად:

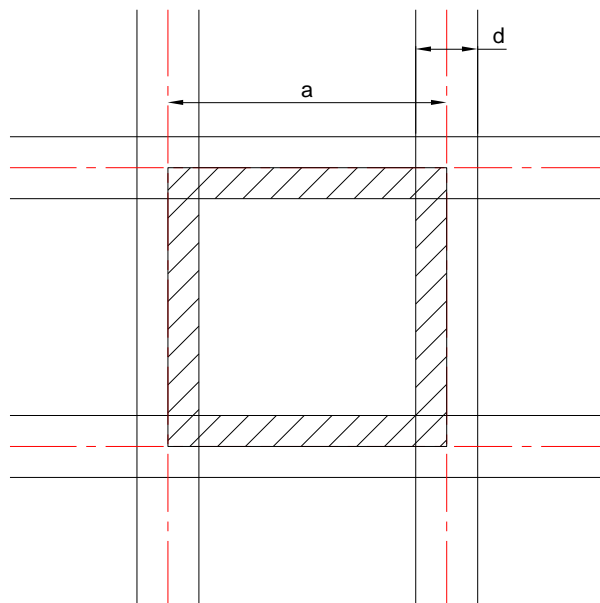
$$E_{კინ} = \rho_{ფრ} \cdot S_{ფრ} \cdot H_{ფრ} \cdot \frac{(v_{ბომ} + v_{ფრ})^2}{2} = \rho_{ფრ} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H \cdot \frac{(v_{ბომ} + v_{ფრ})^2}{2} \quad (3)$$

ცხრილ 1-ში მოცემულია სხვადასხვა სახეობის ფრინველის სიჩქარეები. ასევე მოცემულია ზოგიერთი ფრინველის სიჩქარის ზღვრული მნიშვნელობები, რომლებითაც შეიძლება ქონდეს ფრინველს მისი ფრენის სხვადასხვა რეჟიმში (პიკირება, ინდივიდუალური ან გუნდური გადაფრენა და სხვა).

3. რა გავლენას ახდენს დამცავი ბადის უჯრედის ზომები საჰაერო ხომალდის ძრავას მუშაობაზე? რა უნდა იყოს მისი ოპტიმალური ზომები ფრინველის გაბარიტების გათვალისწინებით?

საჰაერო ხომალდის ძრავას მუშაობაზე დამცავი ბადის გავლენის შესასწავლად პირველ რიგში დავადგინოთ თუ რამდენი პროცენტით შემცირდება ჰაერის შესასვლელის ფართი ჰაერმიმღებ მოწყობილობაზე დამცავი ბადის დაყენების გამო.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია ჰაერმიმღები მოწყობილობის ჰაერის შესასვლელის მართობული კვეთი, რომელიც დაფარულია a სიგრძის მქონე კვადრატულ უჯრედებიანი ბადით, რომელიც შედგენილია d დიამეტრის მქონე ძაფისაგან.



ნახ. 1 კვადრატულ უჯრედებიანი ბადის ფრაგმენტი

ბადის უჯრედის ფართი $S_1 = a^2$; ბადის ღიობის ფართი, საიდანაც ჰაერი შედის ჰაერმიმღებში, $S_2 = (a - d)^2$; ბადის თითოეული უჯრედისთვის ძაფით დაფარული ფართობი იქნება:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 2ad - d^2 \quad (4)$$

ხოლო მისი ფარდობითი მაჩვენებელი

$$K = \Delta S / S_1 = 2d/a - (d/a)^2 \quad (5)$$

ფორმულა (5)-ში მოცემული კვადრატული განტოლებიდან შეიძლება დავადგინოთ d/a შეფარდების დამოკიდებულება დაფარვის K კოეფიციენტზე, რომელსაც ექნება შემდეგი სახე

$$d/a = 1 - \sqrt{1 - K} \quad (6)$$

კვადრატული განტოლების მეორე ფესვი $d/a = 1 + \sqrt{1 - K}$ არ გამოდგება, რადგან შეფარდება d/a ნაკლები უნდა იყოს 1-ზე.

ცხრ. 3-ში მოცემულია (5) ფორმულით ნაანგარიშები ბადის ძაფებით დაფარვის კოეფიციენტის ფარდობითი მაჩვენებელი პროცენტებში, ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძისა და ბადის შემადგენელი ძაფის დიამეტრის სხვადასხვა დასაშვები მნიშვნელობებისათვის.

ცხრ. 3. ძაფების დაფარვის კოეფიციენტის ფარდობითი მაჩვენებელი

ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძე a , მმ	ძაფის დიამეტრი a , მმ	d/a	დაფარვის კოეფიციენტი K , %
60	0,5	0,008333	1,66
	1,0	0,016667	3,31
	1,5	0,025	4,94
	2,0	0,033333	6,56
50	0,5	0,01	1,99
	1,0	0,02	3,96
	1,5	0,03	5,91
	2,0	0,04	7,84
40	0,5	0,0125	2,48
	1,0	0,025	4,94
	1,5	0,0375	7,36
	2,0	0,05	9,75
30	0,5	0,016667	3,31
	1,0	0,033333	6,56

	1,5	0,05	9,75
	2,0	0,066667	12,89
20	0,5	0,025	4,94
	1,0	0,05	9,75
	1,5	0,075	14,44
	2,0	0,1	19,00
10	0,5	0,05	9,75
	1,0	0,1	19,00
	1,5	0,015	27,75
	2,0	0,2	36,00

ცხრილი 3-ის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძრავის შემსვლელ მოწყობილობაზე დამცავი ბადის დაყენების დროს ჰაერმიმღების მიერ აირის მიღების ფართის შემცირების მინიმალური მაჩვენებელია 1,66% (როცა ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძეა 60 მმ და ძაფის დიამეტრი 0,5 მმ), ხოლო მაქსიმალური - 36% (როცა ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძეა 10 მმ და ძაფის დიამეტრი 2,0 მმ).

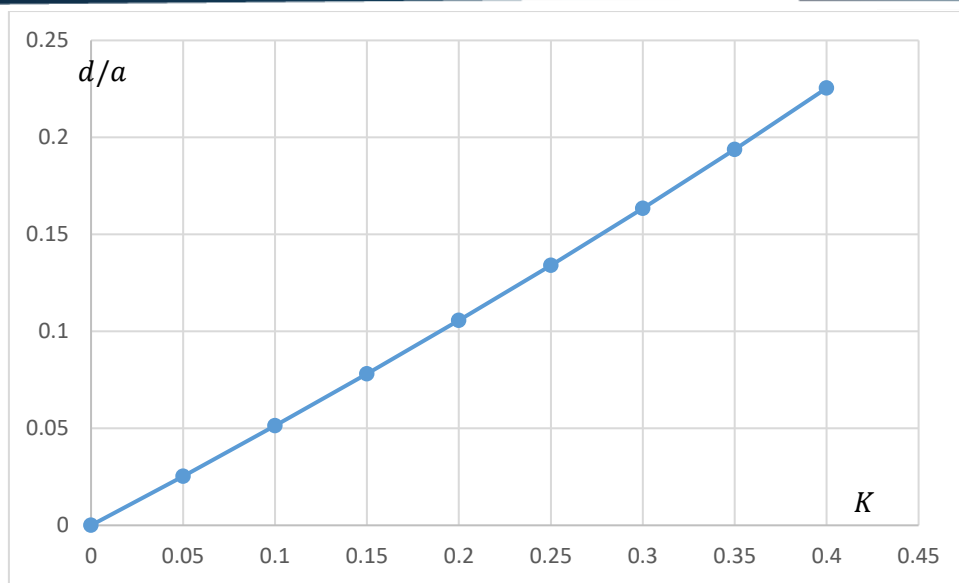
ცხრ. 4-ში წარმოდგენილია ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძისა და ძაფის დიამეტრის კომბინაციები, რომლითაც მიიღწევა ცხრ. 3-ში მოცემული ბადის ძაფებით დაფარვის კოეფიციენტის ფარდობითი მაჩვენებლები.

ცხრ. 4. ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძის და ძაფის დიამეტრის კომბინაციები

დაფარვის კოეფიციენტი K , %	ძაფის დიამეტრი d , მმ	ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძე a , მმ	შენიშვნა
1,66	0,5	60	
1,99	0,5	50	
2,48	0,5	40	
3,31	0,5	30	
	1,0	60	
3,96	1,0	50	
4,94	0,5	20	
	1,0	40	

	1,5	60	
5,91	1,5	50	
6,56	1,0	30	
	2,0	60	
7,36	1,5	40	
7,84	2,0	50	
9,75	0,5	10	
	1,0	20	
	1,5	30	
	2,0	40	
12,89	2,0	30	
14,44	1,5	20	
19,00	1,0	10	
	2,0	20	
27,75	1,5	10	
36,00	2,0	10	

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძის ბადის ძაფის დიამეტრთან შეფარდების d/a დამოკიდებულება დამცავი ბადით ჰაერმიმღების შესასვლელის დაფარვის K კოეფიციენტზე, რომელიც აგებულია (6) ფორმულის გამოყენებით.



ნახ. 2 ბადის უჯრედის გვერდის სიგრძის ბადის ძაფის დიამეტრთან შეფარდების d/a დამოკიდებულება დაფარვის K კოეფიციენტზე

ცხადია, საჰაერო ხომალდების ძრავებზე დამცავი ბადის დაყენება გარკვეულწილად შეამცირებს მის ენერგოეფექტურობას. ასევე ნათელია, რომ ძრავის ენერგოეფექტურობის შემცირების კოეფიციენტი ნაკლები იქნება ნაშრომში წარმოდგენილი დამცავი ბადით ჰაერმიმღების შესასვლელის გეომეტრიული დაფარვის K კოეფიციენტის მნიშვნელობებზე. ძრავის ენერგოეფექტურობის შემცირების კოეფიციენტის დასადგენად აუცილებელია სხვადასხვა პარამეტრების მქონე ბადეებზე ექსპერიმენტული კვლევისა და გამოცდების ჩატარება მათი აეროდინამიკური წინააღმდეგობის დადგენის მიზნით.

დასკვნა

ნაშრომში წარმოდგენილი ფორმულებისა და ცხრილების გამოყენებით შეიძლება დადგინდეს ტექნიკური მოთხოვნები, რომლებიც უნდა იყოს გათვალისწინებული დამცავი ბადეების საჰაერო ხომალდების ძრავებში ფრინველების მოხვედრის თავიდან აცილებისთვის საჭირო დამცავი ბადეების შექმნის პროცესში, კერძოდ:

ა) თვითმფრინავის ძრავის ჰაერმიმღებში მოხვედრილი ფრინველის მასა შეიძლება იცვლებოდეს დიაპაზონში: 0,020 – 12,0 კგ;

ბ) ფრინველთა ფარდობითი სიჩქარე თვითმფრინავთან დაჯახებისას უმრავლეს შემთხვევაში იცვლება დიაპაზონში 50 კმ/სთ - 350 კმ/სთ, იშვიათ შემთხვევაში შეიძლება მიაღწიოს 700-800 კმ/სთ სიჩქარეს; აქედან გამომდინარე, მაქსიმალური კინეტიკური ენერგია, რომელიც გადაეცემა საჰაერო ხომალდს ფრინველთან დაჯახებისას, უმრავლეს შემთხვევაში, შეიძლება იყოს 56 კჯ, ხოლო იშვიათ შემთხვევაში შეიძლება მიაღწიოს 296 კჯ-ს, რაც უნდა გავითვალისწინოთ დამცავი ბადის შემადგენელი ძაფის პარამეტრების შერჩევისას ან მისი გამოყენებით აგებული კონსტრუქციების დაპროექტებისას;

გ) თვითმფრინავის ძრავის ჰაერმიმღებში მოხვედრილი ფრინველის ზომები შეიძლება იცვლებოდეს დიაპაზონში: სხეულის სიგრძე - 12- 160 სმ, ფრთათა შორისი განი - 30 – 235 სმ; აქედან გამომდინარე, დამცავი ბადის კვადრატული უჯრედის გვერდის სიგრძე არ უნდა აღემატებოდეს 5-6 სმ-ს;

დ) დამცავი ბადის დიამეტრის შერჩევას უნდა ვიხელმძღვანელოთ სტატიაში წარმოდგენილი ცხრილებით და დამცავი ბადით ჰაერმიმღების შესასვლელის დაფარვის კოეფიციენტის ლიმიტების გათვალისწინებით.

მადლიერება:

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [AR-22-476, საჰაერო ხომალდების ფრენის უსაფრთხოების ამაღლება საავიაციო ძრავებზე დამცავი ბადეების სისტემის გამოყენებით].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Ahmed F. El-Sayed, Bird Strike in Aviation: Statistics, Analysis and Management, 2019);
- [2] – Bird Strike (en. wikipedia. org/wiki/Bird Strike);
- [3] - Bird Strike Damage & Windshield Bird Strike, Final Report 5078609-rep-03 Version 1.1 EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY;
- [4] - ს. ტეფნაძე, დ. ლელაძე, უ. როინიშვილი, გ. სანაძე, „ფრენების უსაფრთხოება“, თბილისი, 1998;
- [5] – ICAO, Doc. 9332 – Manual On Bird Strike Information System (IBIS);
- [6] – “Bird and Wildlife Strike Management at Aerodromes”, Published by National Bird and Wildlife Hazard Comitee, IAA, March, 2021, Airish Aviation Aurity.
- [7] - სსიპ - სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს დირექტორის ბრძანება №56, 01.05.2017 – „საქართველოს სამოქალაქო აეროდრომებზე ველური ბუნების წარმომადგენელების მიერ შექმნილი საფრთხეების შემცირებისა და მართვის წესის“ დამტკიცების შესახებ“ ;
- [8] - Б. Ф. Шор, А. В. Горячев В. С. Мацаренко, В. Г. Жулин, Вю Вю Севенков, Расчетно-экспериментальное исследование Эфффективности Защиты Верталетного двигателя от попадания посторонних предметов Вестник УГАТУ, 2015, Т. 19 №3.
- [9] - ა. მაისურაძე, დ. აბესაძე, . მუშკუდიანი, „საავიაციო აირტურბინული ძრავების ბადეზე მოხვედრილი ფრინველის დანაწევრების პირობის თეორიული გამოკვლევა“, ჟურნალი „საჰაერო ტრანსპორტი“, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, თბილისი, 2021.

Study of operating conditions and determination of technical requirements for the creation of protective nets to prevent birds entering into aircraft engines

R. Khachidze, B. Abesadze, A. Maisuradze, V. Kelikhashvili

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

Abstract

The paper discusses the issues of installing a bird protection net in the air intake device of aircraft turbojet engines, establishes technical requirements that must be taken into account when designing and manufacturing experimental samples of an effective protective net, determines the approximate values and ranges of its parameters.

Keywords: *aircraft, turbojet engine, safety net, technical requirements.*

Использование ультразвукового метода для выявления усталостных трещин в метало-конструкциях

Ираკლიй Таკაძე¹, გიორგი Таკაძე²

¹Общество технической диагностики и неразрушающего контроля.

Э. Ниношвили 42, 0102, Тбилиси, Грузия.

²Геофизическая нейтронно-космическая обсерватория. Ул. Нуцубидзе, 77а,
0160 Тбилиси, Грузия

Аннотация

Рассмотрены особенности выявления усталостных трещин методами ультразвуковой толщинометрии. Проведены теоретические расчеты коэффициента отражения ультразвука от раздела тонкой среды «сталь-воздух». Проведены экспериментальные измерения по выявлению усталостных трещин в металлических изделиях. Установлено, что имеется зависимость между коэффициентом отражения ультразвука и ширины прослойки в трещине, которая в свою очередь может изменяться от температуры изделия и степени механического напряжения вызывающих деформацию контролируемой детали.

Ключевые слова: металлоконструкция, усталостная трещина, ультразвуковая толщинометрия, акустическая эмиссия.

Главная Часть

Одной из основных причин снижения ресурса метало-конструкции, машин, сосудов высокого давления и аппаратов, является образование и рост усталостных трещин. Исследования показывают, что при усталости происходит постепенное накопление микроповреждений, переходящих в рост разрушающих макротрещин.

Наряду с этим, достаточно сложной проблемой является предсказание или выявление микроповреждения на начальной стадии их развития. В зависимости от знакопеременного нагружения, стадия устойчивого роста макротрещины и полного разрушения конструкции может охватывать не предсказуемый по времени период.

Одним из методов выявления развивающихся и склонных к развитию усталостных трещин, проявляющихся в процессе изменения нагрузки, является контроль методом Акустической эмиссии (АЭ). Необходимо отметить, что значительным фактором снижающих эффективность АЭ являются трудоемкость проведения контроля [1, 2] и шумы, основными источниками, которых являются механические воздействия, вибрации и электрические помехи.

В связи с этим, своевременное выявление зародышей усталостных трещин является актуальной задачей, и позволяет существенно снизить риски возникновения аварийных ситуации [3, 4].

В данной работе рассматриваются особенности выявления внутренних трещин, в том числе усталостных, методами ультразвуковой эхо-импульсной толщинометрии.

Физической основой ультразвуковой толщинометрии является регистрация отраженной энергии ультразвукового импульса от раздела поверхности «металл–воздух». Которая, в свою очередь определяется коэффициентом отражения ультразвука.

Для тонкого слоя с волновым сопротивлением $Z_c = \rho_c \cdot C_c$ в обе стороны от которого расположены одинаковые среды с волновыми сопротивлениями $Z = Z^1$ коэффициент отражения ультразвука определяется зависимостью [5]:

$$R \approx \left[1 + \left(Z_c \cdot C_c / \pi \cdot f \cdot h \cdot z \right)^2 \right]^{-1} \quad (1)$$

Где:

Z_c - волновое сопротивление воздушного слоя

ρ_c - плотность воздушной прослойки г/см³

C_c - скорость ультразвука в воздушном слое км/сек

f - Частота ультразвуковых колебаний МГц

h - толщина воздушной прослойки мм.

В реальных условиях, толщина воздушной прослойки трещины h не может быть постоянной величиной и будет меняться в зависимости от температуры и механических напряжении, вызывающих деформацию «металло-конструкции». Напр. Внутреннее избыточное давление продукта в трубопроводе. Примечательно, что изменение геометрических размер внутренних трещин в т.ч. ширина раскрытия воздушной прослойки, могут быть в тех пределах, которые оказывают существенное влияние на коэффициент отражения ультразвука. В таком случае, дефектные участки для используемых методов и технических средств контроля могут быть «скрытыми» дефектами т.е. не выявляемыми.

Линейное расширение стали под действием температуры определяется зависимостью;

$$\Delta L = L \alpha (T - T_0) \quad (2)$$

Где:

$L \alpha$ - Коэффициент линейного расширения стали равная для СтЗсп – $11,5 \cdot 10^{-6}$ м.

$(T - T_0)$ - Разность температур.

На рис. 1. Приведены расчетные значения линейного изменения размеров стали марки СтЗсп толщиной 30 мм., при изменении температуры в диапазоне $+(1 \div 7^0) \text{C}$

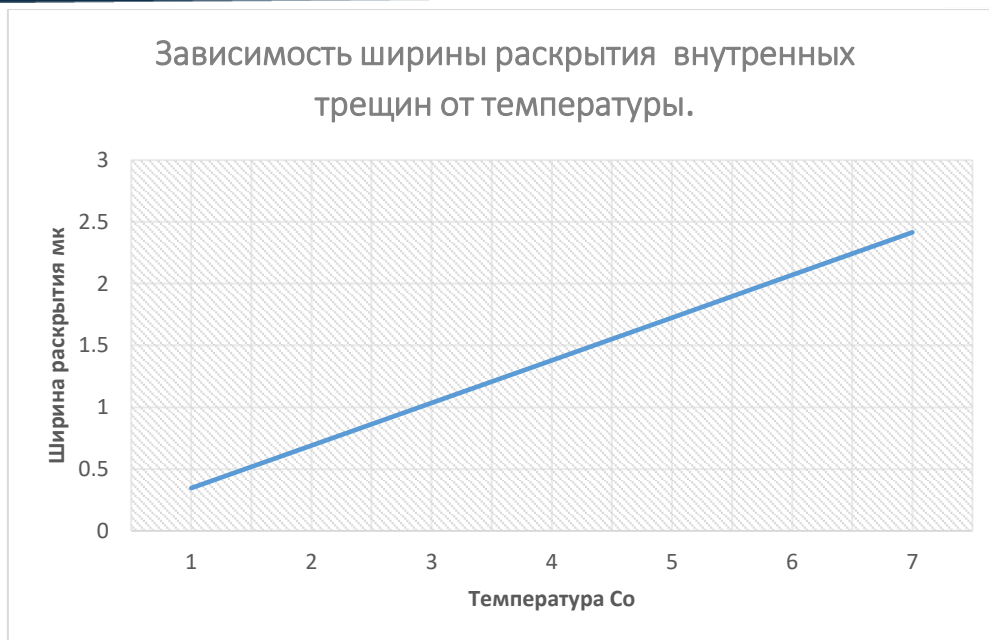


Рис. 1. Изменение линейного размера стали толщиной 30 мм при изменении температуры

Как видно, колебание температуры в пределах $+(1 \div 7)^{\circ}\text{C}$ может менять размеры стали от 0,5 до 2,5 мк. Если допустить, что ширина прослойки в трещине имеет близкие к $2 \div 2,5$ мк значения, то вполне возможно, что при прочих равных условиях и ширина прослойки будет меняться в этих же пределах.

Согласно зависимости (1) коэффициент отражения зависит также и от частоты ультразвуковых колебаний f и плотности ρ_c воздушной среды в трещине.

На рис. 2. Приведены расчетные зависимости (1) коэффициента отражения ультразвука от толщины раздела «сталь – воздух», для частот ультразвуковых колебаний 2,5, 5,0 и 10,0 МГц., при следующих начальных условиях:

Скорость ультразвука в стали	- 5920 м/сек
Скорость ультразвука в воздухе	- 340 м/сек
Плотность стали	-7800 г/см ³
Плотность воздуха	-1,2 кг/м ³
Толщина прослойки в трещине	- 0,1 - 2,2 мк

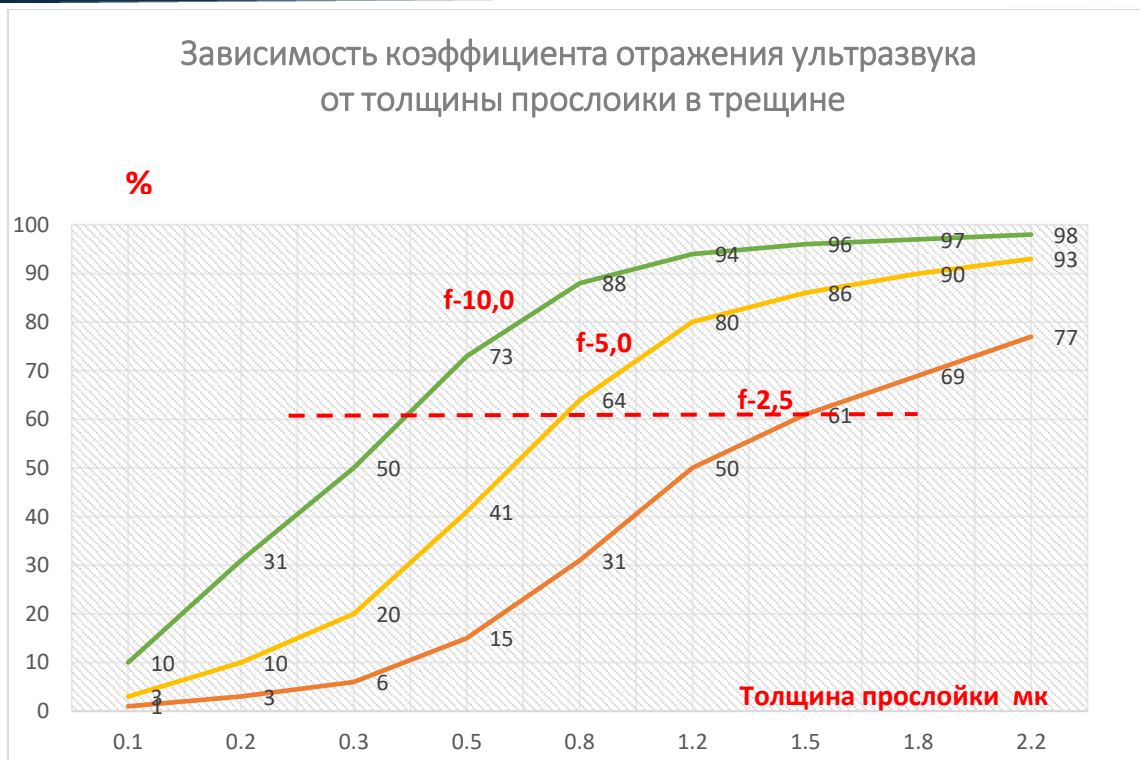


Рис. 2. Расчетные значения коэффициента отражения ультразвука в тонких слоях от раздела среды «сталь – воздух», для значения частоты ультразвука 2,5, 5,0 и 10,0 МГц.

Из расчетных значений видно, что если условно принять коэффициент отражения УЗ=60%, при котором, еще возможно регистрация внутренних неоднородностей, то при некоторых значениях толщины прослойки, они могут становиться «скрытыми» дефектами. И этот порог выявляемости снижается при уменьшении частоты ультразвука. Учитывая зависимость ширины раскрытия трещин от колебания температуры, становится очевидным важность учета температурного фактора.

В реальных условиях, на порог выявляемости внутренних трещин, кроме температурного фактора, могут оказывать влияние шероховатость поверхности контролируемой поверхности, плоскость наклона трещины и рассеяние ультразвука на неровностях дефекта.

Существенное влияние на выявляемость открытых к поверхности трещин могут оказывать заполнение прослойки водой или маслом. В таких случаях, для ультразвукового контроля, трещины становятся практически «скрытыми» дефектами.

С некоторым приближением, эти выводы можно проверить экспериментальным измерением интенсивности отраженного ультразвука от трещин, в образце вырезанного из дефектного изделия.

Рис. 3.

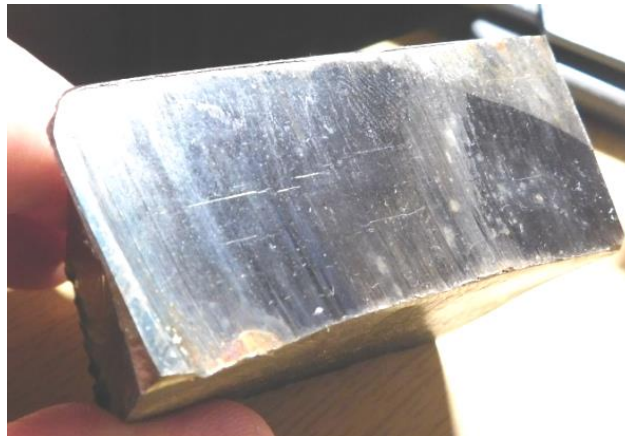


Рис. 3. Трещины видны на боковой поверхности вырезанного образца толщиной 30 мм.

На Рис. (4, 5, 6 и 7) Представлены ультразвуковые а-сканы полученные при измерении глубины залегания трещин при температуре образца (+20° и +3°) С. Измерения проведены дефектоскопом – толщиномером УД9812 при постоянных значениях усиления, на частоте 5 МГц, с применением раздельно совмещенных преобразователей.

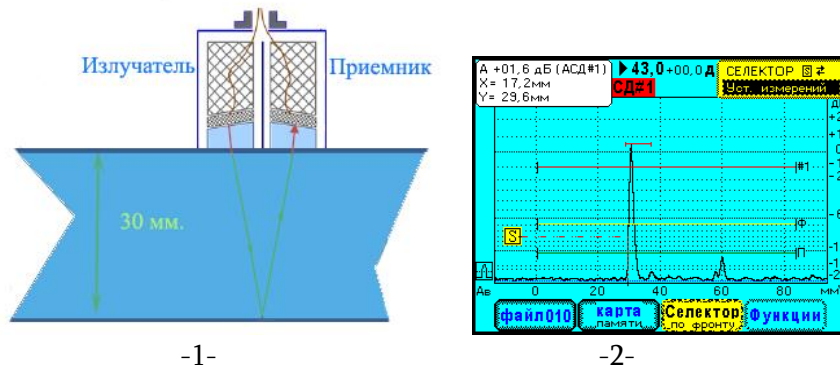
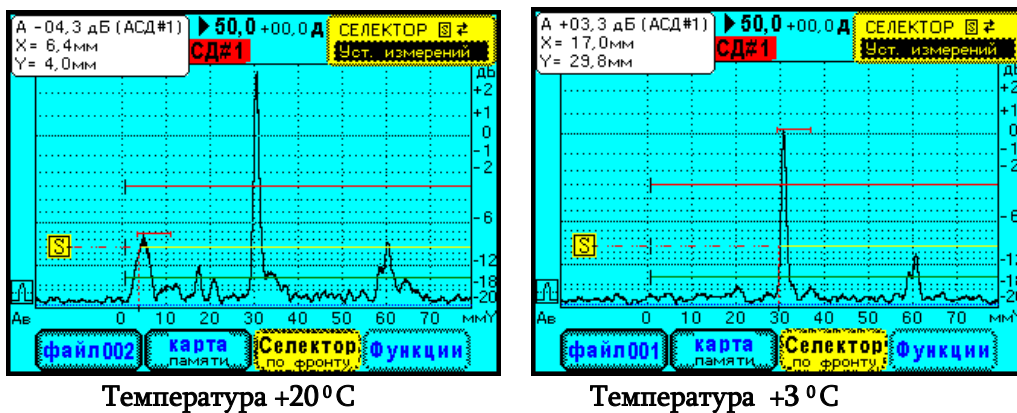
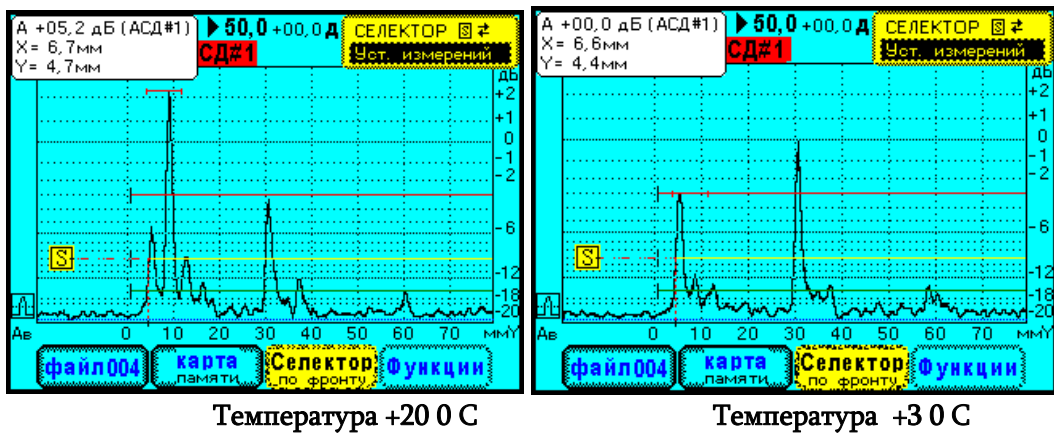


Рис. 4. Схема измерения толщины бездефектного изделия (-1) и соответствующий ультразвуковой а-скан -2-



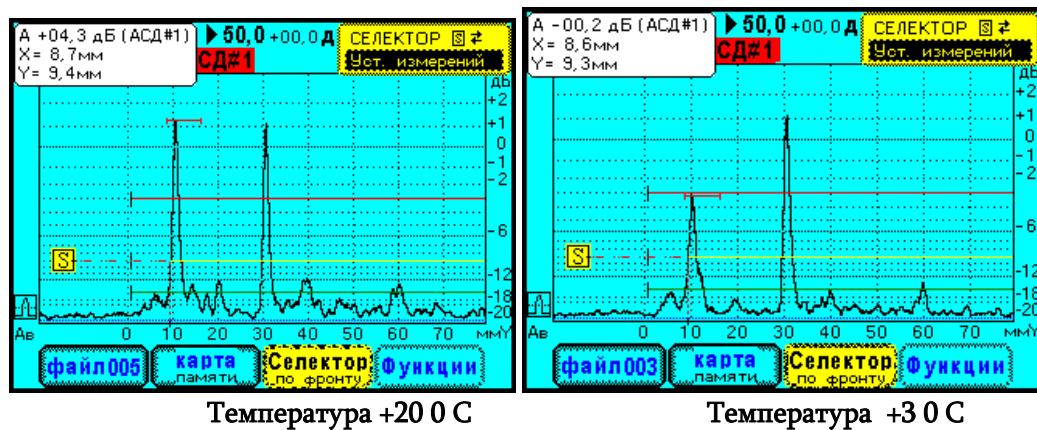
При снижении температуры трещина на глубине 4,0 мм становится «скрытым».

Рис. 5. Место измерения №1



При снижении температуры трещина на глубине 9,0 мм становится «скрытым». Одновременно возрастает уровень отраженного ультразвука от трещины на глубине 4,7 мм и донной поверхности.

Рис. 6. Место измерения №2



Снижается уровень отраженного ультразвука от трещины на глубине 9,4 мм.

Рис. 7. Место измерения №3

Выводы:

- Имеется физическая зависимость между коэффициентом отражения ультразвука и ширины прослойки в трещине, которая в свою очередь может изменяться от температуры изделия и степени механического напряжения вызывающих деформацию контролируемой детали.
- Для улучшения выявляемости внутренних трещин в т.ч. усталостных методами ультразвуковой толщинометрии контроль необходимо проводить при положительных значениях температуры, на частоте ультразвука не ниже 5 МГц.
- Для повышения достоверности выявления усталостных трещин, целесообразно проведение комплексных измерений методами ультразвуковой толщинометрии, АЭ и измерения скорости ультразвука.

Используемая литература:

- [1]- Л.Б. Зуев, В.Я. Целлерман, В.Е. Громов, В.В. Муравьев. Ультразвуковой контроль накопления усталостных повреждений – 1996 г.
- [2]- В.Б. Харитонов Разработка акустических методов контроля для выявления усталостных трещин. – 2015 г.
- [3]- В.М. Картопольцев. Оценка остаточного ресурса металло-конструкции по критерию трещинообразования. 2015 г.
- [4]- А.Э. Толстов Совершенствование методов оценки технического состояния участков Магистральных трубопроводов, содержащих расслоения металла. -2019 г.
- [5]- И.Е. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов. Неразрушающий контроль – 1991 г.

Sing the Ultrasonic Method to Detect Fatigue Cracks in Metal Structures

Irakli Takadze¹, Giorgi Takadze²

¹Society of Technical Diagnostics and Nondestructive Testing of Georgia,
E. Ninoshvili 42, 0102, Tbilisi, Georgia

²Geophysical Neutron Cosmic Ray Observatory. 77a Nutsubidze St., 0160
Tbilisi Georgia

Abstract

The features of identifying fatigue cracks using ultrasonic thickness gauging methods are reviewed. Theoretical calculations of the ultrasonic reflection coefficient from the «steel-air» interface of a thin medium were carried out. Experimental measurements were carried out to detect fatigue cracks in metal products. It has been established that there is a relationship between the ultrasonic reflection coefficient and the width of the layer in the crack, which in turn can change depending on the temperature of the product and the degree of mechanical stress causing deformation of the controlled part.

Keywords: metal structure, fatigue crack, ultrasonic thickness gauging, acoustic emission.

ლითონის კონსტრუქციებში დაღლილობის ბზარების გამოსავლენად ულტრაბგერითი მეთოდის გამოყენება

ირაკლი თაკაძე¹, გიორგი თაკაძე²

¹საქართველოს ტექნიკური დიაგნოსტიკის და ურღვევი კონტროლის
საზოგადოება, ე. ნინოშვილის 42, 0102, თბილისი, საქართველო

²გეოფიზიკური ნეიტრონული კოსმოსური სხივების ობსერვატორია. ნუცუბიძის
77ა, 0160 თბილისი, საქართველო

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია დაღლილობის ბზარების იდენტიფიცირების მახასიათებლები ულტრაბგერითი სისქის საზომი მეთოდების გამოყენებით. განხორციელდა ულტრაბგერითი ასახვის კოეფიციენტის თეორიული გამოთვლები თხელი ფირფიტის "ფოლადი-ჰაერის" ინტერფეისიდან. ჩატარდა ექსპერიმენტული გაზომვები ლითონის პროდუქტებში დაღლილობის ბზარების გამოსავლენად. დადგენილია, რომ არსებობს კავშირი ულტრაბგერითი ასახვის კოეფიციენტსა და ბზარის ფენის სიგანეს შორის, რაც თავის მხრივ შეიძლება შეიცვალოს პროდუქტის ტემპერატურისა და მექანიკური დატვირთვის ხარისხზე, რაც იწვევს კონტროლირებადი ნაწილის დეფორმაციას.

საკვანძო სიტყვები: ლითონის სტრუქტურა, დაღლილობის ბზარი, ულტრაბგერითი სისქის საზომი, აკუსტიკური ემისია.

მონრეალის კონვენციაში მოცემული სხეულის დაზიანების დეფინიციის ცვლილება ევროკავშირის სასამართლოს ახალი პრაქტიკის შედეგად

ბექა ხიტირი

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

ანოტაცია

საერთაშორისო საჰაერო გადაზიდვის ზოგიერთი წესის უნიფიკაციის შესახებ მონრეალის 1999 წლის 28 მაისის კონვენცია (შემდგომში მოხსენიებული, როგორც მონრეალის კონვენცია) ძირითადი დოკუმენტია, რომელიც საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის ფარგლებში ავიაკომპანიების მგზავრთა და ტვირთის გადამზიდავთა მიმართ პასუხისმგებლობის საკითხს განსაზღვრავს¹. ერთ-ერთი საკითხი, რომელიც აღნიშნული კონვენციით არის მოწესრიგებული, არის ავიაკომპანიის მიერ გამოწვეული ზიანის ანაზღაურება, მისი მოცულობა და მასზე წინასწარ უარის თქმის შესაძლებლობის აკრძალვა².

მონრეალის კონვენცია განსაზღვრავს ზიანის ოთხ ძირითად სახეს, რომელიც ანაზღაურდება მისი მოქმედების ფარგლებში - მგზავრის გარდაცვალება, მისი სხეულის დაზიანება, ბარგის განადგურება ან დაკარგვა და ფრენის შეფერხება³. მოცემული სახის რომელიმე ზიანის არსებობის შემთხვევაში, კონვენცია ადგენს, რომ ავიაკომპანია ვალდებულია, წინასწარ განსაზღვრული ლიმიტების ფარგლებში, აანაზღაუროს მიყენებული ზიანი სრული ოდენობით⁴. რაც შეეხება სხვა სახის ნებისმიერ ზიანს, რომელიც შეიძლება, მაგალითად, მგზავრს მიადგეს საერთაშორისო კომერციული ფრენის დროს, მათზე მონრეალის კონვენცია არ ვრცელდება⁵.

შესაბამისად, შეიძლება ითქვას, რომ აღნიშნული ოთხი სახის ზიანის არსებობის შემთხვევაში, საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციაში მოქმედი ძირითადი ნორმატიული აქტი მონრეალის კონვენციაა. აღნიშნული დოკუმენტის უდიდესი მნიშვნელობის მიუხედავად, დღეს მაინც არსებობს სხვადასხვა ბუნდოვანებები, რომლებთან დაკავშირებული პრაქტიკაც მუდმივ ევოლუციას განიცდის, რაც არსებით გავლენას ახდენს საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის განვითარებაზე.

საკვანძო სიტყვები: სხეულის დაზიანება, სასამართლო პრაქტიკა, კონვენცია, ემოციური ტანჯვა, მგზავრთა უფლებები.

¹ De Leon, P.M. Eyskens, W. The Montreal Convention: Analysis of Some Aspects of the Attempted Modernization and Consolidation of the Warsaw System. Journal of Air Law and Commerce, 66.3. 2001. 1155-1185.

² Deviatnikovaitė, I. The Montreal Convention of 1999 and Regulation No 261/2004 in the EUCJ and National Case Law. Baltic Journal of Law & Politics, 11.1. 2018. 21-47.

³ საერთაშორისო საჰაერო გადაზიდვის ზოგიერთი წესის უნიფიკაციის შესახებ მონრეალის 1999 წლის 28 მაისის კონვენცია. მუხლები 17-19.

⁴ საერთაშორისო საჰაერო გადაზიდვის ზოგიერთი წესის უნიფიკაციის შესახებ მონრეალის 1999 წლის 28 მაისის კონვენცია. მუხლები 20-22.

⁵ Grant, J.P. Beyond the Montreal Convention. Case Western Reserve Journal of International Law, 36.2. 2004. 453-472.

ძირითადი ნაწილი

1. „სხეულის დაზიანების“ განმარტება მონრეალის კონვენციის მიხედვით

მონრეალის კონვენციის მიღების მთავარ მიზანს წარმოადგენდა მგზავრთა მიმართ ავიაკომპანიის ბრალეულობით მიყენებულ ზიანთან დაკავშირებული პრაქტიკის უნიფიცირება⁶. თუმცა, მიუხედავად ძირითადი საკითხების ერთი დოკუმენტით მოწესრიგებისა, სახეზე კვლავ იყო დიდი ოდენობით სადავო თემები მასში მოცემული კონცეფციების განმარტებასთან დაკავშირებით⁷.

ერთ-ერთი საკითხი, რომლის დეფინიციასთან დაკავშირებითაც არაერთხელ წარმოშობილა კითხვა, არის „სხეულის დაზიანების“ განმარტება და მისი გავრცელების ფარგლების დადგენა⁸. წარსულში, მონრეალის კონვენციის განმარტებისას, სხვადასხვა ავტორიტეტული სასამართლოები მსჯელობდნენ, რომ „სხეულის დაზიანება“ მხოლოდ ფიზიკურ ტრავმას მოიცავდა⁹. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო როგორც ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ისე ევროკავშირში მოქმედი პრაქტიკა, რომლის მიხედვითაც პირდაპირ იყო დადგენილი, რომ ფსიქოლოგიური ზიანი, ემოციური ტანჯვა ან მსგავსი ხასიათის ზიანი მონრეალის კონვენციის ფარგლებში ანაზღაურებას არ ექვემდებარებოდა¹⁰.

აღნიშნული განპირობებული იყო რამდენიმე საფუძვლით. პირველ რიგში, სასამართლო პრაქტიკა მსჯელობდა, რომ მონრეალის კონვენციაში გამოყენებული ტერმინი „სხეულის დაზიანება“ (ინგლისურად, „bodily injury“) თავისი ბუნებით ვიწროა და კონვენციის ავტორებს რომ ნდომებოდათ ზიანის გავრცელება ფსიქოლოგიურ ტრავმაზე, მოხდებოდა უფრო ფართოდ გავრცელებული ტერმინის, „ჯანმრთელობის დაზიანების“ (ინგლისურად, „Harm to Health“) გამოყენება. შესაბამისად, სხვადასხვა სასამართლოს გადაწყვეტილებისა და აკადემიური ლიტერატურის მიერ გაზიარებული იყო მოსაზრება, რომ მონრეალის კონვენციის ტექსტში ფსიქოლოგიური ტრავმის ან ე.წ. მორალური ზიანის ანაზღაურება გათვალისწინებული არ იყო, ამიტომ შესაბამისი საერთაშორისო ხელშეკრულება ასეთ შემთხვევებზე არ უნდა გავრცელებულიყო¹¹.

მეორე მიმართულება, რომლიდანაც გამომდინარეობდა მორალურ და ფსიქოლოგიურ ზიანზე მონრეალის კონვენციის გაუვრცელებლობა იყო ამასთან დაკავშირებული რისკები. უფრო ზუსტად, პრაქტიკაში გვხვდებოდა მოსაზრება, რომ რადგანაც მორალური ან ფსიქოლოგიური ზიანის დამტკიცება განსაკუთრებით რთულია, ადვილი იქნებოდა ასეთი ანაზღაურების

⁶ Rushing, D.G. Janicki, D.G. Treatment of Posttraumatic Stress Disorder Claims under the Warsaw Convention. *Journal of Air Law and Commerce*, 70.3. 2005. 429-466.

⁷ გეფერიძე, დ. საერთაშორისო საჰაერო გადაყვანა-გადაზიდვების საერთაშორისო სამართლებრივი რეგულირების ასპექტები. სამართლის დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაცია. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის საერთაშორისო უნივერსიტეტი. 2009. 1-153.

⁸ De Leon, P.M. Eyskens, W. The Montreal Convention: Analysis of Some Aspects of the Attempted Modernization and Consolidation of the Warsaw System. *Journal of Air Law and Commerce*, 66.3. 2001. 1155-1185.

⁹ Field, A. Air Travel, Accidents, and Injuries: Why the New Montreal Convention is Already Outdated. *Dalhousie Law Journal*, 28.1. 2005. 69-97.

¹⁰ Asimakis, J.P. Still Lagging Behind: Diagnosing Judicial Approaches to “Bodily Injury” Claims for Psychiatric Injury under the Montreal Convention of 1999. *UNSW Law Journal*, 44.4. 2021. 1281-1335.

¹¹ Kastela, S. Miljak, Z. Bozicevic, J. Air Carrier's Liability for Damages According to the New Montreal Convention. *Promet - Traffic & Transportation Journal*, 13.1. 2001. 55-58.

მოთხოვნის უფლებით ბოროტად სარგებლობა¹². მონრეალის კონვენცია საკმაოდ მაღალ ტვირთს უწესებს ავიაკომპანიას იმასთან დაკავშირებით, თუ რაზეა იგი პასუხისმგებელი. შედეგად, არსებობდა მსჯელობა, რომ ფსიქოლოგიური ტრავმა, მისი ობიექტურად დამტკიცების სირთულის გათვალისწინებით, იქნებოდა ზიანის სახეობა, რომელზე ავიაკომპანიის პასუხისმგებლობის საკითხის დადგენაც ამ უკანასკნელისთვის გაუმართლებლად მაღალი ტვირთი იქნებოდა¹³.

შედეგად, მიუხედავად სხვადასხვა დროსა და იურისდიქციაში მრავალი მცდელობისა, მონრეალის კონვენციასთან დაკავშირებული პრაქტიკა უცვლელი იყო. 2022 წლამდე, რეალურად, აღნიშნული საერთაშორისო ხელშეკრულების მოქმედების ფარგლებში არ ხორციელდებოდა ფსიქოლოგიური ან/და მორალური ზიანის ანაზღაურება.

2. ევროკავშირის სასამართლოს მიერ დადგენილი ახალი პრაქტიკა

2022 წლის 20 ოქტომბრის გადაწყვეტილებაში საქმეზე BT v. Laudamotion GmbH, ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლომ მნიშვნელოვნად შეცვალა „სხეულის დაზიანების“ დეფინიციის განმარტება. კერძოდ, სასამართლომ იმსჯელა, რომ ფსიქოლოგიური ტრავმა, რომელიც მგზავრს მიადგება საჰაერო ხომალდის ბორტზე ან ჩასხდომის ან გადმოსხდომის ნებისმიერი ოპერაციის დროს, უნდა იქნეს განხილული, როგორც სხეულის დაზიანება¹⁴. სასამართლომ ისაუბრა, რომ არ არის აუცილებელი, სახეზე იყოს ფიზიკური ტრავმა და თუნდაც სახეზე იყოს მხოლოდ ფსიქოლოგიური ტანჯვა, თუკი ეს გამოიწვევს სამედიცინო მკურნალობის აუცილებლობას და გავლენას ახდენს მგზავრის „ზოგად ჯანმრთელობაზე“, მაშინ აუცილებელია, მოხდეს მისი ანაზღაურება ავიაკომპანიის მიერ¹⁵.

სასამართლომ იმსჯელა, რომ „სხეულის დაზიანება“ უნდა მოიცავდეს ჯანმრთელობასთან დაკავშირებულ ყველა სახის ზიანს. აღსანიშნავია, რომ მსჯელობა არ იყო კონცენტრირებული იმ ძირითადი არგუმენტების გაბათილებაზე, რომლებიც ზემოთ იქნა განხილული. ამის ნაცვლად, სასამართლომ საკმაოდ ლაკონურად ისაუბრა, რომ ადამიანის სხეული მოიცავს მის ყველა ნაწილს, მათ შორის ფსიქოლოგიურ განზომილებასაც.

დამატებით, ასევე წარმოდგენილი იქნა მოსაზრება, რომ მონრეალის კონვენცია უნდა იცავდეს მომხმარებელთა (ამ შემთხვევაში, მგზავრთა) უფლებებს და მის გარეშე ამ უკანასკნელთა ინტერესების დაცვა ნაკლებად ეფექტურად არის შესაძლებელი. შედეგად, პირი, რომელსაც მიადგება მორალური ზიანი, ფაქტობრივად, არ არის დაცული მონრეალის კონვენციით, რაც სამართლიანად ვერ ჩაითვლება. შესაბამისად, სასამართლოს მიერ განვითარებული იქნა პოზიცია, რომ, მონრეალის კონვენციის მიხედვით, „სხეულის დაზიანება“ უნდა განიმარტოს ისე, რომ ფსიქოლოგიური ან მორალური ზიანი ექვემდებარებოდეს ანაზღაურებას, მიუხედავად მოქმედ პრაქტიკაში ასეთი ცვლილებიდან გამომდინარე რისკებისა და საფრთხეებისა.

¹² De Leon, P.M. Eyskens, W. The Montreal Convention: Analysis of Some Aspects of the Attempted Modernization and Consolidation of the Warsaw System. *Journal of Air Law and Commerce*, 66.3. 2001. 1155-1185.

¹³ Naboush, E. Air Carrier's Liability for the Safety of Passengers during COVID-19 Pandemic. *Journal of Air Transport Management*, 89. 2020. 1-9.

¹⁴ Judgment of the Court (Third Chamber), 20 October 2022 (Case C-111/21). ECLI:EU:C:2022:808. Paragraph 33.

¹⁵ *Ibid.*

3. ახალი პრაქტიკის პოტენციური შედეგები

ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლოს მიერ დადგენილ ახალ პრაქტიკას უკვე ჰქონდა გავლენა სხვადასხვა ქვეყნებში არსებულ რეალობაზე. მაგალითად, ისრაელის უზენაესმა სასამართლომ ასევე დაასაბუთა, რომ მორალური და სხვა მსგავსი არა-ფიზიკური ზიანი ანაზღაურებას ექვემდებარება მონრეალის კონვენციის შესაბამისად¹⁶. ამავე ხასიათის ცვლილება შეიტანა სასამართლო პრაქტიკაში ინდოეთის უზენაესმა სასამართლომაც¹⁷. შესაბამისად, შეიძლება იმაზე საუბარი, რომ ევროკავშირის მიერ დადგენილი ახალი პრაქტიკა გავლენას ახდენს საერთაშორისო რეალობაზე და მონრეალის კონვენციის რელევანტური პუნქტის ალტერნატიული განმარტება შესაძლოა, უნივერსალურ სტანდარტად მოგვევლინოს.

პოტენციური პრობლემები და საფრთხეები, რომლებიც ასეთი ცვლილებიდან გამომდინარეობს, ძირითადად უკავშირდება მგზავრთა მიერ საკუთარი უფლებების ბოროტად გამოყენების რისკს. მორალური ან ფსიქოლოგიური ზიანის დამტკიცება განსაკუთრებით დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული¹⁸. შედეგად, ევროკავშირის მიერ წარმოდგენილი რედაქტირებული სასამართლო პრაქტიკა უშვებს იმის შანსს, რომ ავიაკომპანიებს დაეკისროთ გაუმართლებლად მაღალი ტვირთი. ცვლილების სიახლიდან გამომდინარე, ამ ეტაპზე რთულია იმის თქმა, რამდენად გაიზრდება მონრეალის კონვენციაზე დაყრდნობით მგზავრთა მიერ უსაფუძვლო მოთხოვნების დაყენების სიხშირე, თუმცა ნამდვილად შეიძლება იმაზე საუბარი, რომ ასეთი რისკი ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლოს ახალი გადაწყვეტილების საფუძველზე გაზრდილია.

მეორე მხრივ, ასევე მნიშვნელოვანია იმის აღიარება, რომ იმ მგზავრებს, რომლებსაც ავიაკომპანიის ბრალეულობით მიაღდათ ფსიქოლოგიური ან მორალური ზიანი, აქამდე მნიშვნელოვნად უარესი სამართლებრივი მდგომარეობა ჰქონდათ. განახლებული პრაქტიკა ამ უსამართლობის გამოსწორებას მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს. ამიტომ, გარდა რისკებისა, ნამდვილად აღსანიშნავია ის პოზიტიური გავლენა, რომელიც ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლოს 2022 წლის 20 ოქტომბრის გადაწყვეტილებას შეუძლია, ჰქონდეს საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის განვითარებაზე.

¹⁶ Shalom, C. The Israeli Supreme Court Rules Non-material Losses are Recoverable Under Montreal Convention. *Air and Space Law Journal*, 48.2. 2023. 225-232.

¹⁷ Kumar, V. Sharma, S. Indian Aviation Liability Regime Through the Prism of International Aviation Liability Law. *Indian Journal of Integrated Research in Law*, 2.6. 2023. 1-12.

¹⁸ Asimakis, J.P. Still Lagging Behind: Diagnosing Judicial Approaches to “Bodily Injury” Claims for Psychiatric Injury under the Montreal Convention of 1999. *UNSW Law Journal*, 44.4. 2021. 1281-1335.

დასკვნა

როგორც ზემოთ იქნა განხილული, ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლოს 2022 წლის 20 ოქტომბრის გადაწყვეტილება მნიშვნელოვან ცვლილებას წარმოადგენს მონრეალის კონვენციის ინტერპრეტაციასთან დაკავშირებით. მგზავრთა მიერ წარსულში ათასობით მოთხოვნა იყო დაყენებული ფსიქოლოგიური ან/და მორალური ზიანის ანაზღაურებასთან დაკავშირებით, რომლებიც წარუმატებლად სრულდებოდა, რადგანაც არსებობდა მიდგომა, რომ ამ სახის ზიანზე მონრეალის კონვენცია არ ვრცელდებოდა. ახალი პრაქტიკით, შესაძლებელი ხდება რომ იმ მგზავრების, რომლებსაც რეალური ზიანი მიადგებათ ავიაკომპანიის ბრალეულობით, უფლებები დაცული იყოს და სამართლიანობა აღდგეს მათთან დაკავშირებით.

საბოლოო ჯამში, ამ ეტაპზე რთულია იმის თქმა, რამდენად პოზიტიურ თუ ნეგატიურ ცვლილებად მოგვევლინება ევროკავშირის მართლმსაჯულების სასამართლოს ეს გადაწყვეტილება. თუმცა, მონრეალის კონვენციის უდიდესი ღირებულების გათვალისწინებით, ნამდვილად აღსანიშნავია, რომ ეს ცვლილება აუცილებლად იქნება გლობალური მასშტაბით გავლენისა და მნიშვნელობის მქონე და მისი შედეგები არსებითად აისახება საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის მომავალზე.

Changes in the definition of bodily injury in the Montreal Convention as a result of the new practice of the Court of Justice of the European Union

Beka Khitiri

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

Abstract

The Montreal Convention of May 28, 1999 on the Unification of Certain Rules of International Air Carriage (hereinafter referred to as the Montreal Convention) is the main document that defines the issue of responsibility of airlines to passengers and cargo carriers within the framework of international civil aviation. One of the issues regulated by the mentioned convention is the compensation of the damage caused by the airline company, its volume and the prohibition of the possibility to refuse it in advance.

The Montreal Convention defines four main types of damages that are compensated within its scope - death of the passenger, bodily injury, destruction or loss of baggage and flight delay. In case of any damage of this type, the convention stipulates that the airline is obliged, within the predetermined limits, to compensate the damage in full. As for any other type of damage that may, for example, occur to a passenger during an international commercial flight, the Montreal Convention does not apply to them.

Accordingly, it can be said that in the case of the existence of the mentioned four types of damage, the main normative act in international civil aviation is the Montreal Convention. Despite the great importance of the mentioned document, there are still various ambiguities today, the practices related to which are constantly evolving, which have a significant impact on the development of international civil aviation.

Keywords: *bodily injury, judicial practice, convention, emotional suffering, passengers' rights.*

პერსონალურ მონაცემთა დაცვა

გულნარა კოტიკაძე

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

რეზიუმე

პერსონალურ მონაცემთა დაცვის მიზანია, პერსონალური მონაცემის დამუშავებისას უზრუნველყოს ადამიანის უფლებათა და თავისუფლებათა, მათ შორის, პირადი ცხოვრების ხელშეუხებლობის დაცვა.

პერსონალური მონაცემი (შემდგომ – მონაცემი) არის ნებისმიერი ინფორმაცია, რომელიც უკავშირდება იდენტიფიცირებულ ან იდენტიფიცირებად ფიზიკურ პირს. პირი იდენტიფიცირებადია, როდესაც შესაძლებელია მისი იდენტიფიცირება პირდაპირ ან არაპირდაპირ, კერძოდ, საიდენტიფიკაციო ნომრით ან პირის მახასიათებელი ფიზიკური, ფიზიოლოგიური, ფსიქოლოგიური, ეკონომიკური, კულტურული ან სოციალური ნიშნებით.

საკვანძო სიტყვები: უსაფრთხოება, დაცვა, მონაცემთა ტიპები.

შესავალი

განსაკუთრებული კატეგორიის მონაცემი – მონაცემი, რომელიც დაკავშირებულია პირის რასობრივ ან ეთნიკურ კუთვნილებასთან, პოლიტიკურ შეხედულებებთან, რელიგიურ ან ფილოსოფიურ მრწამსთან, პროფესიულ კავშირში გაწევრებასთან, ჯანმრთელობის მდგომარეობასთან, ნასამართლობასთან, ადმინისტრაციულ პატიმრობასთან, პირისთვის აღკვეთის ღონისძიების შეფარდებასთან, პირთან საპროცესო შეთანხმების დადებასთან, განრიდებასთან, დანაშაულის მსხვერპლად აღიარებასთან ან დაზარალებულად ცნობასთან, აგრეთვე ბიომეტრიული და გენეტიკური მონაცემები, რომლებიც ზემოაღნიშნული ნიშნებით ფიზიკური პირის იდენტიფიცირების საშუალებას იძლევა;

ბიომეტრიული მონაცემი – ფიზიკური, ფსიქიკური ან ქცევის მახასიათებელი, რომელიც უნიკალური და მუდმივია თითოეული ფიზიკური პირისათვის და რომლითაც შესაძლებელია ამ პირის იდენტიფიცირება (თითის ანაბეჭდი, ტერფის ანაბეჭდი, თვალის ფერადი გარსი, თვალის ბადურის გარსი (თვალის ბადურის გამოსახულება), სახის მახასიათებელი);

გენეტიკური მონაცემი – მონაცემთა სუბიექტის უნიკალური და მუდმივი მონაცემი გენეტიკური მემკვიდრეობის ან/და დნმ-ის კოდის შესახებ, რომლითაც შესაძლებელია ამ პირის იდენტიფიცირება;

მონაცემთა დამუშავება – ავტომატური, ნახევრად ავტომატური ან არაავტომატური საშუალებების გამოყენებით მონაცემთა მიმართ შესრულებული ნებისმიერი მოქმედება, კერძოდ, შეგროვება, ჩაწერა, ფოტოზე აღბეჭდვა, აუდიოჩაწერა, ვიდეოჩაწერა, ორგანიზება, შენახვა, შეცვლა, აღდგენა, გამოთხოვა, გამოყენება ან გამჟღავნება მონაცემთა გადაცემის, გავრცელების ან სხვაგვარად ხელმისაწვდომად გახდომის გზით, დაჯგუფება ან კომბინაცია, დაბლოკვა, წაშლა ან განადგურება;

მონაცემთა ავტომატური დამუშავება – მონაცემთა ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებით დამუშავება;

მონაცემთა ნახევრად ავტომატური დამუშავება – მონაცემთა ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენებით და არაავტომატური საშუალებებით დამუშავება;

მონაცემთა სუბიექტი – ნებისმიერი ფიზიკური პირი, რომლის შესახებ მონაცემიც მუშავდება;

თანხმობა – მონაცემთა სუბიექტის მიერ შესაბამისი ინფორმაციის მიღების შემდეგ მის შესახებ მონაცემთა განსაზღვრული მიზნით დამუშავებაზე ზეპირად, სატელეკომუნიკაციო ან სხვა შესაბამისი საშუალებით გამოხატული ნებაყოფლობითი თანხმობა, რომლითაც შესაძლებელია ნათლად დადგინდეს მონაცემთა სუბიექტის ნება;

მონაცემთა სუბიექტის წერილობითი თანხმობა – მონაცემთა სუბიექტის მიერ შესაბამისი ინფორმაციის მიღების შემდეგ, მის შესახებ მონაცემთა განსაზღვრული მიზნით დამუშავებაზე გამოხატული ნებაყოფლობითი თანხმობა, რომელსაც მონაცემთა სუბიექტმა ხელი მოაწერა ან სხვაგვარად აღნიშნა წერილობით ან მასთან გათანაბრებული ფორმით;

მონაცემთა დამმუშავებელი – საჯარო დაწესებულება, ფიზიკური ან იურიდიული პირი, რომელიც ინდივიდუალურად ან სხვებთან ერთად განსაზღვრავს პერსონალურ მონაცემთა დამუშავების მიზნებსა და საშუალებებს, უშუალოდ ან უფლებამოსილი პირის მეშვეობით ახორციელებს მონაცემთა დამუშავებას;

უფლებამოსილი პირი – ნებისმიერი ფიზიკური ან იურიდიული პირი, რომელიც ამუშავებს მონაცემებს მონაცემთა დამმუშავებლისათვის ან მისი სახელით;

მონაცემთა მიმღები – კერძო ან საჯარო დაწესებულება, ფიზიკური ან იურიდიული პირი, კერძო ან საჯარო სექტორის თანამშრომელი, რომელსაც გადაეცა მონაცემები, გარდა სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურისა;

მესამე პირი – ნებისმიერი ფიზიკური ან იურიდიული პირი, საჯარო დაწესებულება, გარდა მონაცემთა სუბიექტისა, სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურისა, მონაცემთა დამმუშავებლისა და უფლებამოსილი პირისა;

ფაილური სისტემა – მონაცემთა სტრუქტურულიზებული წყება, რომელშიც ისინი დალაგებული და ხელმისაწვდომია კონკრეტული კრიტერიუმის მიხედვით;

ფაილური სისტემის კატალოგი – ფაილური სისტემის სტრუქტურისა და შინაარსის დეტალური აღწერილობა;

ფაილურ სისტემათა კატალოგების რეესტრი – რეესტრი, რომელიც უზრუნველყოფს არსებული ფაილური სისტემების დეტალურ აღრიცხვას;

მონაცემთა დაბლოკვა – მონაცემთა დამუშავების დროებით შეჩერება;

მონაცემთა დეპერსონალიზაცია – მონაცემთა იმგვარი მოდიფიკაცია, რომ შეუძლებელი იყოს მათი დაკავშირება მონაცემთა სუბიექტთან ან ასეთი კავშირის დადგენა არაპროპორციულად დიდ ძალისხმევას, ხარჯებსა და დროს საჭიროებდეს;

საიდენტიფიკაციო ნომერი – პირადი საიდენტიფიკაციო ნომერი ან კანონით განსაზღვრული, ფიზიკურ პირთან დაკავშირებული ნებისმიერი სხვა საიდენტიფიკაციო ნომერი, რომლითაც შესაძლებელია ფაილური სისტემიდან (სადაც საიდენტიფიკაციო ნომერი ასევე დამუშავებულია) მონაცემთა მოძიება ან გამჟღავნება;

სახელმწიფო ინსპექტორი – „სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურის შესახებ“ საქართველოს კანონით გათვალისწინებული თანამდებობის პირი, რომელიც პასუხისმგებელია მონაცემთა დაცვის მარეგულირებელი კანონმდებლობის შესრულების ზედამხედველობისთვის;

პირდაპირი მარკეტინგი – ფოსტის, სატელეფონო ზარების, ელექტრონული ფოსტის ან სხვა სატელეკომუნიკაციო საშუალებით საქონლის, მომსახურების, დასაქმების ან დროებითი სამუშაოს შეთავაზება.

კანონის მოქმედების სფერო

პერსონალურ მონაცემთა დაცვის კანონის მოქმედება ვრცელდება საქართველოს ტერიტორიაზე ავტომატური და ნახევრად ავტომატური საშუალებებით მონაცემთა დამუშავებაზე, არაავტომატური საშუალებებით იმ მონაცემთა დამუშავებაზე, რომლებიც ფაილური სისტემის ნაწილია ან ფაილურ სისტემაში შეტანის მიზნით მუშავდება, აგრეთვე დანაშაულის თავიდან აცილებისა და გამოძიების, ოპერატიულ-სამძებრო ღონისძიებებისა და მართლწესრიგის დაცვის მიზნებისათვის სახელმწიფო საიდუმლოებისათვის მიკუთვნებულ მონაცემთა ავტომატურ დამუშავებაზე, გარდა ამ მუხლით გათვალისწინებული გამონაკლისებისა:

1. მონაცემთა არაავტომატური საშუალებებით დამუშავება დაუშვებელია, თუ მისი მიზანია ამ კანონის მოთხოვნების შესრულებისათვის თავის არიდება.

2. ამ კანონის მოქმედება აგრეთვე ვრცელდება:

ა) საზღვარგარეთ საქართველოს დიპლომატიური წარმომადგენლობებისა და საკონსულო დაწესებულებების მიერ მონაცემთა დამუშავებაზე;

ბ) მონაცემთა იმ დამმუშავებლის საქმიანობაზე, რომელიც რეგისტრირებული არ არის საქართველოს ტერიტორიაზე, მაგრამ მონაცემთა დამუშავებისათვის იყენებს საქართველოში არსებულ ტექნიკურ საშუალებებს, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც ეს ტექნიკური საშუალებები გამოიყენება მხოლოდ მონაცემთა ტრანზიტისათვის. ასეთ შემთხვევაში მონაცემთა დამმუშავებელმა უნდა დანიშნოს/განსაზღვროს საქართველოში რეგისტრირებული წარმომადგენელი.

3. ამ კანონის მოქმედება არ ვრცელდება:

ა) ფიზიკური პირის მიერ მონაცემთა აშკარად პირადი მიზნებისათვის დამუშავებაზე, როდესაც მათი დამუშავება დაკავშირებული არ არის მის სამეწარმეო ან პროფესიულ საქმიანობასთან;

ბ) სასამართლოში სამართალწარმოების მიზნებისათვის მონაცემთა დამუშავებაზე, რადგან ამან შეიძლება დააზიანოს სამართალწარმოება სასამართლოს მიერ საბოლოო გადაწყვეტილების გამოტანამდე;

გ) სახელმწიფო უსაფრთხოების (მათ შორის, ეკონომიკური უსაფრთხოების), თავდაცვის, სადაზვერვო და კონტრდაზვერვითი საქმიანობების მიზნებისათვის სახელმწიფო საიდუმლოებისთვის მიკუთვნებულ მონაცემთა დამუშავებაზე;

დ) სახელმწიფო საიდუმლოებისთვის მიკუთვნებული ინფორმაციის (გარდა ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული მონაცემებისა) დამუშავებაზე.

4. ამ კანონის მოქმედება არ ვრცელდება მონაცემთა მედიასაშუალებების მიერ საზოგადოების ინფორმირების მიზნით დამუშავებაზე, აგრეთვე მონაცემთა სახელოვნებო და ლიტერატურული მიზნებისათვის დამუშავებაზე;

5. ამ კანონის მე-19 და მე-20 მუხლების მოქმედება არ ვრცელდება პოლიტიკური პარტიების, პროფესიული და სხვა კავშირებისა და რელიგიური ორგანიზაციების მიერ მათ წევრებთან დაკავშირებულ მონაცემთა დამუშავებაზე;

6. ამ კანონის მე-6 მუხლის მოქმედება არ ვრცელდება საზოგადოებრივი უსაფრთხოების, ოპერატიულ-სამძებრო ღონისძიებებისა და დანაშაულის გამოძიების მიზნით მონაცემთა დამუშავებაზე, თუ საკითხი პირდაპირ და სპეციალურად რეგულირდება საქართველოს

სისხლის სამართლის საპროცესო კოდექსით ან „ოპერატიულ-სამძებრო საქმიანობის შესახებ“ საქართველოს კანონით ან სხვა სპეციალური კანონით;

7. ამ კანონის მე-6 მუხლის მოქმედება არ ვრცელდება „ოფიციალური სტატისტიკის შესახებ“ საქართველოს კანონით გათვალისწინებული მოსახლეობის საყოველთაო აღწერის მიზნით მონაცემთა დამუშავებაზე.

მონაცემთა დამუშავების პრინციპები

მონაცემთა დამუშავებისას დაცული უნდა იქნეს შემდეგი პრინციპები:

ა) მონაცემები უნდა დამუშავდეს სამართლიანად და კანონიერად, მონაცემთა სუბიექტის ღირსების შეუღალავად;

ბ) მონაცემები შეიძლება დამუშავდეს მხოლოდ კონკრეტული, მკაფიოდ განსაზღვრული, კანონიერი მიზნებისათვის. დაუშვებელია მონაცემთა შემდგომი დამუშავება სხვა, თავდაპირველ მიზანთან შეუთავსებელი მიზნით;

გ) მონაცემები შეიძლება დამუშავდეს მხოლოდ იმ მოცულობით, რომელიც აუცილებელია შესაბამისი კანონიერი მიზნის მისაღწევად. მონაცემები უნდა იყოს იმ მიზნის ადეკვატური და პროპორციული, რომლის მისაღწევაც მუშავდება ისინი;

დ) მონაცემები ნამდვილი და ზუსტი უნდა იყოს და, საჭიროების შემთხვევაში, უნდა განახლდეს. კანონიერი საფუძვლის გარეშე შეგროვებული და დამუშავების მიზნის შეუსაბამო მონაცემები უნდა დაიბლოკოს, წაიშალოს ან განადგურდეს;

ე) მონაცემები შეიძლება შენახულ იქნეს მხოლოდ იმ ვადით, რომელიც აუცილებელია მონაცემთა დამუშავების მიზნის მისაღწევად. იმ მიზნის მიღწევის შემდეგ, რომლისთვისაც მუშავდება მონაცემები, ისინი უნდა დაიბლოკოს, წაიშალოს ან განადგურდეს ან შენახული უნდა იქნეს პირის იდენტიფიცირების გამომრიცხავი ფორმით, თუ კანონით სხვა რამ არ არის დადგენილი.

მონაცემთა დამუშავების წესები

მონაცემთა დამუშავების საფუძვლები -

მონაცემთა დამუშავება დასაშვებია, თუ:

ა) არსებობს მონაცემთა სუბიექტის თანხმობა;

ბ) მონაცემთა დამუშავება გათვალისწინებულია კანონით;

გ) მონაცემთა დამუშავება საჭიროა მონაცემთა დამმუშავებლის მიერ მისთვის კანონმდებლობით დაკისრებული მოვალეობების შესასრულებლად;

დ) მონაცემთა დამუშავება საჭიროა მონაცემთა სუბიექტის სასიცოცხლო ინტერესების დასაცავად;

ე) მონაცემთა დამუშავება აუცილებელია მონაცემთა დამმუშავებლის ან მესამე პირის კანონიერი ინტერესების დასაცავად, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც არსებობს მონაცემთა სუბიექტის უფლებებისა და თავისუფლებების დაცვის ალტერნატიული ინტერესი;

ვ) კანონის თანახმად, მონაცემები საჯაროდ ხელმისაწვდომია ან მონაცემთა სუბიექტმა ისინი ხელმისაწვდომი გახადა;

ზ) მონაცემთა დამუშავება აუცილებელია კანონის შესაბამისად მნიშვნელოვანი საჯარო ინტერესის დასაცავად;

თ) მონაცემთა დამუშავება აუცილებელია მონაცემთა სუბიექტის განცხადების განსახილველად (მისთვის მომსახურების გასაწევად).

განსაკუთრებული კატეგორიის მონაცემთა დამუშავება:

1. აკრძალულია განსაკუთრებული კატეგორიის მონაცემთა დამუშავება;

2. მონაცემთა დამუშავება შესაძლებელია მონაცემთა სუბიექტის წერილობითი თანხმობით ან იმ შემთხვევებში, როცა:

ა) ნასამართლობასთან და ჯანმრთელობის მდგომარეობასთან დაკავშირებული მონაცემების დამუშავება აუცილებელია შრომითი ვალდებულებების და ურთიერთობის ხასიათიდან გამომდინარე, მათ შორის, დასაქმების თაობაზე გადაწყვეტილების მისაღებად;

ბ) მონაცემთა დამუშავება აუცილებელია მონაცემთა სუბიექტის ან მესამე პირის სასიცოცხლო ინტერესების დასაცავად და მონაცემთა სუბიექტს ფიზიკურად ან სამართლებრივად უნარი არა აქვს, მონაცემთა დამუშავებაზე თანხმობა განაცხადოს;

გ) მონაცემები მუშავდება საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის დაცვის, ჯანმრთელობის დაცვის ან დაწესებულების (მუშაკის) მიერ ფიზიკური პირის ჯანმრთელობის დაცვის მიზნით, აგრეთვე თუ ეს აუცილებელია ჯანმრთელობის დაცვის სისტემის მართვისათვის ან ფუნქციონირებისათვის;

დ) მონაცემთა სუბიექტმა საჯარო გახადა მის შესახებ მონაცემები მათი გამოყენების აშკარა აკრძალვის გარეშე;

ე) მონაცემები მუშავდება პოლიტიკური, ფილოსოფიური, რელიგიური ან პროფესიული გაერთიანების ან არაკომერციული ორგანიზაციის მიერ ლეგიტიმური საქმიანობის განხორციელებისას. ასეთ შემთხვევაში მონაცემთა დამუშავება შეიძლება დაკავშირებული იყოს მხოლოდ ამ გაერთიანების/ორგანიზაციის წევრებთან ან პირებთან, რომლებსაც მუდმივი კავშირი აქვთ ამ გაერთიანებასთან/ორგანიზაციასთან;

ვ) ხდება მონაცემთა დამუშავება ბრალდებულთა/მსჯავრდებულთა პირადი საქმეებისა და რეესტრების წარმოების, მსჯავრდებულის მიმართ მის მიერ სასჯელის მოხდის ინდივიდუალური დაგეგმვის ან/და მსჯავრდებულის სასჯელის მოხდისგან პირობით ვადამდე გათავისუფლებასთან და მისთვის სასჯელის მოუხდელი ნაწილის უფრო მსუბუქი სახის სასჯელით შეცვლასთან დაკავშირებული საკითხების განხილვის მიზნით;

ზ) მონაცემები მუშავდება „დანაშაულის პრევენციის, არასაპატიმრო სასჯელთა აღსრულების წესისა და პრობაციის შესახებ“ საქართველოს კანონის მე-2 მუხლით გათვალისწინებული სამართლებრივი აქტების აღსრულების მიზნით;

თ) მონაცემები მუშავდება მსჯავრდებულთა და ყოფილ პატიმართა რესოციალიზაციისა და რეაბილიტაციის, დანაშაულის პრევენციის ღონისძიებების განხორციელებისა და არასრულწლოვანთა რეფერირების პროცესის კოორდინაციის მიზნით;

ი) მონაცემები მუშავდება „საერთაშორისო დაცვის შესახებ“ საქართველოს კანონით პირდაპირ გათვალისწინებულ შემთხვევებში;

კ) მონაცემები მუშავდება მიგრაციის მონაცემთა ერთიანი ანალიტიკური სისტემის ფუნქციონირებისათვის;

ლ) მონაცემები მუშავდება სპეციალური საგანმანათლებლო საჭიროების მქონე პირთა განათლების უფლების რეალიზების მიზნით;

მ) მონაცემები მუშავდება „ქალთა მიმართ ძალადობის ან/და ოჯახში ძალადობის აღკვეთის, ძალადობის მსხვერპლთა დაცვისა და დახმარების შესახებ“ საქართველოს კანონის მე-11 მუხლის მე-2 პუნქტით გათვალისწინებული საკითხის განხილვის მიზნით.

გარდაცვლილი პირის შესახებ მონაცემების დაცვა

1. მონაცემთა სუბიექტის გარდაცვალების შემდეგ მის შესახებ მონაცემთა დამუშავება, დასაშვებია მონაცემთა სუბიექტის მშობლის, შვილის, შვილიშვილის ან მეუღლის თანხმობით ან თუ მონაცემთა სუბიექტის გარდაცვალებიდან გასულია 30 წელი;
2. მონაცემთა სუბიექტის გარდაცვალების შემდეგ მის შესახებ მონაცემთა დამუშავება აგრეთვე დასაშვებია, თუ ეს აუცილებელია მემკვიდრეობასთან დაკავშირებული უფლებების რეალიზაციისათვის;
3. მონაცემთა დამუშავება დაუშვებელია, თუ მონაცემთა სუბიექტმა გარდაცვალებამდე წერილობითი ფორმით აკრძალა მის შესახებ მონაცემთა მისი გარდაცვალების შემდეგ დამუშავება, გარდა მონაცემთა კონკრეტული გათვალისწინებული საფუძვლებით დამუშავებისა;
4. გარდაცვლილი პირის სახელის, სქესის, დაბადებისა და გარდაცვალების თარიღების დამუშავებისათვის არ არის საჭირო ამ კანონით გათვალისწინებული მონაცემთა დამუშავების საფუძვლის არსებობა;
5. გარდაცვლილი პირის შესახებ მონაცემები შეიძლება გამჟღავნდეს ისტორიული, სტატისტიკური და კვლევითი მიზნებისათვის, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც გარდაცვლილმა პირმა წერილობითი ფორმით აკრძალა მათი გამჟღავნება.

მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის დამუშავება

1. პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის შეიძლება დამუშავდეს საჯაროდ ხელმისაწვდომი წყაროებიდან მოპოვებული მონაცემები;
2. მონაცემთა შეგროვების მიზნის მიუხედავად, პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის შეიძლება დამუშავდეს შემდეგი მონაცემები: სახელი (სახელები), მისამართი, ტელეფონის ნომერი, ელექტრონული ფოსტის მისამართი, ფაქსის ნომერი;
3. მონაცემთა სუბიექტის მიერ ამ კანონით დადგენილი წესით გაცემული წერილობითი თანხმობის საფუძველზე პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის შეიძლება ნებისმიერი მონაცემი დამუშავდეს;
4. მონაცემთა სუბიექტს უფლება აქვს, მონაცემთა დამუშავებელს ნებისმიერ დროს მოსთხოვოს მის შესახებ მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის გამოყენების შეწყვეტა;
5. მონაცემთა დამუშავებელი ვალდებულია შეწყვიტოს მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის დამუშავება ან/და უზრუნველყოს უფლებამოსილი პირის მიერ მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის დამუშავების შეწყვეტა მონაცემთა სუბიექტის მოთხოვნის მიღებიდან არაუგვიანეს 10 სამუშაო დღისა;
6. მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის დამუშავებისას მონაცემთა დამუშავებელი ვალდებულია შეატყობინოს მონაცემთა სუბიექტს ამ მუხლის მე-4 პუნქტით გათვალისწინებული უფლების შესახებ და უზრუნველყოს, რომ მონაცემთა სუბიექტს ჰქონდეს შესაძლებლობა მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგული მიზნებისათვის დამუშავების შეწყვეტის მოთხოვნისა იმავე ფორმით, რა ფორმითაც ხორციელდება პირდაპირი მარკეტინგი, ან/და განსაზღვროს ხელმისაწვდომი და ადეკვატური საშუალება მონაცემთა პირდაპირი მარკეტინგის მიზნებისათვის დამუშავების შეწყვეტის მოთხოვნისთვის.

ბიომეტრიული მონაცემები

1. ბიომეტრიულ მონაცემთა დამუშავება საჯარო დაწესებულების მიერ

1. საჯარო დაწესებულების მიერ ბიომეტრიულ მონაცემთა დამუშავება შეიძლება მხოლოდ პირის უსაფრთხოებისა და საკუთრების დაცვის მიზნებისათვის, აგრეთვე საიდუმლო ინფორმაციის გამჟღავნების თავიდან აცილების მიზნით, თუ ამ მიზნების სხვა საშუალებით მიღწევა შეუძლებელია ან დაკავშირებულია არაპროპორციულად დიდ ძალისხმევასთან;

2. ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული პირობების მიუხედავად, ბიომეტრიულ მონაცემთა დამუშავება შეიძლება კანონით დადგენილი წესით პირადობის დამადასტურებელი დოკუმენტის გაცემის ან სახელმწიფო საზღვრის გადამკვეთი პირის იდენტიფიკაციის მიზნით, აგრეთვე საქართველოს საკანონმდებლო აქტით პირდაპირ გათვალისწინებულ სხვა შემთხვევაში.

2. კერძო სამართლის იურიდიული პირისა და ფიზიკური პირის მიერ ბიომეტრიულ მონაცემთა დამუშავება

კერძო სამართლის იურიდიული პირისა და ფიზიკური პირის მიერ ბიომეტრიულ მონაცემთა დამუშავება შეიძლება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ეს აუცილებელია საქმიანობის განხორციელების, უსაფრთხოებისა და საკუთრების დაცვის, აგრეთვე საიდუმლო ინფორმაციის გამჟღავნების თავიდან აცილების მიზნებისათვის, თუ ამ მიზნების სხვა საშუალებით მიღწევა შეუძლებელია ან გაუმართლებლად დიდ ძალისხმევას საჭიროებს. თუ კანონით სხვა რამ არ არის დადგენილი, ბიომეტრიულ მონაცემთა გამოყენებამდე მონაცემთა დამმუშავებელმა სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურს უნდა მიაწოდოს იგივე ინფორმაცია, რომელიც მიეწოდება მონაცემთა სუბიექტს, კერძოდ, ინფორმაცია მონაცემთა დამუშავების მიზნისა და მონაცემთა დასაცავად მიღებული უსაფრთხოების ზომების შესახებ.

მონაცემთა სუბიექტის უფლებები

1. მონაცემთა სუბიექტის მიერ ინფორმაციის მოთხოვნის უფლება

1. მონაცემთა სუბიექტს უფლება აქვს, მონაცემთა დამმუშავებელს მოსთხოვოს ინფორმაცია მის შესახებ მონაცემთა დამუშავების თაობაზე. მონაცემთა დამმუშავებელმა მონაცემთა სუბიექტს უნდა მიაწოდოს შემდეგი ინფორმაცია:

- ა) მის შესახებ რომელი მონაცემები მუშავდება;
- ბ) მონაცემთა დამუშავების მიზანი;
- გ) მონაცემთა დამუშავების სამართლებრივი საფუძველი;
- დ) რა გზით შეგროვდა მონაცემები;
- ე) ვისზე გაიცა მის შესახებ მონაცემები, მონაცემთა გაცემის საფუძველი და მიზანი.

2. მონაცემთა სუბიექტისათვის ამ მუხლის პირველი პუნქტის „ე“ ქვეპუნქტით გათვალისწინებული ინფორმაციის მიწოდება სავალდებულო არ არის, თუ მონაცემები, კანონის თანახმად, საჯაროა;

3. მონაცემთა სუბიექტს ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული ინფორმაცია უნდა მიეწოდოს მოთხოვნისთანავე, დაუყოვნებლივ, ან მოთხოვნიდან არაუგვიანეს 10 დღისა, თუ ინფორმაციის მოთხოვნაზე პასუხის გაცემა მოითხოვს:

ა) ინფორმაციის სხვა დაწესებულებაში ან სტრუქტურულ ერთეულში მოძიებასა და დამუშავებას ან მასთან კონსულტაციას;

ბ) მნიშვნელოვანი მოცულობის, ერთმანეთთან დაუკავშირებელი დოკუმენტების მოძიებასა და დამუშავებას;

გ) სხვა დასახლებულ პუნქტში არსებულ მის სტრუქტურულ ქვედანაყოფთან ან სხვა საჯარო დაწესებულებასთან კონსულტაციას.

4. ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული ინფორმაციის მიწოდების ფორმას ირჩევს მონაცემთა სუბიექტი.

5. პირს უფლება აქვს, გაეცნოს მის შესახებ საჯარო დაწესებულებაში არსებულ პერსონალურ მონაცემებს და უსასყიდლოდ მიიღოს ამ მონაცემების ასლები, გარდა იმ მონაცემებისა, რომელთა გაცემისათვის საქართველოს კანონმდებლობით გათვალისწინებულია საფასური.

2. მონაცემთა სუბიექტის მიერ მონაცემთა გასწორების, განახლების, დამატების, დაბლოკვის, წაშლისა და განადგურების მოთხოვნის უფლება.

1. მონაცემთა სუბიექტის მოთხოვნის შემთხვევაში მონაცემთა დამმუშავებელი ვალდებულია გაასწოროს, განახლოს, დაამატოს, დაბლოკოს, წაშალოს ან გაანადგუროს მონაცემები, თუ ისინი არასრულია, არაზუსტია, არ არის განახლებული ან თუ მათი შეგროვება და დამუშავება განხორციელდა კანონის საწინააღმდეგოდ;

2. მონაცემთა დამმუშავებელმა მონაცემთა ყველა მიმღებს უნდა აცნობოს მონაცემთა გასწორების, განახლების, დამატების, დაბლოკვის, წაშლის ან განადგურების შესახებ, გარდა იმ შემთხვევისა, როდესაც ასეთი ინფორმაციის მიწოდება შეუძლებელია მონაცემთა მიმღებების სიმრავლისა და არაპროპორციულად დიდი ხარჯების გამო. ამ უკანასკნელი გარემოების შესახებ უნდა ეცნობოს სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურს;

3. ამ მუხლის მე-2 პუნქტის თანახმად ინფორმაციის მიღების შემთხვევაში მისი მიმღები მხარე ვალდებულია შესაბამისად გაასწოროს, განახლოს, დაამატოს, დაბლოკოს, წაშალოს ან გაანადგუროს მონაცემები.

3. მონაცემთა გასწორების, განახლების, დამატების, დაბლოკვის, წაშლისა და განადგურების პროცედურა

1. ამ კანონის 22-ე მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული მოთხოვნის წარდგენა შესაძლებელია წერილობით, ზეპირად ან ელექტრონული საშუალების გამოყენებით;

2. მონაცემთა სუბიექტის მოთხოვნის მიღებიდან 15 დღის ვადაში მონაცემთა დამმუშავებელი ვალდებულია გაასწოროს, განახლოს, დაამატოს, დაბლოკოს, წაშალოს ან გაანადგუროს მონაცემები ან მონაცემთა სუბიექტს აცნობოს უარის თქმის საფუძველი;

3. თუ მონაცემთა დამმუშავებელი მონაცემთა სუბიექტის მოთხოვნის გარეშე, თავად ჩათვლის, რომ მის ხელთ არსებული მონაცემები არასრულია, არაზუსტია ან არ არის განახლებული, მან შესაბამისად უნდა გაასწოროს ან განახლოს მონაცემები და ეს აცნობოს მონაცემთა სუბიექტს;

4. მონაცემთა სუბიექტის მიერ ამ კანონის 22-ე მუხლის პირველი პუნქტით

გათვალისწინებული მოთხოვნის წარდგენის შემდეგ მონაცემთა დამმუშავებელი უფლებამოსილია განმცხადებლის თხოვნის საფუძველზე დაბლოკოს მონაცემები;

5. მონაცემთა დაბლოკვის შესახებ გადაწყვეტილება მიიღება შესაბამისი მოთხოვნის წარდგენიდან 3 დღის ვადაში და ძალაშია მონაცემთა დამმუშავებლის მიერ მონაცემთა გასწორების, განახლების, დამატების, წაშლისა და განადგურების შესახებ გადაწყვეტილების მიღებამდე;

6. მონაცემთა დაბლოკვის შესახებ გადაწყვეტილება დაბლოკვის მიზეზის არსებობის განმავლობაში უნდა ერთოდეს შესაბამის მონაცემებს.

4. მონაცემთა სუბიექტის უფლების შეზღუდვა

1. მონაცემთა სუბიექტის ამ კანონის მე-15, 21-ე და 22-ე მუხლებით გათვალისწინებული უფლებები საქართველოს კანონმდებლობით შეიძლება შეიზღუდოს, თუ ამ უფლებების რეალიზაციამ შეიძლება საფრთხე შეუქმნას:

- ა) სახელმწიფო უსაფრთხოების ან თავდაცვის ინტერესებს;
- ბ) საზოგადოებრივი უსაფრთხოების ინტერესებს;
- გ) დანაშაულის გამოვლენას, გამოძიებასა და აღკვეთას;
- დ) ქვეყნის მნიშვნელოვან ფინანსურ ან ეკონომიკურ (მათ შორის, მონეტარულ, საბიუჯეტო და საგადასახადო საკითხებთან დაკავშირებულ) ინტერესებს;
- ე) მონაცემთა სუბიექტისა და სხვათა უფლებებსა და თავისუფლებებს.

2. ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული ზომა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მხოლოდ იმ მოცულობით, რომელიც აუცილებელია შეზღუდვის მიზნის მისაღწევად;

3. ამ მუხლის პირველი პუნქტით გათვალისწინებული საფუძვლების არსებობისას მონაცემთა დამმუშავებლის ან სახელმწიფო ინსპექტორის სამსახურის გადაწყვეტილება მონაცემთა სუბიექტს იმგვარად უნდა ეცნობოს, რომ ზიანი არ მიადგეს უფლების შეზღუდვის მიზანს.

დასკვნა

მონაცემთა დამმუშავებელი ვალდებულია მიიღოს ისეთი ორგანიზაციული და ტექნიკური ზომები, რომლებიც უზრუნველყოფს მონაცემთა დაცვას შემთხვევითი ან უკანონო განადგურებისაგან, შეცვლისაგან, გამჟღავნებისაგან, მოპოვებისაგან, ნებისმიერი სხვა ფორმით უკანონო გამოყენებისა და შემთხვევითი ან უკანონო დაკარგვისაგან. მონაცემთა დამმუშავებელი ვალდებულია უზრუნველყოს ელექტრონული ფორმით არსებული მონაცემების მიმართ შესრულებული ყველა მოქმედების აღრიცხვა.

არაელექტრონული ფორმით არსებულ მონაცემთა დამმუშავებისას მონაცემთა დამმუშავებელი ვალდებულია უზრუნველყოს მონაცემთა გამჟღავნებასთან ან/და ცვლილებასთან დაკავშირებული ყველა მოქმედების აღრიცხვა. მონაცემთა უსაფრთხოებისათვის მიღებული ზომები მონაცემთა დამმუშავებასთან დაკავშირებული რისკების ადეკვატური უნდა იყოს. მონაცემთა დამმუშავებლისა და უფლებამოსილი პირის ნებისმიერი თანამშრომელი, რომელიც მონაწილეობს მონაცემთა დამმუშავებაში, ვალდებულია არ გასცდეს მისთვის მინიჭებული უფლებამოსილების ფარგლებს. ამასთანავე, მას ეკისრება ვალდებულება, დაიცვას მონაცემთა საიდუმლოება, მათ შორის, მისი სამსახურებრივი უფლებამოსილების შეწყვეტის შემდეგ.

მონაცემთა უსაფრთხოების დაცვის ზომები განისაზღვრება საქართველოს

კანონმდებლობით. მონაცემთა გამჟღავნებისას მონაცემთა დამმუშავებელი და უფლებამოსილი პირი ვალდებული არიან, უზრუნველყონ შემდეგი ინფორმაციის რეგისტრაცია: რომელი მონაცემი იქნა გამჟღავნებული, ვისთვის, როდის და რა სამართლებრივი საფუძვლით. ეს ინფორმაცია უნდა ინახებოდეს მონაცემთა სუბიექტის შესახებ მონაცემებთან ერთად მათი შენახვის ვადის განმავლობაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. [HTTPS://MATSNE.GOV.GE/KA/DOCUMENT/VIEW/1561437?PUBLICATION=22](https://matsne.gov.ge/ka/document/view/1561437?publication=22), გადამოწმებულია 11/11/2023;
2. ო. შონია, გ. ჯანელიძე, ბ. მეფარიშვილი, ინფორმაციული და ქსელური რესურსების უსაფრთხოების უზრუნველყოფა. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009, 204 გვ. ISBN 978-9941-14-588-9, 681.142(02)/137;
3. სურგულაძე გ., ურუშაძე ბ. საინფორმაციო სისტემების მენეჯმენტის საერთაშორისო გამოცდილება (BSI, ITIL, COBIT). სტუ, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, 2014. -320 გვ. ბიბლ.ინდ. 004/23.

Personal Data Protection

Gulnara Kotrikadze

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

Resume

The purpose of personal data protection is to ensure the protection of human rights and freedoms, including the inviolability of personal life, during the processing of personal data.

Personal data (hereinafter - data) is any information related to an identified or identifiable natural person. A person is identifiable when it is possible to identify him directly or indirectly, namely by an identification number or by physical, physiological, psychological, economic, cultural or social characteristics of a person.

Keywords: *security, protection, data types.*

კვლევები და პრაქტიკული ნაბიჯები ქართული საავიაციო ტექნიკური ტერმინოლოგიის განვითარებისა და სრულყოფისათვის

ს. ტეფნაძე¹, ნ. თიკანაშვილი¹, რ. ხაჩიძე¹, ვ. კელიხაშვილი¹, მ. ოსაძე²

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი, 16, 0103, თბილისი, საქართველო

²თსუ არნ. ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტი, პავლე ინგოროყვას ქუჩა 8, 0108, თბილისი, საქართველო

რეზიუმე

ავიაციისა და საავიაციო ინდუსტრიის სწრაფი განვითარების შედეგად ბოლო წლებში დამუშავდა სრულიად ახალი ტექნოლოგიები და ტექნიკური საშუალებები, რომლებიც დაინერგა და წარმატებით გამოიყენება მთელ მსოფლიოში. შესაბამისად ხმარებაში შემოვიდა საერთაშორისო მნიშვნელობის ახალი საავიაციო ტერმინები და ცნებები. აუცილებელი გახდა მათი ქართული შესატყვისების მოძიება ან ახლის შექმნა, რასაც ბოლო დროს პარალელურად, მაგრამ ერთმანეთთან შეუთანხმებლად, ახორციელებენ სხვადასხვა უწყებები და ორგანიზაციები. საჭირო გახდა საავიაციო დარგის სპეციალისტებისა და ენათმეცნიერების ერთობლივი მუშაობა ამ მიმართულებით.

სტატიაში განხილულია საავიაციო ტერმინოლოგიის განვითარების ეტაპები საქართველოში, შესწავლილია მისი დღევანდელი მდგომარეობა და დასახულია მისი შემდგომი განვითარების გზები.

საკვანძო სიტყვები: საავიაციო ტერმინოლოგია, ლექსიკონი, თარგმნა, ტერმინთბანკი

ძირითადი ნაწილი

ავიაცია და საავიაციო ინდუსტრია სწრაფად ვითარდება თანამედროვე მსოფლიოში. ბოლო რამდენიმე ათეულ წლებში მიმდინარე სამეცნიერო-ტექნიკური კვლევების შედეგად დამუშავდა ახალი ტექნოლოგიები და მათ ბაზაზე გაუმჯობესდა და უმრავლეს შემთხვევაში შეიქმნა ავიაციასთან დაკავშირებული სრულიად ახალი ტექნიკური და საკომუნიკაციო ფუნქციური საშუალებები. ამ შეუჩერებელ პროცესში მონაწილეობს საქართველოც.

საქართველოში ავიაციის ისტორია იწყება გასულ საუკუნეში. ამ პერიოდიდან ქართველი მეცნიერები და ავიატორები ჩართული არიან მსოფლიო ავიაციის განვითარებაში. ქვეყანაში დაარსდა და ჩამოყალიბდა მნიშვნელოვანი საავიაციო ინდუსტრიული და საგანმანათლებლო ორგანიზაციები. ამის მაგალითია თბილისის დიმიტროვის სახელობის №31-ე საავიაციო ქარხანა, რომელიც 1941 წლიდან უშვებდა სხვადასხვა ტიპის საბრძოლო დანიშნულების თვითმფრინავებს. შემდგომში კი მის ბაზაზე ჩამოყალიბდა სამი ორგანიზაცია: საქართველოს სახელმწიფო სამხედრო-სამეცნიერო ტექნიკური ცენტრი „დელტა“, სააქციო საზოგადოება თამ-„თბილავიამშენი“ და შპს „თამ მენეჯმენტი“ საგანმანათლებლო კუთხით ლიდერია „საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი“, რომელიც ფუნქციონირებს 1992 წლიდან და დღეისათვის წარმოადგენს საავიაციო მიმართულებით ყველა საფეხურის უმაღლესი და პროფესიული განათლების მიღების, ასევე საავიაციო დარგში დასაქმებული სპეციალისტების მომზადებისა და გადამზადების მნიშვნელოვან განათლების კერას.

პოსტსაბჰოთა პერიოდში საქართველოში ავიაციის განვითარების პარალელურად საჭირო გახდა ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის მოწესრიგება და განვითარება, რადგან საბჰოთა პერიოდში ყველა საკავშირო და ცენტრალურ მმართველობას დაქვემდებარებულ ორგანიზაციებში დოკუმენტაციის, განსაკუთრებით ტექნიკური დოკუმენტაციის, წარმოება ძირითადად ხორციელდებოდა რუსულ ენაზე. შესაბამისად არასათანადო ყურადღება ექცეოდა ქართული ტექნიკური ტერმინოლოგიის შექმნას და დამკვიდრებას.

ქართული საავიაციო ტერმინოლოგია პირველად გამოჩნდა გასული საუკუნის მე-2 ნახევარში ქართულ ენაზე გამოცემულ რუსულიდან თარგმნილ სახელმძღვანელოებში [1-3], რომელიც განკუთვნილი იყო უმაღლესი და საშუალო ტექნიკური საავიაციო სასწავლებლების სტუდენტებისა და ავიაციის სფეროში მომუშავე სპეციალისტებისათვის.

საქართველოს დამოუკიდებლობის გამოცხადების შემდეგ ქართულ ენაზე ასევე გამოიცა საავიაციო დარგის რამდენიმე სახელმძღვანელო საავიაციო ინსტიტუტის სტუდენტებისათვის [4-6]. დამოუკიდებლობის პირობებში საქართველომ დაამყარა კავშირები მსოფლიოს მრავალ ქვეყანასთან, საქართველოს აეროპორტებიდან დაიწყო საერთაშორისო ფრენების განხორციელება და უკვე ხმარებაში შემოვიდა საავიაციო საერთაშორისო ტერმინები, უმეტესად ინგლისურ ენაზე. შესაბამისად შეიქმნა ინგლისურ-ქართული საავიაციო ლექსიკონის დამუშავების საჭიროება.

სავიაციო ტერმინოლოგიის მოწესრიგების პირველი მცდელობა განხორციელდა 2002 წელს, როდესაც დამუშავდა „ინგლისურ-რუსულ-ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის განმარტებითი ლექსიკონი“ [8] საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საავიაციო სასწავლო-სამეცნიერო ინსტიტუტისა და არნ. ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტის სპეციალისტების ერთობლივი მუშაობით. უკვე ოცი წელი გავიდა ავიაციის დარგში ბოლო ქართული ტერმინოლოგიური ლექსიკონის გამოცემიდან და ამ ხნის განმავლობაში, ცხადია, საავიაციო დარგში გაჩნდა ახალი ტექნოლოგიები, შესაბამისად, დარგს დაემატა ახალი ცნება-ტერმინები, რომელთა უმეტესობა ტერმინოლოგიური ლექსიკონის არარსებობის გამო ქართულში უთარგმნელად მკვიდრდება და ამასთანავე - განსხვავებული ფორმებით, რადგან ეს პროცესი - ტერმინების გადმოტანა - ბოლო წლებია, შესაძლოა ითქვას, მთლიანად მთარგმნელებზეა დამოკიდებული. თითოეულ მთარგმნელს კი ტერმინი თავისებურად გადმოაქვს: კალკირებული ფორმით, ანუ პირდაპირი თარგმანით ან უთარგმნელად, თითოეულ მთარგმნელს კი ტერმინი თავისებურად გადმოაქვს: კალკირებული ფორმით, ანუ პირდაპირი თარგმანით ან უთარგმნელად, ამ შემთხვევაში კი ხშირად განსხვავებულია ტრანსლიტერაციის წესებით. მრავალ საავიაციო ტერმინსა და მათ განმარტებას შეიცავს საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს დირექტორის ბოლო წლებში გამოცემული ბრძანებებით დამტკიცებული სხვადასხვა სახელმძღვანელო დოკუმენტები, რომლებიც შედგენილია და თარგმნილია ინგლისურიდან სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) და ევროკავშირის სამოქალაქო ავიაციის უსაფრთხოების სააგენტოს (EASA) სახელმძღვანელო დოკუმენტების მიხედვით, უმაღლესი სასწავლებლებისთვის განკუთვნილი სახელმძღვანელოები და სხვა სახის ნაშრომები, რომლებიც გამოცემულია ბოლო ოცი წლის განმავლობაში [10-12], საავიაციო საწარმოების შიდა საკონსტრუქტორო და ტექნიკური დოკუმენტაცია. შედეგად ბოლო წლებში თავი იჩინა ტერმინოლოგიურმა სიჭრელემ, გაჩნდა ერთი ცნების აღმნიშვნელი რამდენიმე ტერმინი. ამის დასტურად ქვემოთ მოყვანილია რამდენიმე მაგალითი.

მაგალითი 1. განვიხილოთ საერთაშორისო ინგლისურენოვანი ტერმინები: **Damper, Spoiler, Spar.** ეს ტერმინები, ისე როგორც ბევრი სხვა ტერმინი, სხვადასხვა წყაროში სხვადასხვაგვარად არის წარმოდგენილი. ამათგან ზოგიერთი მათგანი შეიძლება მივიჩნიოთ სინონიმებად. ქვემოთ მოცემულია ცხრილი, სადაც ნაჩვენებია თუ როგორი სახით არიან ისინი წარმოდგენილები ცხრილში მოყვანილ წყაროებში.

ცხრილი 1. სამაგალითო საავიაციო ტერმინები და მათი განმარტებები სხვადასხვა წყაროებში

ლიტერატურა	ტერმინები და მათი შესატყვისები სხვადასხვა წყაროში		
	Damper	Spoiler	Spar
მ. ჭაბაშვილი, უცხო სიტყვათა განმარტებითი ლექსიკონი, 1989 წ.	დემპფერი [გერმ. Dampfer] 1.(ტექ.) რხევათა მაცუჩი; 2.(მუს.) სიმების რხევათა შეწყვეტის მოწყ.	არ მოიძებნა	ლონჯერონი - თვითმფრინავის ფრთის გაყოლებაზე სიმაგრისათვის დატანებული ძელი.
ტექნიკური ტერმინოლოგიის ინგლისურ-ქართული ელექტრონული ლექსიკონი, თსუ, 2016	1. ამორტიზატორი, დემპფერი ; 2.(სპეც.) დემპფერი , რხევების/ვიბრაციის ჩამხშობი; 3.(მეტ.) ფარსაკეტი, შიბერი	1.(ავტ.) სპოილერი, ანტიფრთა; 2.(ავ.) ინტერცეპტორი, სპოილერი	არ მოიძებნა
ინგლისურ-რუსულ-ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის განმარტებითი ლექსიკონი, 2002	Демпфер – დემპფერი	Интерцептор - ინტერცეპტორი	Лонжерон - ლონჯერონი
Англо-русский Словарь по Гражданской Авиации, В.П. Марасанов, Москва, 1989	1. Демпфер ; 2. Амортизатор ; 3. Гаситель (колебаний).	Интерцептор	Лонжерон
ტექნიკური ტერმინოლოგია (რუსულ-ქართული ნაწილი), 1989	Демпфер – დემპფერი	Интерцептор - ინტერცეპტორი	Лонжерон - გრძივი ძელი, ლონჯერონი
„სავიაციო ტერმინოლოგია (რუსულ-ქართული)“, ვ. ბერიაშვილი, თბილისი, 2001 წ.	Демпфер – სახშობი, დემპფერი	Интерцептор - იბ. Спойлер - საქარი	Лонжерон - ლონჯერონი
შემოთავაზება ავტორებისგან	დემპფერი, სახშობი	სპოილერი, ინტერცეპტორი	გრძივი ძელი, ლონჯერონი

მაგალითი 2. ავიაციაში ერთერთი მნიშვნელოვანი პროცესია „აფრენა-დაფრენის ციკლი“.

ქართული საავიაციო ტერმინოლოგია რომ სერიოზულ კვლევასა და დამუშავებას მოითხოვს, ამის ერთერთი მაგალითია სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) მიერ თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის პროცესის უნიფიცირების მიზნით დამუშავებული და დადგენილი პირობითი აფრენისა და დაფრენის სტანდარტული ციკლი (LTO - Landing and Take-off Cycle), რომელიც ეხება თვითმფრინავის მოძრაობას აეროდრომის ზონაში (ცაში - 3000 ფუტის ანუ ≈ 915 მ-ის ქვემოთ და ხმელეთზე - აეროდრომის ზედაპირზე). ციკლი შეიცავს შემდეგ პროცესებს (იხ. სურ 1):

Approach – თვითმფრინავის ფრენის პროცესი ცაში აეროდრომის ზონაში შემოსვლის შემდეგ აეროდრომის დასაფრენი ბილიკის ზედაპირთან შეხებამდე. გრძელდება 4 წუთის განმავლობაში.

Taxi-in – თვითმფრინავის მოძრაობა აეროდრომზე დაფრენიდან გაჩერებამდე. გრძელდება 26 წუთის განმავლობაში.

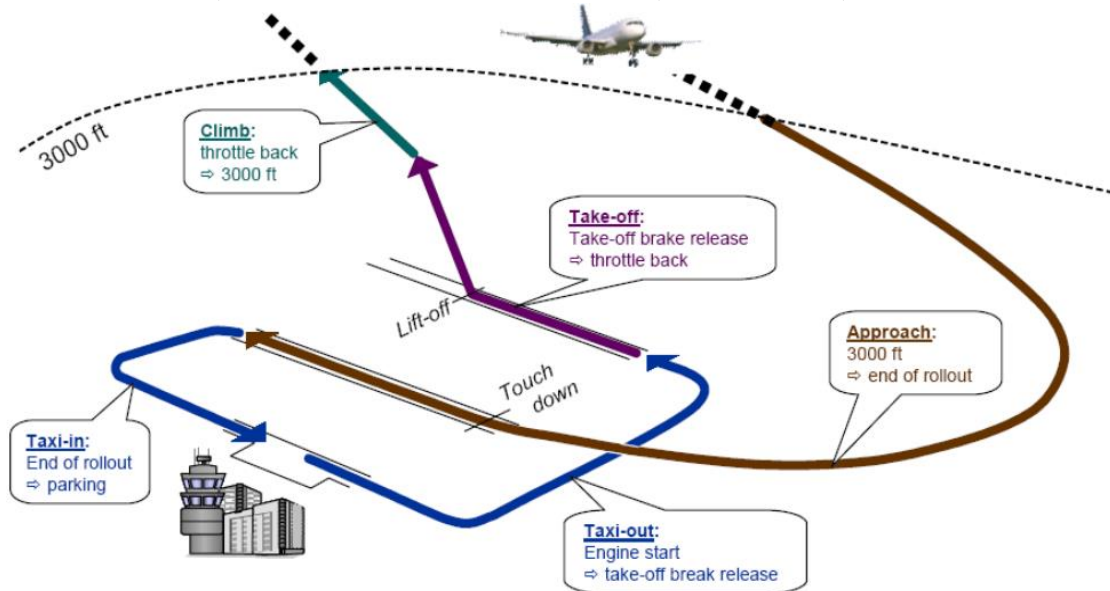
Taxi-out – ძრავაჩართული თვითმფრინავის მოძრაობა აეროდრომზე პარკირების ზონასა და ასაფრენი ბილიკის წერტილს შორის, საიდანაც მოხდება მისი აფრენა.

Take-off – ფრენის ფაზა, რომლის დროსაც თვითმფრინავი გადადის ასაფრენი ბილიკიდან ჰაერში ფრენისკენ. გრძელდება 0.7 წუთის განმავლობაში.

Climb-out - ფრენის ფაზა, რომლის დროსაც თვითმფრინავი აფრენის შემდეგ წინასწარ განსაზღვრულ საკრუიზო სიმაღლეზე ადის. გრძელდება 2,2 წუთის განმავლობაში.

Lift off - წარმოადგენს აფრენის შესახებ გადაწყვეტილების მიღების წერტილს.

Touch down - წარმოადგენს თვითმფრინავის ასაფრენ-დასაფრენ ზოლთან შეხების წერტილს.



სურ. 1. თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის პროცესის უნიფიცირების მიზნით დამუშავებული და დადგენილი პირობითი აფრენისა და დაფრენის სტანდარტული ციკლი (LTO - Landing and Take-off Cycle)

ზემოაღნიშნული ინგლისური ტერმინების ქართული შესატყვისები სრულყოფილად არ არის ასახული ინგლისურ-ქართულ და რუსულ-ქართულ საავიაციო ლექსიკონებში. უკეთესი მდგომარეობაა ინგლისურ-რუსულ საავიაციო ლექსიკონებში.

ქვემოთ წარმოდგენილია ცხრილი, რომელშიც მოცემულია აფრენისა და დაფრენის სტანდარტული ციკლის შემადგენელი პროცესების ინგლისური და რუსული ტერმინები, ამასთან ერთად მოცემულია ქართულ ლექსიკონებში არსებული მათი ქართული შესატყვისები.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ერთიდაიგივე ინგლისურ საერთაშორისო ტერმინს ზოგ შემთხვევაში შეესაბამება სხვადასხვა ქართული ტერმინი. ამდენად დასადგენია და დასაზუსტებელია შესაბამისი ქართული ტერმინები. პრობლემის გადასაწყვეტად ავტორებისაგან შემოთავაზებულია მათი შესაძლო ვარიანტები.

ცხრილი 2. თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის პროცესების ტერმინები და მათი განმარტებები სხვადასხვა წყაროებში

ლიტერატურა	ტერმინები და მათი შესატყვისები სხვადასხვა წყაროში			
	Approach (4 min)	Taxi-in & “Taxi-out” or “Idle” (26 min)	Take-off (0,7 min)	Climb-out (2,2 min)
Англо-русский Словарь по Гражданской Авиации, В.П. Марасанов, Москва, 1989	Заход на посадку	Руление, рулить /режим малого газа; заруливать (на стоянку)	Взлет; отрыв от земли	Набор высоты, подъем
ინგლისურ-რუსულ-ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის განმარტებითი ლექსიკონი, 2002	არის მხოლოდ ილუსტრაციებში: აეროდრომთან მისასვლელი/ დასაფრენად შემოსვლა სურ. 115/სურ.117	არ არის ტექსტში, არის მხოლოდ ილუსტრაციაში (სურ.115): Taxi portion - გასწორების მონაკვეთი	ტექსტში: აფრენა; ილუსტრაციაში: (სურ.122) აფრენა	ტექსტში: სწრაფადმავლობა; ილუსტრაციაში: (სურ.122) - სიმაღლის აღება.
სავიაციო ტერმინოლოგია (რუსულ-ქართული), ვ. ბერიაშვილი, 2001 წ	დასაფრენად შესვლა	სვლა, მოძრაობა, მიმოსვლა	აფრენა	სიმაღლის აღება
საქ. სამოქალაქო ავიაციის მეტეოროლოგიური უზრუნველყოფის წესი, ბრძანება № 50, 15.08. 2003	მიდგომა/მისადგომი	-	აფრენა	-
შემოთავაზება ავტორებისგან	დასაფრენად შესვლა	მიმოსვლა	აფრენა	სწრაფადმავლობა

ამრიგად იმ პრობლემიდან გამომდინარე, რომლებიც დგას საქართველოში საავიაციო ტერმინოლოგიის სფეროში, აუცილებელია და გადაუდებელი ამოცანაა საავიაციო დარგის სპეციალისტებისა და ენათმეცნიერთა ერთობლივი მეცადინეობით ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის სრულყოფილი კვლევა-შესწავლა და მათი შედეგების ანალიზზე დაყრდნობით ქართულ საავიაციო ტერმინთა სხვადასხვა სახის ლექსიკონის შექმნა, რომელიც გამართული იქნება ლექსიკოგრაფიული თვალსაზრისით [13] და მასში აისახება ყველა ის ერთეული, რომლებიც დასტურდება დღეისათვის არსებულ ლექსიკონებსა თუ საავიაციო დოკუმენტაციაში. ენათმეცნიერებთან ერთად შეთანხმებული ტერმინოლოგიური მუშაობა უცხო არ არის ქართული საავიაციო წრეებისათვის, ასეა შექმნილი სამი ქართული საავიაციო ლექსიკონი [7-9]. ეს საკითხი დასმულია თსუ არნ. ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტის თარგმნითი ლექსიკონებისა და სამეცნიერო ტერმინოლოგიის განყოფილების მიერაც. ენათმეცნიერების ინსტიტუტში 2014 წლიდან იქმნება საერთო ტერმინოლოგიური ბაზა, რომელშიც თავს იყრის ქართული ბეჭდური ტერმინოლოგიური ლექსიკონები, სხვა დარგის ტერმინოლოგიურ ლექსიკონებთან ერთად ქართული ტერმინთბანკის ბაზაში უკვე შესულია ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიური ლექსიკონები.

ზემოაღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტმა კიდევ ერთი ნაბიჯი გადადგა - უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებელთა ჯგუფმა არნ. ჩიქობავას ენათმეცნიერების სპეციალისტების ჩართულობით წარადგინა საპროექტო წინადადება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ გამოცხადებულ სახელმწიფო ენის დაცვისა და განვითარების ხელშემწყობ სამეცნიერო კვლევით საგრანტო კონკურსზე, გაიმარჯვა და მოიპოვა დაფინანსება.

პროექტის განხორციელების შედეგად შეიქმნა „სავიაციო ტერმინთა ქართულ-ინგლისური სასწავლო ილუსტრირებული ლექსიკონი“, რომელიც მოიცავს სამოქალაქო ავიაციის საჰაერო ხომალდების ძირითადი ნაწილების შემადგენელი ტექნიკური მოწყობილობებისა და მათი ექსპლუატაციის პროცესების ამსახველ ტერმინებს, მასალა თემატურადაა დალაგებული, ყველა ილუსტრაცია წარმოდგენილია ქართული ტერმინითა და მისი ინგლისური შესატყვისით. ლექსიკონს ახლავს სარჩევი და ტერმინთა საძიებელი როგორც ქართულ, ისე ინგლისურ ენაზე.

სავიაციო ტერმინოლოგიაში ილუსტრაციები უმნიშვნელოვანესია ტერმინის შინაარსის ზუსტად აღქმისათვის, განსაკუთრებით კი მაშინ, როცა ის სასწავლო მიზნებისთვისაა განკუთვნილი, ტერმინის შესაბამისი ილუსტრაცია სწორად გააზრებინებს სტუდენტებს ამა თუ იმ საგნის თუ პროცესის შინაარსს. ლექსიკონის შედგენისას გამოყენებულია საქართველოში სხვადასხვა დროს შექმნილი და გამოცემული ტერმინოლოგიური ლექსიკონები, რომლებიც თავმოყრილია ტერმინოლოგიური ლექსიკონების ერთიან ელექტრონულ ბაზაში, ქართულ ტერმინთბანკში.

ლექსიკონის შედგენაში მონაწილეობდნენ სსუ-ს თანამშრომლები: ს. ტეფნაძე - პროექტის კოორდინატორი, ნ. თიკანაშვილი - პროექტის ხელმძღვანელი, ა.მაისურაძე, რ. ებრალიძე, რ. ხაჩიძე, ვ. კელიხაშვილი, თსუ არნოლდ ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტის თანამშრომელი - მ. ოსაძე, ასისტენტები: დიზაინერ-დამკაბადონებელი ი. ფარცხალაძე,

კომპიუტერის ოპერატორი ე. მჭედლიშვილი, ასევე კონსულტანტები ენათმეცნიერების ინსტიტუტიდან - ლ. ქაროსანიძე და ნ. მუზაშვილი, სსუ-სა და ინსტიტუტს შორის გაფორმებული ურთიერთთანამშრომლობის მემორანდუმის საფუძველზე. სალექსიკონო მასალა დაბეჭდვამდე გასაცნობად დაეგზავნა საავიაციო დარგის მოქმედ ორგანიზაციებს და მიღებულ იქნა შესაბამისი უკუკავშირი.

„საავიაციო ტერმინთა ქართულ-ინგლისური სასწავლო ილუსტრირებული ლექსიკონი“ დაეხმარება საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო და საფრენოსნო ფაკულტეტის პროფესიული საფეხურის, ბაკალავრიატის, მაგისტრატურის, დოქტორანტურის სტუდენტებსა და პროფესორ-მასწავლებლებს, ამავე დროს იგი შეიძლება გამოყენებული იყოს ავიაციის დარგში მომუშავე შესაბამისი პროფილის სპეციალისტთა მიერ.

მადლიერება:

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [SL-22-418, საავიაციო ტერმინთა სასწავლო ილუსტრირებული ქართულ-ინგლისური ლექსიკონი].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] „აეროდინამიკის კურსი“, პ. მ. შირმანოვი, გამომცემლობა „ცოდნა“, თბილისი, 1958 წ;
- [2] „საავიაციო ძრავები“, ვ. ტიუტინოვი, ს. ლოვინსკი, გამომცემლობა „განათლება“, 1971 წ;
- [3] „თვითმფრინავების კონსტრუქცია“, მ. შულჟენკო, გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1982 წ;
- [4] „აეროდინამიკა“, ს. ტეფნაძე, გ. სანაძე, დ. ლელაძე, გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 1977 წ;
- [5] „ფრენის უსაფრთხოება“, ს. ტეფნაძე, დ. ლელაძე, უ. როინიშვილი, გ. სანაძე, სტუ. საავიაციო ინსტიტუტი, 1998 წ;
- [6] „თვითმფრინავის ფრენის თეორია“, ს. ტეფნაძე, უ. როინიშვილი, გ. სანაძე, დ. ლელაძე, სტუ. საავიაციო ინსტიტუტი, 1998 წ;
- [7] „საავიაციო ტერმინოლოგიური ლექსიკონი“, შედგენილი თბილისის საავიაციო ტექნიკუმის სატერმინოლოგიური კომისიის მიერ ვ. ბერიძის რედაქციით, საქ. სსრ მეცნ. აკადემია, აკად. ნ. მარის ენის ინსტიტუტი, თბილისის საავიაციო ტექნიკუმი, თბილისი, 1945;
- [8] „ინგლისურ-რუსულ-ქართული საავიაციო ტერმინოლოგიის განმარტებითი ლექსიკონი“, არნ. ჩიქობავას ენათმეცნიერების ინსტიტუტი, სტუ საავიაციო სასწავლო-სამეცნიერო ინსტიტუტი, თბილისი, 2002 წ;
- [9] „საავიაციო ტერმინოლოგია (რუსულ-ქართული)“, ვ. ბერიაშვილი, სამოქალაქო ავიაციის ადმინისტრაცია, თბილისი, 2001 წ;
- [10] „საჰაერო ხომალდების ფუნქციონალური სისტემები“, ს. ტეფნაძე, ნ. არეშიძე, ლ. თოფურია, გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2005 წ;
- [11] „საავიაციო აირტურბინული ძრავები“, ა. მაისურაძე, წიგნი I, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, თბილისი, 2017 წ;
- [12] „საჰაერო ტრანსპორტი“, სსუ, საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი, №1-16, 2008-2022 წწ;
- [13] „ტერმინოლოგიის პოლიტიკის სახელმძღვანელოს“ (იუნესკო, პარიზი, 2005 წ) ავტორიზებული თარგმანი ზ. კიკვიძის მიერ არნ. ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტის მხარდაჭერით, თბილისი, 2022 წ.

Studies and practical steps for the development and improvement of Georgian aviation technical terminology

S. Tepnadze¹, N. Tikanashvili¹, R. Khachidze¹, V. Kelikhashvili¹, M. Osadze²

¹ Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedopali Avenue, 0103, Tbilisi, Georgia

² TSU Arn. Chikobava Institute of Linguistics, Pavle Ingorokva Street 8, 0108, Tbilisi, Georgia

Abstract

As a result of the rapid development of aviation and the aviation industry, completely new technologies and technical means have been developed in recent years, which have been introduced and are successfully used all over the world. Accordingly, new aviation terms and concepts of international importance came into use. It has become necessary to find their Georgian equivalents or to create new ones, which has recently been implemented by various agencies and organizations in parallel, but without agreement with each other. The joint work of aviation specialists and linguists in this direction became necessary.

The article discusses the stages of development of aviation terminology in Georgia, examines its current state and outlines the ways of its further development.

Keywords: *aviation terminology, dictionary, translation, term bank.*

უპილოტო საფრენი აპარატების ფრენის მართვის პროცესის თავისებურებები

ა. აფხაიძე¹, ს. ხოშტარია², ნ. ხოშტარია²

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ქ. დედოფლის გამზ N16, 0103, თბილისი, საქართველო

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. კოსტავას ქ N77, 0107, თბილისი, საქართველო

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია უპილოტო საფრენი აპარატების (დრონების) მართვის საშუალებების პროცესის უზრუნველყოფა. კოორდინატებისა და მოძრაობის პარამეტრების შესახებ მონაცემების შეგროვება თანამგზავრული კავშირის არხის გამოყენებით ხორციელდება ძირითადი ან სტაციონალური მოძრაობის მართვის პუნქტიდან. დისტანციურად მართვად თანამედროვე დრონებს მაღალი მანევრირების გარდა გააჩნიათ საკმაო ფრენის ხანგრძლივობა და სიმორეც, რაც ზრდის მათი გამოყენების არეალს.

განხილულია დრონის ფრენის ის ფაზა როდესაც მართვის ვიზუალიზაციის სისტემა არ გამოიყენება. შემუშავებულია რეკომენდაციები დრონის ფრენის ფაზების დროს.

საკვანძო სიტყვები: დრონი, ვიზუალიზაცია, საბორტო კომპიუტერული სისტემა, სიჩქარე, მართვის სიგნალები, პარამეტრები, თანამგზავრული კავშირი.

შესავალი

დღესდღეობით დრონების მრავალმხრივი გამოყენებითობის შესაძლებლობა მომხმარებლებს აძლევს საშუალებას მოქნილად და ფართო მასშტაბით წარმატებით და ნაკლები ზარალით აღმოფხრან კატასტროფები და ავარიული შემთხვევები. დრონებზე დამაგრებული ვიდეოკამერა მნიშვნელოვნად ზრდის აპარატის ფუნქციონალურ შესაძლებლობებს, ვინაიდან რეალური დროის პირობებში გადმოსცემს სიტუაციას შესამოწმებელი ზონიდან. საყურადღებოა დრონების გამოყენება, როგორც სამხედრო ასევე სახალხო მეურნეობის სფეროში.

გლობალური ეკოლოგიური კატასტროფები ჯერჯერობით არ შეიმჩნევა, მაგრამ გავქვს საფუძველი ვისაუბროთ გარემოს ანომალურ მდგომარეობაზე, რომელიც შეიძლება გადაიზარდოს კრიზისულში თუ არ იქნება მიღებული სათანადო ზომები.

გარემოზე ზემოქმედების მასშტაბები სხვადასხვაგვარია. ეს ზემოქმედება შესაძლოა პირობითად იყოს შემდეგი: ლოკალური, რეგიონული, გლობალური. აღნიშნულთაგან გამომდინარე გარემოზე ზემოქმედების განსასაზღვრავად მიზანშეწონილია გამოიყენებოდეს დრონები.

ისინი წარმატებით გამოიყენება გარემოში ხანძრის ადგილმდებარეობის დადგენისთვის, მაღალი ძაბვის გადაამცემი ხაზების მდგომარეობის შესასწავლად, ბიოსფეროს დაბინძურების,

ინდუსტრიული და ჭარბად დასახლებული რაიონებიდან ტოქსიკური ნარჩენების ინტენსიურად გავრცელების ტენდენციის აღმოჩენისთვის, სოფლის მეურნეობაში მავნებლების წინააღმდეგ ბრძოლისათვის, რთულად მისაღწევ ობიექტებთან ტვირთის გადატანის უზრუნველსაყოფად, გეოდეზიური სამუშაოების შესრულების დროის ვიზუალიზაციური პროცესის მეთოდის დანერგვისთვის.

დრონების დახმარებით შეგვიძლია გავაკონტროლოთ ობიექტის, როგორც ტექნიკური მდგომარეობა, ასევე მათი უსაფრთხოება და ფუნქციონირება. აქედან გამომდინარე დრონების ფართო გამოყენება სამოქალაქო სექტორის ეკონომიკაში წარმოდგენილია სამეცნიერო და ტექნიკური ამოცანების, ასევე საკანონმდებლო-ნორმატიული და ორგანიზაციული პრობლემების გადაწყვეტის გარეშე.

სანავიგაციო ინფორმაციის არსებობა, რომელიც თანამგზავრული სისტემიდან მიიღება, დრონის საფრენოსნო-ტექნიკური მახასიათებლების არსებული თავისებურებების გათვალისწინება მოითხოვს საჰაერო სივრცეში მართვის მეთოდებს.

დღესდღეობით, დრონების ფრენის ორგანიზაციას საერთო საჰაერო სივრცეში ეთმობა დიდი ყურადღება. არსებობს საჰაერო სივრცესთან ინტეგრაციის ალტერნატიული კონცეფციები.

პირველი კონცეფციის თანახმად დრონის ექსპლუატაცია საჰაერო სივრცეში უნდა პასუხობდეს შემდეგ ძირითად პრინციპებს:

1. შესაბამის დონეზე უნდა უზრუნველყოს უსაფრთხო ფრენა საჰაერო სივრცესა და დასახლებულ პუნქტებში, რომელსაც მოითხოვს საჰაერო ხომალდების უსაფრთხოება;
2. უპილოტო საფრენი აპარატები უნდა იყოს ისეთი სისტემით აღჭურვილი, რომელიც აძლევს საშუალებას დრონს საიმედოდ ადევნოს თვალყური და თავი აარიდოს კონფლიქტურ სიტუაციებს სხვა საჰაერო ხომალდების მიმართ.

ძირითადი ნაწილი

დღეისთვის საჰაერო ხომალდებზე დაკვირვებისთვის პერსპექტიულ მეთოდად გვევლინება რადიომაუწყებლობაზე დამოკიდებული ავტომატური მონიტორინგი, რომლის დროსაც დრონი ავტომატურად გადასცემს მოძრაობის მართვის ცენტრს ადგილმდებარეობისა და ფრენის პარამეტრების შესახებ ზუსტ და უტყუარ კოორდინატებს, ასევე სხვა საჭირო ინფორმაციას. ეს ინფორმაცია მიიღება საბორტო - სანავიგაციო სისტემიდან და ასევე ინფორმაცია გადაეცემა სისტემის სხვა მოწყობილობებს, რომლებიც იმავე პერიოდში გადაადგილდება საჰაერო სივრცეში.

უნდა აღინიშნოს, რომ დრონების ტიპური კომპლექციის მართვის სტრუქტურა უნდა მოიცავდეს მონაცემთა წყაროს, რომლის განხორციელებისთვის გამოიყენება აჩქარების, კუთხური სიჩქარის გამზომი ინერციალური გადამწოდები, ტემპერატურის, წნევის გადამწოდები .

მოცემული სისტემის შემადგენლობაში შედის მიწისზედა მართვის სადგური (მმს), რომელიც აღჭურვილია ვიზუალური მოწყობილობებით.

ვიზუალიზაციის მოწყობილობები აძლევს საშუალებას პილოტ - ოპერატორს

გააკონტროლოს დრონის ფრენა სამგანზომილებიანი სინთეზირებადი გამოსახულებით, ფრენის დროს დრონის საბორტო სისტემა თავისი იდენტიფიკატორის საშუალებით პერიოდულად ახდენს ტრანსლირებას ადგილმდებარეობის, სიმაღლისა და აზიმუტის შესახებ.

დრონიდან მიღებული მონაცემები ვიზუალიზაციის სისტემაში გენერირდება და გამოსახება მონიტორზე ინფორმაცია დრონის ირგვლივ ადგილმდებარეობის შესახებ.

პილოტ - ოპერატორი ანალიზებს მოცემულ გამოსახულებას და ზემოქმედებს ფრენის მართვის სისტემის ორგანოებზე, რომლის სიგნალები ტრანსლირდება უკან დრონზე.

დრონის ფრენის ისეთი ფაზის მიმდინარეობის დროს, როცა მართვის ვიზუალიზაციის სისტემა არ გამოიყენება, ფრენა სრულდება მიკროკონტროლერზე აგებული საბორტო კომპიუტერული სისტემით. კავშირი საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეჩერთან და სხვა აპარატების პილოტებთან უზრუნველყოფილია დამატებითი არხით, მათ პირდაპირი კავშირი აქვთ პილოტ-ოპერატორებთან. დრონების მართვის სისტემებში შესაძლებელია გვექონდეს შემდეგი შეფერხებები:

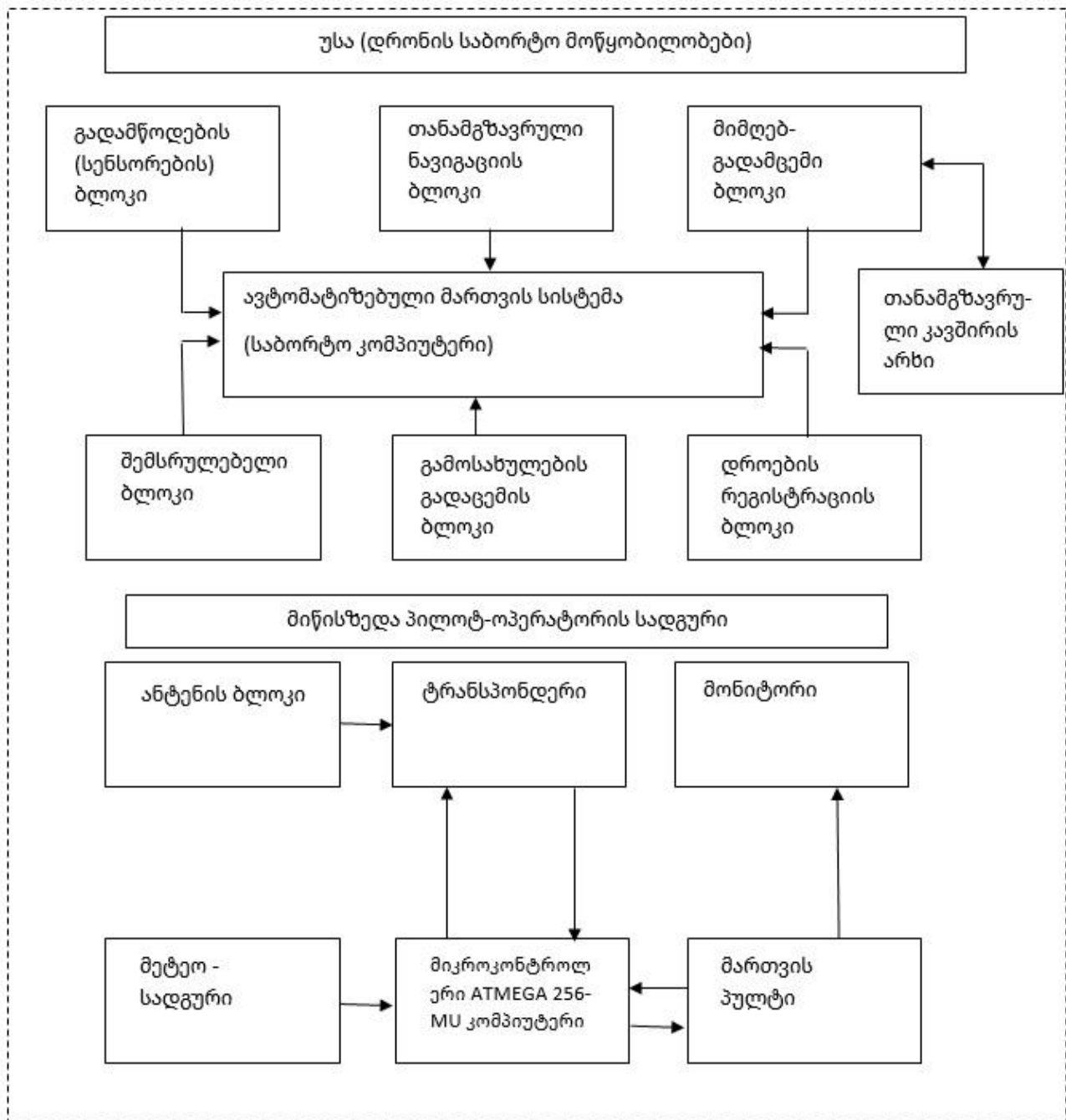
1. დრონების მართვის სისტემებში გამოყენებული მართვის სიგნალებში გამოიყენება ფართოზოლიანი რადიოხაზი, რომელიც ხასიათდება შედარებით მცირე ხელის შემშლელი მედეგობით და ამიტომ აღნიშნულიდან გამომდინარე მოითხოვს დამატებით მონაცემთა არხს;
2. დრონის მართვა ხორციელდება პირდაპირი რადიოხედვის არეში და არ გამოიყენება საფრენი აპარატის დაფრენისათვის, ვინაიდან ავტომატური დაფრენა ვერ ხორციელდება გაზომვის დიდი ცდომილების გამო;
3. ცნობილია, რომ მიწისზედა სადგურებსა და თანამგზავრებს შორის დიდი მანძილის გამო თანაფარდობა სიგნალი/ხმაური მიმღებზე დიდია;
4. კავშირის სიგნალის დაყოვნება დაკავშირებულია თანამგზავრის სიგნალის რეტრანსლირებასთან. დაყოვნება ტოლია 250 მკ/წმ.

განსახილველ ამოცანას ასევე წარმოადგენს გაიზარდოს დრონის მართვის ეფექტურობა, კერძოდ ფრენის სიშორე რადიოხედვადობის ზონიდან გასვლის დროს. გამოყენებული თანამგზავრული კავშირის არხით გადაცემული მართვის ინფორმაციით განხორციელდება ზუსტად მოცემულ წერტილში უსაფრთხო დაფრენა.

აღნიშნული ტექნიკური დავალება მიღწევადია იმით, რომ დრონი აღჭურვილია: საბორტო კომპიუტერული სისტემით, თანამგზავრული ნავიგაციური სისტემით, დროის სენსორით, რომელიც წარმოადგენს მაღალი სიზუსტის საათის სისტემას დროის სინქრონიზაციისთვის.

რეალური დროის რეჟიმში დრონის მართვის ბრძანებების, მონაცემების მოძრაობის პარამეტრებისა და კოორდინატების გადაცემა უზრუნველყოფს მის უსაფრთხო დაფრენას, რომლის დროსაც მხედველობაში მიიღება გადაცემის არხის დაყოვნების კომპენსაცია.

დრონი ზუსტი დაფრენისათვის მონაცემებს ღებულობს საბორტო კომპიუტერიდან და ვიდეო კამერიდან.



სურ. 1 დრონების მართვის საშუალების რეალიზაციის ბლოკ-სქემა.

მიწისზედა პილოტ-ოპერატორის სადგური უზრუნველყოფს კავშირს მიწისზედა მართვის სადგურთან:

- ანტენის ბლოკი, რომელიც უზრუნველყოფს კავშირს მიწისზედა მართვის სადგურთან;

- მეტეოსადგური იძლევა ტემპერატურის, ქარის სიმძლავრის, მიმართულებისა და სხვა მეტეო მონაცემებს;
- ტრანსპონდერისგან, რომელიც იძლევა საშუალებას განსაზღვროს ავია დისპეჩერის მიერ საჰაერო ხომალდების ადგილმდებარეობა. ის გადასცემს დრონის ბორტის ნომერს, ფრენის სიმაღლეს, სიჩქარესა და GPS კოორდინატებს;
- მიკროკონტროლერ ATMEGA 256 AV-MU აგებული კომპიუტერი წარმოადგენს 8/16 ბიტთან 256 კბაიტთან თვითპროგრამირებად FLASH მეხსიერების, 4-8 კბაიტთან მეხსიერების მქონე მოწყობილობას. მისი ფუნქციონირების მუშა ტემპერატურა 55...+125 გრადუსი ცელსიუსი. მაქსიმალური მუშა ძაბვა - 3,6 ვოლტი.

დრონის საბორტო მოწყობილობა შედგება შემდეგი ბლოკებისგან:

- გადამწოდების (სენსორების) ბლოკი;
- თანამგზავრული ნავიგაციური ბლოკი;
- მიმღებ/გადამცემი ბლოკი;
- შემსრულებელი ბლოკი;
- გამოსახულების გადაცემის ბლოკი;
- დროების რეგისტრაციის ბლოკი;
- მართვის ავტომატური სისტემა (საბორტო მიკროკონტროლერი).

დასკვნა

ნაშრომში განხილულია დრონის მართვის პროცესი. მონაცემები რომლებიც განსაზღვრავს მის ფრენის პროცესს შემდეგია: მონაცემები ადგილმდებარეობის კოორდინატების, მოძრაობის პარამეტრების შესახებ ძირითადი სტაციონალური ან მოძრავი მართვის პულტიდან ხორციელდება თანამგზავრული კავშირის არხის გამოყენებით.

დრონების მართვის პროცესში ჩართულია შემდეგი ნავიგაციური მონაცემები:

მარშრუტის მოხვევის პუნქტის გეოგრაფიული კოორდინატები, მოცემული ორთოდრონული გზის კუთხეებით, წინსწრება გვერდითი მოხვევის დასტურით, მოხვევის მნიშვნელობა, ვერტიკალური სიჩქარე და ტრაექტორიის დახრის კუთხე. მოცემული მონაცემების ცვალებადობის მომენტების ათვლა საერთო დროის სკალის მიხედვით.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Murphy, Robin R. Disaster Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents) The MIT Press 2015
2. ს. ხოშტარია, ო. ქართველიშვილი, ე. კამკამიძე, ნ. ხოშტარია უპილოტო საფრენი აპარატების ფრენის მართვის პროცესების უზრუნველყოფა. პროფ კონსტანტინე კამკამიძის დაბადების 90-ე წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ციფრული ტექნოლოგიები: დღევანდელი და გამოწვევები“. თბილისი, 2018 წ, 288-291გვ,
3. <http://avia-simply.ru/vozdushnij-vint/>.

Peculiarities of the flight control process of unmanned aerial vehicles

A. Apkhaidze, S. Khoshtaria N. Khoshtariya

Georgia Aviation University

St. Dedopali Avenue N16, Tbilisi 0103, Georgia,

Georgian Technical University

M. N77 Kostava St., Tbilisi 01071, Georgia

Abstract

The paper discusses the process of providing the means of managing unmanned aerial vehicles (drones).

The collection of data on coordinates and movement parameters using the satellite communication channel is carried out from the main or stationary control point. Remotely controlled modern drones, in addition to high maneuverability, have a sufficient flight duration and distance, which increases the area of their use.

The phase of drone flight when the control visualization system is not used is discussed. Recommendations have been developed during the phases of drone flight.

Keywords: *drone, visualization, on-board computer system, speed, control signals, parameters, satellite connection.*

ფრინველების საჰაერო ხომალდებთან დაჯახებისას ძრავაში მათი მოხვედრით გამოწვეული დაზიანებების სტატისტიკის ანალიზი და მათი აღმოფხვრისათვის გასაწევი ხარჯების შეფასება

რ. ხაჩიძე¹, ა. მაისურამე¹, გ. ცუცქირიძე²

¹საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, თბილისი, 0103, საქართველო

²საქართველოს ფინანსთა სამინისტროს შემოსავლების სამსახური, ვ. გორგასლის 16, 0114, თბილისი, საქართველო

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ფრინველების საჰაერო ხომალდებთან დაჯახებით გამოწვეული დაზიანებების სტატისტიკა და ჩატარებულია მისი ანალიზი.

კვლევა ეყრდნობა ანალიზურ, სტრუქტურულ, ტრენდულ, დაჯგუფებისა და შედარების მეთოდებს. დინამიკური ანალიზის დროს, გამოყენებულია ცალკეული პარამეტრების თითოეული მაჩვენებლის შედარება წინა პერიოდთან. ანალიზისთვის ხდება საბაზისო მაჩვენებლების გამოყენება, კერძოდ, რომელიმე გასული პერიოდის მონაცემები, რომლებიც შესაძლოა პროცენტული სახით იყოს წარმოდგენილი. ამ დროს, ხდება ყოველი შემდეგი წელის საბაზისო წელთან შედარება და დგინდება გადახრები. დინამიკურ ანალიზს სხვაგვარად ჰორიზონტალურ ანალიზსაც უწოდებენ.

გამოყოფილია და შესწავლილია საჰაერო ინციდენტები და მისი შედეგები, რომლებიც გამოწვეულია თვითმფრინავის ძრავაში ფრინველების მოხვედრით. შეფასებულია დაზიანებული ძრავების ნაწილების ან მთლიანად ძრავების აღდგენისა და შეკეთებისათვის გასაწევი პირდაპირი და ირიბი ხარჯები. სამაგალითო გამოთვლებისათვის საჭირო საწყისი მონაცემები აღებულია მონაცემთა ბაზიდან, რომელიც შექმნილია აშშ საავიაციო ფედერალური ადმინისტრაციის (FAA) მიერ 1990-2022 წლების განმავლობაში მომხდარი საავიაციო ინციდენტებისათვის.

ნაშრომში ფართოდ არის გამოყენებული სტატისტიკური მასალები, საქართველოში გამოქვეყნებული და უცხოური გამოცემების მონაცემთა ბაზიდან.

საკვანძო სიტყვები: საჰაერო ხომალდი, ფრინველებთან დაჯახება, ძრავას დაზიანება, ეკონომიკური ზარალი, გაწეული ხარჯები

შესავალი

საჰაერო ხომალდების ფრენის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა რთული და კომპლექსური პრობლემაა და მოიცავს პირველ რიგში მისი დაპროექტების, დამზადებისა და გამოცდების სტადიებს, ხოლო შემდგომ - მისი ექსპლუატაციის სტადიებს. ფრენის უსაფრთხოებაზე მოქმედი ფაქტორების ერთობლიობა შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ სამ უმთავრეს ჯგუფად: ტექნიკური, ადამიანური და გარემოს ზემოქმედების ფაქტორები [1].

წარმოდგენილი სტატია ეხება ფრენის უსაფრთხოებაზე გარემოს ზემოქმედების ისეთ ფაქტორს, როგორცაა ფრინველების დაჯახება საჰაერო ხომალდებთან მათი ჰაერში

მოდრაობისას.

მოდრაობაში მყოფ ხომალდთან ფრინველების შეჯახებამ შესაძლოა გამოიწვიოს საჰაერო ხომალდის დაზიანება, მათ შორის ძრავების მწყობრიდან გამოსვლა ან გაუმართაობა, რაც წარმოადგენს გარკვეულ შემთხვევითებელ რისკს ფრენების უსაფრთხოებისათვის, ასევე დიდ მატერიალურ დანახარჯს ავიაკომპანიებისათვის. ძრავაში უცხო საგნების მოხვედრის პრობლემებს შორის ფრინველის მოხვედრის პრობლემა უმთავრესია და სპეციფიკურია. ეს პრობლემა აქტუალურია პრაქტიკულად ყველა სახეობის საფრენი აპარატებისათვის (დაწყებული დიდი სამოქალაქო საჰაერო ხომალდებიდან დამთავრებული მსუბუქ თვითმფრინავებამდე ან მცირე შვეულმფრენებამდე ან თუნდაც უპილოტო საფრენი აპარატებისათვის). ავიაკომპანიებისათვის ეს სერიოზული პრობლემაა, რადგან ამ მიზეზით მომხდარი ინციდენტის შემდეგ თვითმფრინავი დეტალურ შემოწმებას საჭიროებს, რათა დაზიანება შეუმჩნეველი არ დარჩეს, რომელმაც შესაძლოა საჰაერო ხომალდი კატასტროფამდე მიიყვანოს.

ძირითადი ნაწილი

მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში წლების განმავლობაში წარმოებდა და წარმოებს ზემოაღნიშნული საჰაერო ინციდენტებისა და შესაბამისი მიყენებული ზარალის დეტალური აღრიცხვა და დაფიქსირება [2-6]. ყოველწლიური მონაცემები საავიაციო ინციდენტების შესახებ ქვეყნდება სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) გამოცემაში Aviation Safety Network (1919 წლიდან დღემდე). მაგალისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ ICAO-ს მონაცემები, რომელიც 91 ქვეყნის მონაცემებს ეყრდნობა, 2008-2015 წლებში შემოსული შეტყობინებების საერთო რაოდენობიდან (97 751) მხოლოდ 33 376 შემთხვევაში (34 %) დაფიქსირდა თვითმფრინავის დაზიანების ფაქტი, აქედან უმრავლესობა 30 817 (92%) - უმნიშვნელო დაზიანებაა, 1874 შემთხვევაში - მსუბუქი დაზიანება, 600 - მნიშვნელოვანი დაზიანება, 17 შემთხვევაში შეჯახებამ გამოიწვია საჰაერო ხომალდის დაზიანებული კომპონენტის დამტვრევა. 2501 შემთხვევაში შეჯახებამ ფრენაზე გავლენა იქონია, რამაც ავარიული დაშვება (49%) გამოიწვია, 20%-ის შემთხვევაში აფრენა ვერ მოხერხდა და 3%-ის შემთხვევაში ძრავები გაითიშა [7].

ყველაზე გახმაურებულია საავიაციო შემთხვევა, რომელიც მოხდა 2009 წელს: “US Airways” -ის საჰაერო ხომალდს Airbus A320 აფრენიდან 3 წუთში 858 მ სიმაღლეზე ბატების გუნდს შეეჯახა, რამაც გამოიწვია თვითმფრინავის ორივე ძრავის გაჩერება. კაპიტანმა წარმატებით განახორციელა ავარიული დაშვება მდინარეზე. 150 მგზავრი და ეკიპაჟის 5 წევრი სასწაულებრივად გადაარჩა.

თუმცა ყველა საავიაციო შემთხვევა ასეთი ბედნიერი დასასრულით არ მთავრდება. მაგალითად, „Eastern Airlines“-ის საჰაერო ხომალდს (Lockheed L-188), აფრენიდან მალევე ბედურების გუნდი შეეჯახა და ოთხივე ძრავა დაუზიანა. თვითმფრინავი ჩამოვარდა და 72 მგზავრიდან მხოლოდ ათი გადაარჩა.

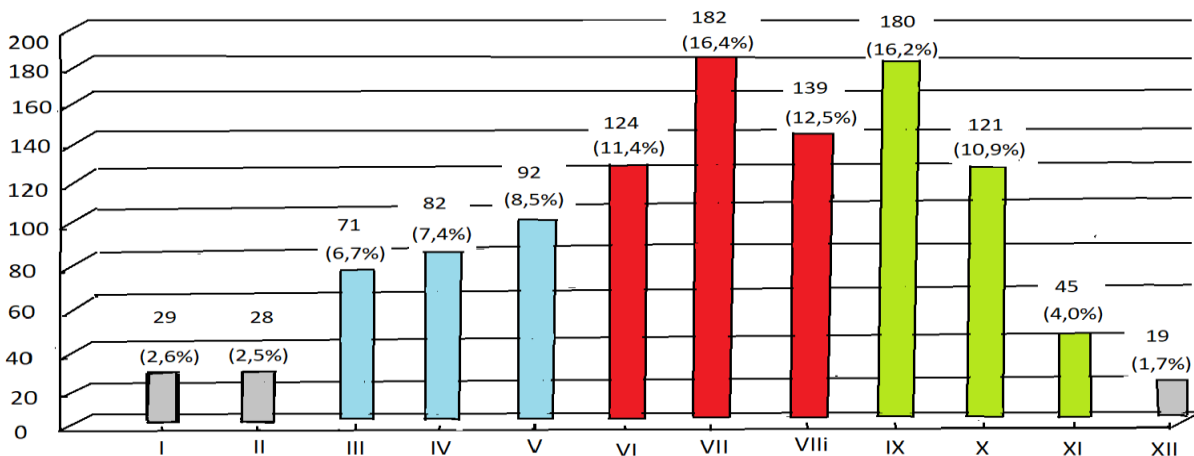
შვეულმფრენები ასევე ხდებიან სამიზნეები ფრინველებისათვის. არსებობდა მცდარი წარმოდგენა იმის შესახებ, რომ შვეულმფრენები თავიანთი სახით და ძრავების ხმაურით აფრთხობს ფრინველებს. მაგრამ ეს არ შეესაბამება სინამდვილეს და დადასტურებულია პრაქტიკით. მართალია ეს ფაქტები მცირერიცხოვანია (ფრენის შედარებით დაბალი სიჩქარის გამო) თვითმფრინავების ანალოგიური შემთხვევების ფონზე, მაგრამ მათი იგნორირება არ შეიძლება. აშშ-ის სამოქალაქო ავიაციის ფედერალური სამმართველოს მონაცემებით მხოლოდ 2013 წელს დაფიქსირდა 204 სერიოზული საავიაციო შემთხვევა ხრახნფრთიანი მანქანების მონაწილეობით, რომელთა მიზეზები გახდა ფრინველებთან შეჯახება. უფრო მეტიც,

აშშ-ის ველური ბუნების ნაციონალური კვლევითი ცენტრის მონაცემებით 1979 წლიდან 2011 წლების პერიოდში ფრინველებთან შეჯახების შედეგად სერიოზული დაზიანებებები მიიღეს 2511 - მა სამხედრო შვეულმფრენმა,

საჰაერო ხომალდების შეჯახება ფრინველებთან ყველაზე მეტად ხდება მისი აფრენისა და დაშვების დროს ან დაბალ სიმაღლეებზე ფრენის დროს. თუმცა ზოგჯერ შეჯახება ფრინველებთან ხდება დიდ სიმაღლეებზეც - 6000-9000 მ დიაპაზონში. შემჩნეულია, რომ ბატები დაფრინავენ 10 175 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან. იყო შემთხვევა სპილოს ძვლის სანაპიროს მაღლა თვითმფრინავი შეეჯახა რიუპელის გრიფს 11 300 მ სიმაღლეზე. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ თვითმფრინავთან ფრინველების შეჯახების 75% ხდება 150-300 მეტრზე ქვემოთ ანუ თვითმფრინავის აფრენის ან დაშვების დროს, 20 % - 300-1500 მ სიმაღლეზე და მხოლოდ 5% - 1500 მ-ზე მაღლა.

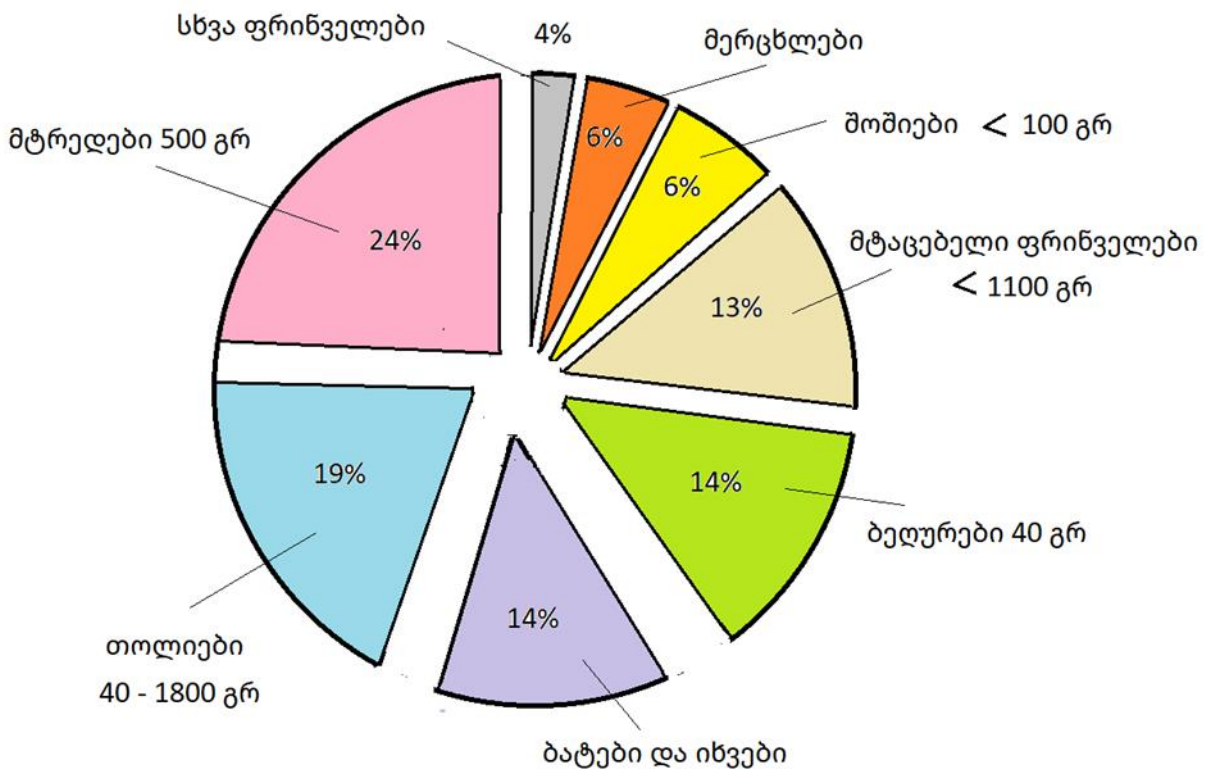
საჰაერო ხომალდების ფრენების სიჩქარეების მიხედვით შეჯახებების შემთხვევები განაწილებულია საშუალოდ შემდეგნაირად: 100 კმ/სთ - მდე - 35; 101 – 300 კმ/სთ - 715; 301 – 500 კმ/სთ 25%; 500 კმ/ სთ -ზე ზემოთ 1%. შეჯახებების დაბალი რიცხვი 100 კმ/სთ მდე აიხსნება იმით, რომ მრავალი ფრინველი ასწრებს თავი აარიდოს შეჯახებას. ხოლო ფრენის სიჩქარეებზე 300 კმ/სთ - ზე ზემოთ იმით, რომ ამ სიჩქარის მიღწევის დროს მრავალი თვითმფრინავი ასწრებს მაღალ სიმაღლეებზე ასვლას სადაც ფრინველებთან შეჯახების ალბათობა მცირეა.

თვითმფრინავების ფრინველებთან შეჯახების შემთხვევების სეზონური განაწილება წარმოდგენილია ნახ.1-ზე. წარმოდგენილი მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ შეჯახებები რეგისტრირდება შედარებით ხშირად ზაფხულის ბოლოს (გამრავლების შედეგად მკვეთრად მატულობს ფრინველების რაოდენობა, ისინი იკრიბებიან ჯგუფებად, ხშირად იცვლიან ადგილმდებარეობას საკვები უბნების ძიების გამო და ხშირად სტუმრობენ აეროდრომებს) სა შემოდგომის პირველ ნახევარში (რეგისტრირებული შეჯახებების სიხშირე მატულობს ინტენსიური მიგრაციული გადაფრენებით). შეჯახებების კოეფიციენტის მიხედვით შეიმჩნევა მეორე პიკი წლის გაზაფხულის დროს (გაზაფხულის მიგრაციის პერიოდში). მაგრამ ის ნაკლებად ინტენსიურია ვიდრე შემოდგომით ფრინველების ნაწილობრივი დახოცვის გამო ზამთრის პერიოდში. უფრო იშვიათად შეჯახებები რეგისტრირდება ზამთრის თვეებში, რადგანაც ამ დროს ფრინველების რიცხვი ჩრდილოეთის ქვეყნებში მნიშვნელოვნად მცირდება იმ ფრინველების გამო რომლებიც გამოსაზამთრებლად მიფრინავენ სხვა ქვეყნებში.



ნახ. 1. თვითმფრინავების ფრინველებთან შეჯახებების შემთხვევების სეზონური განაწილება

ფრინველების სახეობების განაწილება თვითმფრინავებთან შეჯახებების სიხშირით სხვადასხვა რეგიონებისა და წლის პერიოდების მიხედვით. მაგალითად. უკრაინისა და მოლდოვეთისათვის ფრინველების ძირითადი თავშეყრა მდებარეობს შავი ზღვის სანაპიროს გასწვრივ, დიდი მდინარეებისა და წყალსატევების დაბლობებში. ფრინველების მაღალი კონცენტრაცია ამ უბნებში აღინიშნება როგორც ზაფხულის ასევე ზამთრის პერიოდში. აღნიშნული რაიონები წარმოადგენენ გამოზამთრების ადგილებს ჩრდილოეთში მცხოვრები ფრინველებისათვის. გამოზამთრებლების რიცხოვნება და მათი სახეების თანაფარდობა მნიშვნელოვნად იცვლება სინოპტიკური პირობებიდან გამომდინარე. იმ წლებში, როდესაც ნულის იზოთერმა ნელა გადაადგილდება სამხრეთისაკენ ფრინველები არ გადაადგილდებიან შედარებით სამხრეთ გამოზამთრებისაკენ ყინვების დაწების დროსაც კი. მაგრამ, ადრეული და სწრაფი აცივების დროს ფრინველები იცვლიან თავიანთ ადგილმდებარეობას და მიფრინავენ შორს სამხრეთისაკენ. წყალსატევების საგრძნობი გაცივების და გაყინვის შემთხვევაში ფრინველები ასევე მიფრინავენ გამოსაზამთრებლად სამხრეთით. მიგრაციის დროს ფრინველების დიდი ნაწილი მიფრინავენ მდინარეების გასწვრივ. ძირითად საშიშროებას წარმოადგენენ მტრედები, გრაჩი, შოშიები, იხვები, თოლიები, და წეროები. ეს მონაცემები თითქმის ემთხვევა რომლებიც ჩატარებული იქნა რუსეთის ფედერაციის სპეციალისტების მიერ რომელიც ჩატარებული იყო 2000 წლებში (ნახ. 2).

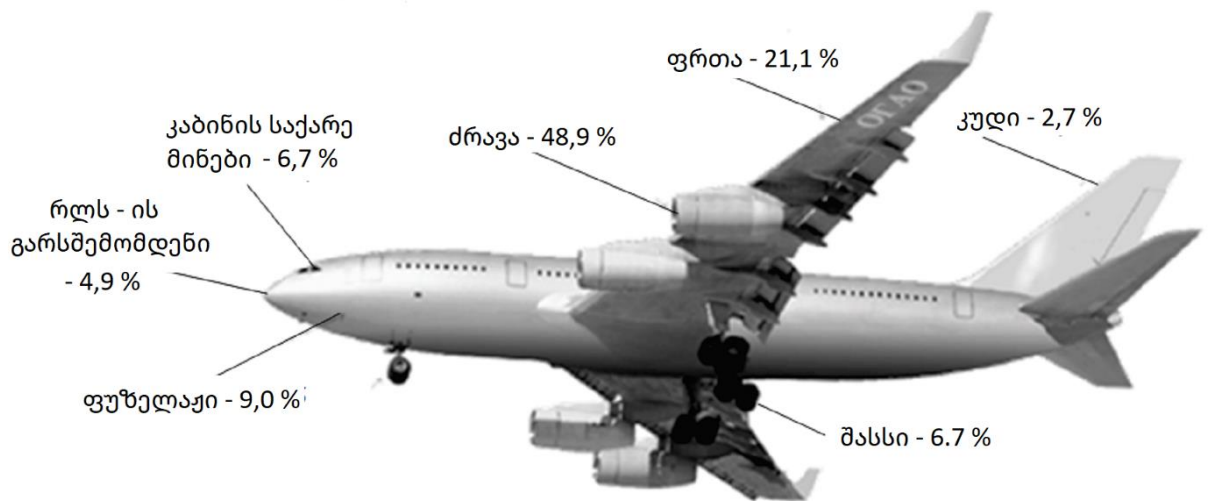


ნახ. 2 ფრინველების სახეობების განაწილება თვითმფრინავებთან შეჯახებების სიხშირით

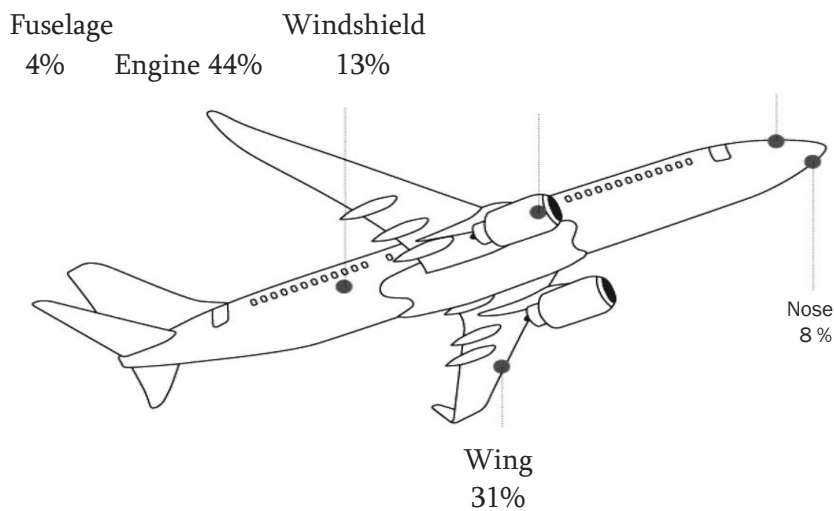
ფრინველის შეჯახება თვითმფრინავთან ყოველთვის არ მთავრდება თვითმფრინავის მნიშვნელოვანი დაზიანებით, ამასთან დაზიანება სხვადასხვა ხარისხისაა იმისდა მიხედვით თუ თვითმფრინავის რომელ ნაწილს შეეჯახა ფრინველი, რა ზომის იყო ფრინველი, რა სიჩქარე ქონდა თვითმფრინავს და სხვა. შესაბამისად უშუალოდ ამ დაზიანების აღმოფხვრას, ისევე როგორც დაზიანებით გამოწვეული სხვა ირიბი უარყოფითი შედეგების (ფრენის შეწყვეტა ან

გაუქმება, მგზავრების გეგმების ჩაშლა და სხვა) კომპენსაციას დაჭირდება სხვადასხვა სახის ქმედებები და შესაბამისად სხვადასხვა ხარჯი. აქედან გამომდინარე თვითმფრინავისა და ფრინველების შეჯახებით გამოწვეული ზარალის თანხობრივი გამოთვლა რთული და მრავალკომპონენტანია. ამითაა გამოწვეული ის, რომ ამ საკითხზე მიძღვნილ სხვადასხვა წყაროში განსხვავებული ციფრობრივი მაჩვენებლებია წარმოდგენილი. ქვემოთ მოყვანილია ამ გარემოების რამდენიმე მაგალითი.

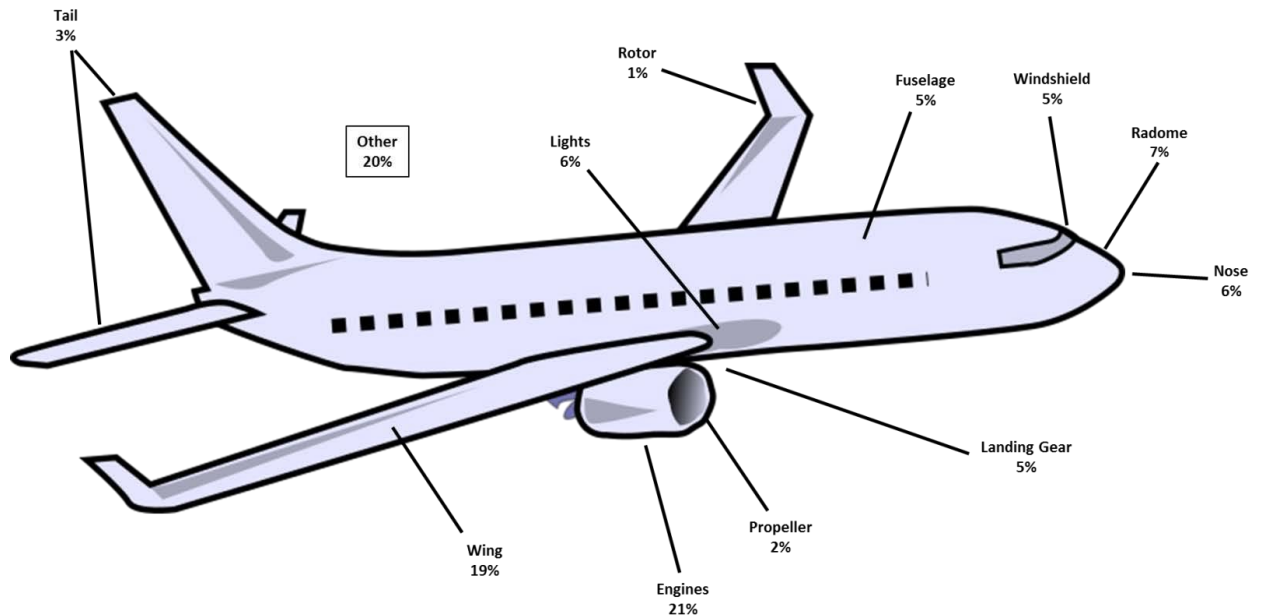
ა) ნახ. 3., წყარო [8]



ბ) ნახ. 4, წყარო [9]



გ) ნახ. 5, წყარო [3]



დ) ცხრილი 1., წყარო [2] .

ცხრილი 1. მონაცემები ფრინველების სამოქალაქო **თვითმფრინავებთან** დაჯახებისა და დაზიანების შესახებ აშშ-ში 1990–20202 წლებში.

საავიაციო ხომალდის ნაწილები	დაჯახებათა რაოდენობა	% ჯამიდან	დაზიანებათა რაოდენობა	% ჯამიდან
საქარე მინა	33766	15	1339	6,33
ფრთა/როტორი	31536	14	5340	25,25
ცხვირი	31354	14	1477	7,00
გარსმდენი	25222	11	1965	9,29
ფიუზელაჟი	24470	11	932	4,41
ძრავა	24169	11	5362	25,35
შასი	9818	4	683	3,23
პროპელერი	4336	2	322	1,52
კუდი	2719	1	870	4,11
შუქსიგნალი	1328	1	900	4,26
სხვა	35460	16	1960	9,27
ჯამი	224178	100	21150	100

უნდა აღინიშნოს, რომ ფრინველების თვითმფრინავთან დაჯახების შედეგად დაზიანების წარმოდგენილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ყველაზე დიდი პროცენტული მაჩვენებელი აქვს ძრავას. ძრავას დაზიანება კი ყველაზე ხშირად იწვევს კატასტროფულ შედეგებს.

[2, 3, 8, 9] წყაროების მიხედვით თვითმფრინავთან ფრინველის დაჯახების ვარიანტები და მათი პროცენტული განაწილება წარმოდგენილია ნახატებზე 3, 4, 5 -ზე და ცხრილში 1. როგორც წარმოდგენილი მონაცემებიდან ჩანს, ზემოაღნიშნული წყაროებში თვითმფრინავის

ძირითადი ნაწილების დაზიანებების პროცენტული მაჩვენებლები არ ემთხვევა ერთმანეთს. განსხვავებათა არსებობა გამოწვეულია იმით, რომ თითოეული წყარო ეხება დედამიწის სხვადასხვა პერიოდებს და სხვადასხვა რეგიონებს, რომლებშიც არსებული ორნიტოლოგიური სიტუაციები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ხოლო სხვადასხვა პერიოდებში თვითმფრინავების ფრენათა ინტენსივობა სხვადასხვა და, შესაბამისად სხვადასხვაა ფრინველებთან მათი დაჯახების რაოდენობრივი მაჩვენებლები. ცხრილის კომენტარებში განმარტებულია, რომ ფრინველებთან დაჯახებით აღნიშნულ პერიოდში დაზიანდა 5 190 ძრავა, აქედან 5021 შემთხვევაში დაზიანდა ერთი ძრავა, 167 შემთხვევაში ერთდროულად ორი ძრავა, 1 შემთხვევაში სამი ძრავა, 1 შემთხვევაში ოთხივე ძრავა. სულ დაზიანებული ძრავების პროცენტული მაჩვენებელი შეადგენს 25,35%-ს.

ცხადია, რომ ფრინველის საჰაერო ხომალდთან შეჯახების ყოველი ინციდენტი (ამ შემთხვევაში მხედველობაში არ ვგაქვს ისეთი ინციდენტი, როცა ადგილი აქვს ადამიანურ მსხვერპლს) პირდაპირ ან ირიბად დაკავშირებულია სხვადასხვა ფინანსურ და მატერიალურ ხარჯებთან, რომელთა დადგენა ადვილი არ არის.

ზოგიერთ წყაროში მოყვანილია თვითმფრინავებთან ფრინველების დაჯახების მიზეზით მიყენებული ზარალის თანხობრივი მონაცემები რაიმე კონკრეტული ინციდენტის ან რომელიმე კონკრეტულ რეგიონსა და პერიოდში მომხდარი ინციდენტებით გამოწვეული ზარალი.

მაგალითად, [5]-ში წარმოდგენილი ინფორმაციით Airbus -ის მიერ ჩატარებული კვლევის თანახმად, ფრინველის ყოველი მეხუთე დაჯახება აზიანებს თვითმფრინავს და სამი დარტყმიდან ორი იწვევს შეფერხებას. გაერთიანებული სამეფოს ველური ბუნების მართვის ეროვნული ცენტრის შეფასებით, 1912-2008 წლებში ასეთ მოვლენებს 242 ადამიანის სიცოცხლე ემსხვერპლა, წლიურმა ხარჯებმა კი 1,2 მილიარდ დოლარს გადააჭარბა. ამავე ნაშრომში ნათქვამია, რომ ფედერალური საავიაციო ადმინისტრაციის (FAA) მონაცემებით 1990 წლიდან 2008 წლამდე აშშ ტერიტორიაზე ფრინველებთან შეჯახების შედეგად დაიღუპა 16 ადამიანი, განადგურდა 49 თვითმფრინავი, სავარაუდო ღირებულება იყო 308,3 მილიონი დოლარი, ხოლო თვითმფრინავების იძულებითმა დაჯდომამ შეადგინა 393521 სთ. [7]-ში აღნიშნულია, რომ 2011 წელს დამრტყმელი შვეულმფრენი Super Cobra Bell AH-1 აშშ სამხედრო საზღვაო ძალები შეეჯახა სვავს კალიფორნიის ცაში. ინციდენტის შედეგად შვეულმფრენი ჩამოვარდა. ორი სამხედრო დაიღუპა. სამხედრო საფრენი აპარატის ღირებულება შეადგენდა 24,5 მილიონ აშშ დოლარს რომელიც სრულიად გამოვიდა მწყობრიდან.

წარმოდგენილი სტატია ეყრდნობა თვითმფრინავებთან ფრინველების დაჯახების შედეგად გამოწვეული ზარალის იმ მონაცემებს, რომლებიც მოცემულია [2]-ში. აღნიშნული წყაროს მიხედვით აშშ-ში ბოლო 33 წლის განმავლობაში (1990-2022 წ) თვითმფრინავებთან ფრინველების დაჯახების შედეგად გამოწვეული ზარალი შეადგენს 976726927 \$-ს. ამ მონაცემისა და ზემოთ წარმოდგენილი დამაზიანებელი დაჯახების წილობრივი მაჩვენებლებისა და სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია გამოვთვალოთ ფრინველების თვითმფრინავის ძრავასთან დაჯახებით გამოწვეული წლიური ეკონომიკური საშუალო ზარალი, ანუ ის პირდაპირი და ირიბი ხარჯები, რომელიც ესაჭიროება თვითმფრინავის ძრავის შეკეთებას ან შეცვლას, ასევე სხვადასხვა სახის კომპენსაციებს თვითმფრინავის მოცდენისათვის მისი იძულებითი დაჯდომის გამო და მგზავრებისათვის მიყენებული შესაბამისი ზარალის გამო. გამოთვლის შედეგები წარმოდგენილია ქვემდებარე ცხრილში 2.

ცხრილი 2. ფრინველების თვითმფრინავებთან დაჯახებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალი ძრავას დაზიანების გამო

რაოდენობა/ პერიოდი	დაჯახებ ე ბის სრული რაოდენ ობა	დამაზიან ე ბელი დაჯახებე ბის რაოდენო ბა	ძრავის დაზიანების რაოდენობა		ზარალი ყველანაირი დაზიანების გამო	ძრავის დაზიანებით გამოწვეული ზარალი (\$)	
			25%	48%		25%	48%
33 წლის	265941	17960	4490	8782	976726927	244181732	477619467
წლიური	8059	544	136	266	29597786	7399446	14473317
ერთჯერადი					54383	54383	54383

ფრინველების თვითმფრინავის ძრავასთან დაჯახებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალის შესამცირებლად და, რაც მთავარია, ფატალური შედეგების თავიდან ასაცილებლად, თვითმფრინავების ძრავას ჰაერმიმღებ მოწყობილობაზე მიზანშეწონილია დამაგრდეს დამცავი მოწყობილობა. დამცავი მოწყობილობა დამზადებული უნდა იყოს ისეთი მასალებისგან, რომელიც გაუძლებს ნებისმიერი ფრინველის დაჯახებას და უზრუნველყოფს ძრავის ნაწილების დაუზიანებლობას.

დღეისათვის მიმდინარეობს სამეცნიერო კვლევები აირტურბინული ძრავებიანი თვითმფრინავების ძრავების დაცვისათვის ისეთი დამცავი მოწყობილობის შესაქმნელად, რომლის დაყენების შემდეგ თვითმფრინავის ან ვერტმფრენის ძრავას ჰაერმიმღებ მოწყობილობაზე უზრუნველყოფილი იქნება როგორც ძრავას დაზიანებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალის შემცირება, ისე ძრავას გათიშვის შემთხვევაში, მისგან გამოწვეული ფატალური შედეგების თავიდან აცილება [10, 11]. ცხადია, ზემოაღნიშნული დამცავი მოწყობილობის დამზადების, ძრავაზე დაყენებისა და ექსპლუატაციის ღირებულება არ უნდა აჭარბებდეს გამოთვლილ ეკონომიკურ ზარალს.

დასკვნა

- 1.1 აშშ ავიაციის ფედერალური ადმინისტრაციის (FAA) სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით ფრინველების თვითმფრინავის ერთ ძრავასთან დაჯახებისას გამოწვეული ეკონომიკური საშუალო ზარალი შეადგენს 54 383 (\$)–ს;
- 1.2 ფრინველების თვითმფრინავის ძრავასთან დაჯახებით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალის შესამცირებლად და, რაც მთავარია, ფატალური შედეგების თავიდან ასაცილებლად საჭიროა აირტურბინული თვითმფრინავების ძრავას ჰაერმიმღებ მოწყობილობაზე დამაგრდეს დამცავი მოწყობილობა ზემტკიცე მასალებისგან დამზადებული ბადეების სისტემის გამოყენებით;
- 1.3 ძრავაზე ზემოაღნიშნული დამცავი საშუალების დამზადებისა და დაყენების ხარჯები არ უნდა აღემატებოდეს 54 383 \$–ს.

მადლიერება:

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [AR-22-476, საჰაერო ხომალდების ფრენის უსაფრთხოების ამაღლება საავიაციო ძრავებზე დამცავი ბადეების სისტემის გამოყენებით].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] „ფრენის უსაფრთხოება“, ს. ტეფნაძე, დ. ლელაძე, უ. როინიშვილი, გ. სანაძე - თბილისი, 1998 წ.
- [2] „Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990-2022“, U. S. Department of transportation, Federal Aviation Administration (FAA), 2023.
- [3] ICAO, Electronic Bulletin, 2008-2015, Wildlife Strike Analyses (IBIS), 2017.
- [4] “The Costs of Birdstrikes to Commercial Aviation”, Allan John R., Orosz Alex P., 2001 Bird strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting, Calgary, 2001.
- [5] “Aircraft Repair and Withdrawal Costs Generated by Bird Collision the Windshield”, Nesic A., Cokorilo O., Steiner S., Promet-Traffic&Transportation, Vol. 29, 2017, No.6.
- [6] Bird Strike (en. wikipedia. org/wiki/Bird Strike).
- [7] „Птицы как фактор опасности авиатранспорта. Краткий исторический обзор и постановка задачи“, В.Ю. Дубницкий, Г.В. Фесенко, И.А. Черепнев, Е.А. Макогон, Н.М. Кириенко. www.mtf.khntusg.com.ua Engineering of nature management, 2018, #1(9), p. 115 - 131.
- [8] “Bird Strike in Aviation, statistics, analysis and management”, Ahmed F. El-Sayde, Wiley, 2019.
- [9] Reggy G(2012), Bird Strike. <https://www.slideshare.net/gyanired/bird-strike-1136202> (accessed 2 January 2019).
- [10] „ორკონტურიანი ტურბორეაქტიული ძრავა უცხო სხეულების ზემოქმედებისაგან დამცავი კომბინირებული მოწყობილობით“, ა. მაისურაძე, ს. ტეფნაძე, გ. მუშკუდიანი, პატენტი გამოგონებაზე - P 2022 7393 B, 17.06.2022.
- [11] „საავიაციო აირტურბინული ძრავების დამცავ ბადეზე მოხვედრილი ფრინველების დანაწევრების პრობის თეორიული გამოკვლევა“, ა. მაისურაძე, ბ. აბესაძე, გ. მუშკუდიანი, „საჰაერო ტრანსპორტი“, ISSN 151 2-4916, თბილისი, 2021.

Analysis of The Statistics of Injuries Caused by Birds Getting into The Engine When They Collide with Aircraft and Estimation of The Costs to be Incurred for Their Elimination

R. Khachidze¹, A. Maisuradze¹, G. Tsutskiridze²

¹Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedofli Avenue, Tbilisi, 0103, Georgia

²Revenue Service of the Ministry of Finance of Georgia,
V. 16 Gorgasli Street, 0114, Tbilisi, Georgia

Resume

The article discusses the statistics of injuries caused by the collision of birds with aircraft and its analysis is carried out.

The research is based on analytical, structural, trend, grouping and comparison methods. During the dynamic analysis, a comparison of each indicator of individual parameters with the previous period is used. Basic indicators are used for the analysis, in particular, the data of any past period, which may be presented as a percentage. At this time, each subsequent year is compared to the base year and deviations are determined. Dynamic analysis is also called horizontal analysis.

Air incidents and their consequences caused by birds getting into the aircraft engine are isolated and studied. Estimated direct and indirect costs for restoration and repair of damaged engine parts or entire engines. The initial data required for the example calculations are taken from a database created by the US Federal Aviation Administration (FAA) for aviation incidents during the years 1990-2022. Statistical materials are widely used in the work, published in Georgia and from the database of foreign publications.

Keywords: *aircraft, bird strike, engine damage, economic loss, expenses incurred*

საჰაერო ხრახნი გაზრდილი ენერგოეფექტურობით და შემცირებული ხმაურით

ნ. ტაბატაძე, ბ. მაზანიშვილი, ა. მაისურაძე

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

აბსტრაქტი

თანამედროვე ელექტრულ ვერტიკალური აფრენის და დაფრენის (eVTOL) მრავალროტორიან საფრენ აპარატებში ფრენისათვის საჭირო ძირითად აგრეგატს საჰაერო ხრახნი წარმოადგენს და შესაბამისად აპარატის ბორტზე არსებული ელექტროენერჯის ძირითადი ნაწილი მათ მოქმედებაში მოყვანას ხმარდება. ასეთი სახის აპარატებში ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას წარმოადგენს ფრენის დროის ხანგრძლივობის სიმცირე, რომელიც დაახლოებით 20-30 წუთს შეადგენს და ასევე ამ აპარატების მიერ წარმოქმნილი ხმაური. აღნიშნული ორივე პრობლემა პირდაპირ კავშირშია საჰაერო ხრახნების ეფექტურ ფუნქციონირებასთან.

სტატიაში წარმოდგენილია თანამედროვე საჰაერო ხრახნების კონსტრუქციის გეომეტრიული ცვლილებებით მიღწეული დადებითი ეფექტები და მათი გავლენა საფრენი აპარატების ტექნიკურ მონაცემებზე.

პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული საჰაერო ხრახნის კონსტრუქციის **ბაზაზე** შემუშავდა მრავალი სხვადასხვა სახის საჰაერო ხრახნის კონცეპტუალური კონსტრუქცია, რომლებზეც განხორციელდა როგორც სიმულაციური ასევე ექსპერიმენტული გამოცდები. სამეცნიერო კვლევებისა და ანალიზის შედეგად გამოვლენილი ყველაზე პერსპექტიული კონცეფციის საჰაერო ხრახნით მიიღწევა 15%-მდე გაუმჯობესებული ენერგოეფექტურობა და 5-7 dB შემცირებული ხმაური.

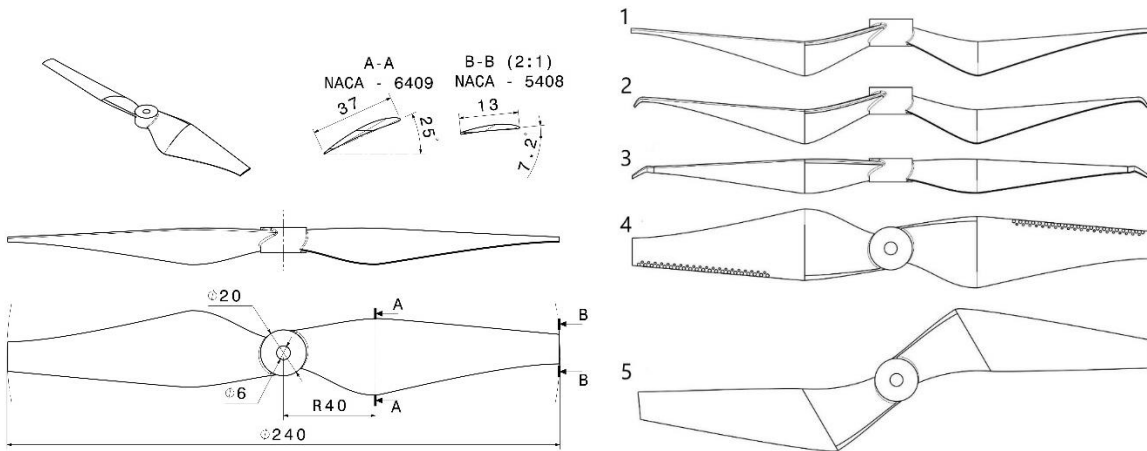
საკვანძო სიტყვები: საჰაერო ხრახნი; დრონი; ენერგოეფექტურობა; ხმაური.

ძირითადი ნაწილი

საჰაერო ხრახნზე ისევე როგორც თვითმფრინავის ფრთაზე მიმდინარეობს მთელი რიგი აეროდინამიკური მოვლენებისა, რომელთაგან ერთ-ერთ მნიშვნელოვანს ჰაერის ნაკადის დაგრიგალება წარმოადგენს. ძირითადად გრიგალები წარმოიქმნება ფრთოვანას ბოლოებში და მის უკანა კიდეზე, ამას კი უარყოფითი გავლენა აქვს საჰაერო ხრახნის ეფექტურ მახასიათებლებზე. კერძოდ, ჰაერის ნაკადების გრიგალური მოძრაობის გამო მცირდება საჰაერო ხრახნის წევის ძალა, იზრდება მისი აეროდინამიკური წინაღობა და შესაბამისად იზრდება წარმოქმნილი ხმაურის დონეც. აქედან გამომდინარე ნათლად ჩანს, რომ საჰაერო ხრახნის ენერგოეფექტურობის გასაზრდელად და ხმაურის შესამცირებლად ერთ-ერთ მნიშვნელოვანი მიმართულება საჰაერო ხრახნის ძირითად უბნებზე აგრიგალელებული ჰაერის ნაკადების შემცირება და კონტროლი წარმოადგენს.

ამ მიზნის მისაღწევად ავარჩიეთ დღესდღეობით ფართოდ გავრცელებული საჰაერო ხრახნის მოდელის გეომეტრია და მოვახდინეთ მისი 3 განზომილებიანი მოდელის დაპროექტება.

საჰაერო ხრახნის მოდელი წარმოადგენს 24 სმ დიამეტრის მქონე ფიქსირებულ ფრთოვანებიან კონსტრუქციას რომელის გეომეტრიული პარამეტრები ნახ.1-ზე.



ნახ.1: კვლევისთვის შერჩეული პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული საჰაერო ხრახნის მოდელი და მისი სახეცვლილი კონცეფციები 1) რევერსული თოლიისებრი; 2) რევერსული თოლიისებრი პროპლეტებით; 3) ფრთოვანა ოპტიმიზებული პროპლეტებით; 4) ტურბულიზატორებიანი ფრთოვანას წინა კიდეით; 5) ფრთოვანების ისრისებურობით (swept).

აღნიშნულ საჰაერო ხრახნის მოდელებზე განხორციელდა აღნიშნული კონსტრუქციული ცვლილებები, მაგრამ შენარჩუნებულ იქნა საჰაერო ხრახნის ყველა ძირითადი და გეომეტრიული პარამეტრი (ფრთოვანას გეომეტრიული ფორმა, ხრახნის დიამეტრი, ფრთოვანას შეტევის კუთხეები). შედეგად მივიღეთ 15-ზე მეტი სახის საჰაერო ხრახნთა კონცეპტუალური კონსტრუქციები, რომელთაგანაც შემდგომ ეტაპზე კომპიუტერული სიმულაციების გზით გამოვლინდა მათგან ყველაზე პერსპექტიული 5 საუკეთესო მახასიათებლის მქონე კონსტრუქცია (ნახ.1).

აღნიშნულ პერსპექტიულ საჰაერო ხრახნებზე განხორციელდა მაღალი სიზუსტის როგორც კომპიუტერული სიმულაციები, ასევე ექსპერიმენტულ-კვლევითი გამოცდები.

კომპიუტერული სიმულაციები ჩატარდა ციფრულ გამოთვლით პროგრამა Ansys-ის Fluent მოდულში. გამოთვლები ტარდებოდა გარემოს შემდეგი პარამეტრებით: აირის სიმკვრივე 1.225 კგ/მ³, ტემპერატურა 288 კელვინი, სიბლანტე 1.789e-5 კგ/მ-წ. ხრახნის ბრუნვის სიჩქარე 6000 ბრ/წთ. სიმულაციისას ძირითად გასაზომ პარამეტრებს წარმოადგენდა: წევის ძალა [N] - ნიუტონი, მაბრუნე მომენტი [Nm]-ნიუტონ მეტრი და ხმაურის დონე [dB].

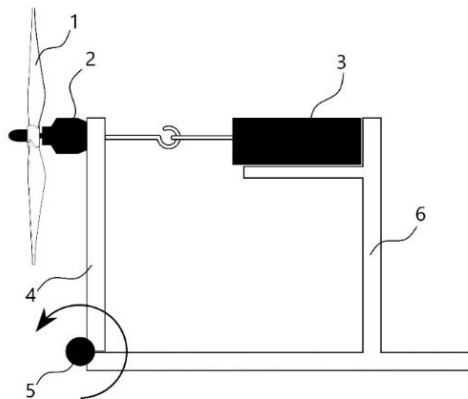
სიმულაციური გამოცდები დაიგეგმა შემდეგნაირად: გარემო, რომელის ცენტრშიც ხრახნია მოთავსებული წარმოადგენს კუბს $x=2$ მ, $y=2$ მ, $z=3$ მ გაბარიტებით. ხრახნის გარშემო შეიქმნა 40 სმ დიამეტრის 5 სმ სისქის ცილინდრული ფორმის ჰაერის ბრუნვის ზონა, სადაც საჰაერო ხრახნი გაჩერებულია და მის გარშემო ბრუნავს ამ ზონაში არსებული აირი.

საჰაერო ხრახნების კომპიუტერული სიმულაციების შედეგები ნაჩვენებია ცხრილი N1.

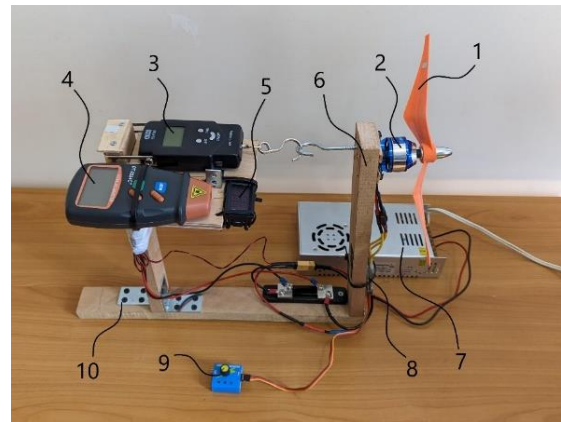
ცხრ. N1 საჰაერო ხრახნების კომპიუტერული სიმულაციები

ბრ/წთ	ტრადიციული			რევერსული თოლიისებრი			ფრთოვანების ისრისებურობით		
	Nm	N	dB	Nm	N	dB	Nm	N	dB
6000	0.095	5.2	100	0.068	4.3	98	0.148	6.7	98
	რევერსული თოლიისებრი პროპლეტებით			ოპტიმიზებული ბოლოებით			ტურბულიზატორებით		
	Nm	N	dB	Nm	N	dB	Nm	N	dB
6000	0.061	3.9	96	0.09	5	105	0.091	5.1	92

ექსპერიმენტული კვლევების ჩასატარებლად დაპროექტდა და დამზადდა სპეციალური დანადგარი, რომელიც აღიჭურვა მაღალი სიზუსტის ციფრული გამზომი ხელსაწყოებით: ტაქომეტრი DT-2234C, გაზომვის სიზუსტე 2.5 ბრ/წთ; დინამომეტრი, გაზომვის სიზუსტე 0.05 N; ვოლტ-ამპერ მეტრი, გაზომვის სიზუსტე 0.1 V და 0.01 A; კვების ბლოკი 12V და 30A; სერვო ტესტერი (ბრუნვის რეგულატორი); მუდმივი დენის ელექტრული ძრავი Exceed RC Rocket 3010-1190kv; ელექტრონული სიჩქარის კონტროლერი YEP ESC 40A (2~6S).



A



B

ნახ.2. A - საჰაერო ხრახნების პარამეტრების გამოსაცდელი სტენდის პრინციპული სქემა. 1-საჰაერო ხრახნი; 2-ელექტრო ძრავა; 3-დინამომეტრი; 4-მბრუნავი ძელი; 5-სახსარი; 6-სტენდის კარკასი. B - საჰაერო ხრახნების გამოსაცდელი სტენდი. 1-საჰაერო ხრახნი; 2-ელექტრო ძრავა; 3-დინამომეტრი; 4-ტაქომეტრი; 5-ვოლტ-ამპერმეტრი; 6-მბრუნავი ძელი; 7-კვების ბლოკი; 8-ძრავის სიჩქარის კონტროლერი; 9-ძრავის ბრუნთა რიცხვის რეგულატორი (სერვო კონტროლერი); 10-სტენდის კარკასი.

სტენდი მოქმედებს შემდეგნაირი პრინციპით: საჰაერო ხრახნი ძრავთან ერთად დამაგრებულია ძელზე, რომელიც სახსრულად არის შეერთებული სტენდის დანარჩენ კარკასთან. თავად ძელი კავით დაკავშირებულია დინამომეტრთან. საჰაერო ხრახნის მოქმედებაში მოსვლის შემდგომ მიღებული წევის ძალა ცდილობს ძელის გადაადგილებას ნახაზზე ნაჩვენები ბრუნვის მიმართულებით (ნახ.2), რის შედეგად იჭიმება დინამომეტრის კავი

და გვიჩვენებს წვევის ძალას. ხრახნის ბრუნთა რიცხვის გასაზომად სტენდს გააჩნია თარო სადაც დამაგრებულია ტაქომეტრი და იგი საჰაერო ხრახნზე დამაგრებული ამრეკლი ლენტის დახმარებით გვამღევს ბრუნთა რიცხვის მნიშვნელობას. მოხმარებული ელექტრული სიმძლავრის გასაზომად სტენდის ელექტრულ წრედში ჩართულია ვოლტ-ამპერ მეტრი.

ექსპერიმენტული გამოცდებისთვის გამოსაცდელი ხრახნების დამზადება განხორციელდა 3დ პრინტერზე.

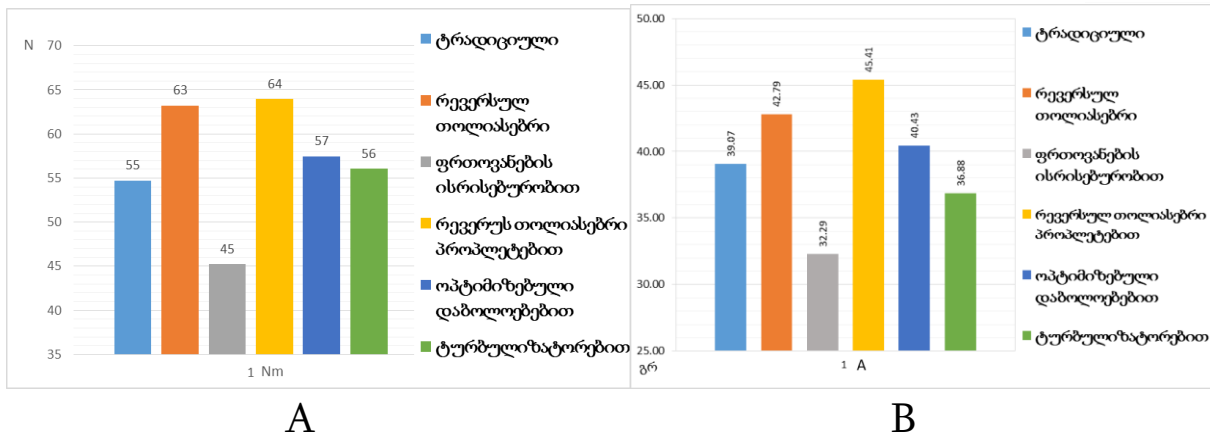
სასტენდო გამოცდები ტარდებოდა 4 განსხვავებულ ბრუნვის სიჩქარეზე: 2000; 4000; 6000; და 8000 ბრ/წთ. იზომებოდა და ფიქსირდებოდა შემდეგი პარამეტრები: წვევის ძალა F; მოხმარებული დენის ძალა A და ძაბვა V; ხმაურის დონე დეციბელებში (dB). ექსპერიმენტების ჩატარებისას ელექტრული ძაბვა V იყო მუდმივი 12 V. სასტენდო ექსპერიმენტების შედეგები მოყვანილია ცხრილში N2.

ცხრ. N2 სასტენდო ექსპერიმენტების შედეგები

ბრწთ/RPM	ტრადიციული			ოპტიმიზებული პროპლეტებით			ტურბულიზატორებით		
	A	F	dB	A	F	dB	A	F	dB
2000	0.3	20	46	0.2	35	45	0.3	50	43
4000	1.9	145	54	1.8	135	50	2	150	50
6000	6.3	335	57	5.8	305	57	6.4	330	57
8000	15.1	590	69	14.1	570	68	16	590	68

ბრწთ/RPM	ფრთოვანების ისრისებურობით			რევერსულ თოლისებრი პროპლეტებით			რევერსულ თოლისებრი		
	A	F	dB	A	F	dB	A	F	dB
2000	0.3	60	40	0.2	40	42	0.2	20	44
4000	2.8	205	53	1.5	120	50	1.5	110	50
6000	8.9	400	59	4.4	230	55	4.5	255	53
8000	22.3	720	68	9.8	445	64	10.4	445	67

ზემოთ აღნიშნული სიმულაციური და ექსპერიმენტული კვლევებიდან გამოყვავით საჰაერო ხრახნების ენერგოეფექტურობის მახასიათებელი (ნახ.5). სიმულაციების შემთხვევაში ეს იყო ერთ Nm მამბრუნ მომენტზე მოსული წვევის ძალა N, ხოლო ექსპერიმენტებისას 1 ამპერი მოხმარებული დენით მიღებული წვევის ძალა F. უნდა აღინიშნოს რომ სიმულაციების და ექსპერიმენტების შედეგები პროპორციულად თითქმის იდენტურად გადანაწილდა კონსტრუქციის ტიპებზე, რაც ფაქტიურად ნათლად გამოჩნდა ნახ.3 ზე მოყვანილ გრაფიკებზე.

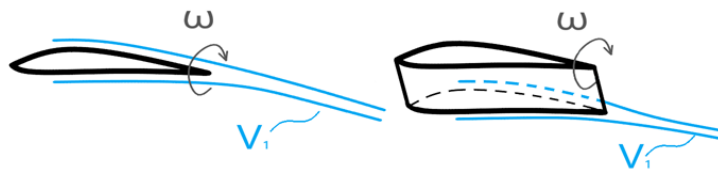


ნახ.3: საჰაერო ხრახნების ენერგოეფექტურობის მახასიათებლების გრაფიკები. A - კომპიუტერული სიმულაციების შედეგები, 1 Nm (ნიუტონ მეტრი) მომენტის შედეგად მიღებული ამწევი ძალა N ნიუტონი; B - სასტენდო ექსპერიმენტების შედეგები, 1A (ამპერი) ელექტრული დენის შედეგად მიღებული წევის ძალა F.

როგორც ვხედავთ კვლევების შედეგად გამოვლინდა რევერსულ თოლიისებრი საჰაერო ხრახნის კონსტრუქცია, რომელსაც ფართოდ გავრცელებულ ხრახნთან შედარებით 15%-მდე გაუმჯობესებული ენერგოეფექტურობის მახასიათებელი აქვს. ეს კი ნიშნავს იმას, რომ ასეთი ხრახნებით აღჭურვილი საფრენი აპარატი შეძლებს 15% გაზარდოს ფრენის ხანგრძლივობა.

გამოკვლეული იქნა 2 სახის რევერსულ თოლიასებრი კონსტრუქცია, პროპლეტებით და პროპლეტების გარეშე. ორივე მათგანმა გაუმჯობესებული კუთრი მახასიათებლები გვიჩვენეს დანარჩენ ხრახნებთან შედარებით, თუმცა პროპლეტების მქონე ხრახნმა შედარებით კიდევ უფრო მაღალი ენერგოეფექტურობა და შემცირებული ხმაური აჩვენა.

აღნიშნული ხრახნის მაღალ ენერგოეფექტურობას განაპირობებს რამდენიმე ფაქტორი: ფრთოვანას ბრუნვის ღერძისადმი დახრილი დიჰიდრალური ორიენტაციის წყალობით მცირდება ბოლოებში წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადის გრიგალური ზონების გავლენა დანარჩენ ფრთოვანას ზონებზე. ეს შეგვიძლია ვივარაუდოთ იქიდან რომ ფრთოვანას ბოლო და შესაბამისად გრიგალის წარმოქმნის კერა მდებარეობს ფრთოვანას ძირითადი ნაწილიდან მოშორებით ზედა სიბრტყეში (ნახ.4), ამიტომ აგრიგალეზული ჰაერის ნაკადის გავლენა ფრთოვანას მიერ დაცვრებულ ნაკადზე შედარებით მცირეა. ეს კი ამცირებს საჰაერო ხრახნის საერთო ინდუქციურ წინააღობას.

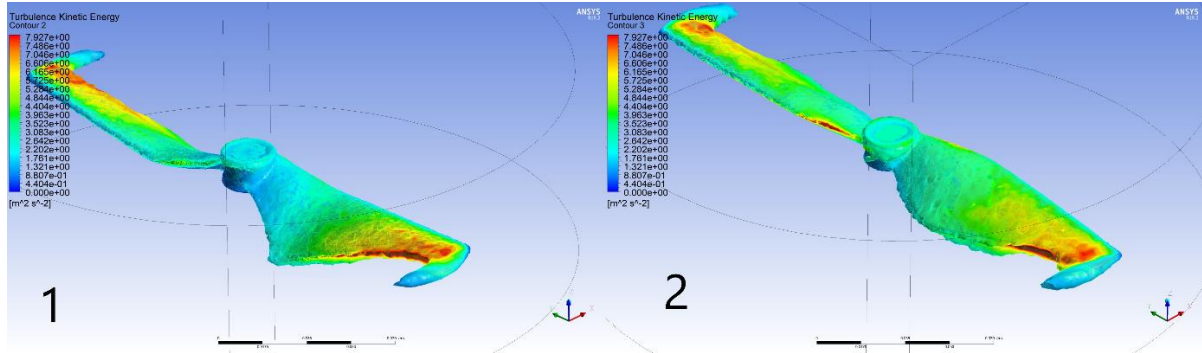


ნახ.4: ფრთოვანას ბოლოში წარმოქმნილი გრიგალის გავლენა ფრთოვანას უკან დაცვრებულ ჰაერის ნაკადზე. ω -გრიგალური ნაკადის ტრანექტორია; V_1 - დაცვრებული ჰაერის ტრანექტორია.

ნახ.5-ზე ნაჩვენებია ტურბულენტური ჰაერის მოცულობებიდან შეგვიძლია ვივარაუდოთ რომ პროპლეტებიან რევერსულ თოლიისებრი საჰაერო ხრახნის შემთხვევაში:

- ტურბულენტური ზონა გაგრძელებულია ფრთოვანას გარდატეხის ნაწილში და მიისწრაფვის ცენტრისკენ.

- აქედან გამომდინარე შეგვიძლია ვთქვათ რომ ფრთოვანას სპეციფიური ფორმა ახდენს ტურბულენტური ზონის ლოკალიზებას და
- უზიძგებს მას ბრუნვის სიბრტყის ნაკლებად საპასუხისმგებლო, შედარებით ნელი ჰაერის სიჩქარის მქონე ზონაში
- ეს კი თავის მხრივ ამცირებს საერთო აეროდინამიკურ წინაღობას და შესაბამისად ხმაურს.



ნახ. 5: სიმულაციის შედეგად მიღებული ტურბულენტური ჰაერის მასები ხრახნის გარშემო, ფერთა გრადიენტით დატანილია ტურბულენტობის კინეტიკური ენერჯის სიდიდე ამ ზონებში. 1) რევერსულ თოლიისებრი ხრახნი პროპლეტებით; 2) ტრადიციული საჰაერო ხრახნი.

დასკვნა:

საჰაერო ხრახნების ენერგო ეფექტურობის გაუმჯობესებისა და ხმაურის შემცირებისთვის გამოიკადა არაერთი ცნობილი და ახალი კონცეპტუალური კონსტრუქცია, რომელთაგან საუკეთესო შედეგები რევერსულ-თოლიასებრი საჰაერო ხრახნის კონსტრუქციამ მოგვცა. აღნიშნულმა ხრახნმა მიუხედავად იმისა რომ ნორმალურ ხრახნთან შედარებით ოდნავ შემცირებული წევის ძალა აჩვენა, სამაგიეროდ შემცირებული აეროდინამიკური წინაღობის გამო საგრძნობლად, თითქმის 15%-მდე გაუმჯობესდა კუთრი წევის ძალა და შესაბამისად ენერგოეფექტურობაც. აღნიშნულმა კონცეპტუალური კონსტრუქციის საჰაერო ხრახნმა პრაქტიკულად გამოიწვია ასევე აკუსტიკური მახასიათებლის გაუმჯობესებაც და ხმაურის დონემ 5 დეციბელით დაიკლო.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ eVTOL ტიპის საფრენი აპარატებში საჰაერო ხრახნების გეომეტრიული ფორმების და ზომების ოპტიმიზაციის შედეგად შესაძლებელია მათი ენერგო ეფექტურობის მნიშვნელოვანი გაზრდა და ხმაურის საგრძნობი შემცირება.

მომავალში შესაძლებელია დამატებითი კვლევები ჩატარდეს დიჰიდრალური და შეტევის კუთხეების მიმართაც და მათი სათანადო ოპტიმიზაციის შედეგად მოხდეს საჰაერო ხრახნის ენერგოეფექტურობის შემდგომი გაზრდა.

მადლიერება:

კვლევა ხორციელდება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [PHDF-19-4077, საჰაერო ხრახნების ეფექტურობის ამაღლება მათი გეომეტრიული ფორმების ოპტიმიზაციის გზით].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- 1) J. P. Sullivan, L. K. Chang, C. J. Miller. (1981) SAE Transactions. The Effect of Proplets and Bi-Blades on the Performance and Noise of Propellers
- 2) J. H. Xu; W. P. Song; X. D. Yang. (2011) ResearchGate article. Effects of Proplet on Propeller Efficiency
- 3) Richard T. Whitcomb. (1980) NACA research memorandum. A description of the design of highly swept propeller blades
- 4) E.L. Houghton; P.W. Carpenter; Steven H. Collicott; Daniel T. Valentine. (2015) Aerodynamics for Engineering Students
- 5) N. SLOSAR. (2021) AVIANS TO AIRPLANES: BIOMIMICRY IN FLIGHT AND WING DESIGN
- 6) ოთარ კემულარია, თამაზ ოზგაძე. (2022) უპილოტო საფრენი აპარატების ავტომატიზებული პროექტირების საფუძვლები (მონოგრაფია)
- 7) Завалов О.А. Башаров Е.А. (2019) Конструкция лопастей несущих и рулевых винтов

Propeller with High Efficiency and Reduced Noise Emission

N. Tabatadze¹, B. Mazanishvili¹, A. Maisuradze¹

¹Georgian Aviation University, 16 Ketevan Dedofli Avenue, 0103, Tbilisi, Georgia

Abstract

In modern electronic vertical take-off and landing (eVTOL) multi-rotor aircraft, the air propeller is the main unit required for flight, and therefore the main part of the electricity available on board the machine is used for their operation. One of the main problems with such machines is the short duration of the flight, which is about 20-30 minutes, and the high noise generated by them. These two important problems of these machines, short flight duration, and environmental noise pollution, are directly related to the efficient operation of propellers.

The article presents the positive effects achieved by geometrical changes in the design of modern propellers and their impact on the technical characteristics of aircraft. Based on the widely used propeller design in practice, we have developed 5 different conceptual propeller designs and both simulation and experimental studies were carried out on them. Research shows that a promising propeller design can achieve up to 15% improved energy efficiency and 5-7 dB reduced noise.

Keywords: *propeller; drone; energy efficiency; noise pollution.*

