

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

<http://www.ssu.edu.ge>

### სარჩევი

თხელკედლიანი კონსტრუქციების ანგარიში დაღლილობასა და ხანგამძლეობაზე ANSYS საპროგრამო კომპლექსის გამოყენებით .....	6
საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ავტომატური აღრიცხვის პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები.....	11
სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავებთან გადამფრენი ფრინველების შეჯახების თავიდან აცილების ორგანიზაციული ღონისძიებები საქართველოში .....	18
სატრანსპორტო საწარმოების მართვის მეთოდები.....	27
სამოქალაქო ავიაცია და უსაფრთხოება.....	32
საჰაერო ტრანსპორტის მართვის, გადაადგილების და საჰაერო სივრცის ეფექტურად ათვისების საკითხები .....	35
Challenges in Risk Identification and Management in Occupational Safety and Health (OSH) within the Civil Aviation Industry.....	43
Flight laboratories role in aviation related projects and teaching methodology development. Polish and Georgian Case Studies.....	48
ნახვრეტის მქონე მართკუთხა ფირფიტის სიმტკიცეზე ანგარიში ღერძული დატვირთვის შემთხვევაში.....	61
ელიფსური ნახვრეტის მქონე მართკუთხა ფირფიტის სიმტკიცეზე ანგარიში ღერძული დატვირთვის შემთხვევაში.....	67
მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა გაუმჯობესებული მეთოდით ცოცვადობის პროცესის მაგალითზე .....	73
სანაპირო ზოლში მომუშავე სამაშველო შვეულმფრენების და დრონების ფრენის უსაფრთხოების გაზრდა ძრავებში ფრინველების მოხვედრისგან დამცავი მოწყობილობების გამოყენებით.....	81
მიმმართველ მილში მოთავსებული თანაღერძული ხრახნების სისტემის მახასიათებლების კვლევა .....	87
ხმოვანი რადიომაუწყებლობის სერვისიდან (87.5-108 MHz) გენერირებული ინტერმოდულაციური სიგნალების ზემოქმედების გავლენის კვლევა საჰაერო ხომალდის აერონავტიკულ ILS რადიოსანავიგაციო მიმღებზე .....	97
დრონის ძრავების ფრინველთან შეჯახებისგან დამცავი ბადისა და ფიჭა-კონუსის მასალების კვლევა .....	107
კომპიუტერული ტექნოლოგიები და მათი გამოყენება საავიაციო სამეცნიერო კვლევებში	118

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

Each article has been checked for plagiarism through the [Strikeplagiarism.com](http://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, პროფესორი. ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციაში.

#### სამეცნიერო-სარედაქტორო საბჭო

**ანდრო მასურაძე**, აკადემიური დოქტორი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორი, თბილისი, საქართველო.

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

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

**კონსტანტინოს კალიგიანისი**, კაზიმირას სამონავიციუს 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, საქართველოს ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი, 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 ასოცირებული პროფესორი, სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ხელმძღვანელი, ინჟინერიის დოქტორის აკადემიური ხარისხი მექანიკის ინჟინერისა 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, PhD of Engineering in Air Transport Exploitation, Professor.

#### Scientific-Editorial Board

**Andro Maisuradze**, PhD, Professor of the Engineering Faculty of Georgian Aviation University. 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, Academician of the Georgian National Academy, 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**, Associate Professor at Georgian Aviation University Engineering Faculty. Head of the scientific-research center, PhD degree in Engineering of Mechanical Engineering and Technology, Tbilisi, Georgia.

## რობერტი ებრალიძე - 90

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის  
საინჟინრო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი



ასოცირებული პროფესორი რობერტ ებრალიძე დაიბადა 1934 წლის 30 მაისს ქალაქ ლანჩხუთში. 1950 წელში ჩაირიცხა სამხედრო საჰაერო ძალების თბილისის სპეციალურ საშუალო სკოლაში, რომელიც დაამთავრა 1953 წელს და ჩაირიცხა დაუგავპილსის სამხედრო საავიაციო რადიოტექნიკურ სასწავლებელში, რომელიც დაამთავრა 1956 წელს. 1956-1960 წლებში მსახურობდა საავიაციო ბომბდამშენ პოლკში უფროსი ტექნიკოსის თანამდებობაზე. 1960 წელს სწავლა გააგრძელა ლენინგრადის სამხედრო საავიაციო საინჟინრო აკადემიაში, რომელიც დაამთავრა 1965 წელს. იმავე წელს სამხედრო სამსახური გააგრძელა სტრატეგიული დანიშნულების სარაკეტო ჯარების პოლკში ჯერ პოლკის ინჟინრის მოადგილის, შემდგომ პოლკის შტაბის უფროსის თანამდებობაზე.

1981 წელს გავიდა პენსიაზე. 1982-1992 წლებში მუშაობდა ლანჩხუთის რადიოტექნიკურ ტექნიკუმში მასწავლებლად.

1993-1999 წლებში მსახურობდა საქართველოს სამხედრო საჰაერო ძალების შტაბის უფროსის თანამდებობაზე. 2001 წლიდან რობერტ ებრალიძე მუშაობს საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტში საინჟინრო ფაკულტეტზე ასოცირებული პროფესორის წოდებით. იგი კითხულობს ლექციებს ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის სასწავლო კურსებში: „ფრენების უზრუნველყოფის მიწისზედა რადიონავიგაციური სისტემები“, „მიწისზედა რადიოლოკაციური და რადიონავიგაციური სისტემები და მოწყობილობები“, „ფრენის მართვის ავტომატური სისტემები“, „საპილოტაჟო სანავიგაციო კომპლექსები“.

მეუღლე, პროფესორი ექთანი (გარდაცვლილი). შვილი ნონა ებრალიძე, პროფესორი იურისტი.

საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალის „საჰაერო ტრანსპორტის“ სარედაქციო კოლეგია ულოცავს ბატონ რობერტ ებრალიძეს დაბადებიდან 90 წლის იუბილეს. უსურვებს მას ჯანმრთელობას და დიდხანს სიცოცხლეს.

## თხელკედლიანი კონსტრუქციების ანგარიში დადლილობასა და ხანგამძლეობაზე ANSYS საპროგრამო კომპლექსის გამოყენებით

ს. ტეფნაძე<sup>1</sup>, ი. ლოლაძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო<sup>1</sup>

**რეზიუმე:** საყოველთაოდ ცნობილია, რომ საავიაციო კონსტრუქციების ხანგამძლეობის საკითხების გადაწყვეტა ერთ-ერთი ურთულესი საკითხია, მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული საკითხის შესწავლას მიძღვნილი აქვს არაერთი სამეცნიერო სტატია თუ მონოგრაფია, სადღეისოდ არ არსებობს სრულყოფილი მეთოდი, რომლის შედეგადაც საფრენ აპარატებს ზუსტად განესაზღვრება ფრენა-საათი ან კალენდარული დრო, სწორედ ამიტომ მიმართავენ საფრენ აპარატებზე ფიზიკური ექსპერიმენტის ჩატარებას განმეორებით სტატიკურ დატვირთვებზე, რაც ფინანსურად და დროის თვალსაზრისით საკმაოდ ძვირადღირებულია. აღნიშნულ ნაშრომში გადმოცემულია არამარტო დადლილობისა და ხანგამძლეობის ზოგადი საკითხები, არამედ რიცხვითი ექსპერიმენტის სახით განხილულია კონკრეტული კონსტრუქციის ანგარიში ხანგამძლეობაზე, ციკლური დატვირთვების პირობებში შეფასებულია ყველა ის პარამეტრი რომელიც განსაზღვრავს მის მუშაუნარიანობას დროის გარკვეულ პერიოდში. სტატიაში განხილულია დადლილობის ფენომენი და რა ძირითადი ფაქტორები ახდენენ გავლენას მასზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ძაბვა, კონცენტრატორი, სიხისტე, სასრული ელემენტი.

### ძირითადი ნაწილი

კონსტრუქციათა და მათი ელემენტების უდიდესი ნაწილი განიცდის დატვირთვებს, რომლებიც ცვალებადია დროში. დროზე დამოკიდებული ცვლადი დატვირთვებისაგან გამოწვეული კონსტრუქციათა დეფორმირებული ფორმა მცირედით განსხვავდება სტატიკური დატვირთვების გავლენით გამოწვეული კონსტრუქციათა დეფორმირებული ფორმისაგან. ასეთი სახის დატვირთვებს ეწოდება კვაზისტატიკური დატვირთვები. ყველაზე ფართოდ გავრცელებული ასეთი სახის დატვირთვებია სიდიდით ცვლადი და დროში გამეორებადი დატვირთვები. ასეთ დატვირთვებს ეწოდება ციკლური დატვირთვები. მანქანა-დანადგარებისა და სხვადასხვა სახის კონსტრუქციათა მუშაობისას ციკლური (ასი ათასობით, მილიონობით ან, თუნდაც, მილიარდობით ციკლი) დატვირთვების პირობებში ხანგრძლივი დროის განმავლობაში საკმაოდ ხშირად გვხვდება მათი უეცარი რღვევა, ამასთან შესამჩნევი ნარჩენი დეფორმაციები არ აღინიშნება და ძაბვათა ტენზორი არსებითად ნაკლებია ვიდრე სტატიკური სიმტკიცის შემთხვევაში. ეს ფენომენი ფიქსირდება, როგორც მყიფე მასალების შემთხვევებში, ისევე პლასტიკურ მასალებშიც, ამასთან სტატიკური დატვირთვების შემთხვევაში პლასტიკურ მასალებში რღვევის პროცესის თანმხლები

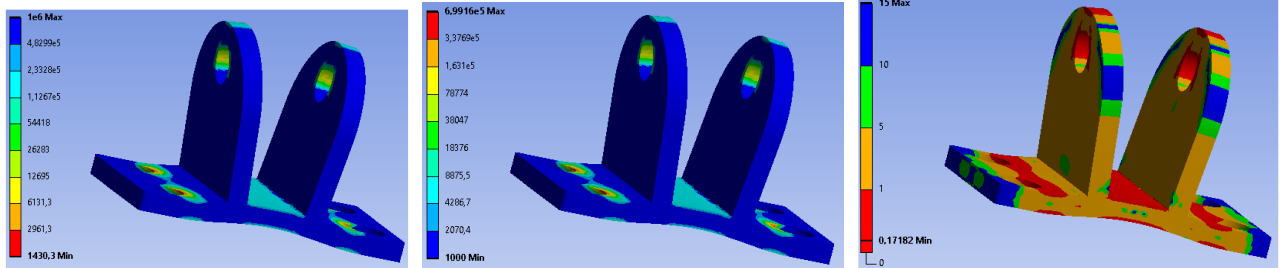
პროცესია მცირე პლასტიკური (ნარჩენი) დეფორმაციები. კონსტრუქციის ელემენტების მოულოდნელ რღვევას, რომელიც გამოწვეულია დატვირთვითა მრავალჯერადი გამეორებით, ეწოდება მასალის დაღლილობა (ასეთი სახის რღვევები ხდება ისეთ ობიექტებზე როგორცაა: თვითმფრინავები, ხიდები, შენობა-ნაგებობები, და სხვ). მასალის უნარს წინ აღუდგეს ციკლური დატვირთვებით გამოწვეულ რღვევას, ეწოდება დაღლილობისადმი წინაღობა [3]. დაღლილობა, როგორც მოვლენა, იყოფა ორ სახეობად: მცირეციკლურ და მრავალციკლურ დაღლილობად. მცირეციკლური დაღლილობა არის მასალის დაღლილობა, რომლის დროსაც დაღლილობისგან დაშლა ან რღვევა მიმდინარეობს დრეკად-პლასტიკური დეფორმაციისას. მრავალციკლური დაღლილობა არის მასალის დაღლილობა, რომლის ძირითად პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს კონსტრუქციის მასალის დაღლილობისადმი წინაღობას, წარმოადგენს გამძლეობის ზღვარი. ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მიღებულია დამოკიდებულებები [3], რომლებიც აკავშირებს გამძლეობის ზღვარს ღუნვისას  $\sigma_{-1}$ , ძაბვების მნიშვნელობებთან გაჭიმვა - კუმშვის  $\sigma_{-1}^p$  და გრეხვის  $\tau_{-1}$ , დროს. მცირედ და საშუალოლეგირებული ფოლადებისთვის  $\sigma_{-1}^p = (0,7 \div 0,9)\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1} = (0,5 \div 0,6)\sigma_{-1}$  ალუმინის შენადნობისათვის  $\sigma_{-1}^p = (0,85 \div 0,95)\sigma_{-1}$ ,  $\tau_{-1} = (0,55 \div 0,65)\sigma_{-1}$ . შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები: ძაბვითა ციკლის ამპლიტუდა -  $\sigma_a$ , ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა -  $\sigma_m$ , ხოლო ძაბვის ზღვრული მნიშვნელობა -  $\sigma_b$ . ძაბვის ზღვრული ამპლიტუდების დიაგრამის აღსაწერად [4]-ში შემოთავაზებულია სხვადასხვა თანაფარდობები. ქვემოთ მოყვანილია უფრო ხშირად გამოყენებადი თანაფარდობები, რომელთაგან ზოგიერთი გამოიყენება მცირეციკლური დატვირთვების შემთხვევაში და აღინიშნება E-N წირით (დეფორმაცია - ციკლების რაოდენობა) (მოროუ და სმიტ - უოტსონ - ტოპპერის დამოკიდებულებები), ხოლო მრავალციკლური დატვირთვების შემთხვევაში S-N წირი (გუდმან, ჰერბერ, ზოდერბერგის დამოკიდებულებები). გუდმანის დამოკიდებულება გამოიყენება მყიფე მასალებისათვის  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)$ ; ჰერბერის დამოკიდებულება გამოიყენება პლასტიკური მასალებისათვის  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)^2\right)$ ; ზოდერბერგის დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_T}\right)$ ; მოროუს დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f}\right)$ ; სმიტ - უოტსონ - ტოპპერის დამოკიდებულება  $\sigma_a = \sigma_{-1} \sqrt{\frac{2}{1-R}}$ ; სერენსენის დამოკიდებულება:  $\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi_\sigma \sigma_m$  და  $\tau_a = \tau_{-1} - \psi_\tau \tau_m$ , სადაც  $\sigma_b$  სიმტკიცის ზღვარია გაჭიმვისას;  $\sigma_T$  - დენადობის ზღვარი;  $\sigma_{-1}$  - გამძლეობის ზღვარი სიმეტრიული ციკლისას;  $\sigma_f$  - დაღლილობის სიმტკიცე; R - ასიმეტრიის კოეფიციენტი.  $\psi_\sigma$  წარმოადგენს ძაბვის ციკლის ასიმეტრიის მგრძობიარობის კოეფიციენტს, ამასთან  $\psi_\sigma$  გაჭიმვისა და ღუნვისას ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის იცვლება (0,1÷0,2) ზღვრებში, ხოლო ლეგირებული ფოლადებისა და მსუბუქი შენადნობებისათვის (0,15÷0,3) შუალედშია. რეალური კონსტრუქციები, რომლებიც განიცდის ცვლად დატვირთვებს, გეომეტრიული ზომებით არსებითად განსხვავდება საექსპერიმენტო ნიმუშებისაგან, ასევე სისუფთავის კლასიც განსხვავებულია და ნაკეთობა შეიძლება განიცდიდეს ძაბვითა კონცენტრაციას.

ზემოთ ჩამოთვლილი ნებისმიერი ფაქტორი გავლენას იქონიებს ნაკეთობის კონსტრუქციის გამძლეობის ზღვარზე, ამიტომ აღნიშნული ფაქტორების გასათვალისწინებლად შემოტანილია გარდაქმნის (კონვერსიის) კოეფიციენტი  $K$ , რომელსაც ეწოდება გამძლეობის ზღვრის შემცირების კოეფიციენტი, ე. ი.  $K$  წარმოადგენს სტანდარტული ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1}$  -ის ფარდობას ობიექტის გამძლეობის ზღვართან  $\sigma_{-1D}$  ერთი და იმავე ციკლის ასიმეტრიის პირობებში. მაშინ ობიექტის (კონსტრუქციის) გამძლეობის ზღვარი შესაძლებელია განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით  $\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K}$ . გამძლეობის ზღვრის შემცირების კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [3],  $K = \left( \frac{K_{d\sigma}}{K_{F\sigma}} + 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v}$ . მოცემულ თანაფარდობაში გათვალისწინებულია ძაბვის კონცენტრაციის გავლენა, ნაკეთობათა ზომების გავლენა, ზედაპირის სისუფთავის კლასი და ზედაპირული გამტკიცება, სადაც  $K_{d\sigma}$  წარმოადგენს ძაბვის კონცენტრაციის ეფექტურობის კოეფიციენტს,  $K_{F\sigma}$  წარმოადგენს განივი კვეთის აბსოლუტური ზომის გავლენის კოეფიციენტს,  $K_{F\sigma}$  წარმოადგენს ზედაპირის სისუფთავის გავლენის კოეფიციენტს, ხოლო  $K_v$  არის ზედაპირული განმტკიცების კოეფიციენტი. როგორც ცნობილია ნიმუშების ზომების ზრდასთან ერთად (მასშტაბის ფაქტორი) მცირდება გამძლეობის ზღვარი, ამ მოვლენას უწოდებენ მასშტაბის ეფექტს ან მასშტაბის ფაქტორს. აღნიშნული მოვლენის დასახასიათებლად შემოაქვთ  $K_{d\sigma}$  პარამეტრი, რომელსაც ეწოდება განივი კვეთის აბსოლუტური ზომების გავლენის კოეფიციენტი, და რომელიც განიმარტება როგორც  $d$  დიამეტრის მქონე გლუვი ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1d}$ -ს ფარდობა სტანდარტული გლუვი ნიმუშის გამძლეობის  $\sigma_{-1}$  ზღვართან [1].

გამძლეობის ზღვარზე ზედაპირის მდგომარეობის გავლენის დასახასიათებლად შემოტანილია  $K_{F\sigma}$ - კოეფიციენტი, რომელსაც უწოდებენ ზედაპირის სიმქისის გავლენის კოეფიციენტს და რომელიც წარმოადგენს მოცემული სიმქისის მქონე ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1F}$  ფარდობას ნიმუშის გამძლეობის ზღვართან [3].

ზედაპირის განმტკიცების გავლენის შეფასებისათვის შემოაქვთ  $K_v$  კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ზედაპირული განმტკიცების გავლენის კოეფიციენტს. იგი ტოლია განმტკიცებული ნიმუშის გამძლეობის ზღვრის  $\sigma_{-1v}$  ფარდობისა განუმტკიცებელი ზედაპირის გამძლეობის ზღვართან  $\sigma_{-1}$  [1].  $K_v = \frac{\sigma_{-1v}}{\sigma_{-1}}$ . ზოგადად  $K_v$  კოეფიციენტის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში. აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით განვიხილოთ ფოლადისგან დამზადებული კრონშტეინი, რომელიც დამაგრებულია ოთხი ჭანჭიკით ხოლო თითოეულ ყურზე მოსული დატვირთვა ტოლი იყოს  $F_z = 500$ კგმ. სტატიაში არ შევხებით ზოგადი დამაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობის ანალიზს, განვიხილოთ მხოლოდ ის მახასიათებლები, რომლებიც ეხება რესურსს.





ნახ. 1 კონსტრუქციის სიცოცხლის ხანგრძლიობა

ნახ. 2 დაზიანება, მტყუნება

ნახ.3 მარაგის კოეფიციენტი

### დასკვნა

ყოველივე ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინებით კონკრეტულ მაგალითზე შესწავლილი იქნა კრონშტეინის დაძაბულ-დეფორმაციული მდგომარეობა და ის მახასიათებლები, რომლებიც გავლენას ახდენენ რესურსზე კერძოდ: კონსტრუქციის სიცოცხლის ხანგრძლიობა, დაზიანება და უსაფრთხოების კოეფიციენტი. ნახ.1, ნახ.2 და ნახ.3 ნათლად ჩანს საშიში უბნები და შესაბამისი სიდიდეების რიცხვითი მნიშვნელობები.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - ს. ბლიაძე, გ. ყიფიანი, ა. გოგოლიძე, რ. გოშაძე, კონსტრუქციების დადლილობაზე ანალიზი კომპლექსური პროგრამა ANSYS-ის მეშვეობით. „საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2017 წ., 232 გ;
- [2] - ГОСТ 23.207-78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. – М. : Изд-во стандартов, 1981. - 48 с;
- [3] - ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. - М. : Изд-во стандартов, 1982. – 81;
- [4] - С.Р. Игнатович, М.В. Карускевич, Т.П. Маслак, С.С. Юцкевич. Ресурс и долговечность авиационной техники:учеб. Пособ./К.: НАУ, 2015.-164 с;
- [5] - Ewing J.A., Humfrey J.C. The fracture of metals under repeated alternations of stresses // Phil. Trans. Roy. Soc. of London A. – 1903. – v. 200. – N 326. - p. 241 – 250.

## **Analysis of fatigue and durability of thin-walled Structures using the ANSYS software package**

S. Tepnadze<sup>1</sup>, I. Loladze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

### **Abstract**

It is widely known that solving the issues of durability of aircraft structures is one of the most difficult issues, despite the fact that a number of scientific articles or monographs are devoted to the study of this issue, an ideal method still does not exist. As a result, it is very difficult to accurately determine the number of flights or the calendar period on an airplane. That is why they resort to conducting physical experiments on aircraft under multiple static loads, which is very significant in financial and time terms. This article not only presents general issues of fatigue and durability, but also reports on the durability of a specific structure as a numerical experiment, evaluating all the parameters that determine its performance over a certain period of time under cyclic loads. A specific example shows the service life, damage and safety factor of the bracket.

## საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ავტომატური აღრიცხვის პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები

რობერტ ხაჩიძე

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების (ნახშირბადის ოქსიდების - CO/CO<sub>2</sub>, დაუწვავი ნახშირწყალბადების - C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> და აზოტის ოქსიდების - NO<sub>x</sub>) ავტომატური აღრიცხვის პრობლემები და დასახულია მათი გადაჭრის გზები ICAO-ს მიერ რეკომენდებული მეთოდის გამოყენებით. დასმულია საკითხი ჰაერისა და აეროპორტების მიმდებარე გარემოს შესაბამისი დაბინძურებით გამოწვეული ეკოლოგიური საფრთხის შესწავლისა და შეფასების აუცილებლობის შესახებ და გამახვილებული ყურადღება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირწყალბადოვანი აირების შემცირებისა და კომპენსაციის სქემის (CORSIA) მოთხოვნებზე და საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს ჩართულობაზე ამ პროცესში.

**საკვანძო სიტყვები:** აირების ემისია, ჰაერის დაბინძურება, აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლი, ძრავას მუშაობის რეჟიმი, გამონაბოლქვი აირები, ემისიის ინდექსი.

### ძირითადი ნაწილი

საჰაერო ხომალდების მოძრაობისას როგორც აეროდრომის ტერიტორიაზე, ისე მათი აფრენისა და დაფრენის დროს - ე.წ. აფრენა-დაფრენის ციკლის შესრულებისას (აღც -LTO), ასევე ჰაერში კრეისერულ სიმაღლეზე ჰორიზონტალური მოძრაობისას, ძრავებიდან გამოიყოფა ჰაერის დამაბინძურებელი ქიმიური ნივთიერებები, რომლებიც დაჯგუფებულია შემდეგნაირად: ნახშირბადის ოქსიდები - CO/CO<sub>2</sub>, დაუწვავი ნახშირწყალბადები - C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, აზოტის ოქსიდები - NO<sub>x</sub> და ჰაერში შეწონილი მყარი ნაწილაკები კვამლის სახით - SN.

ზემოაღნიშნული ნივთიერებებიდან თითოეული მათგანი ცალცალკე და ერთობლივად უარყოფით ზემოქმედებას ახდენენ როგორც გარემოზე, ისე კლიმატზე. ნახშირორჟანგი CO<sub>2</sub> ყველაზე სიცოცხლისუნარიანია (დაახლოებით 100 წელი), ერევა ატმოსფეროს ქვედა ფენებში და გროვდება იქ, რაც ხელს უწყობს სათბურის ეფექტის გაზრდას. ნახშირორჟანგი CO წარმოიქმნება საწვავის არასრული წვის გამო. ის ადამიანებისა და თბილისისხლიანი ცხოველებისათვის მომწამვლელია, როცა ის ხვდება მათ ორგანიზმში სასუნთქი გზების საშუალებით. ის გარკვეულწილად მონაწილეობს ოზონის წარმოქმნის პროცესში ტროპოსფეროში. მავნე ნივთიერებებს მიეკუთვნება საჰაერო ხომალდის ძრავას გამონაბოლქვში არსებული აზოტის ოქსიდებიც NO<sub>x</sub>. მყარი შეწონილი ნაწილაკები SN, რომლებიც გამოიტყორცნება უშუალოდ ძრავიდან ან მეორადი პროცესების შემდეგ, ქმნის სხვადასხვა ნივთიერების (მძიმე მეტალები, სულფატები, ნიტრატები, ამონიუმები, ორგანული ნახშირბადები და სხვა) შემცველი ნაწილაკების რთულ ნარევეს, რომელთა ზომები 2.5 მიკრომეტრი ან ნაკლებია. ისინი ახდენს ნეგატიურ ზემოქმედებას ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ასევე მცენარეებზე, ილექება და აბინძურებს ნიადაგს და გრუნტის წყლებს [1].

2016 წელს სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO გარემოს დაცვის კომიტეტში მიღწეული იქნა შეთანხმება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირწყალბადოვანი აირების შემცირებისა და კომპენსაციის სქემის შესახებ (CORSIA), რომლის მიხედვითაც 2020 წლიდან მსოფლიო ავიაციამ არ უნდა გაზარდოს ნახშირწყალბადოვანი აირების გამონაბოლქვი, ხოლო 2050 წლისათვის ის უნდა შეამციროს ორჯერ 2005 წლის დონესთან შედარებით. დღეისათვის CORSIA-ს მიერთებულია 73 ქვეყანა, რომლებიც მოიცავს მსოფლიოს საავიაციო კომპანიების 88%-ს [2].

2024 წლის 1 იანვრიდან საქართველოში ამოქმედდა „საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანის გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესი“ [3].

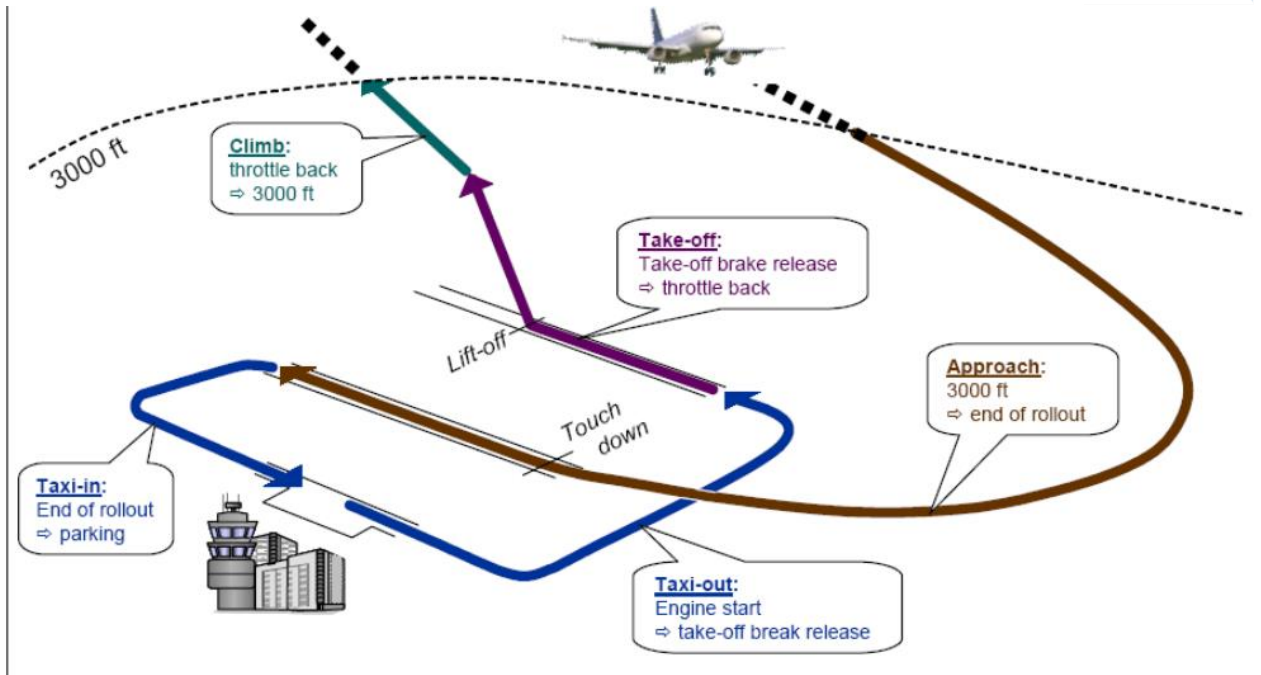
ზემოაღნიშნულის პარალელურად ჩასატარებელია დამატებითი კვლევები იმის დასადგენად, თუ როგორ გადანაწილდება ზემოაღნიშნული გამოფრქვეული მავნე ნივთიერებები თითოეული აეროპორტისა და მიმდებარე გარემოში - ჰაერში, ნიადაგსა და გრუნტის წყლებში. ძრავიდან გამონაბოლქვი, რომელიც წარმოიქმნება თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის ციკლის დროს, პირველ რიგში აბინძურებს აეროპორტის მიმდებარე გარემოს, სადაც უმრავლეს შემთხვევაში არის დასახლებული პუნქტები და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. აბსოლუტურად განსხვავებული კლიმატური პირობები და გარემო საქართველოში მოქმედ 3 საერთაშორისო სამოქალაქო აეროპორტებში (თბილისის, ქუთაისის, ბათუმის). ამიტომ საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების რაოდენობის განსაზღვრის შემდეგ აუცილებელია მათი გარემოში განაწილების სურათის დადგენა თითოეული აეროპორტისათვის შესაბამის რეგიონში გაბატონებული ქარებისა და გრუნტის წყლების მიმართულებების, ასევე სხვა განსაკუთრებული მიზეზების გათვალისწინებით [4-6].

როგორც ICAO-ს სახელმძღვანელო დოკუმენტებშია აღნიშნული, აეროპორტის ზონის ჰაერისა და მიმდებარე გარემოს დაბინძურება საავიაციო ემისიებისაგან ხდება თვითმფრინავის აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის დროს, ანუ აეროდრომის ზემდებარე სივრცეში აეროდრომის ზედაპირიდან 3000 ფუტ (915 მ) სიმაღლემდე. თვითმფრინავის უფრო მეტ სიმაღლეზე მოძრაობისას მისი ძრავიდან გამონაბოლქვი ნივთიერებები აღარ ხვდება აეროპორტის ზონაში [7].

უნდა აღინიშნოს, რომ ჰაერში საჰაერო ხომალდების გამონაბოლქვი ნივთიერებების მავნე კომპონენტების კონცენტრაცია და მათი სივრცული განაწილების მახასიათებლები ატმოსფეროში და აეროპორტის ტერიტორიაზე დიდწილად დამოკიდებულია იმ დროისთვის არსებულ როგორც ლოკალურ, ისე გლობალურ მეტეოროლოგიურ პირობებზე. ამ პირობებიდან ყველაზე მკაფიოდ არის გამოხატული ქარის მიმართულებისა და სიჩქარის გავლენა. სხვა ფაქტორების (ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა, მზის რადიაცია) გავლენა ნაკლებად გამოხატულია და ამ ფაქტორებზე დამოკიდებულება უფრო რთული ხასიათისაა.

ICAO-ს მიხედვით საჰაერო ხომალდის აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლი (LTO) მოიცავს შემდეგ ეტაპებს: მიმოსვლა აეროდრომზე აფრენის წინ (Taxi-out), აფრენა (Take-off), სიმაღლის აკრეფა (Climb), დაფრენა (Approach).

სურ. 1-ზე წარმოდგენილია ICAO-ს მიერ მიღებული თვითმფრინავის ფრენის პირობითი ეტაპები, ხოლო ცხრ. 1-ში მოცემულია აეროპორტის ზონაში საჰაერო ხომალდის მიერ შესრულებული ოპერაციებისა და მისი ძრავის მუშაობის რეჟიმების მახასიათებლები.



სურ. 1 თვითმფრინავის ფრენის პირობითი ეტაპები

საექსპლოატაციო რეჟიმი	ეტაპის ხანგრძლივობა	ძრავის სიმძლავრე
მიმოსვლა აეროდრომის ტერიტორიაზე აფრენის წინ (Taxi-out)	19 წთ	7%
აფრენა (Take-off)	0,7 წთ	100%
სიმაღლის აღება (Climb)	2,2 წთ	85%
დაფრენა (Approach)	4,0 წთ	30%
მიმოსვლა აეროდრომის ტერიტორიაზე დაფრენის შემდეგ (Taxi-in)	7 წთ	7%

ცხრ. 1 საჰაერო ხომალდის მიერ შესრულებული ოპერაციები და მისი ძრავის მუშაობის რეჟიმების მახასიათებლები

ICAO-ს შესაბამის დოკუმენტებში მოცემული ფორმულებისა და მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელია აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის ოპერაციების შესრულებისას საავიაციო ემისიების გამოთვლა აეროპორტის ზონებში ჩვენთვის საინტერესო პერიოდის განმავლობაში, თუ ცნობილი იქნება ამ პერიოდში აეროპორტში მოფრენილი და აეროპორტიდან გაფრენილი თვითმფრინავებისა და შესაბამისად მათი ძრავების სახეობები და რეისების რაოდენობა.

დამაბიძრებელი ნივთიერებების მასა, რომელიც წარმოიქმნება ავიაძრავში და გამოიფრქვევა ატმოსფეროში დამოკიდებულია:

- ძრავის რეჟიმსა და მუშაობის დროზე;
- ამ ნივთიერების ემისიის ინდექსზე;
- საწვავის მოხმარების რეჟიმზე.

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის ამავე სახელმძღვანელო დოკუმენტში მოცემულია საავიაციო ძრავების ემისიების შეფასების მეთოდოლოგია, რომლის თანახმადაც აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის ოპერაციების შესრულებისას აეროპორტის ზონაში თვითმფრინავის ძრავიდან ატმოსფეროში გამონაბოლქვი თითოეული დამაბინძურებელი ნივთიერების რაოდენობის გამოთვლა შესაძლებელია მარტივი, გამომჯობესებული ან დეტალური მეთოდის გამოყენებით.

გაუმჯობესებულ და დეტალურ მეთოდების გამოყენებისას შედარებით მეტი ინფორმაციის გათვალისწინება შესაძლებელი (მეტეოროლოგიური პირობების პარამეტრები რეისის შესრულებისას, ჰაერის წნევა და ტემპერატურა საჰაერო ხომალდის აფრენისას ან დაფრენისას, აეროპორტის განლაგების სიმაღლე ზღვის დონიდან, დაწვრილებითი ტექნიკური და საექსპლუატაციო მონაცემები საჰაერო ხომალდისა და მისი ძრავის შესახებ და სხვა).

მაგალითისათვის, მარტივი მეთოდით საჰაერო ხომალდების გამონაბოლქვი ნივთიერებების მასა  $M_i$  (კგ-ში) გამოითვლება ფორმულით:

$$M_i = \sum EI_{ij} \cdot G_j \cdot T_j,$$

სადაც:

$i$  - დამაბინძურებელი ნივთიერების ნომერია;

$j$  - ძრავას მუშაობის რეჟიმის ნომერი აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის შესრულებისას;

$EI_{ij}$  -  $i$ -ური დამაბინძურებელი ნივთიერების ემისიის ინდექსი ძრავას მუშაობის  $j$ -ური რეჟიმის დროს;

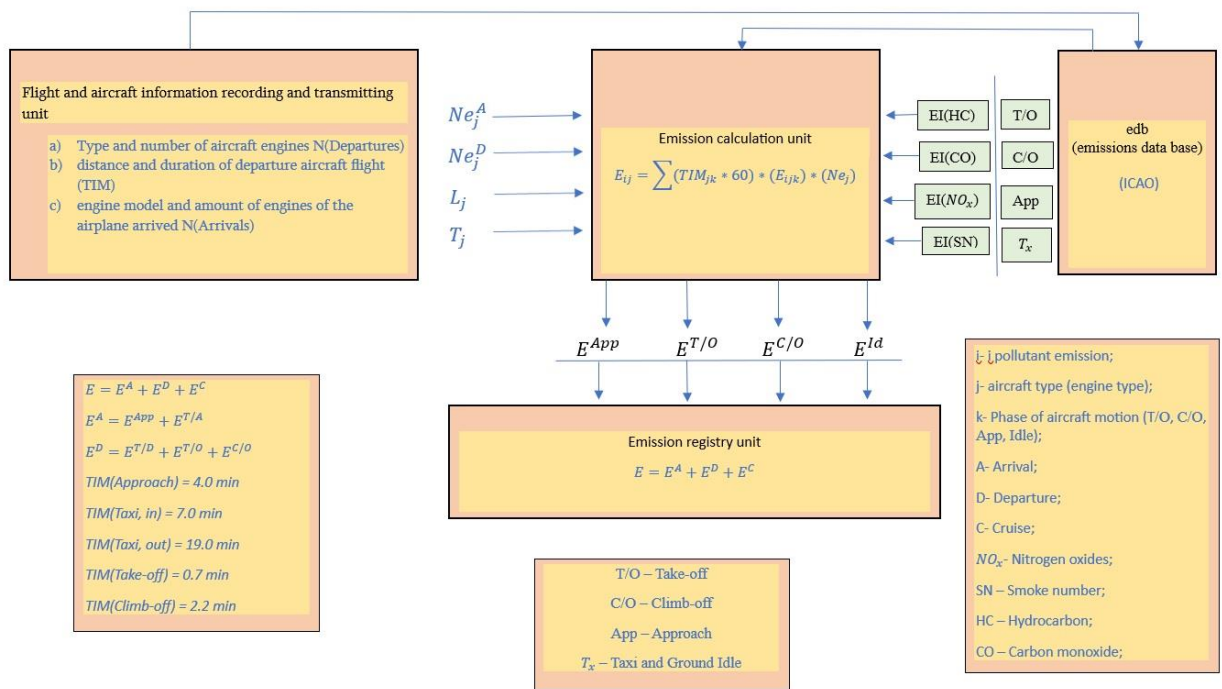
$G_j$  - ძრავას მიერ დახარჯული საწვავის რაოდენობაა (კგ/წმ) ძრავას მუშაობის რეჟიმის  $j$  რეჟიმის დროს;

$T_j$  - ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობა მისი მუშაობის რეჟიმის  $j$  რეჟიმის დროს.

როგორც ამ და ნებისმიერი სხვა გამოთვლებისას ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრია ძრავას ემისიის ინდექსი  $EI$ , ანუ მონაცემები იმის შესახებ, თუ საჰაერო ხომალდის რომელი ძრავა თითოეული ამ ნივთიერების რა რაოდენობას გამოყოფს ერთ წამში ერთი კილოგრამი საწვავის დაწვისას. ემისიის ინდექსები დადგენილია თითოეული ტიპის სერტიფიცირებული ძრავისათვის და მოცემულია ICAO-ს შესაბამის სახელმძღვანელო დოკუმენტში [8].

საჰაერო ხომალდების სხვადასხვა ტიპის მრავლების საჰაერო ემისიების ICAO-ს მონაცემთა ბაზის საფუძველზე აღნიშნული ფორმულისა და „Excel“-ის ცხრილების გამოყენებით შესაძლებელია საჰაერო მრავლებიდან გამონაბოლქვი დამაბინძურებელი ნივთიერებების როგორც ცალკეული, ისე ჯამური მასის გამოთვლა ნებისმიერი აეროპორტისათვის მისი ექსპლუატაციის ნებისმიერი დროის მონაკვეთისათვის, თუ ცნობილი იქნება ფრენის განრიგი და შესრულებული (ან შესასრულებელი) რეისების რაოდენობა, საჰაერო ხომალდებისა და მათი მრავლების ტიპები.

როგორც წესი, ზემოთ აღნიშნული მონაცემები ფიქსირდება აეროპორტის შესაბამისი სამსახურის მიერ დადგენილი ფორმით განსაზღვრულ დოკუმენტებში. მაგრამ ნებართვის მიღება მათ ლეგალურ გამოყენებაზე, მათი მოძიება და დამუშავება, ხოლო შემდეგ გამოთვლების ჩატარება სპეციალურად დამუშავებული პროგრამის გამოყენებით საკმარისად დიდ დროსა და ადამიანურ რესურსს მოითხოვს. უმჯობესი იქნება ისეთი ავტომატური ელექტრონული მოწყობილობის შექმნა, რომელიც აეროპორტიდან აფრენილი ან მოფრენილი საჰაერო ხომალდის შესახებ ინფორმაციის ჩანაწერის გაკეთების პარალელურად მიიღებს კოდირებულ ინფორმაციას ამ ჩანაწერის შესახებ და გამოთვლის მიმდინარე რეისის (გაფრენის ან მოფრენის) აფრენა-დაფრენის სტანდარტული ციკლის შესაბამისი ეტაპების შესრულებისას გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების მასურ რაოდენობას. ეს შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი სქემის მიხედვით



სურ. 2 გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების მასური რაოდენობის გამოთვლის სქემა

სქემის რეალიზაციისათვის საჭიროა საინჟინრო და პროგრამირების მეთოდების სინთეზური გამოყენება, რაც სავსებით შესაძლებელია თანამედროვე ტექნოლოგიების პირობებში.

## დასკვნა

საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერებების ავტომატური აღრიცხვის მეთოდის გამოყენებით გაუმჯობესდება შემდეგი ღონისძიებების განხორციელების პროცესების პარამეტრები:

1. გაიზრდება საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი თითოეული მავნე ნივთიერების მასური რაოდენობის დადგენის ოპერატიულობის ხარისხი და გამოთვლების სიზუსტე ნებისმიერ სასურველი პერიოდისათვის;
2. შესაძლებელი იქნება თითოეული კონკრეტული აეროპორტებისათვის საჰაერო ხომალდების ძრავებიდან გამონაბოლქვი მავნე ნივთიერების გავრცელების არეალისა და ინტენსივობის დადგენა და შესაბამისი ეკოლოგიური შეფასების განხორციელება ნებისმიერი დროის სასურველი პერიოდისათვის შესაბამისი სიმულაციური მეთოდების გამოყენებით;
3. შესაძლებელი იქნება საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანოს გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესის გამოყენებით უკეთესი ხელშემწყობი პირობების შექმნა CORSIA-ს მოთხოვნების შესრულებისათვის.

## გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Travis M. Norton, Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports, The University of San Francisco USF Scholarship, 2014;
- [2] - ICAO Document 08\_CORSLIA Eligible Emissions Units, 2022;
- [3] - „საერთაშორისო ავიაციისათვის ნახშირორგანოს გამონაბოლქვის შემცირებისა და კომპენსაციის წესი“, სსიპ – სამოქალაქო ავიაციის სააგენტოს დირექტორის ბრძანება №235, 22.11.2023;
- [4] - Aydin Tokuslu, „Calculation of Aircraft Emissions during Landing and Take-Off (LTO) Cycles at Batumi International Airport, Georgia“, ISSN: 2148-9173 *International Journal of Environment and Geoinformatics* 8(2):186-192 (2021);
- [5] - ლ. ბედენაშვილი, „საქართველოს აეროპორტების გარემოზე ზემოქმედების შეფასება და შემარბილებელი ღონისძიებების შემუშავება“, სადისერტაციო ნაშრომი, საქართველოს საპატრიარქოს წმინდა ანდრია პირველწოდებულის სახელობის ქართული უნივერსიტეტი, თბილისი, 2019;
- [6] - R. Khachidze, K. Chokheli, A. Svianadze “Quantitative assessment of aviation emissions for international airport zones in Georgia“, International Scientific Journal, ISSN 1512-4916, Tbilisi, 2022;
- [7] - „Airport Air Quality Manual“, Doc 9889, ICAO, 2020;
- [8] - Emissions databank ICAO, Doc. 9646-AN/943.



## Technical Challenges in the Automated Quantification of Emissions from Aircraft Propulsion Systems and Their Solution

R. Khachidze

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

### Abstract

The paper discusses the issue of automatically accounting for harmful substances (carbon oxides - CO/CO<sub>2</sub>, unburned hydrocarbons - C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, and nitrogen oxides - NO<sub>x</sub>) emitted from civil aviation aircraft engines and proposes solutions using the methodology recommended by ICAO. It emphasizes the necessity of studying and assessing ecological risks caused by air pollution and environmental contamination near airports. The paper also highlights the requirements of the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) to reduce and compensate for hydrocarbon emissions and addresses the involvement of Georgia's Civil Aviation Agency in this process.

## სამოქალაქო ავიაციის თვითმფრინავებთან გადამფრენი ფრინველების შეჯახების თავიდან აცილების ორგანიზაციული ღონისძიებები საქართველოში

რობერტ ხაჩიძე<sup>1</sup>, ზურაბ კოპალიევილი<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** ცნობილია, რომ ყოველ წელს თბილ ქვეყნებში გამოსაზამთრებლად ჩვენი პლანეტის 12 ათასამდე სახეობის თითქმის 20% ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ იწყებს მიგრაციას, გაზაფხულის დასაწყისში კი უკან დაბრუნებას. თვითმფრინავის შეჯახება მიგრაციაში მონაწილე ფრინველებთან ერთერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს თვითმფრინავის რომელიმე ნაწილის/ნაწილების დაზიანება, მათ შორის ისეთი დაზიანებაც (მაგალითად, ძრავის დაზიანება), რომელიც შეიძლება კატასტროფის მიზეზიც გახდეს. საქართველოზე, შავი ზღვის სანაპიროზე, გადის ერთ-ერთი უდიდესი გზა, რომელსაც გადამფრენი ფრინველები იყენებენ. ბათუმსა და მის შემოგარენში ყოველწლიურად ათასობით მტაცებელი ფრინველი გადაიფრენს, რის გამოც ეს ტერიტორია მსოფლიოს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან სამიგრაციო გზად არის მიჩნეული. სტატიაში განხილულია გადამფრენი ფრინველების სავარაუდო შეჯახების შესაძლებლობები საქართველოში მოქმედი საერთაშორისო და ადგილობრივი აეროპორტებით მოსარგებლე თვითმფრინავებთან. მაგალითისათვის შესწავლილია ბათუმის სამიგრაციო დერეფანში გადამფრენ ფრინველთა თავმოყრის, შესვენებისა და ფრენის გაგრძელების მარშრუტები და სხვა პარამეტრები, რომლებიც შედარებულია ბათუმის აეროპორტით მოსარგებლე ავიაკომპანიების თვითმფრინავებისათვის ოფიციალურად განკუთვნილ მოქმედ საპაერო გზებთან. შემუშავებულია რეკომენდაცია იმის შესახებ, რომ გადამფრენი ფრინველების არსებული სამიგრაციო მარშრუტები გათვალისწინებული უნდა იქნას როგორც ფრენის მარშრუტების დაგეგმვისას და ისე მათი შესრულებისას სამოქალაქო ავიაციის სათანადო სტრუქტურებისა და პერსონალის მიერ. ბოლო ათეული წლის განმავლობაში, ჰაერში პილოტირებული და უპილოტო საფრენი აპარატების რაოდენობის გაზრდამ გაზარდა ფრინველების საფრენ აპარატებთან შეჯახებების რისკი და ალბათობა. თუნდაც მცირე მასის ფრინველთან შეჯახებამ საფრენი აპარატის მაღალ სიჩქარეებზე შეიძლება გამოიწვიოს არა მხოლოდ ავარია, არამედ ისეთი კატასტროფაც კი, რომელსაც მოჰყვება ადამიანების მსხვერპლი [1].

**საკვანძო სიტყვები:** სანაპირო, მიგრაცია, თვითმფრინავი, ფრინველები, აეროპორტი.



სურ. 1. ფრინველების გუნდი კვეთს საჰაერო ხომალდის მოძრაობის მარშრუტს

საქართველოს ორნითოფაუნაში დაფიქსირებულია 386–403 სახეობის ფრინველი, მათ შორის მობინადრე, მოზუდარი, გადამფრენი, ერთეულად შემომფრენი და სხვა. აქედან მობინადრე და მოზუდარია 210-მდე სახეობა [2].

საქართველოში ახალი საერთაშორისო ან ადგილობრივი აეროპორტების მშენებლობისას ან მათი საფრენოსნო არეალის გაფართოებისას (მაგალითად, საქართველოს ადგილობრივი აეროპორტების ერთმანეთთან ახალი და უფრ მეტი რეისების დამატებისას), აუცილებელია ჩვენი ორნითოფაუნის შესწავლა და კვლევების ჩატარება ადგილობრივად მობინადრე და მოზუდარი, ასევე გადამფრენი და ერთდროულად შემომფრენი და სხვა ფრინველების, საზუდარი და საფრენი არეალის დადგენისთვის, რათა არ მოხდეს ან მინიმუმირდეს პილოტირებადი და უპილოტო საფრენი აპარატების ფრენის ტრაექტორიების მათთან თანხვედრა ან გადაკვეთა. ამ თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია საქართველოს საჰაერო სივრცეში გადამფრენი და ერთდროულად შემომფრენი ფრინველების ფრენის ტრაექტორიების განსაზღვრა, ასევე, მათი დროებითი ჰაბიტატის დადგენა და შესწავლა, რადგან აეროდრომის სიახლოვეს შეიძლება გადიოდეს ფრინველთა მიგრაციის საჰაერო გზები, როგორც სადღეღამისო, რაც დაკავშირებულია ფრინველთა გუნდის მიერ საკვების ძებნასთან, ასევე სეზონური, რაც დაკავშირებულია სამხრეთის ქვეყნებში ფრინველთა ყოველწლიურ გადაფრენებთან და უკან გუნდურად დაბრუნებასთან.

შედარებით ხშირად, შეჯახებები რეგისტრირდება ზაფხულის ბოლოს (გამრავლების შედეგად მკვეთრად მატულობს ფრინველების რაოდენობა, ისინი იკრიბებიან ჯგუფებად, ხშირად იცვლიან ადგილმდებარეობას საკვები უზნების ძიების გამო და ხშირად სტუმრობენ აეროდრომებს) 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 სიკვდილიანობის

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.

გარდა ზემოაღნიშნულისა ფრინველების თვითმფრინავთან შეჯახების სხვა მიზეზებიც არსებობს. ესენია:

- ავიაგადამზიდველების მიერ ძირითადად ტურბოპროპანის და ტურბორეაქტიულ ძრავებთან თვითმფრინავების ექსპლუატაცია, რომლებიც უფრო მეტად არიან მიდრეკილი ფრინველებთან შეჯახებებისაკენ;
- ავიაციისათვის საშიში ფრინველების რაოდენობის თანდათანობითი ზრდა, რაც მნიშვნელოვნად უკავშირდება მრავალ ქვეყანაში ბუნების დაცვის ღონისძიებების გატარებას;
- ფრინველების უნარი - შეეგუონ ცალკეულ გარემო პირობების არახელსაყრელ ცვლილებებს ან ადამიანის მხრიდან მათზე მიმართულ მოქმედებებს, მათ შორის მსოფლიოში არსებული აეროპორტების დღეღამური ფუნქციონირების პირობები და საპაერო ხომალდების გახშირებული ფრენები ცაში.

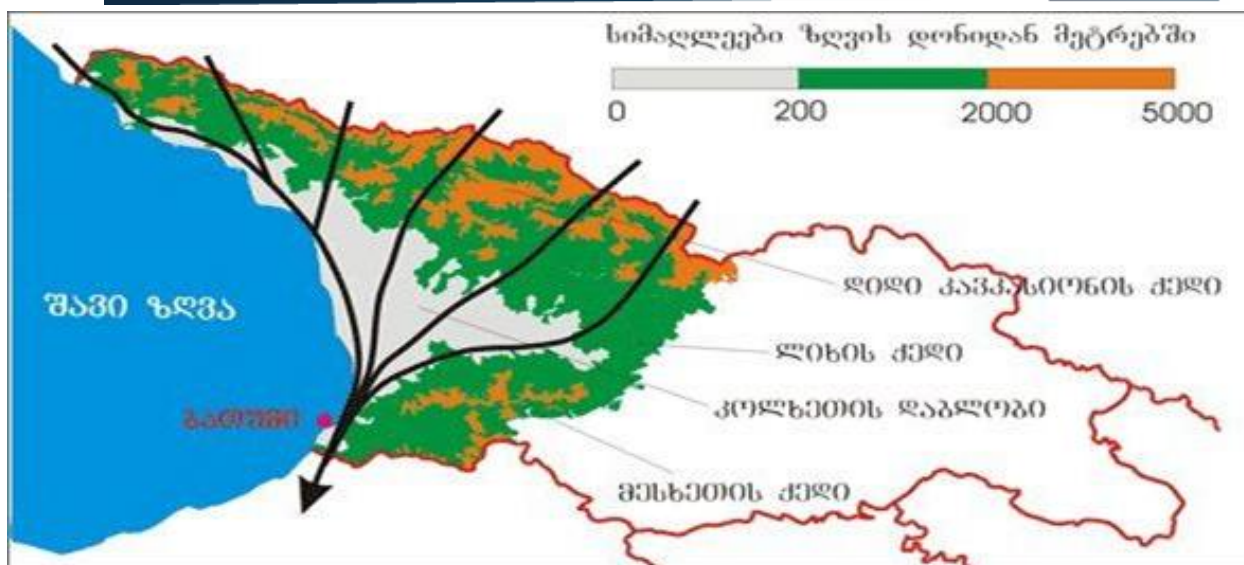
გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ფრინველების თვითმფრინავთან შეჯახება ასევე ხდება შემდეგი ფაქტორების მოქმედების შედეგად:

- ამინდის ანომალური პირობების წარმოქმნა;
- ფრინველების მკვეთრი გაღიზიანება სხვადასხვა მიზეზების გამო, რომლებიც ახდენენ თვითმფრინავების ფრინველებთან შეჯახების პროვოცირებას (მაგალითად, ფრინველების ორგანიზმზე ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედების გავლენა, რომელსაც წარმოქმნის აეროდრომის მიწისზედა რადიოლოკაციური და თვითმფრინავების გადამცემი სადგურები);
- აეროდრომების მიმდებარე ბუნებრივი ლანდშაფტის ინტენსიური ურბანიზაციით გამოწვეული ფრინველების არსებობის პირობების ცვლილებები, რის შედეგადაც შესაძლებელი ხდება დიდი რაოდენობით ფრინველების გამოკვება და უკეთესი თავშესაფრის მოძიება.

საქართველოს ცაში შემომფრენი და გადამფრენი ფრინველების მოძრაობის მხრივ ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო და განსაკუთრებული მოვლენაა ე. წ. „ბათუმის ძაბრი“ [3].

ცნობილია, რომ ყოველ წელს თბილ ქვეყნებში გამოსაზამთრებლად ჩვენი პლანეტის 12 ათასამდე სახეობის ფრინველების თითქმის 20% ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ იწყებს მიგრაციას, გაზაფხულის დასაწყისში კი უკან დაბრუნებას. ბუების გარდა მტაცებლების ყველა სახეობა დღისით მიგრირებს. ღამე კი სადმე იბუდებენ და ისვენებენ, რათა აღიდგინონ ძალები. ერთ-ერთი ასეთი ადგილია აჭარის რეგიონი.

საქართველოზე, შავი ზღვის სანაპიროზე, გადის ერთ-ერთი უდიდესი გზა, რომელსაც გადამფრენი ფრინველები იყენებენ. ბათუმსა და მის შემოგარენში ყოველწლიურად ათასობით მტაცებელი ფრინველი გადაიფრენს, რის გამოც ეს ტერიტორია მსოფლიოს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან სამიგრაციო გზად არის მიჩნეული. ის ცნობილია, როგორც "შავი ზღვის სამიგრაციო მარშრუტი", ანუ ე.წ. ძაბრი.



სურ. 2. ბათუმის სამიგრაციო დერეფანი (ე.წ. „ბათუმის ძაბრი“)

დიდი გადაფრენისას ჩრდილოეთის სტეპებიდან წამოსულ ფრინველებს შეუძლიათ შავი და კასპიის ზღვების გვერდის ავლით კონცენტრირდნენ შუაში და გადმოიფრინონ დიდი კავკასიონის ქედი, სადაც დასასვენებლად და ღამის გასათევად შედარებით დაბალ უღელტეხილებს ირჩევენ. შემდეგ კი იმის გამო, რომ მიგრაციის ძირითადი მიმართულება სამხრეთ-დასავლეთია, წინა აზიასა და აფრიკაში მოსახვედრად, ერთად იყრიან თავს ჯერ კოლხეთის დაბლობზე – აჭარის მთებისა და შავი ზღვის შეყრის ადგილზე, შემდეგ კი ბათუმსა და ჭოროხის დელტაზე.

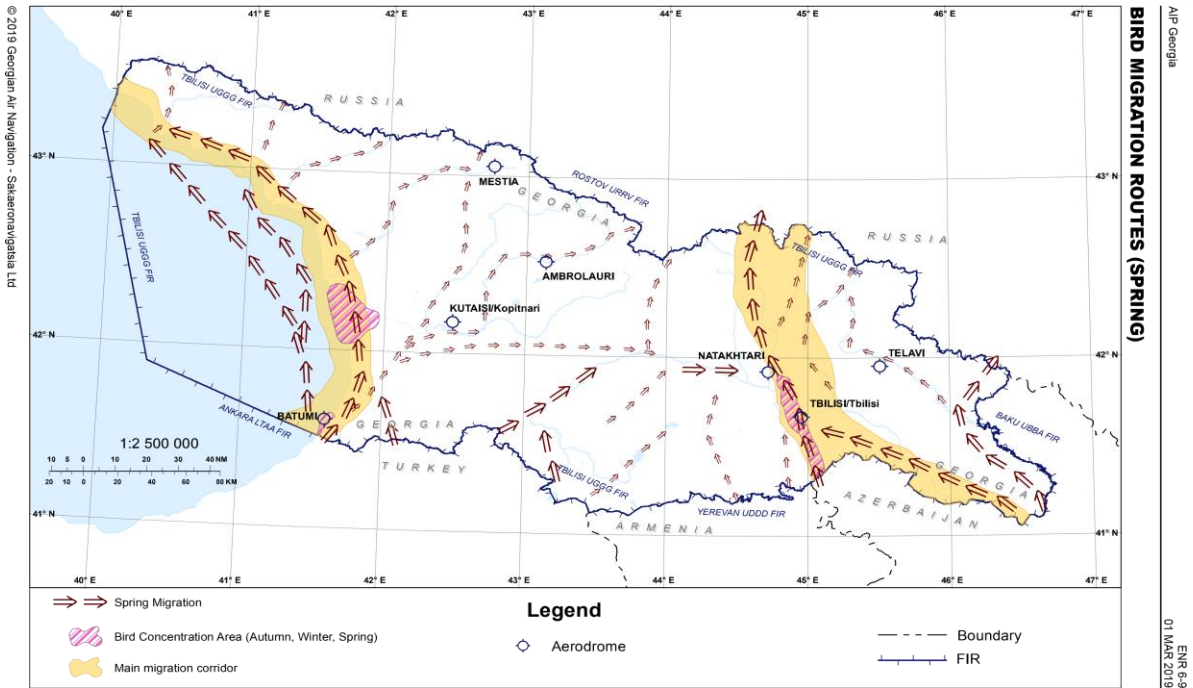
მსოფლიოში ფრინველთა ყველაზე დიდი გადაფრენის ადგილი ვერაკრუზში, მექსიკაშია. ის ვიწრო ხიდივით არის ჩრდილოეთ და სამხრეთ ამერიკას შორის. როცა ფრინველები ჩრდილოეთ ამერიკიდან შემოდგომის დაწყებისთანავე სამხრეთ ამერიკაში მიფრინავენ, ოკეანეს თავს არიდებენ, რის გამოც ვერაკრუზთან ყოველწლიურად 10 მილიონზე მეტი მტაცებელი ფრინველი გადაიფრენს. თავისი მნიშვნელობით მეორე ადგილია ისრაელის ქალაქი ეილათი, რომლის მახლობლად ყოველ შემოდგომაზე ევრაზიიდან აფრიკაში მიმავალი 2-3 მილიონამდე ფრინველი გადაიფრენს. ბათუმი და მისი შემოგარენი კი სიდიდით მესამე გადაფრენის ადგილია მსოფლიოში. მას დიდი ხნის განმავლობაში აკვირდებოდნენ ორნითოლოგები. დადგენილია, რომ "ბათუმის ძაბრს" ყოველ შემოდგომაზე 1 მილიონზე მეტი მტაცებელი ფრინველი სტუმრობს.

2017 წელს აჭარაში გადამფრენ ფრინველებზე დაკვირვების საერთაშორისო ფესტივალი კონფერენციით ჩატარდა [4]. ამ წელს აღირიცხა 1591 მდელოს ბოლობეჭედა, მათ შორის 400 მხოლოდ ერთ დღეს, რაც ასევე მსოფლიო რეკორდია და ბათუმი ერთადერთი ადგილია მსოფლიოში, სადაც ამის ნახვაა შესაძლებელი. ასევე აღირიცხა დიდი რაოდენობით კრაზანაჭამია, ირაო და ძერა.

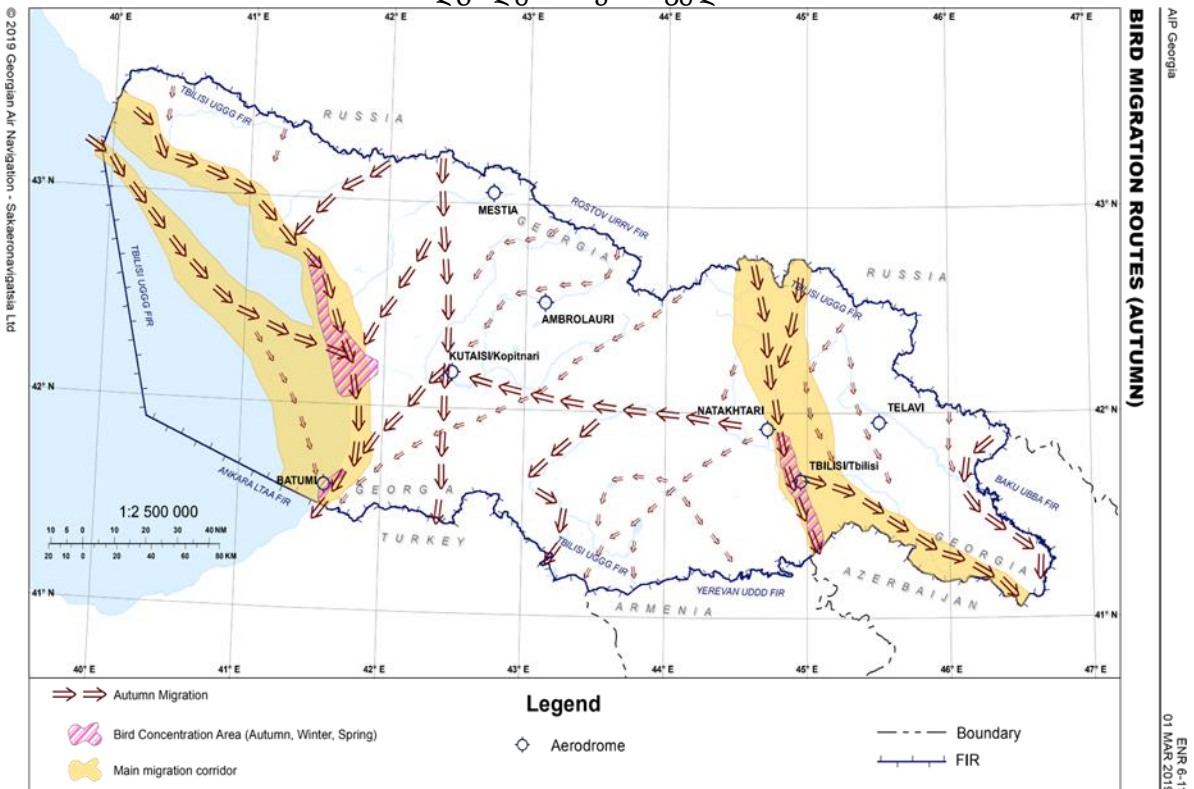
ზოგადად, შემოდგომის მიგრაციის პერიოდში ბათუმის სამიგრაციო დერეფანში მილიონზე მეტი ფრინველი ფიქსირდება. ამ ეტაპისთვის დათვლილია 850 000 მტაცებელი ფრინველი. აჭარაში ფრინველებზე დაკვირვების სეზონი მიმდინარეობს ოქტომბერში.

აჭარის გარდა გადამფრენი ფრინველები ყოველწლიურად გადაიფრენენ აღმოსავლეთ საქართველოში, ყაზბეგის ტერიტორიაზეც. მათი ნაწილი სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მიფრინავს, ჯავახეთსა და ივრის ზეგანზე დაიკვირვება საკმაოდ კარგი





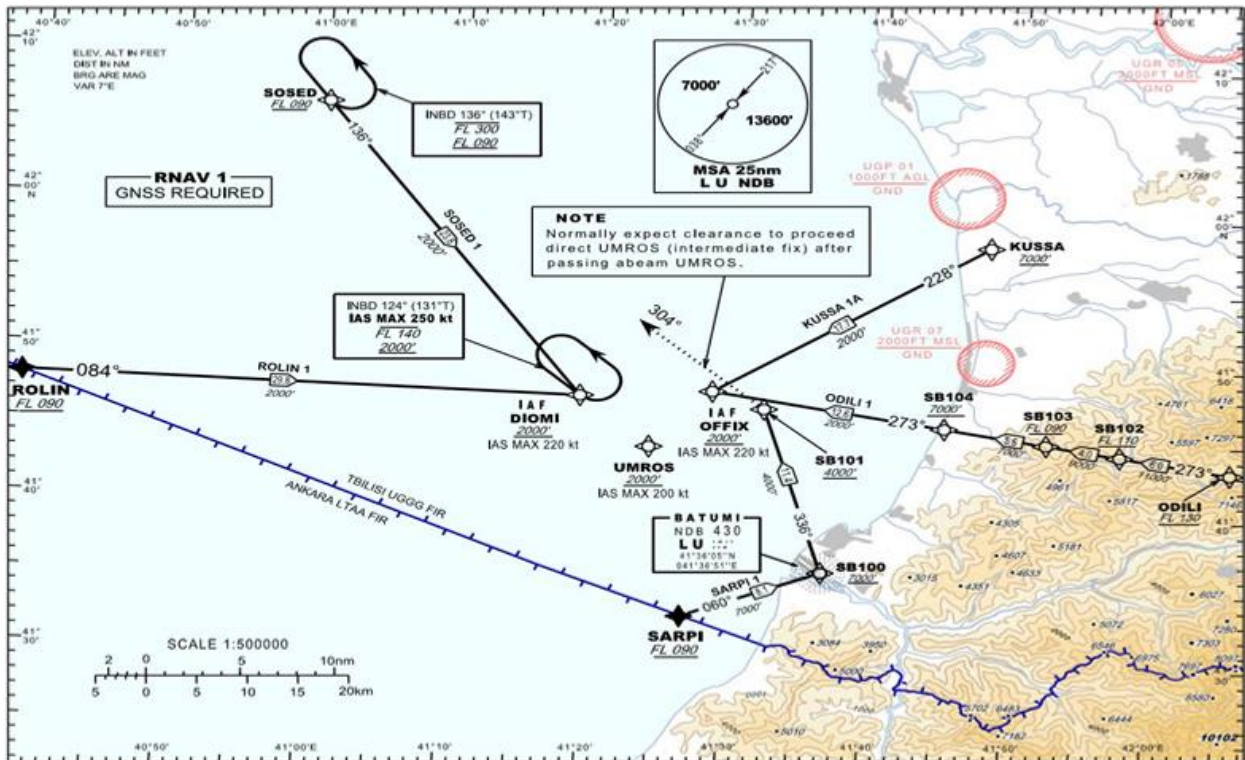
სურ. 4ა. ფრინველთა საგაზაფხულო მიგრაციის ძირითადი მარშრუტები და თავშეყრის ადგილები საქართველოში



სურ. 4ბ. ფრინველთა საშემოდგომო მიგრაციის ძირითადი მარშრუტები და თავშეყრის ადგილები საქართველოში

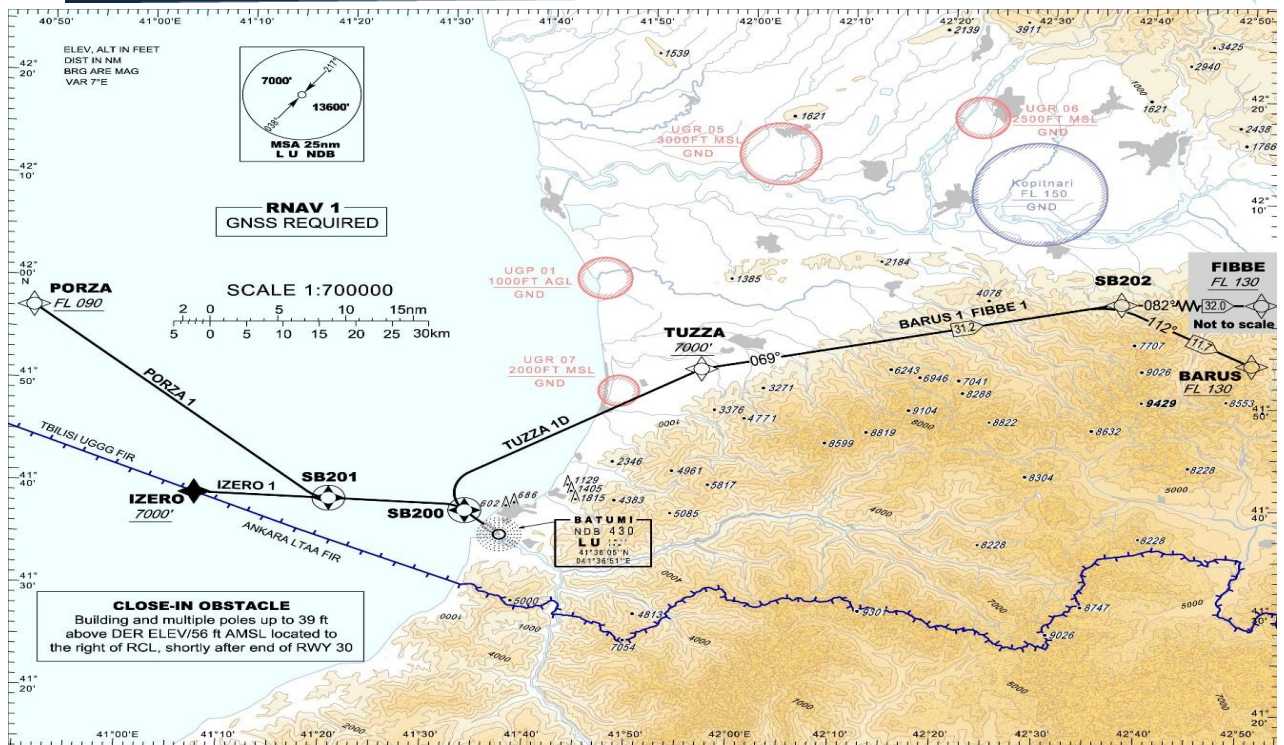
ცხადია, გადამფრენი ფრინველების ბათუმის სამიგრაციო გზა, ისევე როგორც მათი სხვა მარშრუტები, მნიშვნელოვანია ფრინველებზე დასაკვირვებლად. მაგრამ მათ არანაკლები მნიშვნელობა აქვს საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის ორგანიზაციისათვისაც, ისევე როგორც სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციისათვის (ICAO), რომლის წევრიც არის საქართველოს სამოქალაქო ავიაციის სააგენტო. ICAO -ში ხდება საერთაშორისო ფრენების მარშრუტების დადგენა და შეთანხმება შესაბამის ქვეყნებთან საერთაშორისო დონეზე. ცხადია, სამოქალაქო ავიაციის ფრენების მარშრუტების დადგენისას გათვალისწინებული უნდა იყოს: გადამფრენი ფრინველების მიგრაციის დროები; ინტენსივობები და ხანგრძლივობები; სამიგრაციო მარშრუტები და თავშეყრის ადგილები.

მაგალითისათვის, სურათებზე 5ა და 5ბ წარმოდგენილია ბათუმის აეროპორტიდან სამოქალაქო თვითმფრინავების გაფრენისა და შემოფრენის საჰაერო გზები. როგორც აღნიშნული სურათების 4ა და 4ბ სურათებთან შედარებიდან ჩანს, მაქსიმალურად არის გათვალისწინებული ბათუმის ძაბრის ფაქტორი, თუმცა მაინც არსებობს ფრინველთა სამიგრაციო მარშრუტებისა და თვითმფრინავების აეროპორტიდან გაფრენისა და აეროპორტის საჰაერო სივრცეში შემოფრენის საჰაერო გზების თანაკვეთის მცირე ალბათობა.



სურ. 5ა. ბათუმის აეროპორტიდან თვითმფრინავების გაფრენის საჰაერო გზები





სურ. 5ბ. ბათუმის აეროპორტში თვითმფრინავების შემოფრენის საჰაერო გზები

საქართველოში სამოქალაქო ავიაციის სამი საერთაშორისო (თბილისის, ქუთაისისა და ბათუმის) და ოთხი ადგილობრივი (თელავის, ამბროლაურის, მესტიის, ნატახტარის) აეროპორტია. როგორც 3ა და 3ბ სურათებიდან ჩანს გადამფრენი ფრინველების სამიგრაციო მარშრუტები არ გადის თელავის, ამბროლაურის და მესტიის აეროპორტების საჰაერო სივრცეების სიახლოვეს. ისინი ძირითადად გადის ბათუმისა და თბილისის, ნაწილობრივ კი ქუთაისისა და ნატახტარის აეროპორტების საჰაერო სივრცეების სიახლოვეს.

### დასკვნა

საქართველოს საჰაერო სივრცეში საკმაოდ ინტენსიურად გადის გადამფრენი ფრინველების სამიგრაციო მარშრუტები, ამასთან ერთად არსებობს მათი დროებითი თავშეყრის რამდენიმე ადგილი, რაც გათვალისწინებული უნდა იქნას როგორც სამოქალაქო ავიაციის ფრენის მარშრუტების დაგეგმვისას, ასევე ახალი აეროპორტების დაპროექტებისა და მშენებლობისას.

### მადლიერება:

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [PHDF-24-3549].

**გამოყენებული ლიტერატურა:**

- [1] - Ahmed F. El-Sayed, Bird Strike in Aviation: Statistics, Analysis and Management, 2019;
- [2] - ka.wikipedia.org . - საქართველოს ფრინველების სია;
- [3] - „ფრინველების გადაფრენა“, აჭარის არ ტურიზმისა და კურორტების დეპარტამენტი, 2018 წ., III კვარტალი;
- [4] - adjara.gov.ge/branches/discription.aspx.

**Organizational measures to prevent collisions between migratory birds and civil aviation aircraft in Georgia**

R. Khachidze<sup>1</sup>, Z. Kopaleishvili<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

**Abstact**

It is known that every year, almost 20% of our planet's 12,000 species migrate from north to south to spend the winter in warmer countries, returning in early spring. Aircraft collisions with migratory birds are one of the most important factors that can cause damage to any part(s) of the aircraft, including damage (for example, engine damage) that could lead to a disaster. One of the largest migratory bird routes runs through Georgia, along the Black Sea coast. Thousands of birds of prey pass through Batumi and its surroundings every year, making the area one of the most important migratory routes in the world. The article discusses the potential for collisions between migratory birds and aircraft operating at international and local airports in Georgia. For example, the routes of gathering, rest and continuation of flight of migratory birds in the Batumi migration corridor and other parameters have been studied, which are compared with the officially designated operating air routes for aircraft of airlines using Batumi Airport. A recommendation has been developed that existing migratory routes of migratory birds should be taken into account both when planning flight routes and when executing them by relevant civil aviation structures and personnel.

## სატრანსპორტო საწარმოების მართვის მეთოდები

ლელა ბოჭოიძე<sup>1</sup>, ნინო დარსაველიძე<sup>2</sup>, მაკრინე ბაბლუანი<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,  
0160, საქართველო, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** მართვის არსი მდგომარეობს სისტემის ამოცანებისა და განვითარების კრიტერიუმების განსაზღვრაში, რაც საკმაოდ რთული პროცესია. სატრანსპორტო სისტემაში განვითარების ამოცანები, მიზნები და კრიტერიუმები დამოკიდებულია მიმდინარე მომენტში სამთავრობო პერსპექტიულ სტრატეგიაზე. სატრანსპორტო სამინისტროებში, მათ ტერიტორიულ რგოლებში, ცალკეულ სამეურნეო სატრანსპორტო ორგანიზაციებში, მიზნებისა და კრიტერიუმების შემუშავება აყალიბებს გარე გარემოს, რომელიც, თავის მხრივ, გამომდინარეობს სოციალურ-ეკონომიკური ფორმაციიდან.

**საკვანძო სიტყვები:** ტრანსპორტი, მენეჯმენტი, ეკონომიკა, სატრანსპორტო სისტემები, ადამიანური რესურსი, გლობალიზაცია, ორგანიზაციული ფორმები.

### ძირითადი ნაწილი

ტრანსპორტის მენეჯმენტის წინაშე მდგარი პრობლემატური საკითხები, მათი სირთულიდან და თავისებურებებიდან გამომდინარე, სისტემურ გადაწყვეტას მოითხოვს. სისტემური მეთოდი დიალექტიკური მეთოდის განუყოფელი ნაწილია. „სისტემური“, „დიალექტიკური“, „კომპლექსური“ - ადეკვატური ცნებებია. ჩამოვყალიბოთ ზოგადი დებულებები, რომლებიც სატრანსპორტო მეურნეობის მართვისას აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული.

ეს დებულებები, მათი პრინციპული ხასიათიდან გამომდინარე, ყველა სახის ტრანსპორტისათვის და გადაზიდვის პროცესების მართვის ყველა დონისთვისაა დამახასიათებელი.

1. სატრანსპორტო მეურნეობის ეფექტური მართვისათვის მნიშვნელოვანია მართვის ობიექტის სრულყოფილი შესწავლა, რაც მოიცავს მის მდგომარეობას მოცემულ მომენტში, წარსულსა და განვითარების ტენდენციებს, ცვალებად სოციალურ-ეკონომიკურ და საწარმოო-ტექნოლოგიურ გარემოში. მართვის ობიექტი შესწავლილი უნდა იქნას როგორც შინაგანად არაერთგვაროვანი - სტრუქტურული სისტემა, რომლის ცვალებადი ელემენტები ერთმანეთთან კავშირში იმყოფებიან.

2. თანამედროვე წარმოებაში, მასშტაბებიდან და წარმოების პირობებიდან გამომდინარე, ადამიანის შრომისმწარმოებლურობას სულ უფრო მეტად განსაზღვრავს ორგანიზაციული ფაქტორი, მართვის ხარისხი, წარმოების პროცესში, სისტემის ელემენტების ურთიერთგავლენა. ურთიერთგავლენის არსი კი მდგომარეობს ნივთიერებათა, ენერჯისა და ინფორმაციის გაცვლაში. ხოლო რაოდენობრივ მახასიათებლად გვევლინება გაცვლის ინტენსივობა. ტრანსპორტში იგი იზომება გადაზიდვების განხორციელების უნარით, ტვირთბრუნვით. გაცვლის ინტენსივობა - სისტემის მწარმოებლურობაა, რომელიც განისაზღვრება არამარტო მატრიალური (სასაქონლო) მახასიათებლით, არამედ მისი ხარისხითაც (სტრუქტურული). ამით

ახსენება ის, რომ, მართვა მიმართულია სტრუქტურული სისტემის გაუმჯობესებისკენ, მისი ორგანიზაციული დონისა და შედეგად - მწარმოებლურობის ასამაღლებლად.

3. სატრანსპორტო სისტემაში, მართვის კრიტერიუმები ობიექტური ხასიათისაა, და ობიექტის განვითარების კანონზომიერების შესწავლაზეა ორიენტირებული.

4. მხოლოდ პრაქტიკა (არა ის, რომელიც სადღეისოდ არის გამოვლენილი, არამედ ის, რომელიც სასურველია ობიექტისთვის თავისი განვითარების კუთხით) უნდა განიხილებოდეს ობიექტის მართვის სისტემის ეფექტურობის შეფასების კრიტერიუმად.

5. ტრანსპორტის შიდა პოტენციალის ღრმა ცოდნა და გარე გარემოს განვითარების ტენდენციები, ხელს შეუწყობს მაღალმწარმოებლური და ეფექტური სატრანსპორტო სისტემის, მიზანმიმართულ განვითარებას.

ერთიანი სატრანსპორტო სისტემის ელემენტებს შორის კავშირი სხვადასხვაგვარია: კონსტრუქტიული (მატერიალურ-ნივთობრივი), ინფორმაციულ-ტექნოლოგიური (არანივთობრივი), უწყვეტი და დისკრეტული, დეტერმინირებული და სტოქასტიკური. ძირითადად, განიხილება კავშირის ის ასპექტები, რომლებიც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენენ სისტემის ფუნქციონირებაზე, ესენია:

პირდაპირი კავშირი - მმართველი სისტემის ზეგავლენა სისტემის ელემენტზე.

უკუკავშირი - ქვესისტემის რეაქცია პირდაპირ კავშირზე;

სტრუქტურა - სისტემის შინაგანი მდგომარეობა, მისი ელემენტების ურთიერთკავშირი სივრცესა და დროში. ეს სისტემის ერთგვარი ხარისხობრივი მახასიათებელია, რომელიც მისი ფუნქციონირების პროცესში ვლინდება;

ფუნქცია - ზოგადად, ეს სისტემის ელემენტის სპეციფიკური გამოვლენაა. სატრანსპორტო სისტემაში აღნიშნული თვისება თავს იჩენს შიდა თუ გარე ურთიერთქმედებისას და ახასიათებს სისტემის ამა თუ იმ ელემენტს.

ორგანიზაციული სისტემები ელემენტებსა და პროცესებს შორის კავშირებს ასახავს, და რაც უფრო მაღალია სატრანსპორტო სისტემის ორგანიზაციის დონე, მით უფრო მკაფიოდ ვლინდება მისი სტრუქტურა.

მოდელი - გვიქმნის წარმოდგენას ობიექტის თვისებებზე. იგი სხვადასხვა სახით ფორმირდება. სრულყოფილი მოდელი უნდა ასახავდეს ობიექტის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებლებსა და მასში მიმდინარე პროცესებს.

სატრანსპორტო სისტემის მართვა - მეთოდების ერთობლიობა, მმართველობითი საქმიანობის მეთოდები და ამა თუ იმ ამოცანის გადაჭრის გზები უნდა ემყარებოდეს ობიექტურ კანონებს და დიალექტიკის პრინციპებს. სატრანსპორტო სისტემის მართვის მეთოდები შედგება ეკონომიკური, ადმინისტრაციული (ორგანიზაციულ-განმანაწილებელი) და სოციალურ-ფსიქოლოგიური მეთოდებისაგან. თუ სატრანსპორტო გადამზიდი ორგანიზაციის კოლექტივის წინაშე დგას ამოცანა - შეამციროს მოძრავი შემადგენლობის მოცდენები, მაშინ ეს ამოცანა არამართო ტექნიკურ-ეკონომიკური ხასიათისაა, (მოძრავი შემადგენლობის მიღების განრიგის დაზუსტება და ა.შ.) არამედ - ორგანიზაციულიც, რადგანაც მოიცავს ისეთ საკითხებსაც, როგორცაა: ქვესადგურის მუშაობის რეფორმა, კოლექტივის შრომისმწარმოებლურობის ამაღლება, მათი ძალების მობილიზაცია, კოლექტივის რგოლების კოორდინირება, მუშაკთა მოტივირება, დასახული ამოცანის მოკლე დროში და ნაკლები დანახარჯებით შესასრულებლად.

ქვესადგურის საწამოო რგოლის მიერ ერთ-ერთი ნაცადი მეთოდია, ტექნიკური განყოფილების, მანევრირების დისპეჩერის, და ა.შ. წინაშე, ამოცანის მკაფიო ფორმულირება. დამატებითი ეფექტი, რომელიც საკითხის დროულ და ხარისხიანად გადაჭრას მოყვება,

კოლექტივის წევრებს მატერიალურ სტიმულს უნდა აძლევდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, დავალების შეუსრულებლობას, მატერიალური სანქციებიც უნდა ახლდეს თან. ამგვარ მეთოდებს მართვის ეკონომიკურ მეთოდებად მიიჩნევენ.

ამ ამოცანის გადაწყვეტა მეორე გზითაც შეიძლება. თუკი მოცდენებს განვიხილავთ, როგორც, დადგენილი ტექნოლოგიის დარღვევის, შრომითი დისციპლინის, დაბალი შრომის მწარმოებლობის მიზეზად, მაშინ, შესაძლებელია ტექნოლოგიის სისტემატური დარღვევის გამო დამნაშავე პირთა გამოვლენაც და, ბრძანების ძალით, მათზე გარკვეული დისციპლინარული დასჯადი ღონისძიებების გატარება, გადაწყვეტილების სისრულეში მოყვანის დროის მითითებით. აგრეთვე, პასუხისმგებელ პირზე კონტროლის დაწესება. ამ შემთხვევაში, საუბარი არ არის ბიუროკრატიულ ადმინისტრირებაზე. ეს - მეცნიერულად დასაბუთებული მართვის ადმინისტრაციული მეთოდია.

მართვის მეთოდთა ეს კლასიფიკაცია პირობითია, ვინაიდან მართვის ყველა მეთოდი ურთიერთდაკავშირებულია. მმართველი რგოლის ყოველი ორგანიზაციულ-სამართლებრივი აქტი თანმდევია შესაბამის აღმზრდელობით და ეკონომიკურ მეთოდთან. ამიტომ, ყოველ კონკრეტულ სიტუაციაში, მნიშვნელობას იძენს მართვის ხელოვნება და ორგანიზატორული ნიჭი. მმართველობითი ღონისძიებების საჭირო კომბინაციის შერჩევა განაპირობებს ორგანიზაციის წარმატებას. ტრანსპორტის დარგში, რთული საწარმოო და სოციალური ამოცანები, უმეტესწილად პრაქტიკული გამოცდილებაზე დაყრდნობით და მართვის სხვადასხვა მეთოდის კომპლექსური გამოყენების გათვალისწინებით განიხილება.

ხშირად ხელმძღვანელები სათანადოდ არ აფასებენ სოციალური მოტივაციის მეთოდს და მეტ ყურადღებას აქცევენ მოტივაციის მატერიალურ და ეკონომიკურ ფორმებს. მათ ავიწყდებათ, რომ მართვის ამ ორ უმთავრეს ბერკეტს - მორალურ და მატერიალურ სტიმულირებას - შორის ზღვარი არ გადის. ეს ბერკეტები უნდა ავსებდნენ ერთმანეთს და მონაცვლეობით უნდა იქნეს გამოყენებული. არ უნდა დაგვავიწყდეს მართვის დიალექტიკური კანონის მეთოდი, რომლის თანახმად, ყველა სახის განვითარება მიმდინარეობს არათანაბარი ურთიერთქმედების ფორმით. ყველაზე მძლავრი - ეკონომიკური მოძრაობაა. იგი გვევლინება [1] როგორც საწყისი, ასევე გადამწყვეტ ფაქტორად.

ადამიანური რესურსების მართვის მეთოდების განსაზღვრისას გათვალისწინებული უნდა იქნას ორგანიზაციული სისტემის თავისებურებანი. ტრანსპორტის დარგში, სულ უფრო ხშირად გამოიყენება ეკონომიკურ-მათემატიკური მეთოდები, რომელთა გამოყენება აფართოებს ეკონომიკური ანალიზის შესაძლებლობებს. თუმცა, არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ, ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელებისა და გამომთვლელი ტექნიკის გამოყენება მხოლოდ გარკვეული პირობებშია მისაღები და გამართლებული. მათ შორის უმნიშვნელოვანესია:

1. ამოცანის წინასწარი ღრმა ანალიზი, განსახილველი პროცესებისა და ოპერაციების ეკონომიკური გარემოს დადგენა, მათემატიკური აპარატის გამოყენების შესაძლებლობებისა და საწყისი წინაპირობების დაზუსტება.

ხშირად, საპროექტო-გეგმიური ამოცანების გადასაწყვეტად, კონკრეტული ეკონომიკური ანალიზის გარეშე, მიმართავენ ალგორითმებს, რომლებიც სუსტად ასახავენ განსახილველი პროცესებისა და მოვლენების არსს. უმნიშვნელოვანესი ამოცანა სწორედ ობიექტის თავისებურებაა და არა მზა, ან თუნდაც, უახლესი მათემატიკური დამოკიდებულებები. ისინი, შესაძლოა, რეალურ პროცესებსა ან ობიექტებთან მიმართებაში, არაადეკვატური აღმოჩნდეს.

მიუხედავად იმისა, რომ, მათემატიკური მოდელები უმნიშვნელოვანესი ინფორმაციის მატარებლები არიან, მათ გამოყენებას წინ უნდა უძღვოდეს მეცნიერული კონცეფციები - ზუსტად ფორმულირებული მოდელები.

2. პრობლემის გადაჭრის მეთოდის დასაბუთებული არჩევანი, მათემატიკური აპარატის გამოყენებით.

თანამედროვე გამოყენებითი მათემატიკის მეთოდები საკმაოდ მრავალფეროვან არსენალს ქმნის. რაც, პრობლემის სხვადასხვა გზით გადაჭრის საშუალებას იძლევა. როდესაც, მეცნიერული მეთოდი მჭიდრო კავშირში იმყოფება საკვლევ ობიექტთან, ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელის შერჩევას, გათვალისწინებული უნდა იქნეს მოდელისა და მისი რეალური პროტოტიპის ადეკვატურობის მოთხოვნები. ტრანსპორტის დარგში, ამ მოთხოვნათა უფულვებელყოფა, გამოიწვევს მცდარი ოპტიმუმების დადგენას, რაც დისკრედიტაციას გაუწევს, ეკონომიკაში ზუსტი მათემატიკური ინსტრუმენტების გამოყენების იდეას.

ეკონომიკურ-მათემატიკური მოდელის სირთულე გარკვეულ ზღვარს არ უნდა სცილდებოდეს, რადგანაც იგი აზრს დაკარგავს, თუკი რთულად აღსაქმელი იქნება. (ისევე როგორც მოდელსა და მის პროტოტიპს შორის შეუსაბამობა). ბუნებრივია, რომ, კონკრეტულ მოდელს, მოდელირების წინა სტადიაზე, სჭირდება საკმარისი და აუცილებელი ინფორმაციული უზრუნველყოფა.

სატრანსპორტო მეურნეობას ახასიათებს, მიმდინარე პროცესების მაღალი დინამიურობა და შინაგანი კავშირები. იმისათვის, რომ მოდელმა ასახოს ტრანსპორტის დარგის ეს თავისებურება, იგი უნდა აიგოს შემდეგი თვისებების გათვალისწინებით:

- საკვლევ ობიექტის სტრუქტურასა და ფუნქციებთან მაქსიმალური მიახლოება. (მრავალელემენტიანობა, დისკრეტულობა, არაწრფივი ხასიათი, უკუკავშირების არსებობა, გარკვეული სიხისტე, რგოლების მოქნილობის შესანარჩუნებლად);
- უნივერსალურობა (მრავალი ჰიპოტეზისა და სქემის გამოცდის შესაძლებლობა);
- რევერსიულობა;
- ექსპერიმენტული სიტუაციების და გართულებული პირობებისა და სიტუაციების თანხლების მიუხედავად, რაოდენობრივი შეფასებისა და კონტროლის გაწევის შესაძლებლობა.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Н. Н. Громова, В. А. Персианова. Менеджмент на Транспорте. 2020;
- [2] - [https://cfts.org.ua/articles/aviatsiya\\_vo\\_vremya\\_pandemii\\_covid\\_19\\_glavnye\\_trendy\\_otrasli\\_174](https://cfts.org.ua/articles/aviatsiya_vo_vremya_pandemii_covid_19_glavnye_trendy_otrasli_174);
- [3] - <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-transport.pdf>;
- [4] - <https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/monetary20200409a.htm>;
- [5] - Международный Научный Журнал «СИМВОЛ НАУКИ» ISSN 2410-700X № 4 / 2021;
- [6] - [businesscontact.ge/ka/article](https://businesscontact.ge/ka/article).

## **Management methods of transport enterprises.**

Lela Bochoidze<sup>2</sup>, Nino Darsavelidze<sup>2</sup>, Makrine Babluani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Technical University of Georgia,  
0160, Georgia, Tbilisi, Kostava 77

### **abstract**

The essence of management lies in defining system tasks and development criteria. This is a very difficult process. Development tasks, goals, criteria, in the transport system, depend on the government's prospective strategic goals at the current moment. Development of goals and criteria in transport ministries, their governing areas, individual economic transport organizations forms the external environment. which, in turn, derives from socio-economic formation.

## სამოქალაქო ავიაცია და უსაფრთხოება

ანა კურტანიძე<sup>1</sup>, გვანცა სვანიძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო<sup>1</sup>

**რეზიუმე:** სწრაფად განვითარებად სამყაროში საავიაციო ინდუსტრიაში ბევრი გამოწვევა წარმოიქმნა, ბევრი ბარიერის წინაშე აღმოჩნდა სამოქალაქო ავიაცია და სამომავლოდ გასაოცარ ცვლილებებს მოიტანს განვითარების დაჩქარებული წესი. იმისთვის, რომ ამ აჩქარებულ რიტმს ინდუსტრიამ ფეხი აუწყოს აუცილებელია საკანონმდებლო ბაზებით პროცესების დასტაბილურება. ამ საკითხის გადაჭრაში დიდ როლს თამაშობს საერთაშორისო ორგანიზაციები, როგორცაა ICAO, EASA, IATA და სხვა.

**საკვანძო სიტყვები:** უსაფრთხოება, სამოქალაქო ავიაცია, ინციდენტები, უბედური შემთხვევა, განვითარება.

### ძირითად ნაწილი

სამოქალაქო ავიაციის ინდუსტრიით დაინტერესებული პირები, გადაყვანა-გადაზიდვების უსაფრთხოებას ხშირად პილოტის გამოცდილებითა და მოქნილობით განსაზღვრავენ. ყოველივე ამის უკან კი არის ქსელი, რომელიც უდიდეს შრომასა და ძალისხმევას საჭიროებს ეფექტურად ფუნქციონირებისთვის. კანონები და რეკომენდაციები რაც ძირითად ნორმატიულ აქტებს წარმოადგენს, შეიქმნა იმ ინციდენტებისა და უბედური შემთხვევებისგან, რომლებიც რეგისტრირებულია სამოქალაქო ავიაციას არქივში.

ბევრი მოსალოდნელი საფრთხე წინასწარ იქნა **როდის, სად??** განსაზღვრული და ამ საკითხების რეგულირებამ ინდუსტრიისთვის უამრავი უბედური შემთხვევის **ააცილება** მოახდინა. განვითარებასთან ერთად ახალი საფრთხეები და რისკები ჩნდება, რომლებიც ჯერ არ დაფიქსირებულა სამოქალაქო ავიაციაში.

აღსანიშნავია, რომ კანონები არეგულირებს პილოტების, საჰაერო მოძრაობის კონტროლის და სხვა ავიაციის პროფესიონალების მომზადებას და ლიცენზირებას. ეს **რეგულაციები უზრუნველყოფს**, რომ საავიაციო ინდუსტრიაში მყოფი პირები იყვნენ სათანადოდ მომზადებული და კვალიფიციური თავიანთი მოვალეობის უსაფრთხოდ და ეფექტურად შესასრულებლად. მაგალითად, პილოტებმა უნდა გაიარონ სრულფასოვანი მომზადება და ტესტირება ლიცენზიის მოსაპოვებლად და მათ უნდა გააგრძელონ მუდმივი განვითარება მთელი კარიერის განმავლობაში.

ასევე, კანონები ადგენს სავალდებულო უსაფრთხოების პროცედურებს და პროტოკოლებს, რომლებიც საავიაციო ორგანიზაციებმა უნდა დაიცვან საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში. ეს პროცედურები მოიცავს სცენარების ფართო სპექტრს, როგორცაა გადაუდებელი დაშვება, სამედიცინო გადაუდებელი შემთხვევები და უსაფრთხოების საფრთხეები. მაგალითად, ავიაკომპანიებს უნდა ჰქონდეთ საგანგებო ევაკუაციის გეგმები, ხოლო საჰაერო მოძრაობის **კონტროლი მზად უნდა იყოს** თვითმფრინავების გადასამისამართებლად უამინდობის ან სხვა შეფერხების შემთხვევაში.



კანონშემოქმედება გადამწყვეტ როლს ასრულებს სამოქალაქო ავიაციის უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში. საჰაერო ხომალდის დიზაინის მინიმალური სტანდარტების დაწესებით, ავიაციის პროფესიონალების მომზადებისა და ლიცენზირების რეგულირებით, უსაფრთხოების პროცედურებისა და პროტოკოლების მოთხოვნით და გამოძიებისა და სისხლის სამართლებრივი დევნის ჩარჩოს მიწოდებით, კანონები უზრუნველყოფენ მილიონობით ადამიანს ყოველდღიურად უსაფრთხოდ გადაადგილებას საჰაერო გზით.

ადამიანური ფაქტორების როლისადმი გაზრდილი ინტერესი გამოწვეულია უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფის საკითხის უდიდესი მნიშვნელობით, განსაკუთრებით, ავიაციის სფეროში. ადამიანურ ფაქტორზე, ცოდნის გამოყენება, მოითხოვს, ადამიანის, მაქსიმალური შესაძლებლობების გათვალისწინებას.

ადამიანური ფაქტორის ასპექტები – ის პრინციპებია, რომლებიც გამოიყენება დაპროექტებისა და სერტიფიცირებისას, კადრების მომზადებისა და საექსპლუატაციო საქმიანობის პროცესების გამართვის უზრუნველყოფის მიზნით, ავიაციაში ეს პრინციპები გამიზნულია, ადამიანსა და სხვა კომპონენტებს შორის უსაფრთხო ურთიერთქმედებისთვის, ადამიანის შესაძლებლობების სათანადო გათვალისწინებით.

საკანონმდებლო ბაზებთან და რეგულაციებთან ერთად ეს პროცესები რა თქმა უნდა ითვალისწინებს ადამიანურ ფაქტორს ავიაციაში, იქმნება პროცესების სახელმძღვანელოები, რომლებიც ადამიანური ფაქტორიდან წამოსულ შეცდომებს მინიმუმამდე დაიყვანს, ყოველივე ამის განვითარება კი სრულიად გააქრობს მსგავს შეცდომებს ინდუსტრიიდან. რათქმაუნდა გარკვეულ საქმიანობებში. რაც შეეხება LOADSHEET-ის გავშიფროთ თუ ქართულად არა, ინგლისურად მაინც სახეცვლილება სწორედ ამ მიზანს ემსახურება, იგი წარმოადგენს მთავარ ჩატვირთვის დოკუმენტს ???, რომელიც არის საწყისი ჩატვირთვის დაწყების და სანდო მონაცემების გამოთვლის სისტემა. მასზე იგება უსაფრთხო ბალანსი და უზრუნველყოფს თვითმფრინავის საიმედო აფრენა-დაფრენასა და მანევრირებას.

ამ დოკუმენტში ასახულია მთლიანი წონების გადანაწილება, როგორც საწვავის, მგზავრების, ტვირთის, ფოსტის და ბარგის, ისე გათვალისწინებულია ცარიელი ხომალდის მონაცემები. დოკუმენტი წარმოადგენს ერთგვარ მიმდევრობით შესამოწმებელ სიას, სახელმძღვანელოს, რომელიც საკანონმდებლო დონეზეა დადგენილი, განსაზღვრულია რომ გამოყენებულ იქნას პროცესების სახელმძღვანელოდ. მასში ასახულია შესასრულებელი ოპერაციების სია და მიმდევრობა. ამ დოკუმენტზეა შემდეგ დაშენებული გათანაბრების ??? ოპერაცია, აქ დაშვებული შეცდომა ვეღარ აღმოიფხვრება.

სტრესულ სიტუაციებში ჩატვირთვის ფურცლის შევსება ძალიან დიდ ყურადღებას მოითხოვს და საჭიროებს მშვიდ გარემოს სწორი გამოთვლებისთვის. მაშინ, როდესაც რამოდენიმე ბორტის ჩატვირთვა ერთდროულად ხდება, აქ იზრდება სტრესიც და ადამიანური ფაქტორის მიერ დაშვებული შეცდომების რისკიც. სწორედ ამ სიტუაციიდან გამომდინარე შეიქმნა ინოვაციური პროექტი ჩატვირთვის ფურცლის ექსელში აწყობა. პროგრამულად ამის გამართვა არ გამორიცხავდა სისტემის ხარვეზს, მაგრამ ექსელის ფაილი აზღვევდა ისეთ სიტუაციებს, როგორცაა ინტერნეტის გათიშვა, ტექნიკური ხარვეზი და სხვა. გვანცა სვანიძის მიერ, რომელიც არის GEORGIA AERO HANDLING, OCC-ის გუნდის წევრი, შეიქმნა ფორმულა „W&B RHEA“ რომელიც აზღვევს სწორედ იმ რისკებს, რაც ზემოთ არის ჩამოთვლილი. ფორმულის შექმნისთანავე დაიწყო გატესტვა ძველი გაშვებული რეისების მონაცემებით, ნაჩვენები შეცდომები კი იმწამსვე იქნა შესწორებული ფორმულებით. რამდენიმე გატესტვისას ამ ფორმულებმა შეცდომის ნულოვანი დონე აჩვენა და წარმატებით ამუშავდა. კომპანიაში,

შესაბამის დეპარტამენტში იქნა გადაგზავნილი ფაილი ტესტირებისთვის, რათა მაქსიმალურად ამოწურულიყო ამ ფორმულის რესურსი ???.

საბოლოოდ ფორმულამ აჩვენა დადებითი შედეგი. ასევე, შესაძლებელია რამდენიმე რეისზე მისი მოდიფიკაცია. აღსანიშნავია, რომ ავტორის (გვანცა სვანიძის) მიერ შექმნილი ფორმულა, (რომელიც ემსახურება საავიაციო პროცესების გამარტივებასა და ადამიანური ფაქტორის მიერ დაშვებული შეცდომის შემცირებას სტრესულ სიტუაციაში.) გახლავთ უსაფრთხოების გადამოწმების ფორმულა, შეცდომის რა შეცდომის?? გამოსარიცხად. ტესტირება დასრულდა 2024 წლის 15 აპრილს. მუშაობის პროცესში, ფორმულის დადებითი შეფასებიდან გამომდინარე.

საავიაციო უსაფრთხოება არის დინამიური სფერო, რომელიც მუდმივად ვითარდება განვითარებადი საფრთხეების, ტექნოლოგიური წინსვლისა და გლობალური უსაფრთხოების ლანდშაფტის ცვლილებების მოსაგვარებლად. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ყოვლისმომცველი და ადაპტირებადი მიდგომის შენარჩუნებას საავიაციო ინდუსტრიის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Academic articles on civil aviation law, including "The Regulation of International Civil Aviation Safety" by Michael Milde.
- [2] - Global Aviation Safety: Legal and Policy Issues" by Ruwantissa Abeyratne.
- [3] - How Aviation Law Was Changed Through Accidents. Published: 10th Jun 2019.
- [4] - Proposal for a new legal paradigm air law and space law: orbit law, By C.Brandon Halstead, jr. June 2007.
- [5] - State of global aviation safety, icao safety report 2019.
- [6] - State of global aviation safety, ICAO 2013.
- [7] - The importance of the roles of law in aviation safety. By Guran Asaad 2018.
- [8] - <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/33298?publication=33>
- [9] - <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/2150466?publication=0>
- [10] - <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/59236>

## Civil Aviation and Safety

A. Kurtanidze<sup>1</sup>, G. Svanidze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

### Abstract

In a rapidly developing world, many challenges have arisen in the aviation industry, Civil aviation has faced many obstacles, but the accelerated pace of development will bring amazing changes in the future. In order for the industry to keep up with this accelerated rhythm, it is necessary to stabilize the processes with legal frameworks. International organizations such as ICAO, EASA, IATA and others play a major role in solving this issue.

## საჰაერო ტრანსპორტის მართვის, გადაადგილების და საჰაერო სივრცის ეფექტურად ათვისების საკითხები

ბადრი ნადარაია

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

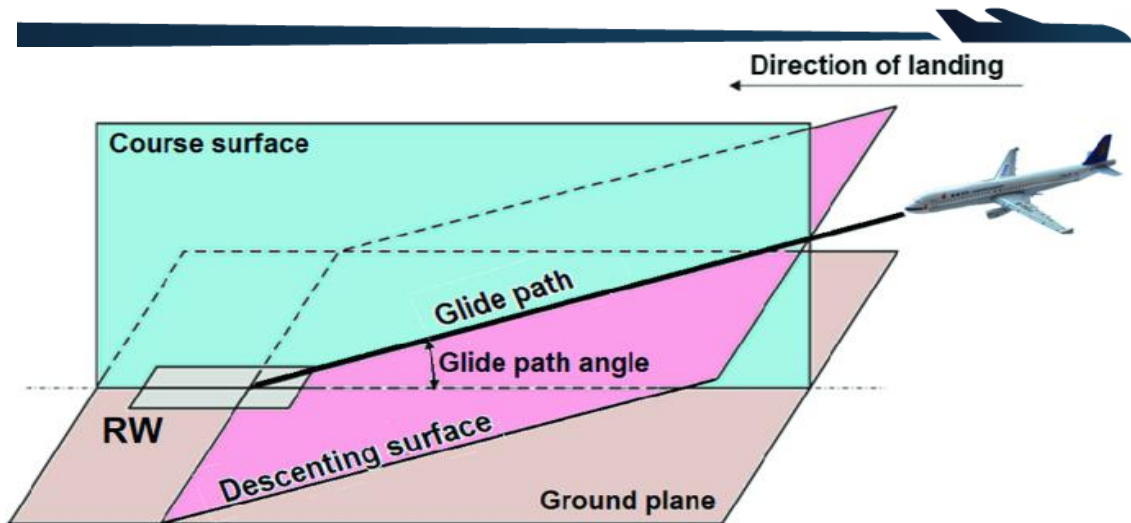
თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** სტატიაში წარმოდგენილია თანამედროვე ავიაციის განვითარების გზები თანმხლები შემაფერხებელი ფაქტორების გათვალისწინებით და ტექნიკურ-ტექნოლოგიური საკვანძო საკითხების ერთმანეთისაგან განსხვავებული მოდულები, რომლებიც თავის მხრივ პოტენციური მიმართულებით სამომავლო გლობალური გამოწვევების დასაძლევად როგორც ზემოთ აღნიშნულის, ასევე პირადი მოხმარების ხომალდების და საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობასთან მიმართებაში. აეროდრომების საჰაერო და სახმელეთო სივრცის მოდელირება (ე.წ. გაციფრულება) მოგვცემს ვირტუალური რეალობის ტექნოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობას, რაც თავის მხრივ პირველადი მნიშვნელობისაა ინდივიდუალური ავიატრანსპორტის მასიური გამოყენების შემთხვევაში.

**საკვანძო სიტყვები:** მომავლის ავიაცია, დრონები, ვირტუალური რეალობა (VR), ენერგოეფექტურობა, ILS, თანამგზავრული ნავიგაცია, GPS, პოზიციონირება, მომავლის ტექნოლოგია, კოსმოსური სისტემები.

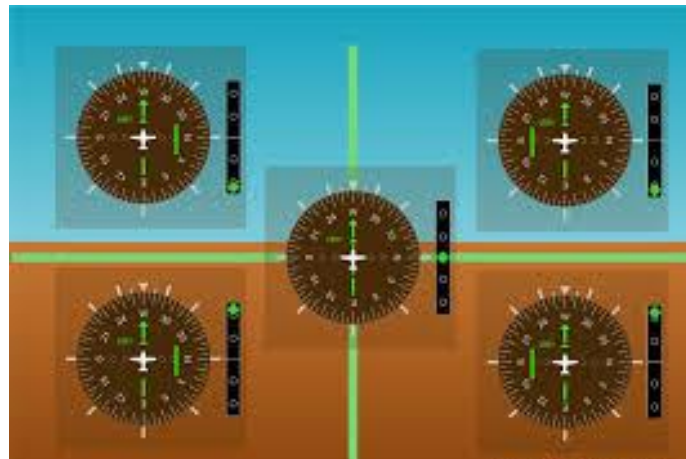
### ძირითადი ნაწილი

საჰაერო ხომალდების თანამედროვე კლასიკური ასაფრენ-დასაფრენი სისტემა შედგება საკურსო და საგლისადო რადიომუქურული სისტემებისაგან. ზოგადი მოქმედების პრინციპი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებას როგორც საკურსო, ასევე საგლისადო რადიომუქურებისაგან. აღნიშნული ტალღების/სიგნალების თანაკვეთა ხდება მკაცრად განსაზღვრულ ე.წ. თანაბარსიგნალურ ღერძზე, რომლიც ვერტიკალურ სიბრტყეში აუცილებლად თანხვედრილია ასაფრენ დასაფრენი ზოლის (ადზ) გრძივი ღერძისა, ხოლო ჰორიზონტალურ სიბრტყეში კი, საგლისადო დახრული სიბრტყისა, რომელიც ადგილმდებარეობის რელიეფიდან გამომდინარე ვარირებს 10-დან 3,50-მდე. ზემოაღნიშნულის საილუსტრაციო მოქმედების პრინციპი წარმოდგენილია სურათზე (იხ. ნახ.1) [3,5].



ნახ.1. საკურსო-საგლისადო სიგნალების თანაკვეთით წარმოქმნილი თანაბარსიგნალური ღერძი

მფრინავი თვალყურს ადევნებს საჰაერო ხომალდის კაბინაში განთავსებულ ხელსაწყოებს და შესაბამისი ინფორმაციის საფუძველზე აკორექტირებს თვითმფრინავის მიმართულებას. საკურსო-საგლისადო არეალში შესვლამდე თვითმფრინავს უწევს ე.წ. მარკერული რადიოშუქურების თავზე გადაფრენა იმის დასტურად, რომ ის სწორედ მიემართება ა.დ.ზ.-ის არეალში. ერთი შეხედვით, მარტივია, თუმცა ყოველთვის გასათვალისწინებელია ადამიანური ფაქტორის ზეგავლენა სტრესისა და გადაღლილობის დროს, სადაც შეცდომების დაშვების ალბათობა მკვეთრად იზრდება, როგორც საჰაერო ხომალდის, ასევე საჰაერო მოძრაობის მართვის ავიაშემთვალყურეს მიმართ. სურათზე წარმოდგენილია საინდიკაციო მოწყობილობა, რომელსაც იყენებს მფრინავი საჰაერო ხომალდის (ს.ხ) კურსისა და გლისადის კორექციისას. (იხ.ნახ. 2) [3].



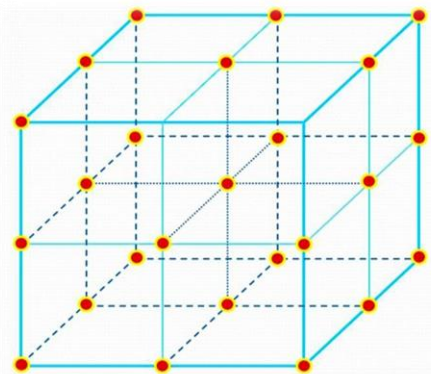
ნახ. 2. საკურსო-საგლისადო ინდიკატორი

თანამედროვე ტექნოლოგია იძლევა საჰაერო ხომალდის ადზ-ზე ავტომატურად (ავტოპილოტის გამოყენებით) დაფრენის შესაძლებლობას, თუმცა სიზუსტის დაცვისა და გლობალურობის თვალსაზრისით ის ბევრად ჩამორჩება სტატიაში წარმოდგენილ კონცეფციას სამომავლო ავიაციასთან მიმართებაში.

მომავლის ავიაციის ხედვა და ტექნიკურ-ტექნოლოგიური პროგრესი მდგომარეობს სრულიად ავტომატურ სისტემებში, რომლებშიც ადამიანის ჩართულობის აუცილებლობა არ არის.

კონცეფცია მდგომარეობს ს.ხ.-ის მართვაში გლობალური პოზიციების სისტემის გამოყენებით. აღნიშნული სისტემის პოტენციალი იმდენად დიდი და პერსპექტიული, რომ ის სრულიად ჩაანაცვლებს თანამედროვე სახმელეთო დანიშნულების ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემას (ILS), რადიოლოკაციურ სადგურებს, სააროდრომო დანიშნულების ს.ხ.-ის მიმმართველებს სამიმოსვლო ბილიკებზე და ბაქანზე არსებულ სადგომების ორიენტირებს. ამასთან ერთად ვირტუალური რეალობის ტექნოლოგია კიდევ ერთხელ ადასტურებს ზემოხსენებული სისტემის რეალიზაციის შესაძლებლობას [7].

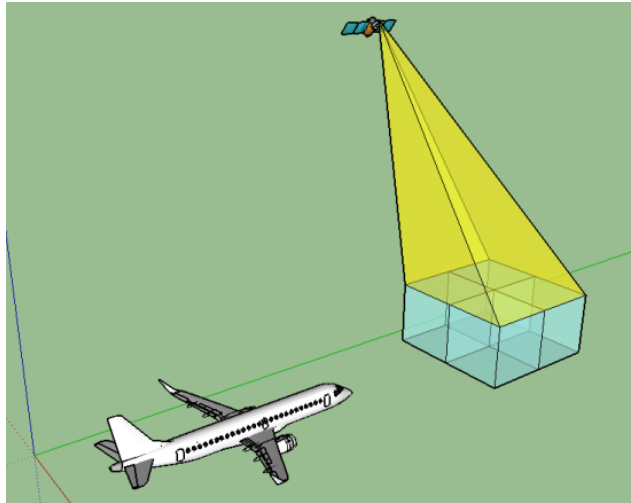
თანამედროვე ავიაციის მოწინავე და განვითარებადი ტექნოლოგიის პერსპექტივაში დევს სისტემა ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast / ავტომატური დამოკიდებული თვალ-ყურის დევნება - მაუწყებლობა). აღნიშნული სისტემა ეფუძნება გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრების გამოყენებას და მოქმედების პრინციპების ზოგად აღწერაში შესაძლებელს ხდის საჰაერო ხომალდების, როგორც ერთმანეთთან, ასევე სახმელეთო მართვის სადგურებთან კომუნიკაციას და პარამეტრული მონაცემების გაცვლას. ავიაციის განვითარების ამ ეტაპზე ვასკვნით, რომ ინფორმაციის გაცვლა არ წარმოადგენს სირთულეს. აქედან და თანამგზავრული კოორდინაციული სიზუსტიდან გამომდინარე, შეგვიძლია სივრცეში აღებულ ნებისმიერ ფიქტიურ წერტილს მივუჩინოთ შესაბამისი კოორდინატი, ანუ ზღვრული მათემატიკური მნიშვნელობა, რომელის გადაყვანა ციფრულ მოდელზე არ წარმოადგენს დღეისათვის რაიმე სირთულეს. (იხ. ნახ. 3) [6,7].



ნახ. 3. საჰაერო სივრცის კოორდინირებული მოდელი

როდესაც საჰაერო სივრცის ნებისმიერ შემთხვევით აღებულ წერტილს მინიჭებული აქვს ციფრული მნიშვნელობა, შესაძლებელია მისი ასახვა, გადატანა ნებისმიერ სხვა სისტემაში შესაბამისი ენით [3].

თანამგზავრების ერთობლიობით წარმოქმნილი სივრცულ-კოორდინირებული ბადე, ანუ ველი, გვაძლავს სივრცის მოდელირების და შესაბამისად ვირტუალურ ტექნოლოგიასთან ინტეგრაციის შესაძლებლობას. (იხ.ნახ. 4) [4].



ნახ.4. თანამგზავრული სიგნალებით შექმნილი კოორდინაციული ველი

ვირტუალური რეალობის ტექნოლოგია იხელმძღვანელებს საორიენტაციო სივრცული კოორდინატებით, რომელიც თავის მხრივ მოეწოდება გლობალური პოზიცირების სისტემიდან და აღიქმება გრაფიკულად მფრინავის კაბინაში საფრენოსნო ეკიპაჟის მიერ (იხ. ნახ. 5).



ნახ. 5 . VR ტექნოლოგიით ს.ხ.-ის მართვის პროცესი

გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემით შექმნილი ვირტუალურ კოორდინირებული სივრცული ველი და მასში ინტეგრირებული ს.ხ.-ის მართვის სისტემა, იძლევა უპრეცედენტო შესაძლებლობას ვმართოთ არა მარტო კომერციული ტიპის კონტინენტალური თვითმფრინავები, არამედ ავტომატურ, წინასწარი

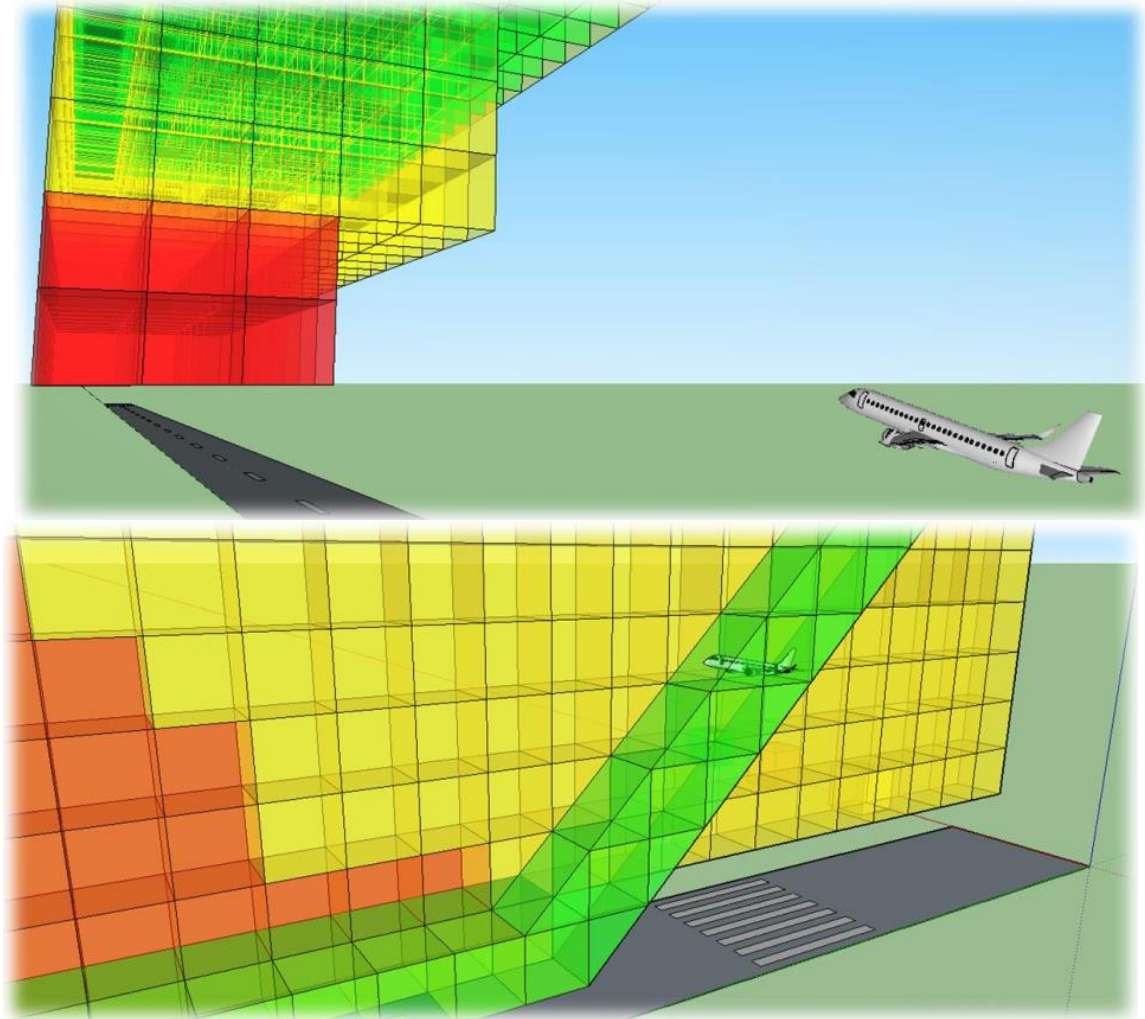
ალგორითმის გამოყენებით იმართებოდა ინდივიდუალური მოხმარების სატრანსპორტო დროები. VR ტექნოლოგიის დამუშავება და ავიახელსაწყოებთან ინტეგრირება იძლევა უპრეცედენტო შესაძლებლობას - მფრინავის მიერ უგულვებელყოფილ იქნას კლასიკური მართვის პრინციპების ხელსაწყოების მიხედვით, არამედ აღქმული იყოს სივრცულ-კოორდინირებული ველი GPS-ზე დაყრდნობით შემუშავებულ ფიქტიურ "n" რაოდენობის წერტილზე დაყრდნობით. ავტომატიზაცია გულისხმობს ადამიანების არ არსებობას მართვის ეტაპზე/მოდულზე. მსგავსი ტიპის ტექნოლოგია დღესდღეობით რეალიზებულია ავტონდუსტრიაში, კონკრეტულად კი ტაქსით მომსახურებისა და ტვირთების გადატანის სფეროში. ასეთი მიმართებით იზრდება ავიატრანსპორტისადმი მოთხოვნა, როგორც კომერციული, ასევე ინდივიდუალური დანიშნულებით. ავტომატიზაცია კი, თავის მხრივ გამოიწვევს ადამიანის მყისიერ ჩარევას მართვის ეტაპებზე. ეს კი თავის მხრის ხელმისაწვდომს ხდის ავიატრანსპორტს ნებისმიერი მომხმარებლისადმი თავის ფინანსური ღირებულების გათვალისწინებით [2,3,4].

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით თავს იჩენს ენერგოეფექტურობისა და ელექტრომაგნიტური ეკოლოგიის საკითხები, რაც დღევანდელი კაცობრიობის პროგრესის თანმხლებია.

საჰაერო სივრცის ყოველ შემთხვევით აღებულ n კოორდინატზე მნიშვნელობის მინიჭებით ვღებულობთ წინასწარ ცნობილ, ალგორითმულ ველს. ეს უკანასკნელი მიიღება პლანეტის მასშტაბით, გლობალურად დროის ნებისმიერ მყისიერ მომენტში დედამიწის ორბიტაზე განთავსებული თანამგზავრების მიერ გამოსხივებული სიგნალებით.

მათემატიკური, გაკოორდინირებული დროისა და სივრცის ველის შექმნა პლანეტის გარშემო, რომელშიც გადაადგილდებიან საჰაერო ხომალდები, უკუ აგდებს სახმელეთო დანიშნულების რადიოლოკაციური სადგურების, საკურსო-საგლისადო და სააეროდრომო დანიშნულების შუქსანათი სისტემების აუცილებლობას. რჩება მხოლოდ და მხოლოდ ე.წ. ნულოვანი სასტარტო წერტილი (შესაძლებელია, აზომვების წარმოებისათვის გათვალისწინებული რადიოლოკაციური სადგურები).

ელექტრომაგნიტური ეკოლოგიის საკვანძო მომენტი მდგომარეობს უშუალოდ გამოსხივების კონცენტრატის არ არსებობაში იმდენად, რამდენადაც თანამგზავრული სიგნალების არსებობა გამოიხატავს რაიმე დამატებითი სააეროდრომო კონცენტრირებული ენერგიების აუცილებლობას და მიიღწევა სიგნალით დაფარული კოორდინირებული სივრცე. ცხადია აღნიშნული სივრცის კონკრეტული უბანი მართვადია შეზღუდვების დაწესებისა თუ საჰაერო დერეფნები წარმოქმნის თვალსაზრისით. (იხ.ნახ.6) [2,6,7].



ნახ.6. კოორდინირებული საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის გამარტივებული პრინციპული მაგალითი



## დასკვნა

სამეცნიერო სტატიაში მოცემული პრობლემების შესაბამისი გადაწყვეტის მიზნით დასკვნის სახით, მოცემულია კონკრეტული რეკომენდაციები, რომელთა პრაქტიკაში დანერგვა გააუმჯობესებს, საჰაერო ტრანსპორტის მართვის, გადაადგილების და საჰაერო სივრცის ეფექტურად ათვისების საკითხებს, გაზრდის საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობას და საიმედოობას, კერძოდ:

1 - სააეროდრომო დანიშნულების რადიოლოკაციური სადგურების პარამეტრების გაუმჯობესება, ან მათი ექსპლუატაციიდან ამოღება შესაბამისი ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის გზით;

2 - ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესება ელექტრომაგნიტური ენერჯის კონცენტრაციის შემცირებით ყოველ შემთხვევით აღებულ სივრცულ წერტილზე;

3 - საჰაერო ხომალდების სივრცული პოზიციების განსაზღვრის ზუსტი კოორდინირება;

4 - საჰაერო ხომალდების, ისევე როგორც აეროპორტების/აეროდრომების მართვის ნახევარ ავტომატური (დამოკიდებულია ხელოვნური ინტელექტის წარმადობის შესაძლებლობაზე) პოტენციალი;

5 - საჰაერო ტრანსპორტის მართვის პრინციპების გაუმჯობესება (გამარტივება), სივრცული დერეფნების ვირტუალიზაციის და მფრინავთა მომზადება/გადამზადების გამარტივების გათვალისწინებით.

## გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - ვ. ზურაბიშვილი, თ. სვანიძე - ელექტრომაგნიტური ეკოლოგია (2018);
- [2] - ვ. ზურაბიშვილი, თ. სვანიძე - ელექტრომაგნიტური თავსებადობა (2018);
- [3] - ბ. ნადარაია - კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების სამომავლო პერსპექტივები (2020);
- [4] - მ. ზოიძე - ერთიან საჰაერო სივრცეში უპილოტო საფრენი აპარატების მართვის მეთოდები ახალი საინფორმაციო ტექნოლოგიების გამოყენებით (2020);
- [5] - ნ. თიკანაშვილი - საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით (2019);
- [6] - Buckup S, González J. - Advanced Air Mobility: Shaping the Future of Aviation (2024);
- [7] - F. Salabert - The Future of GNSS in Civil Aviation: Opportunities and Challenges (2017).

## **Issues of air transport management, movement, and efficient utilization of airspace**

Badri Nadaraia

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

### **Abstract**

The article presents the ways of development of contemporary aviation with the provision of possible obstacles and basic technological modules, which in their kind are the main source of transformation of global challenges, not only the above, but also regarding individual aircraft that will need high airspace capacity. Modeling of ground and airspace will provide the opportunity to use virtual reality technology, which is paramount when using aircraft as an individual transport.

## Challenges in Risk Identification and Management in Occupational Safety and Health (OSH) within the Civil Aviation Industry

David Alania  
Georgian Aviation University  
Ketevan Dedopali Ave. 16, 0144, Tbilisi, Georgia

**Abstract:** *This research seeks to investigate the challenges of risk identification and, subsequently, risk management within the health and safety framework as related to OSH in the civil aviation industry. Aviation operations are rather fast-moving and complex; therefore, the present study has sought to identify organizations in hazard identification and deploying risk management strategies. This paper thus attempts to develop a case study that would underpin the complex interaction between human, technology, training, and regulation issues impeding effective OSH practices within the aviation industry. Finally, the findings of the study shed light on proactive and integrated strategies in managing risks that ensure workers' safety without compromising efficiency in production.*

**Research findings:** *Incomplete hazard recognition because of the dynamism present in the inherent work situations, cognitive biases in risk perception, communication disconnects across functions, and rapid technological changes are some of the main difficulties concerning identification and management in Civil Aviation. In turn, all these problems receive significant accentuation from inadequacies related to training, compliance with regulations, and incident reporting systems. The research underlines comprehensive and proactive OSH risk management across departments, improved communication tools, and permanent safety training. The analysis calls for these concerns to be addressed in order to improve the aviation industry's safety regarding health at work and compliance with updated security rules.*

**Keywords:** *Occupational Safety and Health (OSH), Civil Aviation, Risk Identification, Risk Management, Hazard Recognition, Human Factors in Aviation Safety, Cognitive Bias, Communication Gaps, Technological Risks, Automation in Aviation, Cybersecurity in Aviation, Regulatory Compliance, Safety Training, Incident Reporting, Near Miss Reporting, Aviation Safety Standards, Worker Safety, Dynamic Risk Management, Proactive Safety Strategies, Cross-Departmental Collaboration, Safety Culture in Aviation.*

### The problem

The current research solved the very important Challenges of a lack of effective identification and management of risks within the OSH framework in the civil aviation sector. Although the industry is highly regulated with strong safety control in place, there are still significant gaps to be filled as far as the kinds of risk recognition and control that apply to all types of workers-from a man loading at ground level to a pilot in flight. In addition, risk management is an unenviably demanding task because of the increasingly complex and dynamic work environment within organizations, innate human cognitive biases, poor communication between departments, and new technologies being rapidly introduced into practice. This is further compounded by a shortage of the proper training, incident reporting systems, and adherence to regulation. The research will be a study of issues and their analysis on broader spectrum,

which will result in finding solutions to those problems. These may help increase OSH practices and enhance worker safety as well as operational efficiency within the civil aviation industry.

## Introduction

Safety is the most important issue in aviation industry because it is a very dynamic and high-risk environment to work, so having right people on board is the most crucial. Occupational Safety and Health (OSH) in aviation operations, one of the fields intended to keep workers from accidents, has an essential role. Nevertheless, due to the complexity of the sector as well as its regulatory requirements and technological developments that rapidly arise, it can be particularly difficult to identify and manage such risks. Understanding key issues and areas for intervention to promote greater focus on risk identification and management in OSH-related matters in the civil aviation industry is lacking.

Civil aviation is much more than flying. It starts from aircraft maintenance to ground handling, air traffic control, and in-flight services. These are broad areas, and each spectrum has specific risks that may imply comprehensive risk identification as challenging.

Aviation, as an industry, has a lot of job roles: pilots, maintenance personnel, baggage handlers-even administrative staff. Such variability in the roles raises a question if a single response in risk management can address all kinds of hazards. For instance, the risks for a pilot are not at all similar to the ones of the ground crew's worker who is exposed to aircraft refueling.

Aviation operations are conducted in dynamic environmental conditions, such as the weather, operational schedules and aircraft maintenance deployment. Above all, the variability of those factors brings new and constantly changing risks that are difficult to predict, making risk identification even harder.

Effectively, this relates to human factors in civil aviation where the decision made is like an express train dividing between operational and safety directions. Human errors rooted in cognitive biases impeding accurate risk assessments, or failure to identify all hazards.

Experience also refers to after a worker is put to work in a hazardous environment for so long, one tends to overlook certain risks or falls into the false illusion that because no incidents occurred before, they are unlikely to happen again. It normalizes away the important safety hazards, like small procedural shortcuts in maintenance or flight operations.

People who do jobs very frequently, like baggage handlers or ground crew, can become complacent about safety. And the worst is that, due to their repetitive nature, what seems superficially like low risks at work-in incidents or near misses not being reported adequately and/or properly logged into a risk management system, which are quantitatively worse than others-that subverts the entire identification process.

The proper communication to be maintained between various sections involved-pilots, air traffic controller (ATC), ground employees, and maintenance staff-is also required for effective risk management in civil aviation. But the same silos can cause communication gaps that create fragmented risk identification and mitigation.

Civil aviation organizations are groups of such activities or silos, where each team has little knowledge or understanding about the risks faced by other teams. Alternatively, for example, ground crews may be unaware of risks in the cockpit, but pilots can be unaware of the hazards when it comes to

aircraft maintenance. This siloed approach to risk management can mean that key risks go unseen or unmanaged.

**Reporting:** Despite there being regulatory frameworks for civil aviation, reporting practices are inconsistent. Since the employees can use different systems or protocols to report hazards, it becomes difficult to collate the data and conduct a comprehensive risk evaluation. This inconsistency can ultimately result in significant delays in identifying core safety risks or deficiencies.

The rapid rate of evolution of technology in civil aviation is creating new hazards that are either unknown or challenging to manage, especially when set against the more traditional risks and/or historical developments for departing from tried and tested systems or processes with valid risk awareness.

Although automation has significantly increased efficiency in aviation operations, it also shifted new vulnerabilities toward risk maturities. Workers may over-rely on automated systems and thereby lose dynamism or the art of manually operating. Automated systems introduce new, unforeseen risks due to errors in the design, operation, or maintenance of that system.

Other threats include that cyber security is an issue that is increasingly important for civil aviation since systems both onboard aircraft and on the ground are becoming increasingly digitized; furthermore, a cyberattack could put communication systems, navigation aids, or safety-critical functions in peril. These risks are often overlooked by traditional OSH frameworks, which many times focus on physical hazards.

Aviation is one of the most regulated industries in the world for good reason: extremely high standards regarding safety are implemented through organizations such as the International Civil Aviation Organization (ICAO) and national airworthiness authorities. On the other hand, because of the very nature of the regulatory environment, identifying risks and then managing such risks effectively is a challenge.

While safety is key and regulations are necessary, they pile up fast and can become much for some organizations to swallow. In such situations, small airlines or ground service providers' challenges of fully complying with all regulations may arise and result in incomplete risk assessments and lack of implementation of some safety measures.

**Reactive, Not Proactive Compliance:** Sometimes an organization fulfills what is required of them in terms of a system, i.e., OSH standards, rather than it being used as a tool for managing risk from health and safety aspects. This could be because of a reactive mindset wherein you identify risks only when incidents have already happened instead of preventing it from happening. Rest Controller really gives more control over the HTTP consumes and exposes.

**Training and awareness:** All OSH programs, but most importantly those operating in high-hazard environments like the civil aviation industry, require an educational component. Reality is such that without good training, or no training at all, a) our capability for risk identification and management will be less than it could be; b) we increase our chances of being caught out.

The new system itself, of course, has its deficiencies: many aviation workers, especially in less technical positions, might not be trained to identify the kind of risks they are putting themselves in danger for. For example, ground handlers are probably not trained with full comprehension of manual handling ergonomic risk while lifting heavy bags. Similarly, cabin crew will probably be ignorant of all the risks involved during turbulence while operating in-flight.

**Fast Turnover and Contractor Workforce:** Most employees in aviation change jobs fairly frequently; most ground operations and airport services are provided on either a temporary or contractual basis.

Contingent workers also tend to receive less safety training than full-time workers, which increases the likelihood of accidents and hazards being overlooked.

Apart from training all the workers in the basics of security, collecting incidents and near miss's data is an attribute for risk management. However, such underreporting is at large in civil aviation as well as other sectors.

Anxieties about penalties or blame may lead to employee silence regarding hazard reporting and incident reporting (near misses), too. This fear, of falling afoul of the law themselves, can mean that there are vital safety risks going unreported, plus further unnoticed.

Even when employees would be willing to report incidents, deficiencies or unwieldy reporting systems discourage comprehensive documentation of the risks. If reporting is not easy or reports are not followed up well, the effort of risk management is weakened, since such valuable data is not applied for improvements.

### Conclusion

The aviation industry works in a highly complex and risk-laden environment, so Occupational Safety and Health are integral to operational safety. The current study has identified incomplete hazard identification, human cognitive biases, information fragmentation, and technological changes as the main challenges to identifying and managing risks in this industry. These problems not only threaten worker safety but also can be disruptive to operational efficiency and compliance with aviation safety standards.

The first important problem is the inability to fully identify and mitigate all the specific hazards that exist within civil aviation. The second but closely linked problem is the dynamic character of the industry, since conditions change rapidly, bringing new risks in which a minor failure is often overlooked. Also, cognitive biases such as normalization of deviance or complacency in routine tasks further complicate accurate risk identification. These human factors distort the perception of risk and lead to underreporting of near misses or hazards, undermining the effectiveness of safety management systems.

A further key factor is the lack of efficient communication and coordination between various departments. Silos in civil aviation organizations impose limits on the sharing of critical safety information across teams at ground operations, maintenance crews, and flight personnel. In the absence of an appropriately integrated approach to risk communication, key insights about safety might be missed-leading to risks not managed in time or responses to identified hazards being delayed.

While technology provides opportunities, it also creates challenges for civil aviation risk management. Automation and digitalization improved the efficiency of operations, but created new points of failure like heavy reliance on automated systems or weaknesses in cybersecurity. Now that the wonders of digitization are growing from multiple fronts, it is now high time to develop and implement enablers across industry-wide frameworks of risk management for wider avenues.

A general lack of training-namely, in temporary and contract workers-further muddles the waters regarding who has responsibility for OSH risk management. Not having minimum standard or standard safety training across the workforce increases the odds for accidents: if workers are not properly informed about the dangers of their jobs and proper safety procedures to avoid them, mistakes will usually happen.

The findings of the study reveal that a comprehensive and focused initiative from the national level would be of essence for improving OSH risk management within civil aviation. Such, it will go on with constant updating of any risk assessment and mitigation of human cognitive biases by enhancing safety

culture and communication across levels of the organization. Similarly, due to the high-risk nature of some roles and the regular churn in contractor or temporary labor, there is an essential need for continued safety training. These issues can only be resolved by having a deep-seated, safety-first culture and investing money and resources in making those safety efforts a reality.

In a similar vein, regulatory bodies have to raise their game of guidance and enforcement of improved safety frameworks that will keep up with the accelerated rate of change brought in by technologies to our skies. The regulatory environment should move from being reactive to proactive compliance-by design, it should anticipate and manage risk well before they manifest tangibly, rather than reacting in the aftermath of incidents.

Conclusion Improving OSH risk identification and management within civil aviation requires an integrated approach that is adaptive to the changing nature of hazards within the industry. This research speaks to the necessity for addressing human factors, technological risks, communication gaps, and training deficiencies in developing an appropriate OSH strategy. Addressing these various challenges enables a civil aviation organization to ensure increased worker safety while sustaining operational efficiency and compliance with global safety standards that collectively improve safety within the aviation industry.

#### References:

- [1] - ICAO (International Civil Aviation Organization). (2018). Safety Management Manual (SMM), 4th Edition. Doc 9859, AN/474;
- [2] - Dekker, S. (2014). The Field Guide to Understanding 'Human Error'. CRC Press, 3rd Edition;
- [3] - Hale, A., & Hovden, J. (1998). Management and culture: The third age of safety. A review of approaches to organizational aspects of safety, health, and environment. *Safety Science*, 31(1), 231–257;
- [4] - Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2-3), 183-213;
- [5] - Civil Aviation Safety Authority (CASA). (2022). Occupational Health and Safety Risk Management Guidelines for the Aviation Industry. Available at: <https://www.casa.gov.au>;
- [6] - Adams, J.G., & Revans, R.W. (2019). Safety Culture in Aviation: Risk Identification and Mitigation Practices. *Journal of Safety Research*, 70, 76-85;
- [7] - Leveson, N.G. (2011). *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. MIT Press;
- [8] - Shannon, H.S., Mayr, J., & Haines, T. (1997). Overview of the Relationship between Organizational and Workplace Factors and Injury Rates. *Safety Science*, 24(3), 201-215;
- [9] - Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate Publishing;
- [10] - Su, Z., McDonnell, D., & Ahmad, J. (2022). Risk Management and Occupational Safety in Aviation Industry: Challenges and Opportunities. *Journal of Air Transport Management*, 92, 102039;
- [11] - <https://www.easa.europa.eu/domains/safety-management/safety-risk-management>.

## Flight laboratories role in aviation related projects and teaching methodology development. Polish and Georgian Case Studies

Tomasz Rogalski<sup>1</sup>, Nika Tikanashvili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rzeszow University of Technology  
Al. Powstancow Warszawy 1235-959 Rzeszow, Poland

<sup>2</sup>Georgian Aviation University  
Tbilisi, Georgia, 16 Ketevan Dedopali Ave. 0103

**Abstract:** *Aviation is the most dynamic and fast developing transport mode, strong aviation has a key role in a country's strength and economic development. Aviation system connects with other modes of transportation, where federal responsibility for managing and regulating air traffic operations intersects with the role of state and local governments that own and operate most airports. The constant growth of the flights intensity in the world faces new challenges for international aviation organizations to increase safety requirements, for this reason implementation of the innovative technologies and the taking following measures are necessary: increasing the flight altitudes between the aircrafts, raise the airspace bandwidth; using satellite navigation; reduction of economic indicators and flight performance of routes in order to optimize flight time; improvement of landing trajectories for less negative effects on populated areas (emissions and noise). Above mentioned technological changes will have an impact at the qualification level of aviation specialists, both in the air and on the ground, and will lead to the formation of their knowledge, and responsibilities, as well as requires development of new skills. Based on statistical data, taking into account the increase in the intensity of flights, it is also important that there should be a sufficient number of qualified and competent people personnel to ensure a safe and efficient aviation system, for these reason it is important to integrate into aviation educational programs new innovative, practical based teaching methodologies in order to meet requirement of new technological environment in aviation field. In the research is analyzed aviation education modern requirements and technological development tendencies, provided gap between new technologies and aviation educational programs teaching methodologies, use of flight laboratories in Poland and Georgia analyzed as a case studies. Paper provides flight laboratories use as a recommended concept in aviation education for students projects and teaching methodology development.*

**Keywords:** *aviation education, flight laboratories, teaching methodology, innovative technologies.*

### Introduction

The efficiency of human role in aviation should be considered as new, at the stages of planning and designing systems and technologies, as well during their implementation and operation. Human errors In order to prevent the risks caused, their extensive and effective management in an operational context, it is impossible to achieve regulatory bodies, service providers and operating personnel without a coordinated effort [7].



Human error is the key factor which is still challenging the aviation, based on different scientific research papers and statistical analysis proves that, human error and mistakes is one major problem, which is the reason of different aviation accidents or incidents, it is connected to the different reasons, some of the are clarified below:

- a) Initial training of personnel to adapt to the new technological environment of aviation;
- b) Formation of new knowledge, skills and duties, which is defined and necessary to maintain the safe operation of the aviation system;
- c) Social factors and the management of changes that related to the increase automation level.

In order to fulfil the criteria's of the new technological environment in aviation, education and teaching methodology improvements is important in order to gain learning outcomes, which increase the competencies of the graduates and develops the practical skills, flying laboratories and in-flight tests in student projects have critical role in this process, as a new methods for teaching. [6]

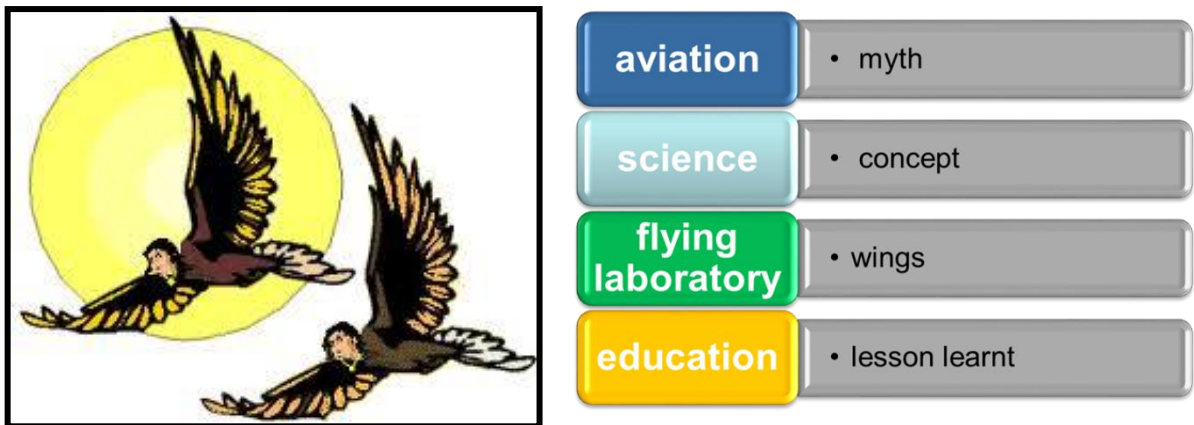


Figure 1 - Aviation, science, education, flying laboratories for in-flight tests existed at mythic Age

Aeronautical science focuses on designing, developing, operating, and applying aircraft within the earth's atmosphere. It's a multidisciplinary field integrating physics, mathematics, and engineering aspects. Since first steps of aviation development science is playing critical role for development of the new concepts and integrated into the aviation systems, before the first official flight in 1903 year aviation was myth for the society but till today many lessons learnt into the development process and flying laboratory's consider as wings for aviation education methodological enhancement and next developments of the practical component of the teaching programs. [5]

There are lots of flying laboratories used in science and education activities in the World at present



Figure 2 - Flying laboratories all over the World

Types of aerial vehicles could be used as prototypes of the flying laboratories and used as practical examples and cases studies for teaching methodology development.

- Aircraft
- Balloons
- Rockets
- Helicopters
- Drones and many others.

There are lots of flying laboratories used in science and education activities in the World at present for example, at Cranfield University, Delft University of Technology, Technical University of Munich, Technical University of Pennsylvania and others. Into the paper be provided case studies of Poland and Georgia in order to fully integrate and implement flying laboratories into the proper educational programs of Rzeszow University of Technology and Georgian Aviation University.

- What are the benefits of using flying laboratories?
- Real experiment condition
- Attractiveness
- Real facilities and devices
- Efficiency
- Practical skills development
- Student oriented teaching and others

What fields and sub-fields can we use it on?

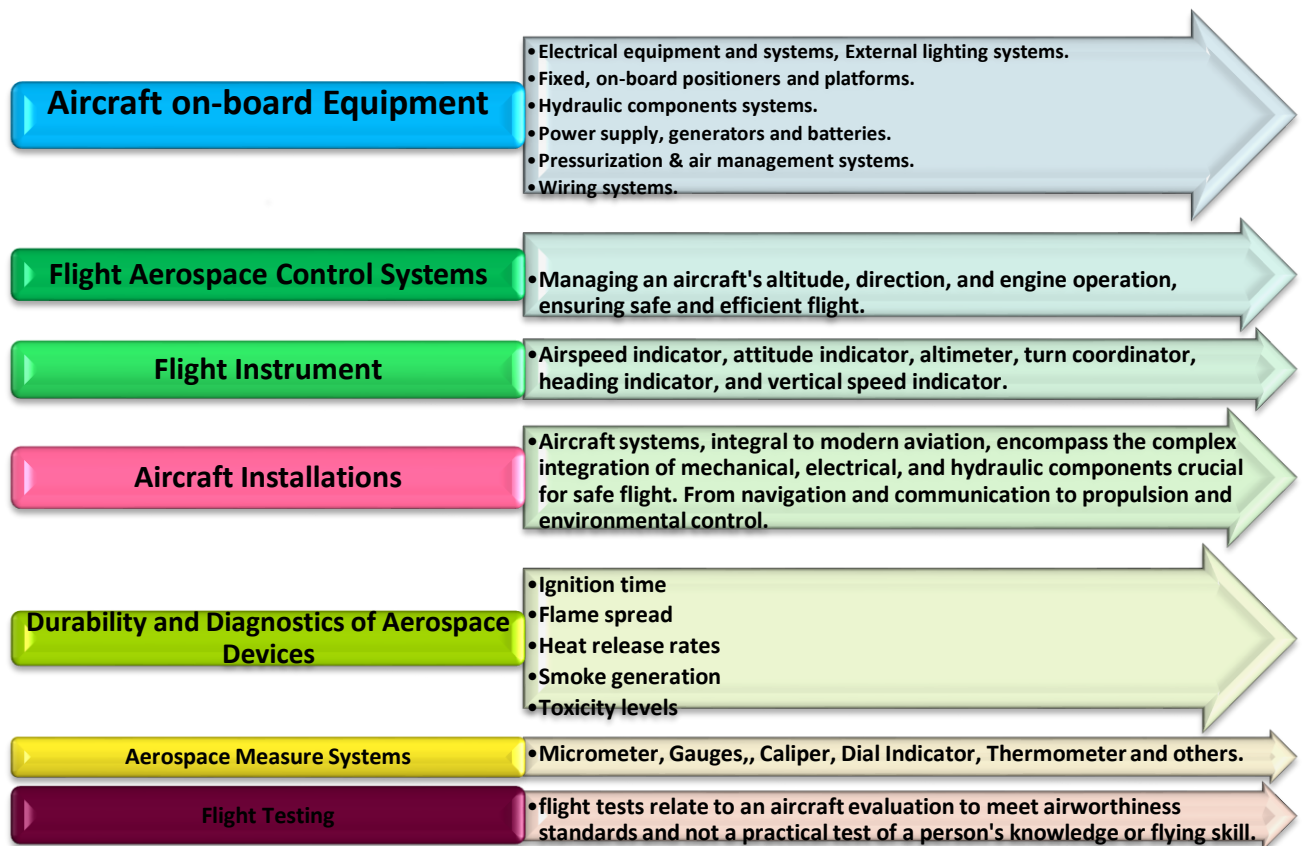


Figure 3 – Taxonomy of flying laboratories categorization and use in aviation field

To conduct in-flight test, is it possible to use for all the level education, for instance:

- Regular student lessons
- Student projects
- Diploma projects
- Doctoral student research
- Other student activity.

## Research Methodology

To fulfil the objectives, the research based on the following methodology: Analysis, synthesis, qualitative, and comparison methods. There are following open question for the further development flying laboratories:

- What is the structure of flying laboratories?
- What is the development process procedures?
- How, when, where, who will develop them?

There are the possible actions to be done in order to answer the open questions:

- Give specific samples of usage flying laboratories in flight tests in education;
- Present possibilities their applications;
- Familiarization with flying laboratories.

It is as well critical to be downed the following myths: In-flight tests are always very expensive, flying laboratory is always very sophisticated facility, In-flight tests require staff having extraordinary skill, there is no possibility to involve them into standard student courses and other tasks what need the right sharing of the information's, for this purposes should be done proper consulting, mailing, students groups with competent information, preparation of information booklets, special guidelines, use of flying laboratories in practices and their impact assessment to the quality of education and outcomes of the educational programs.

## Early Results

In order to asses flying laboratories role and get results, it is important to analyses their use in real environment to the aerial vehicles, based on the research it is possible to compare two case studies, and overview the general structure of the flying laboratories development in teaching methodology and in aviation projects:

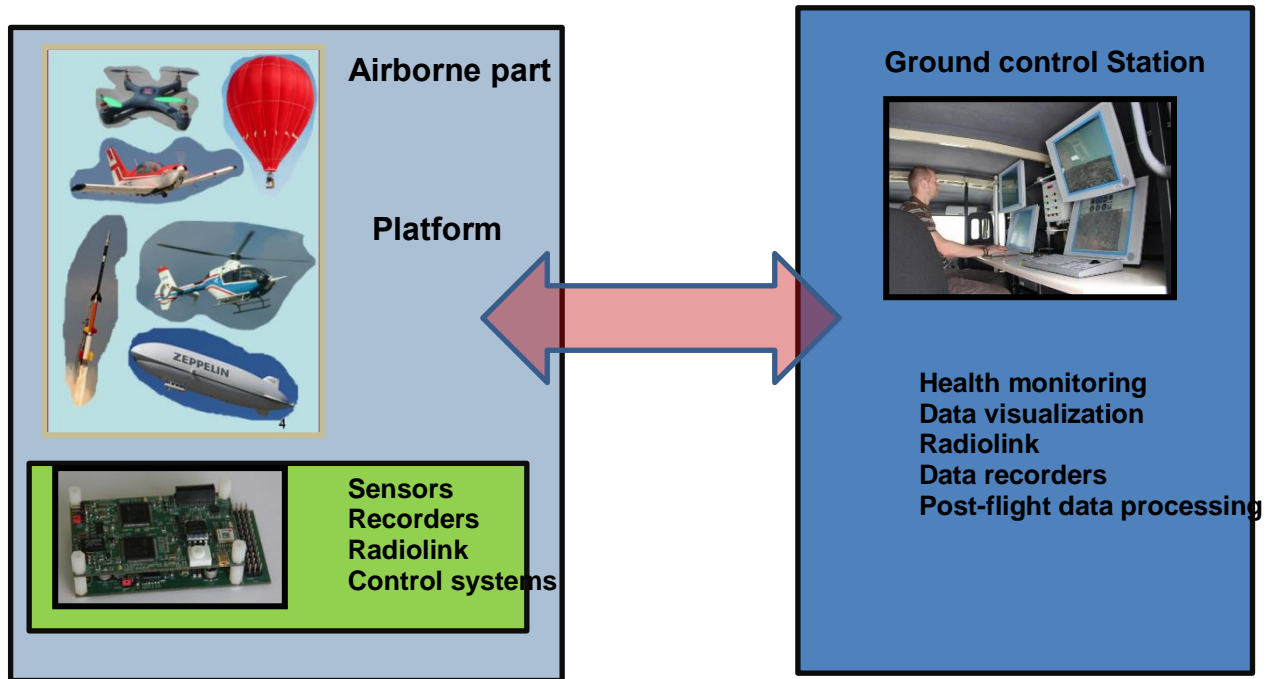


Figure 4 – General structure of flying laboratories operation

### Case study of Poland



Figure 5 - Optionally Piloted Vehicle (MTOW 495kg, Max. Airspeed (Vne) 270 km/h  
Min. Speed 65 km/h 2 seats)

### Research and education

- Flight tests of control laws for ultralight aircraft
- Tests of heavier onboard equipment
- Activities for 4 students at the same time – two person on board the aircraft and two persons in the car (ground station)
- Relatively low operating costs

### Objectives of the research

- Aircraft handling qualities assessment in selected flight phases
- In-flight test maneuvers preparation
- In-flight experiments and data analyzes
- Handling characteristic during typical flight phases (horizontal flight, coordinated turn).
- Static and dynamic stability tests.
- Aircraft characteristics during landing at different configurations.

Research results and outcomes of the experiment is provided on the figure 6.

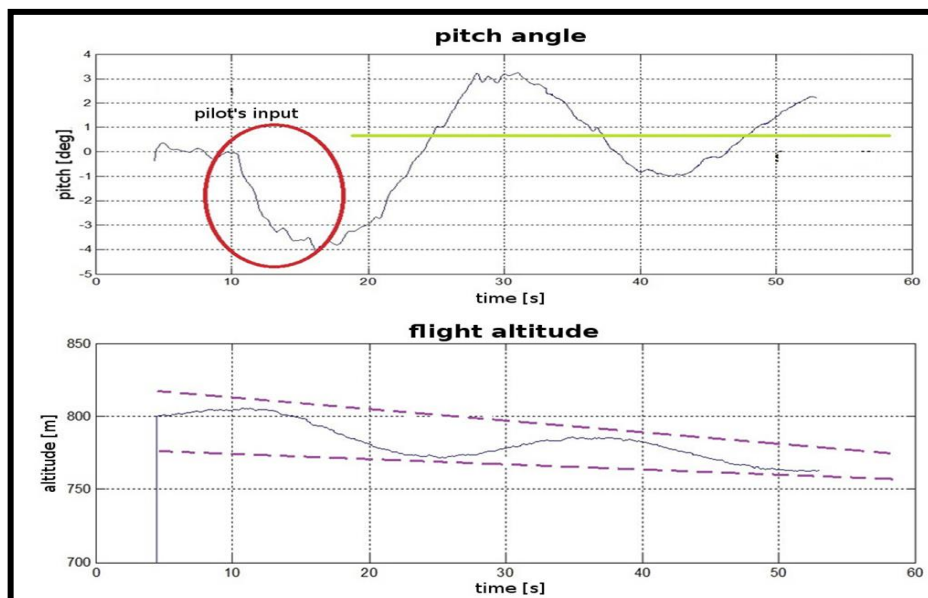


Figure 6 - Longitudinal stability tests



Figure 7 - Piper Seneca V (MTOW: 2155 kg, Never exceed speed: 378 km/h, 6 seats)

#### **Research and education**

- Flight tests of control laws for general aviation planes
- Tests of heavier onboard equipment
- Activities for small group of students – six persons on board the aircraft

#### **Objectives of the research**

- Investigation of general aviation aircraft performances
- In-flight test maneuvers preparation
- In-flight experiments and data analyzes
- Max speed at horizontal flight investigation
- Climb rate investigation
- Stall speed investigation.

Research results and outcomes of the experiment is provided on the figure 8.

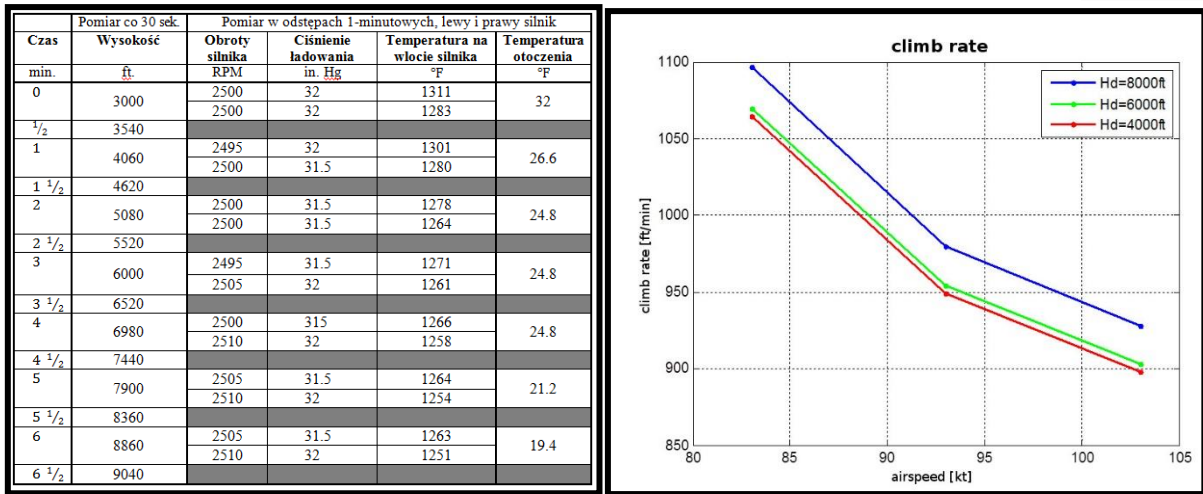


Figure 8 - Climb rate tests results

### Case study of Georgia



Figure 9 - Tecnam P2008JC (MTOW 650 kg, Max cruise speed 215 km/h)

Min. Speed 81 km/h, 2 seats)

#### Research and education

- Tests of Tecnam P2008JC flight parameters
- Take-off performance comparison analysis with weight 630 kg and 530 kg [4]

#### Objectives of the research

- Investigation of general aviation aircraft flight performances
- In-flight experiments and data analyzes operation performance with different load

Research results and outcomes of the experiment is provided on the figure 10.



Weight = 530 kg		Corrections				
Flaps: T/O		Headwind: - 5m for each kt (16 ft/kt)				
Speed at Lift-Off = 48 KIAS		Tailwind: + 15m for each kt (49 ft/kt)				
Speed Over 50ft Obstacle = 61 KIAS		Paved Runway: - 10% to Ground Roll				
Throttle Levers: Full Forward		Runway slope: + 7% to Ground Roll for each +1%				
Runway: Grass						
Pressure Altitude [ft]		Distance [m]				ISA
		Temperature [°C]				
		-25	0	25	50	
S.L.	Ground Roll	88	111	137	167	127
	At 50 ft AGL	190	237	290	349	268
1000	Ground Roll	96	121	150	182	136
	At 50 ft AGL	207	258	315	379	287
2000	Ground Roll	105	133	164	198	146
	At 50 ft AGL	225	280	342	412	307
3000	Ground Roll	115	145	179	217	157
	At 50 ft AGL	245	305	373	448	328
4000	Ground Roll	126	158	195	237	168
	At 50 ft AGL	266	332	406	488	352
5000	Ground Roll	137	173	214	259	181
	At 50 ft AGL	290	361	442	532	377
6000	Ground Roll	150	189	234	284	195
	At 50 ft AGL	316	394	482	580	404
7000	Ground Roll	165	207	256	311	210
	At 50 ft AGL	345	430	526	632	434
8000	Ground Roll	181	227	280	340	226
	At 50 ft AGL	376	469	574	690	466
9000	Ground Roll	198	249	308	373	243
	At 50 ft AGL	411	512	626	754	500
10000	Ground Roll	217	273	337	409	262
	At 50 ft AGL	449	560	685	824	537

Weight = 630 kg		Corrections				
Flaps: T/O		Headwind: - 5m for each kt (16 ft/kt)				
Speed at Lift-Off = 48 KIAS		Tailwind: + 15m for each kt (49 ft/kt)				
Speed Over 50ft Obstacle = 61 KIAS		Paved Runway: - 10% to Ground Roll				
Throttle Levers: Full Forward		Runway slope: + 7% to Ground Roll for each +1%				
Runway: Grass						
Pressure Altitude [ft]		Distance [m]				ISA
		Temperature [°C]				
		-25	0	25	50	
S.L.	Ground Roll	134	169	208	252	192
	At 50 ft AGL	283	352	431	518	398
1000	Ground Roll	146	184	227	275	206
	At 50 ft AGL	307	383	468	564	426
2000	Ground Roll	159	201	248	301	221
	At 50 ft AGL	334	417	509	613	456
3000	Ground Roll	174	219	271	328	237
	At 50 ft AGL	364	453	554	667	488
4000	Ground Roll	190	240	296	359	255
	At 50 ft AGL	396	493	603	726	523
5000	Ground Roll	208	262	323	392	274
	At 50 ft AGL	431	538	657	791	561
6000	Ground Roll	228	287	354	429	295
	At 50 ft AGL	470	586	717	862	602
7000	Ground Roll	249	314	388	470	317
	At 50 ft AGL	513	639	782	941	645
8000	Ground Roll	273	344	425	515	342
	At 50 ft AGL	560	698	853	1027	693
9000	Ground Roll	300	377	466	565	368
	At 50 ft AGL	611	762	932	1122	744
10000	Ground Roll	329	414	511	620	397
	At 50 ft AGL	668	833	1019	1226	800

Figure 10 - Tecnam P2008JC take-off performance comparison analysis results with weight 630 kg and 530 kg



Figure 11 - Tecnam P2006T (MTOW 1230 kg, Max cruise speed 269 km/h)  
Min. Speed 115 km/h, 4 seats)

### **Research and education**

- Tests of Tecnam P2006T flight parameters
- Single Engine Instrument Approach Procedure TEST

### **Objectives of the research**

- Investigation of general aviation twin engine aircraft flight performance
- To develop the student's ability to shoot an approach with one engine inoperative, and maintain positive control of the aircraft. [3]

**Research results and outcomes of the experiment is provided as errors calculated and analyzed during flight by student:**

- Failure to maintain proper heading
- Failure to maintain aircraft control
- Failure to maintain proper glide slope and LOC (localizer)
- Failure to understand the proper procedures of an instrument approach [1] [2]

## **Conclusions**

Based on the research and investigation and cases studies analysis in two different educational facilities in Poland and Georgia, it is possible to conclude, that flight laboratories have very important and positive role in aviation related projects and teaching methodology development. It is very flexible to use this method into different airplane get parameters by the students, make analysis of them and strengthen theoretical knowledge into the practical part of the following educational courses: Aircraft control systems, flight recorders and data analyses, aviation radio systems, In-flight tests, aerodynamics and others.

Flight laboratories use is possible in real experiment conditions, has high attractiveness from students, students has direct connection with real facilities and devices by their hands, non-complex platform are necessary, supplementary devices are used, gives students opportunity to generate new ideas, practical part has becoming more efficient, as a result myths regarding useless of such method into educational process is down.

## **ACKNOWLEDEMENTS**

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

## References

- [1] Type-certificate data sheet EASA.A.185 P2006T
- [2] Type-certificate data sheet EASA.A.185 P2006T
- [3] Tecnam P2006T Operating Manual
- [4] Tecnam P2008JC Operating Manual
- [5] Doc 9750-AN/963, 2016–2030 Global Air Navigation Plan. ICAO.
- [6] International Standards and Recommended Practices, *ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation*.
- [7] 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.

## სასწავლო ლაბორატორიების როლი საავიაციო პროექტების და სწავლების მეთოდოლოგიის განვითარების პროცესში.

### პოლონეთის და საქართველოს შემთხვევების კვლევა

ავტორები: ტომაშ როგალსკი<sup>1</sup>, ნიკა თიკანაშვილი<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ჟემუვის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტი, 1235 პოსტანჩოვ ვარშავის ქუჩა, ჟემუვი, პოლონეთი N 959

ტელ. +48 17 8651477, მეილი: [orakl@prz.edu.pl](mailto:orakl@prz.edu.pl)

<sup>2</sup> საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, 0103 ქეთევან დედოფლის გამზირი N 16

ტელ. +995 595 04 08 08, მეილი: [n.tikanashvili@ssu.edu.ge](mailto:n.tikanashvili@ssu.edu.ge)

**რეზიუმე:** ავიაცია ყველაზე დინამიკურ და სწრაფად განვითარებად სატრანსპორტო დარგს წარმოადგენს, ძლიერ ავიაციას აქვს გადამწყვეტი როლი ქვეყნის სიძლიერის და ეკონომიკურ განვითარების შენარჩუნების საქმეში. საავიაციო სისტემა პირდაპირ დაკავშირებულია ტრანსპორტის სხვა დარგების განვითარებასთან. საავიაციო სისტემაში სახელმწიფო პასუხისმგებლობა საჰაერო მოძრაობის მართვის და რეგულირების საკითგებზე აერთიანებს ცენტრალური და ადგილობრივი ხელისუფლების როლს, რომლებიც ფლობენ და მართავენ აეროპორტების უმეტესობას. მსოფლიოს მასშტაბით ფრენების ინტენსივობის მუდმივი ზრდა უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით, ახალი გამოწვევების წინაშე აყენებს სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციებს, რათა მოხდეს ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა და შემდეგი ზომების მიღება: საჰაერო ხომალდების ფრენის სიმაღლეების გაზრდა, საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის ამაღლება, სატელიტური ნავიგაციის აქტიური

გამოყენება აფრენა-დაფრენის ეტაპებზე, ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესება, მარშრუტების ოპტიმიზაცია ფრენის დროის დაზოგვის მიზნით, დაფრენის ტრაექტორიების გაუმჯობესება დასახლებულ პუნქტებზე უარყოფითი ზემოქმედების შემცირების მიზნით (ემისიები, ხმაური) და სხვა.

ზემოაღნიშნული ტექნოლოგიური ცვლილებები გავლენას მოახდენს საავიაციო სპეციალისტების კვალიფიკაციის დონეზე, როგორც ჰაერში, ასევე ხმელეთზე და გამოიწვევს მათი ცოდნისა და პასუხისმგებლობის ფორმირებას, ასევე მოითხოვს ახალი უნარების განვითარებას. სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით, ფრენების ინტენსივობის ზრდის და ინოვაციური ტექნოლოგიების განვითარების ტემპის გათვალისწინებით, მნიშვნელოვანია, კვალიფიციური და კომპეტენტური საავიაციო დარგის სპეციალისტთა შესაბამისი მომზადების შემდგომი განვითარება უსაფრთხო და ეფექტური საავიაციო სისტემის უზრუნველსაყოფად. სწორედ ამიტომ, მნიშვნელოვანია საავიაციო დარგის საგანმანათლებლო პროგრამებში ინოვაციური, პრაქტიკული და ლაბორატორიული სწავლების მეთოდოლოგიის ეფექტური ინტეგრირება, ახალი ტექნოლოგიური გარემოს მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად.

კვლევაში გაანალიზებულია საავიაციო განათლების თანამედროვე მოთხოვნები და ტექნოლოგიური განვითარების ტენდენციები, წარმოდგენილია სხვაობა ინოვაციური ტექნოლოგიების განვითარების ტემპსა და საგანმანათლებლო პროგრამებში პრაქტიკული კომპონენტის განხორციელების მეთოდოლოგიას შორის, პოლონეთის და საქართველოს მაგალითებზე დაყრდნობით. სტატია ითვალისწინებს სასწავლო ლაბორატორიების გამოყენების რეკომენდირებულ კონცეფციას, როგორც საავიაციო პროექტების განხორციელებისა და სწავლების მეთოდოლოგიის განვითარების ერთ-ერთ საფუძველს.

**საკვანძო სიტყვები:** საავიაციო განათლება, სასწავლო ლაბორატორიები, სწავლების მეთოდოლოგია, ინოვაციური ტექნოლოგიები.

## ნახვრეტის მქონე მართკუთხა ფირფიტის სიმტკიცეზე ანგარიში ღერძული დატვირთვების შემთხვევაში

ს. ტეფნაძე<sup>1</sup>, ს. ბლიაძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

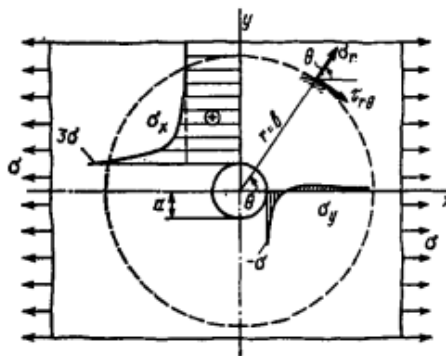
თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** საავიაციო კონსტრუქციების უმრავლესობა წარმოადგენს ძაბვათა კონცენტრაციის არეს, საკმარისია განვიხილოთ მოქლონებით ან ჭანჭიკებით შეერთება. ძაბვათა თავმოყრა ძირითადად გვხვდება, არა მხოლოდ სიხისტეთა მკვეთრი ცვლილების არეში, არამედ ნახვრეტების მიდამოში. კონცენტრაციის ამოცანას გადაწყვეტას კიდევ უფრო ართულებს მასზე მოსული დატვირთვების რთული ბუნება. აღნიშნულ სტატიაში განხილულია ღერძული დატვირთვების ქვეშ მყოფი უსასრულო ფირფიტა ცენტრალური ნახვრეტით. ეს ამოცანა პირველად დრეკადობის კლასიკური თეორიის ფარგლებში ამოხსნილი იყო კირშის მიერ, ხოლო, ცოტა მოგვიანებით ამოხსნის სხვა ვარიანტი შემოგვთავაზა ნ. მუსხელიშვილმა. სტატიის მიზანს წარმოადგენს პროგრამულ კომპლექს MASTRAN-ში და საპროგრამო ენა MATLAB-ში შევქმნათ საანგარიშო მოდელი, რომლის ამონახსენი მაღალი სიზუსტით მიუახლოვდება ანალიზურ ამონახსნს.

**საკვანძო სიტყვები:** ძაბვა, კონცენტრატორი, სიხისტე, სასრული ელემენტი.

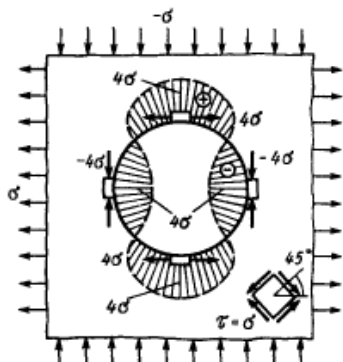
### ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ ნახვრეტიანი ფირფიტა რომელზედაც  $\sigma_x$  ღერძის გასწვრივ მოქმედებს გამჭიმავი ძალა (ნახ.1). ვთქვათ, ნახვრეტის  $a$  რადიუსი რამდენიმეჯერ მცირეა ფირფიტის სიგანეზე, მაშინ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გვაქვს უსასრულო ფირფიტა (ზოლი), რომელიც გაჭიმულია  $\sigma_x = \sigma$  ძაბვით და გააჩნია ნახვრეტის  $a$  რადიუსი (ნახ. 1)

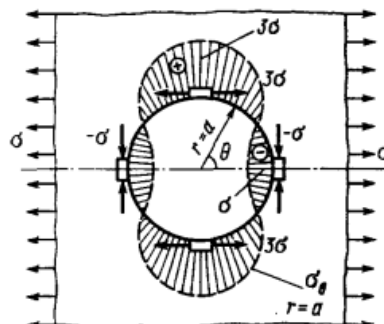


ნახ.1 ძაბვის განაწილება

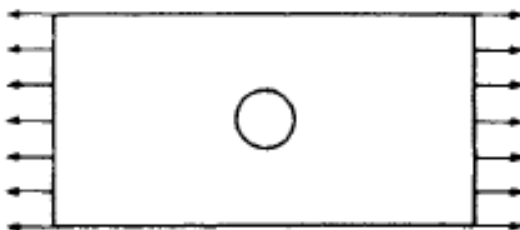
დეკარტულ სისტემაში ეს იქნება  $\sigma_y$  და  $\sigma_x$  ძაბვების ეპიურები. ნახვრეტის კონტურის ირგვლივ  $\sigma_\theta$  გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების განაწილება ნაჩვენებია (ნახ. 2).



ნახ. 2 გამჭიმავი და მკუმშავი ძაბვების განაწილება



ნახ. 3 ნახვრეტთან  $\sigma_\theta$  ძაბვების განაწილება



ნახ. 4. ფირფიტა ნახვრეტით

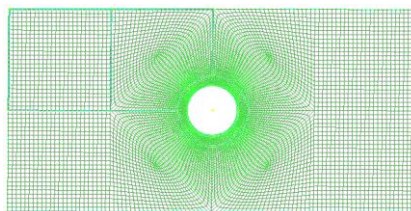
თუ  $\sigma$  ძაბვაზე დავადებთ კუმშვას ( $-\sigma$ ) პერპენდიკულარული მიმართულებით, მაშინ ფირფიტა მთლიანობაში განიცდის სუფთა ძვრას მხებ ძაბვასთან  $\tau = \sigma$ . ნახვრეტთან  $\sigma_\theta$  ძაბვების განაწილება ნაჩვენებია (ნახ.3) კონცენტრაციის კოეფიციენტი გაჭიმვისას ნახვრეტთან არის 3, ხოლო სუფთა ძვრისას - 4, [2]. მოცემულია ფოლადის ფირფიტა  $400 \times 200 \times 1$  მმ ცენტრში ნახვრეტით რომლის დიამეტრია 50 მმ, რომელზედაც მოქმედებს გამჭიმავი ძალა 100 კნ. (იხ. ნახ. 4).

მასალის მექანიკური მახასიათებლები: დრეკადობის მოდული ტოლია  $E = 200$  მგპ. პუასონის კოეფიციენტი  $\mu = 0.25$ .

სასრულ ელემენტთა ბაზაზე შექმნილ საინჟინრო საანგარიშო პროგრამა Femap-ში ავაგოთ შესაბამის გეომეტრიული ზომების ფირფიტა. მოდელირება მოვახდინოთ 4 კვანძიანი ოთხკუთხა სასრული ელემენტით. აღნიშნული ფირფიტა 2 განსხვავებული მეთოდით დავყოთ სასრულ ელემენტებად - ბადედ. ბადე ოპტიმალურია თუ ანგარიშის შემდგომ თითოეული ელემენტი არ მოიცავს 4 ფერზე მეტს 16 ფერიდან და ელემენტის გეომეტრიული ზომების შეფარდება არ აღემატება 2-ს. ჩვენი მიზანია კირპის ამოცანის პროგრამული ანგარიში სასრულ ელემენტთა ბადის 2 სხვადასხვა ვერსიით და საანგარიშო პროგრამების FEMAP და MATLAB პროგრამებში მოდელირებით. მოვახდინოთ შედარებითი ანალიზი ანალიზურად ამოხსნილ შედეგთან და მოვახდინოთ ცდომილებათა ხარისხის

განსაზღვრა ორივე შემთხვევისათვის. თავდაპირველად, საანგარიშო მოდელზე სასრულ ელემენტთა ბადის გენერირება მოვახდინოთ ავტომატურად, ელემენტის ზომად მივანიჭოდ 2. ამ მეთოდით შექმნილი მოდელის ანგარიშის შედეგის ცდომილობა არის 5%, კირშის ამოცანის თეორიულად მიღებულ ამონახსნთან შედარებით.

განვიხილოთ ალტერნატიული სასრულ ელემენტთა ბადე, ფირფიტაზე გამოვყოთ 35 მმ რადიუსის მქონე წრეწირი, რათა ნახვრეტის გარშემო შევქმნათ ერთგვარი რგოლი. ვინაიდან, ნახვრეტი არე წარმოადგენს ჩვენს ინტერესს (კონცენტრაცია), ამიტომ დაყოფის ბიჯი იყოს მცირე. ამრიგად, რგოლი დავეყოთ 128 სასრულ ელემენტად, შემდგომ ბადის გენერირება მოვახდინოთ ფირფიტის მეოთხედ ნაწილზე. მეოთხედი ნაწილი დავეყოთ 2 ნაწილად, რომელთაგან, ერთი ნაწილი შეიცავს რკალს, ხოლო, მეორე - კვადრატული ფორმისაა. რაც შეეხება რკალის შემცველი ფიგურას, თავდაპირველად, დავეყოთ თვითონ რკალი  $128/4=32$  ელემენტად, ხოლო, რკალის თავიდან და ბოლოდან გამოსული მონაკვეთები თანაბარი რაოდენობით ისე, რომ ბიჯი რკალთან იყოს მცირე, ხოლო, მეორე ბოლოსკენ იზრდებოდეს. დანარჩენი მონაკვეთების ელემენტებთა რაოდენობად მივუთითოთ 24, აღვნიშნოთ, რომ მათი ბიჯი არათანაბარია. ელემენტების ზომების შეფარდება თავსა და ბოლოში ტოლია 2-ის. ჩვენ შემთხვევაში რკალებთან დაყოფა დიდია ე.ი. ელემენტები პატარა. მოვახდინოთ ზედაპირის აპროქსიმაცია სამი წერტილით: წვერო და რკალის საწყისი და საბოლოო წერტილები. შემდეგ კი უშუალოდ ვახდენთ ბადის გენერირებას, ელემენტების ზომების ფარდობა არ აღემატება 2-ს, აგრეთვე დავეყოთ კვადრატული ზედაპირის ყოველი გვერდი 24 ელემენტად და მოვახდინოთ ბადის გენერირება, ამით მეოთხედი ფირფიტა დაფარულია სასრულ ელემენტთა ბადით, ელემენტებად დაყოფილი ნაწილი ავსახოთ ჯერ ჰორიზონტალურად, შემდეგ ვერტიკალურად. საბოლოოდ, მოვახდინოთ ამ ოთხი ნაწილისა და რგოლის კვანძების (შეკერვა) გაერთიანება და გვექნება შემდეგი სურათი (ნახ. 5).

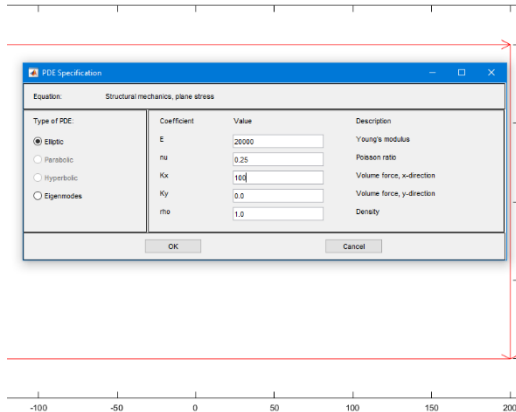


ნახ. 5 სასრულ ელემენტოვანი ბადე

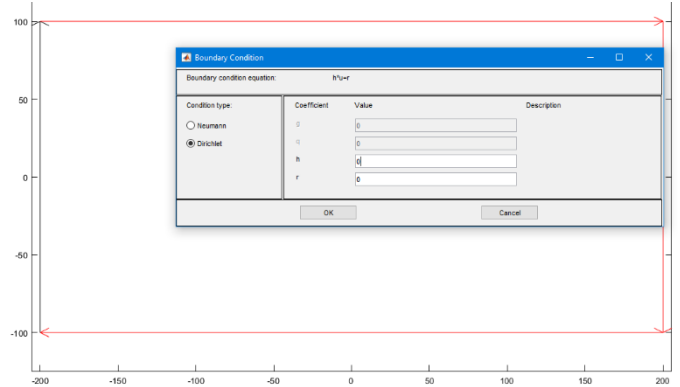
### ჩამაგრება და დატვირთვები:

განვიხილოთ ჩამაგრებისა და დატვირთვების ორი ვარიანტი: 1. ჩავამაგროთ ფირფიტა ისე, რომ მარცხენა მხარეს მის კვანძებს X ღერძის გასწვრივ გადაადგილება შეეზღუდოს, ამასთან არ შეეძლოს მობრუნება. ყველა კვანძს, გარდა ერთისა, შეეძლება გადაადგილება Y ღერძის მიმართ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფირფიტას შეუძლია კუმშვა, ე.ი. გაჭიმვის დროს შეეძლება ფირფიტას სიგანეში შეკუმშვა. კირშის ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, დატვირთვა მოდებულია წრფეზე, პროგრამა Femap-ს აქვს შესაძლებლობა

ძალა მოვდოთ წრფეზე საერთო დატვირთვით 100000 ნ და პროგრამა თვითონ გადაანაწილებს მას კვანძებზე. ამისათვის საჭიროა ამ კვანძების ასოცირება სასურველ წრფესთან. 2. ამ შემთხვევაში ჩამაგრება მოვახდინოთ დამატებით ფირფიტის სიგრძის მიმართაც, ხოლო საწინააღმდეგო კიდეზე მოვდოთ იგივე დატვირთვა. რაც შეეხება მოდელირებას პროგრამა მატლაბში ამოიხსნა ელიფსური ტიპის დიფერენციალური განტოლება (იუნგის მოდული და პუასონის კოეფიციენტები იგივეა), ხოლო სასაზვრო პირობად მიუთითეთ დირიხლეს პირობა (იხ. ნახ.6 და ნახ. 7)



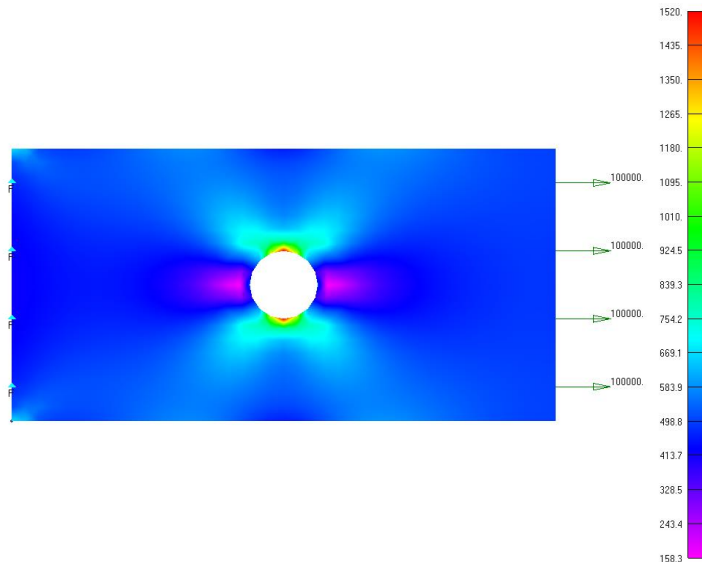
ნახ. 6 ელიფსური ტიპის დიფ. განტოლება



ნახ. 7 დირიხლეს პირობა

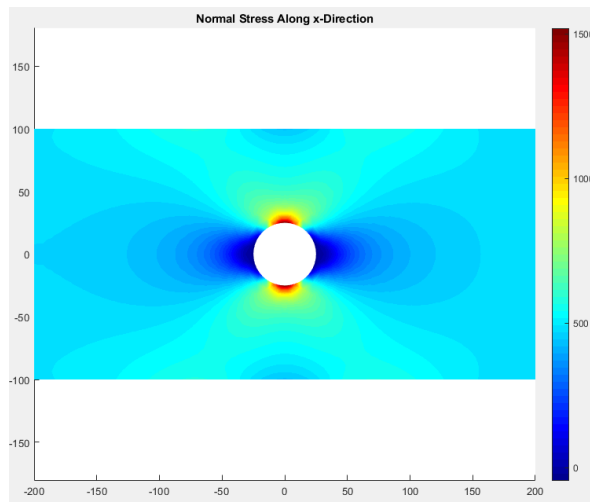
### ანგარიში (ამოხსნა)

ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია  $100000/200=500$  პა. პროგრამული ამონახსენები იწილეთ ნახ. 8, ნახ. 9 და ნახ. 10

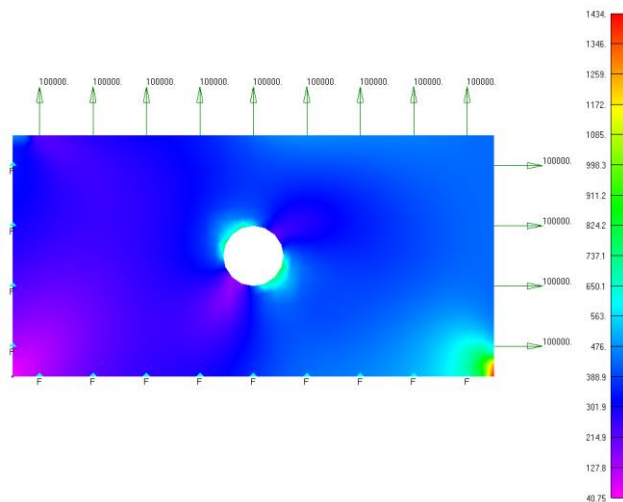


ნახ. 8 ძაბვის ამონახსენების მნიშვნელობა მატლაბში





ნახ. 9 ძაბვის ამონახსნების მნიშვნელობა ნასტრანში



ნახ. 10 ძაბვათა მნიშვნელობა ფირფიტის ოთხივე კიდეზე გამჭიმავი ძალების შემთხვევაში

### დასკვნა

რიცხვითი ექსპერიმენტიდან გამომდინარე შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა, ანალიზური ამოხსნის მიხედვით ძაბვთა კონცენტრაციის არეში ძაბვის მნიშვნელობა ტოლია  $500 \cdot 3 = 1500$  პა. ნასტრანში და მატლაბში მოდელირებულმა ფირფიტის ამონახსნის მნიშვნელობა ტოლია 1520 პა. ცთომილება ანალიზურ ამონახსნებთან შეადგენს 1,3% ეს იმ შემთხვევაში როდესაც გამოყენებული არაა იზოპარამეტრული ოთხკუთხა ელემენტები. რაც შეეხება ფირფიტის ანალიზს, როდესაც ოთხივე კიდეზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალა ძაბვათა თავმოყრა მოხდა ფირფიტის გრძელი კიდის ბოლოში ნაცვლად ნახვრეტის მიდამოსი, რიცხობრივად იგი შეადგებს დაახლოებით სამჯერ მეტს ვიდრე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - ს.ბლიაძე, ზ. სესკურია, კონსტრუქციების მოდელირება და სტრუქტურული ანალიზი MSC/NASTRAN v.4-ში. გამ. „თბილისი“, 2008 წ. 339 გვ;
- [2] - А.В. Александров, В.Д. Потанов Основы теории упругости и пластичности. М. “Вишяя школа” 1990г. 400стр;
- [3] - А.Г. Щербо. Основы теории упругости и пластичности. Новосибирси ПГУ 2008г. 240стр;
- [4] - В.И. Самуль. Основы теории упругости и пластичности. М. “Вишяя Школа” 1992г;
- [5] - H. Jane Helena, Theory of elasticity and plasticity PHI learning 2017y 264p.

## Analysis on strength of the rectangular plate with a hole in case of axial loads

S. Tepnadze<sup>1</sup>, S. Bliadze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia<sup>1</sup>

### Abstract

The vast majority of aviation structures are areas of stress concentration, it is sufficient to consider riveted or bolted connections. The concentration of stresses mainly found, not only in the area of sharp changes in stiffness, but also in the area of holes. Solving the task of concentration made even more difficult by the complex nature of the loads that come to it. In this article, an inelastic plate with a central half-section under axial loads discussed. This problem was solved for the first time within the framework of the classical theory of elasticity by Kirsch and other version of the solution was proposed by N. Muskhelishvili. The purpose of the article is the software complex MASTRAN and In the MATLAB programming language, we will create an analytical model, the solution of which will approach the analytical solution with high accuracy. As the numerical experiments showed, the calculation scheme modeled in both programs gave us a 1.3% error with respect to the exact solution.

## ელიფსური ნახვრეტის მქონე მართკუთხა ფირფიტის სიმტკიცეზე ანგარიში ღერძული დატვირთვების შემთხვევაში

ს. ტეფნაძე<sup>1</sup>, ს. ბლიაძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

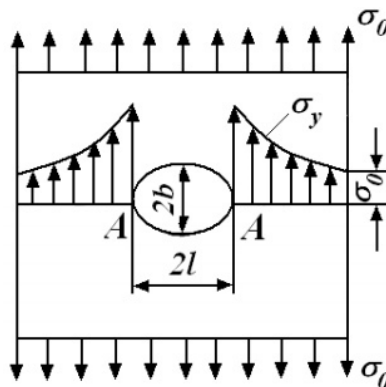
თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** საავიაციო კონსტრუქციის პროექტირების პროცესში ძაბვათა ველის სრულყოფილი შესწავლა ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პრობლემა წარმოადგენს. ძაბვათა კონცენტრაციის ველის არასრული შესწავლა ყოფილა არაერთი კატასტროფის მიზეზი, პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით ძაბვათა თავმოყრა ძირითადად გვხვდება, არა მხოლოდ სიხისტეთა მკვეთრი ცვლილების არეში, არამედ ნახვრეტების მიდამოში. შევნიშნოთ, რომ ძაბვათა თავმოყრის ანალიზისთვის განმსაზღვრელია ნახვრეტის ფორმა. აღნიშნულ სტატიაში განხილულია ღერძული დატვირთვის ქვეშ მყოფი უსასრულო ფირფიტა ცენტრალური ელიფსური ნახვრეტით. ეს ამოცანა პირველად დრეკადობის კლასიკური თეორიის ფარგლებში ამოხსნილი იყო რუსი მეცნიერის გ. კოლოსოვის მიერ 1909 წ. [6], ხოლო, ცოტა მოგვიანებით ამოხსნის სხვა ვარიანტი შემოგვთავაზა ინგლისელმა მეცნიერმა კ. ინგლისმა 1913 წ. [7]. სტატიის მიზანს წარმოადგენს პროგრამულ კომპლექს MASTRAN-ში შექმნათ საანგარიშო მოდელი, რომლის ამონახსენი მაღალი სიზუსტით მიუახლოვდება ანალიზურ ამონახსნს და დავადგინოთ თანაფარდობა ელიფსის ნახევარღერძებსა და თავმოყრილ ძაბვათა მნიშვნელობებს შორის.

**საკვანძო სიტყვები:** ძაბვა, კონცენტრატორი, სიხისტე, სასრული ელემენტი.

### ძირითადი ნაწილი

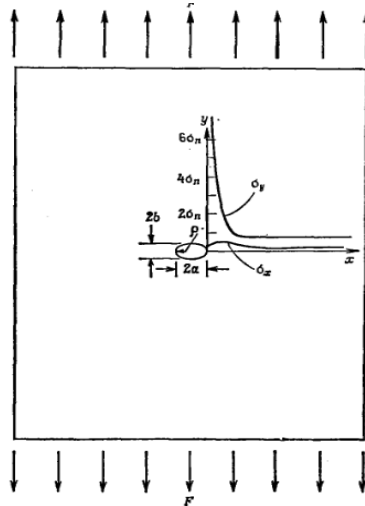
განვიხილოთ ელიფსური ნახვრეტის მქონე ფირფიტა რომელზედაც  $\sigma_0$  ღერძის გასწვრივ მოქმედებს გამჭიმავი ძალა (ნახ.1). სადაც ელიფსის  $l$  და  $b$  ნახევარღერძები შესაბამისად ტოლია 50 და 25 მმ - ის. თუ ნახვრეტის ნახევარღერძები რამდენიმეჯერ მცირეა ფირფიტის სიგანეზე, მაშინ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ გვაქვს უსასრულო ფირფიტა.



ნახ.1 ფირფიტის გეომეტრია და ჩამაგრება

განვიხილოთ ფირფიტა, რომელიც გაჭიმულია  $\sigma_x = \sigma$  ძაბვით. ანალიზური ამოხსნის ველი იხ. ნახ. 2 -ზე, და ნახ. 3 -ზე სადაც  $\sigma_0$  წარმოადგენს ფირფიტის საშუალო ძაბვას ნახვრეტის გარეშე [8].

კოლოსოვ-ინგლისის თეორიით აღმოჩნდა, რომ ყველაზე საშიში პიკური ძაბვები განისაზღვრება ხვრელის გამრუდებით, ხოლო წვეროებზე, სადაც გამრუდება მაქსიმალურია, მათ შეუძლიათ მიაღწიონ მნიშვნელობებს რომლებიც მრავალჯერ აღემატება ძაბვის მნიშვნელობებს მყარ ფირფიტაში:

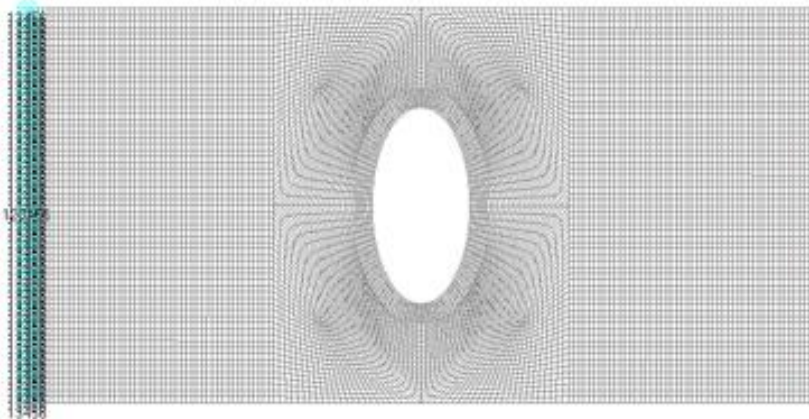


ნახ.2 ძაბვათა განაწილება

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

მოყვანილი ფორმულის მიხედვით, ძაბვები ვიწრო ელიფსის წვეროებზე ( $l/b$  – დიდია) შეიძლება გახდეს ძალიან დიდი. თუ ფორმულაში შევიყვანთ  $\rho$  სიდიდეს, რომელსაც ეწოდება სიმრუდის რადიუსი კვეთის წვეროზე, მივიღებთ:

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



ნახ. 3 ანალიზური ამონახსნი

აღმოჩნდა, რომ ამ ფორმულით ძაბვათა კონცენტრაციის გამოთვლა გამოიყენება არა მხოლოდ ელიფსური ხვრელების, არამედ ნებისმიერი ფორმის ხვრელებისთვის, რომელთა კონტურზე არის წერტილები სიმრუდის მცირე რადიუსით. რა თქმა უნდა, რეალურ მასალაში ძაბვები შეიძლება გაიზარდოს გარკვეულ ზღვრებამდე და ზემოთმოყვანილი ფორმულა არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას დამატებითი ანალიზის გარეშე. ძაბვის კონცენტრაცია გულდასმით უნდა იყოს გათვალისწინებული სიმტკიცის გამოთვლებში. პროფესორ კ. ინგლისის წყალობით, შემოვიდა ცნება "ძაბვის კონცენტრაცია" რიცხვს, რომელიც გვიჩვენებს, რამდენჯერ აღემატება ლოკალური ძაბვები ნომინალურს, ეწოდება ძაბვის კონცენტრაციის ფაქტორი. განვიხილოთ მაგალითი: მოცემულია ფოლადის ფირფიტა  $400 \times 200 \times 3$  მმ ცენტრში ელიფსური ნახვრეტით, რომლის ნახევარღერძებია 50 მმ და 25 მმ, რომელზედაც მოქმედებს გამჭიმავი ძალა 150 კნ. (იხ. ნახ. 1.) მასალის მექანიკური მახასიათებლები: დრეკადობის მოდული ტოლია  $E = 200$  გპა. პუასონის კოეფიციენტი  $\mu = 0.3$ , სასრულ ელემენტთა ბაზაზე შექმნილ საინჟინრო საანგარიშო პროგრამაში Femap ავაგოთ შესაბამის გეომეტრიული ზომების ფირფიტა (იხ. ნახ.1). მოდელირება მოვახდინოთ 4 კვანძიანი ოთხკუთხა სასრული ელემენტით. ელიფსური ნახვრეტის გარშემო შევქმნათ ელიფსი ნახევარღერძებით 65 მმ და 35 მმ შექმნილი არე. დავყოთ მაქსიმალურად მცირე ოთკუთხედებად, სადაც გვერდების შეფარდება ნაკლები იქნება 2 - ზე დანარჩენ არეზე ბადე შედარებით გავზარდოთ.

### მასალა და თვისების მინიჭება

მასალის დრეკადობის მოდული ტოლია  $E = 200$  გპა. პუასონის კოეფიციენტი  $\mu = 0.3$ , ფირფიტის გეომეტრიული ზომები  $400 \times 200 \times 3$  მმ.

### ჩამაგრება და დატვირთვები:

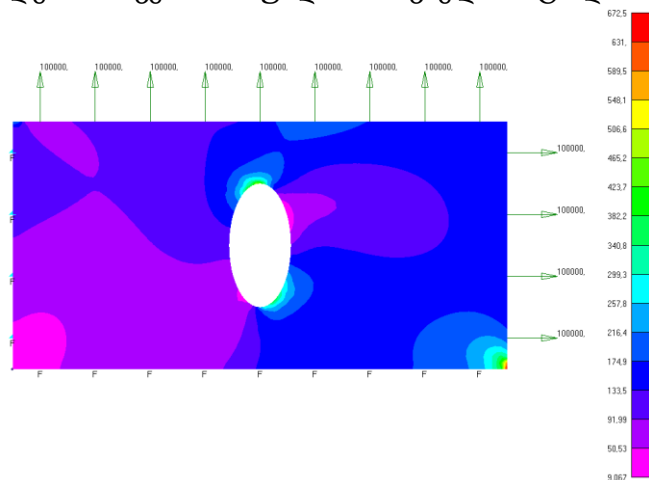
ძაბვათა ველის სრულყოფილი შესწავლის მიზნით განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

1. ჩავამაგროთ ფირფიტა ისე, რომ მარცხენა მხარეს მის კვანძებს X ღერძის გასწვრივ გადაადგილება შეეზღუდოს, ამასთან არ შეეძლოს მობრუნებაც. ყველა კვანძს, გარდა ერთისა, შეეძლება გადაადგილება Y ღერძის მიმართ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფირფიტას შეუძლია კუმშვა, ე.ი. გაჭიმვის დროს შეეძლება ფირფიტას სიგანეში შეკუმშვა. Femap-ს აქვს შესაძლებლობა ძალა მოვდოთ წრფეზე საერთო დატვირთვით 100000 ნ და პროგრამა თვითონ გადაანაწილებს მას კვანძებზე. ამისათვის საჭიროა ამ კვანძების ასოცირება საჭირო წრფესთან.

2. ამ შემთხვევაში ჩამაგრება და დატვირთვები მსგავსად პირველი შემთხვევისა განვახორციელოთ ფირფიტის ორ მეზობელ კიდეზე ხოლო დანარჩენ ორ კიდეზე მოვდოთ გამჭიმავი დატვირთვები.

### ანგარიში (ამოხსნა)

ნახ. 4 და ნახ. 5 წარმოდგენილია რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები ჩამაგრებისა და დატვირთვების პირველი შემთხვევისათვის სადაც ფირფიტის პარალელურ წიბოებზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალები. ძაბვების საშუალო მნიშვნელობა ტოლია  $1000/200 \cdot 3 = 166.67$  პა.



ნახ. 4 ძაბვები ox ღერძის მიმართულებით დატვირთვის შემთხვევაში  
ნახ. 5 ძაბვები ox და oy ღერძების მიმართულებით დატვირთვის შემთხვევაში

## დასკვნა

ანალიზური ამოხსნების შედეგებისა და რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზმა გვაჩვენა, რომ თუ ფირფიტის ზედაპირის აპროქსიმაციას მოვახდენთ სხვადასხვა ზომის 4 - კვანძიანი ოთხკუთხა ელემენტებით ცდომილება ანალიზურ ამონახსნთან მიმართ პრაქტიკულად 0-ის ტოლია და ასევე თუ ელიფსის ნახევარღერძების შეფარდება ერთმანეთთან ორის ტოლია, მაშინ დაბვის მნიშვნელობა პარაბოლის წვეროებზე იზრდება შვიდჯერ. რიცხვითმა ანალიზმა გვაჩვენა რომ, ვიწრო ელიფსის შემთხვევაში დაბვის მნიშვნელობა წვერზე დიდია და შესაძლებელია იგი მიისწრაფოდეს უსასრულობისაკენ. რაც შეეხება მეორე შემთხვევას (ფირფიტის ოთხივე კიდეზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალები) ჩვეულებრივი ელიფსის შემთხვევაში დაბვათა თავმოყრა მოხდა  $\sigma_x$  ღერძის გასწვრივ ჩამაგრების მარჯვენა კიდეზე.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - ს.ბლიაძე, ზ. სესკურია, კონსტრუქციების მოდელირება და სტრუქტურული ანალიზი MSC/NASTRAN v.4-ში. გამ. „თბილისი“, 2008 წ. 339 გვ;
- [2] - А.В. Апекашдров, В.Д. Потанов Основы теории упругости и пластичности. М. “Вишяя школа” 1990г. 400стр;
- [3] - А.Г. Щербо. Основы теории упругости и пластичности. Новосибирси ПГУ 2008г. 240стр;
- [4] - В.И. Самуль. Основы теории упругости и пластичности. М. “Вишяя Школа” 1992г;
- [5] - Н. Jane Helena, Theory of elasticity and plasticity PHI learning 2017y 264p;
- [6] - Колосов Г. В. Об одном приложении теории функций комплексного переменного к плоской задаче математической теории упругости. - Юрьев: Типография К. Матгисена, 1909. - 187 с;
- [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;
- [8] - ს.ნ. ბლიაძე, ს.ს. ბლიაძე, ნ.ს. ბლიაძე. ელიფსური ნახვრეტის მქონე ფირფიტის მოდელირება ღერძული დატვირთვის შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციის გათვალისწინებით. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „საჰაერო ტრანსპორტი“, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, №1(17) 2023 წ. 13-18 გვ.

## Analysis on strength of the rectangular plate with an elliptical hole in case of axial loads

S. Tepnadze<sup>1</sup>, S. Bliadze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

### Abstract

In the process of designing the aviation structure, the complete study of the stress field is one of the most important problems. Incomplete study of the stress concentration field has been the cause of many disasters. In this article, an inelastic plate with a central elliptical cross section under axial load discussed. The purpose of the article is to create an analytical model in the software complex MASTRAN, the solution of which will approach the analytical solution with high accuracy, and to determine the ratio between the semi-axes of the ellipse and the value of the stress concentration. The results of the analytical solution and the analysis of the results of numerical experiment showed us that if we approximate the surface of plate with 4-node quadrilateral elements of different sizes (it is not necessary to use 8 nodes quadrilateral elements) the error compared to the analytical solution is practically equal to 0, and also if the ratio of semi-axes of the ellipse is equal to two, then the value of stress at the vertices of parabola increases 7 times. Numerical analysis showed us that, in the case of a narrow ellipse, the value of stresses at the tip is large, and it is possible that it tends to infinity when the ellipse tends to the crack. As for the second case (tensile forces act on all four edges of the plate), in the case of a normal ellipse, the stresses were concentrated along the ox axis at the right edge of the attachment.



## მასალის რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა გაუმჯობესებული მეთოდით ცოცვადობის პროცესის მაგალითზე

ბიძინა აბესაძე<sup>1</sup>, საბა კოპალიანი<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

**რეზიუმე:** წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალების, რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრის განახლებული მეთოდიკა ცოცვადობის პროცესის მაგალითზე. მიდგომა დაფუძნებულია ე.წ. მემკვიდრეობის თეორიის გამოყენებაზე, რომლის ფარგლებშიც გრაფიკების შეთავსების მეთოდით განისაზღვრება მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პარამეტრები ( $A, \alpha, \beta$ ) [1, 2]. არსებული დამკვიდრებული მიდგომით გრაფიკების შეთავსება ხდება ხელით დახაზული წირების ერთმანეთთან ვიზუალური დამთხვევის გზით, რაც ადამიანური ფაქტორის გათვალისწინებით მნიშვნელოვან ცდომილებებთან არის დაკავშირებული. წინამდებარე შრომაში [6] წარმოდგენილი განახლებული მეთოდიკა მოიცავს გრაფიკების ზუსტად აგებას სხვადასხვა კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით, ხოლო მათი შეთავსება ხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდის ანალოგიური მიდგომით.

კვლევის პროცესში გამოიყენება რეოლოგიური ფუნქციების თეორიული გრაფიკების და ცხრილის სახით გამოსახული მნიშვნელობების არსებული ბაზა [1], რომელიც მნიშვნელოვანია, თუმცა არასაკმარის ინფორმაციას შეიცავს. ამ ბაზის გაფართოების მიზნით შეიქმნა გარკვეული პროგრამები „Maple“-ს ბაზაზე და შემუშავდა მეთოდიკა რთული მათემატიკური გამოსახულებების, რიცხვითი მეთოდებით, მარტივად დათვლის მიზნით, კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლის გზით.

არსებული კომპოზიტური მასალის ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების საფუძველზე გაუმჯობესებული შეთავსების მეთოდის გამოყენებით მოხდა გრაფიკების დამთხვევის სიზუსტის განმსაზღვრელი შემასწორებელი კოეფიციენტების გამოთვლა და განსხვავებების პროცენტული შეფასება.

**საკვანძო სიტყვები:** კომპოზიტური მასალა, რეოლოგია, ცოცვადობა, გავლენის ფუნქცია, დეფორმაცია.

### შესავალი

დრეკად-პლასტიკური თვისებების მქონე მასალები, როგორცაა სხვადასხვა სახის პლასტიკები ან მათ ბაზაზე შექმნილი კომპოზიტური მასალები [3, 4, 5], დატვირტვების პირობებში ავლენენ დეფორმაციის რთულ სურათს, რაც გამოიხატება მათ რეოლოგიურ ხასიათში. მარტივ შემთხვევაში - ცოცვადობის და რელაქსაციის პროცესებში [1].

მემკვიდრეობის წრფივი თეორიის ფარგლებში, შემოდის გავლენის და რელაქსაციის ფუნქციები, რომელთა საშუალებითაც აღიწერება დეფორმაციის და დატვირტვების რეოლოგიური ხასიათი. მათგან გამორჩეულია ცოცვადობის პროცესი, რომელიც გულისხმობს მასალის დეფორმაციის დროში ცვლადობის აღწერას მუდმივი სიდიდის დატვირტვის შემთხვევაში და გამოისახება (1) დამოკიდებულებით:

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

სადაც  $\sigma_c$  მუდმივი დატვირთვაა,  $E$  – დრეკადობის მოდული, ხოლო  $K(t - \tau)$  – გავლენის ფუნქცია.

(1) ინტეგრალური განტოლების გულის რამდენიმე ფორმა არსებობს. წარმოდგენილ კვლევაში გამოყენებულია მ. კოლტუნოვის მიერ [1, 2] განსაზღვრული გამოსახულება:

$$K(t - s) = \frac{e^{-\beta(t-s)}}{(t-s)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\Gamma(\alpha)]^n (t-s)^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \quad (2)$$

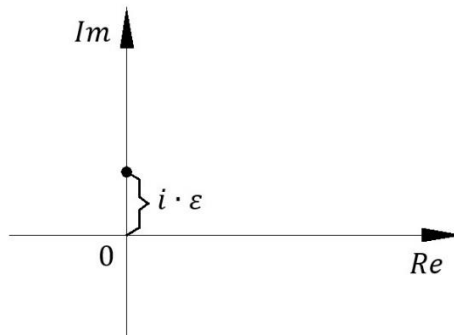
ფორმულა (2) შეიცავს სამ დამოუკიდებელ  $A, \alpha$  და  $\beta$  პარამეტრს. რომელთა კონკრეტული მნიშვნელობების განსაზღვრა ნიშნავს კონკრეტული მასალის რეოლოგიური ფუნქციების პოვნას.

შემდგომში, (1) გამოსახულების ანალოგიურად, სხვადასხვა პროცესების აღწერისას გამოიკვეთება სიდიდე  $\int_0^t K(t - \tau) d\tau$ , რომელიც წარმოადგენს წმინდად თეორიულ ფუნქციას. შექმნილია გარკვეული ბაზა, სადაც კონკრეტული სხვადასხვა ( $A, \alpha$  და  $\beta$ ) პარამეტრებისთვის წარმოდგენილია თეორიული გრაფიკების ოჯახები და ფუნქციათა მნიშვნელობების გამომსახველი ცხრილები [1]. ეს ბაზა, მიუხედავად მონაცემების სიმრავლისა, არ არის სრულყოფილი. თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკა და პროგრამები იძლევა ამ ბაზის მნიშვნელოვნად გაფართოების საშუალებას. ამ პროცესში აქტიურად იქნა გამოყენებული პროგრამა „Maple“, მისი დიდი შესაძლებლობების მიუხედავად, შეიქმნა გარკვეული პრობლემა (1) გამოსახულებაში ინტეგრალის აღების თვალსაზრისით, რადგანაც ინტეგრალქვეშა გამოსახულება, რომელიც (2) ფორმულითაა მოცემული ერთ-ერთ საზღვარზე სუსტი სინგულარობის გამო ხდება განშლადობა, პირდაპირ რიცხვითი მეთოდებით დათვლის პროცესში. ასევე უსასრულო ჯამი თავის მხრივ შეიცავს ეილერის  $\Gamma$  ფუნქციების კომბინაციას, რომელიც მნიშვნელოვნად ართულებს გამოთვლებს. მოფიქრებული იქნა პროცედურა, რომელიც სინგულარობის თავიდან აცილების საშუალებას იძლევა, კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლის გზით (სურ. 1), ასევე (1) გამოსახულებაში მარტივი გარდაქმნით დროთა სხვაობის ფუნქცია შეიძლება შეიცვალოს ერთი ცვლადის ფუნქციად. ეს გარდაქმნები წარმოდგენილია (3) და (4) ფორმულების სახით:

$$K(\vartheta) = \frac{e^{-\beta\vartheta}}{\vartheta} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\Gamma(\alpha)]^n \vartheta^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \rightarrow K'(\vartheta) = \frac{e^{-\beta\vartheta}}{\vartheta - i \cdot \varepsilon} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\Gamma(\alpha)]^n \vartheta^{n\alpha}}{\Gamma(\alpha n)} \quad (3)$$

$$\int_0^t K(t - \tau) d\tau = \int_0^t K(\vartheta) d\vartheta = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^t K'(\vartheta) d\vartheta \quad (4)$$

რიცხვითი მეთოდებით დათვლებისას დამაკმაყოფილებელ რეზულტატს იძლევა  $\varepsilon \sim 10^{-120}$  მიახლოება, რომლის დროსაც პროგრამულად დათვლის სისწრაფე და დათვლილი ინტეგრალის სიდიდის (მიღებული კომპლექსური რიცხვის ნამდვილი ნაწილი) ცდომილება ზუსტ შედეგთან მიმართებით გონივრულ ფარგლებშია. ძველი და გაუმჯობესებული მეთოდებით დათვლილი შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 1, 2, 3-ში.

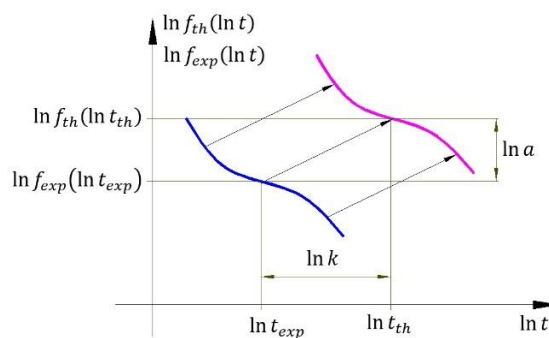


სურ. 1 კომპლექსურ სიბრტყეზე გადასვლა

### 1. ექსპერიმენტული და თეორიული მრუდების შეთავსების ზოგადი შემთხვევა

წარმოდგენილი კვლევის პროცესში ხდება ექსპერიმენტული და თეორიული მონაცემების ამსახველი გრაფიკების შეთავსება, რაც გულისხმობს მათ მაქსიმალურად ერთმანეთთან დამთხვევას. შეთავსება ხდება ლოგარითმულ სკალაზე, სადაც გრაფიკები გამოსახულია ერთი და იგივე მასშტაბში. ერთ-ერთი მრუდის მოძრაობით ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით ხდება მეორესთან დამთხვევა, ხოლო გადაადგილების პარამეტრები დამატებით მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა განსახილველი პროცესის აღწერის შესახებ. თუ მაგალითად თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდები ანალიზურად განისაზღვრება, შესაბამისად,  $f(t_{th})$  და  $f(t_{exp})$  ფუნქციებით, მაშინ ლოგარითმულ სკალაზე მათი შეთავსებისას (სურ. 2) მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$\ln[f_{exp}(\ln t_{exp})] = \ln[f_{th}(\ln t_{th} - \ln k)] + \ln a = \ln\left(a \cdot f_{th}\left(\ln \frac{t_{th}}{k}\right)\right) \quad (5)$$



სურ. 2 თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსება ლოგარითმულ სკალაზე

(5) გამოსახულებიდან მარტივად ჩანს კავშირი თეორიულ და ექსპერიმენტულ ფუნქციებს შორის:

$$f_{exp}(t_{exp}) = a \cdot f_{th}\left(\frac{t_{th}}{k}\right) \quad (6)$$

$a$  და  $k$  სიდიდეები უშუალოდ განისაზღვრება გრაფიკებიდან. კონკრეტული ამოცანის პირობიდან გამომდინარე შესაძლებელია მოხდეს თეორიული მრუდის მოძრაობა აღწერილი დამოკიდებულებების ანალოგიურად.

გაუმჯობესებული მიდგომით გრაფიკების შეთავსების არსი მდგომარეობს იმაში რომ შეთავსების  $a$  და  $k$  პარამეტრები მაქსიმალურად ზუსტად განისაზღვროს არა უშუალოდ გრაფიკებიდან, არამედ ანალიზურად. უნდა მოხდეს კონკრეტული პროცესის ამსახველი თეორიული და ექსპერიმენტული ფუნქციების ანალიზური ჩაწერა. მიუხედავად იმისა, რომ თეორიული მრუდის ანალიზური სახე არის განსაზღვრული, მაგალითად (1) გამოსახულების სახით, მისი გამოყენება შემდგომი დათვლებისთვის არ არის მოხერხებული. ამიტომ სასურველია ის შეიცვალოს რაიმე  $n$  რიგის პოლინომის  $P_n(t)$  სახით, რომლის კოეფიციენტები განისაზღვრება წინასწარ შერჩეულ  $n + 1$  წერტილზე ფუნქციისა და პოლინომის დამთხვევის პირობიდან მიღებული განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შემდეგ:

$$P_n(t_i) = f_{th}(t_i) \text{ ან } P_n(\ln t_i) = \ln f_{th}(\ln t_i), i = 1 \dots n + 1 \quad (7)$$

თეორიულ ფუნქციასა და შესაბამის პოლინომის მაქსიმალურად დამთხვევისთვის სასურველია  $n$  იყოს დიდი, ხოლო  $t_i$  წერტილების საზღვრები მოექცეს განსახილველი ამოცანის მიხედვით მოცემულ დროის შუალედს გარეთ, რადგანაც წარმოდგენილი კვლევის ფარგლებში, კონკრეტული მაგალითისთვის, მოხდება თეორიული მრუდის მოძრაობა, რომელიც გლუვია და შესაძლებელია არგუმენტის წანაცვლება განსახილველი არის გარეთ ისე, რომ არ მოხდეს ექსტრაპოლაცია და ზუსტი მნიშვნელობებიდან გადახრა.

რაც შეეხება ექსპერიმენტულ მრუდს, ის უნდა აიგოს ექსპერიმენტულ წერტილებზე, რომელიც გარკვეული ცდომილებით არის გაბნეული. გასაშუალებული მრუდი უნდა აიგოს უმცირეს კვადრატთა მეთოდის გამოყენებით, რომელიც აპროქსიმირდება  $m$  რიგის პოლინომზე  $P_m(t)$ . ამ შემთხვევაში სასურველია  $m$  იყოს მცირე რადგან მრუდი გამოვიდეს გლუვი და არ გადაიხაროს გაბნეულ ექსპერიმენტულ წერტილებზე. ვინაიდან ექსპერიმენტული მრუდი განსახილველი დროის შუალედის გარეთ ვერ გაგრძელდება ექსტრაპოლაციის გარეშე ამიტომ მხოლოდ შუალედის შიდა წერტილებზე უნდა მოვახდინოთ ოპერირება. სწორედ ამიტომ სასურველია გრაფიკების შეთავსების პროცესში ექსპერიმენტული მრუდი დარჩეს უძრავად.

ამის შემდეგ წინასწარ განსაზღვრულ  $N$  რაოდენობის წერტილისთვის უნდა შედგეს (5) გამოსახულების შესაბამისად შემდეგი გამოსახულება:

$$S_N = \sum_{i=1}^N [P_n(\ln t_i + \ln k) - \ln a - P_m(\ln t_i)]^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

გრაფიკების იდეალური დამთხვევის შემთხვევაში ცხადია (8) გამოსახულება იქნება 0-ის ტოლი, მაგრამ პრაქტიკაში ასე არ მოხდება. წარმოდგენილი სტრატეგია მსგავსია უმცირეს კვადრატთა მეთოდის, იმისათვის, რომ (8) ჯამი გახდეს მინიმალური საჭიროა შესრულდეს პირობა:

$$\frac{\partial S_N}{\partial(\ln a)} = 0 \text{ და } \frac{\partial S_N}{\partial(\ln k)} = 0 \quad (9)$$

შედეგად მიიღება ორი განტოლება ორი უცნობით, რომლის ამონახსნის შემდეგ ცალსახად განისაზღვრება  $a$  და  $k$  სიდიდეები. (9) გამოსახულებით განსაზღვრული განტოლებები არის რთული, მაღალი ხარისხის პოლინომური ან ტრანსცენდენტული სახის. ანალიზურად მათი ამოხსნა რთულია ან შეუძლებელი, თუმცა თანამედროვე კომპიუტერული პროგრამებით, მაგალითად „Maple“, რიცხვითი მეთოდებით ამოხსნა სირთულეს არ წარმოადგენს.

## 2. ცოცვადობის მრუდების შეთავსება გაუმჯობესებული მეთოდით

განვიხილოთ მაგალითი, რომელიც მოიცავს კომპოზიტური მასალის ΠΒΠ (3 წლის) სამ სხვადასხვა მუდმივ გამჭიმავ ძაბვაზე ცოცვადობაზე გამოცდის შედეგების [1] საფუძველზე მისი რეოლოგიური პარამეტრების და შემასწორებელი კოეფიციენტების განსაზღვრას, გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით. ექსპერიმენტული გამოცდის შედეგები, ასევე ძველი და ახალი მეთოდით განსაზღვრული თეორიული ფუნქციების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში 1, 2, 3. თითოეული ძაბვისთვის ცოცვადობაზე გამოცდის შემდეგ მიღებულ ექსპერიმენტულ შედეგებზე დაყრდნობით, გრაფიკების ვიზუალურად შერჩევის გზით, განსაზღვრულია თეორიული ფუნქციების (გავლენის ფუნქცია)  $(A, \alpha, \beta)$  პარამეტრები. მიჩნეულია რომ წარმოდგენილ შემთხვევაში თანხვედრა კარგია, თუმცა (4) მეთოდით დათვლილი მნიშვნელობები მცირედით განსხვავდება ძველი მეთოდით დათვლის მნიშვნელობებს. შესაბამისად დამატებით საჭიროა შემასწორებელი კოეფიციენტების განსაზღვრა, რომელსაც მოვახდენთ ნაშრომში აღწერილი მექანიზმით. ცოცვადობის პროცესის აღწერისას ვსარგებლობთ (1) გამოსახულებით, საიდანაც

$$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} = \int_0^t K(t - \tau) d\tau \quad (10)$$

სადაც,  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_c}{E}$  არის საწყისი დეფორმაცია.

ცხრ. 1 ΠΒΠ მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის ექსპერიმენტის შედეგები  $\sigma_c = 22$  კგძ/სმ<sup>2</sup> ძაბვის დროს

დრო $t$ (სთ)	$\alpha = 0.075; \beta = 0.05; A = 0.035$ $\sigma_c = 22$ კგძ/სმ <sup>2</sup>			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00385	0		
0.25	0.00617	0.6025	0.6192	0.7180
0.5	0.00639	0.6597	0.6852	0.7846
1.0	0.00701	0.8207	0.8361	0.8593
1.5	0.00752	0.6532	0.9616	0.9068
2.0	0.00763	0.9818	0.9937	0.9420
3.0	0.00777	1.0182	1.0355	0.9937
5.0	0.00789	1.0493	1.0626	1.0606
20.0	0.00797	1.0701	1.1157	1.2232
30.0	0.00874	1.1662	1.1958	1.2532
45.0	0.00842	1.1870	1.2101	1.2716
50.0	0.00844	1.1922	1.2173	1.2746

ცხრ. 2 PIBI მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის  
ექსპერიმენტის შედეგები  $\sigma_c = 33$  კგძ/სმ<sup>2</sup> ძაბვის დროს

დრო $t$ (სთ)	$\alpha = 0.10; \beta = 0.05; A = 0.047$ $\sigma_c = 33$ კგძ/სმ <sup>2</sup>			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00577	0		
0.25	0.00960	0.6637	0.6961	0.6810
0.5	0.01014	0.7574	0.7828	0.7646
1.0	0.01072	0.8578	0.9206	0.8622
1.5	0.01103	0.9116	0.9516	0.9263
2.0	0.01166	1.0208	1.0353	0.9751
3.0	0.01202	1.0831	1.1068	1.0484
5.0	0.01229	1.1282	1.1477	1.1470
20.0	0.01335	1.3136	1.4228	1.4086
30.0	0.01372	1.4228	1.4455	1.4624
45.0	0.01395	1.4255	1.4432	1.4973
50.0	0.01461	1.4547	1.4846	1.5032

ცხრ. 3 PIBI მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის  
ექსპერიმენტის შედეგები  $\sigma_c = 44$  კგძ/სმ<sup>2</sup> ძაბვის დროს

დრო $t$ (სთ)	$\alpha = 0.10; \beta = 0.05; A = 0.050$ $\sigma_c = 44$ კგძ/სმ <sup>2</sup>			
	$\varepsilon(t)$	$\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon_0}{\varepsilon_0}$	$\int_0^t K d\tau$ (ძველი მეთოდით)	$\int_0^t K d\tau$ (ახალი მეთოდით)
0	0.00770	0		
0.25	0.01340	0.7415	0.7579	0.7562
0.5	0.01408	0.8285	0.8309	0.8536
1.0	0.01484	0.9273	0.9312	0.9684
1.5	0.01497	0.9442	0.9553	1.0447
2.0	0.01550	1.0129	1.0216	1.1032
3.0	0.01600	1.0779	1.1887	1.1917
5.0	0.01640	1.1298	1.1429	1.3123
20.0	0.01764	1.2857	1.2910	1.6419
30.0	0.01830	1.4285	1.4586	1.7125
45.0	0.01909	1.4792	1.4819	1.7592
50.0	0.01939	1.5182	1.6136	1.7673

როგორც აღინიშნა, უნდა მოხდეს თეორიული და ექსპერიმენტული წერტილების აპროქსიმირება გარკვეული ხარისხის პოლინომებზე. ანალოგიური საკითხის განხილვისას წინა კვლევის ანალოგიურად ამ შემთხვევაშიც მოვახდინოთ თეორიული მრუდის აპროქსიმირება მე-7 რიგის პოლინომამდე ხოლო ექსპერიმენტული მრუდი მე-4 რიგამდე. უნდა შედგეს (8) გამოსახულებით განსაზღვრული ჯამი და ამოიხსნას (9) განტოლებათა სისტემა. სამივე ცხრილის მონაცემებზე დაყრდნობით. განისაზღვრა თეორიული და ექსპერიმენტული მრუდების შეთავსებისას შემასწორებელი კოეფიციენტები, რომლებიც მოცემული ამოცანისთვის ითვლებოდა როგორც  $a = 1$  და  $k = 1$ . გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით დათვლის შემდგომ ისინი ღებულობს მნიშვნელობებს:

$\sigma_c = 22$  კგ/სმ<sup>2</sup>-თვის  $a = 0.8882$  და  $k = 0.8153$ , რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 11%-ით და 18%-ით.

$\sigma_c = 33$  კგ/სმ<sup>2</sup>-თვის  $a = 0.9107$  და  $k = 0.5873$ , რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 9%-ით და 41%-ით.

$\sigma_c = 44$  კგ/სმ<sup>2</sup>-თვის  $a = 0.8827$  და  $k = 0.9440$ , რაც ძველი მეთოდით დათვლის შედეგებისგან განსხვავდება, შესაბამისად, 12%-ით და 6%-ით.

## დასკვნა

კომპოზიტური მასალების რეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის და შემასწორებელი კოეფიციენტების პოვნის 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. შესაბამისად რთულდება ანალიზური ამონახსნების პოვნაც, თუმცა ამოხსნა შესაძლებელია.

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

წარმოდგენილ ნაშრომში გამოთვლილია ПБП (3 წლის) კომპოზიტური მასალის ცოცვადობაზე გამოცდის შედეგების საფუძველზე შერჩეული გავლენის ფუნქციების შემასწორებელი კოეფიციენტებს შორის განსხვავება, დათვლის გაუმჯობესებული მეთოდის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ წარმოდგენილი კვლევის მეთოდი არ მოიცავს მასალის რეოლოგიური თეორიული ფუნქციების პარამეტრების განსაზღვრას. პარამეტრების შერჩევა ხდება გრაფიკების ვიზუალურად დამთხვევის შედეგად.

**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 1512-3936.1

**Determination of the rheological parameters of the material by an improved method on the example of the creep process**

B. Abesadze<sup>1</sup>, S. Kopaliani<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Georgian Aviation University

Ketevan Dedopali Ave. 16, 0103, Tbilisi, Georgia

**Abstract**

In this work, we discuss an improved methodology for determining the parameters of rheological functions in materials with elastic-plastic properties, using the creep process as an example. This approach is based on the theory of inheritance, where the parameters of the rheological functions are determined by combining graphs ( $A, \alpha$  and  $\beta$ ). Traditionally, these graphs are matched through visual alignment of hand-drawn circles, which is prone to significant human error. The updated methodology presented in this work involves the precise matching of graphs using various computer programs, and their matching is performed using the least squares approach method. During the research process, we utilized an existing database of theoretical graphs of rheological functions and values displayed in tabular form which, although important, contains insufficient information. To expand this database, programs were developed using "Maple," and a methodology was created for the straightforward calculation of complex mathematical problems with numerical methods, by transitioning to the complex plane. Based on experimental data from the existing composite material, the improved matching method was used to calculate correction coefficients that determine the accuracy of the graph matching, and the percentage differences were estimated.



## სანაპირო ზოლში მომუშავე სამაშველო შვეულმფრენების და დრონების ფრენის უსაფრთხოების გაზრდა ძრავებში ფრინველების მოხვედრისგან დამცავი მოწყობილობების გამოყენებით.

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

**რეზიუმე:** წარმოდგენილი სტატია ეხება ზღვის სანაპირო ზოლში მომუშავე შვეულმფრენების და დრონების ძრავების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ეფექტური ღონისძიებების შემუშავების საკითხებს. პროექტის განხორციელება მნიშვნელოვანია, რადგან შესაძლებელი იქნება შეიქმნას პროდუქტი, რომელიც უზრუნველყოფს იმ საჰაერო ხომალდების უსაფრთხოებას, რომლებიც გამოიყენება სამძებრო-სამაშველო ოპერაციებში. ეს პროდუქტი იქნება ინოვაციური საავიაციო სფეროსთვის, რაც ჩვენს ქვეყანას მოუტანს მნიშვნელოვან ფინანსურ სარგებელს. საქართველოს სანაპირო ზოლში მრავალი დასასვენებელი ადგილია და დამსვენებელთა რაოდენობა ყოველ წელს იზრდება. ასეთ რეგიონებში ხორციელდება მრავალი სამაშველო-სამძებრო სამუშაოები. არაერთი ასეთი ოპერაცია იგეგმება და ხორციელდება დრონებისა და ვერტმფრენების გამოყენებით. მომავალში ასეთი ტიპის სამაშველო ოპერაციებში კიდევ უფრო გაიზრდება სხვადასხვა სახის დრონების ჩართულობა. ამას მოწმობს უცხოეთის წამყვანი ქვეყნების დიდი დაინტერესება დრონების მრავალმხრივი გამოყენების საკითხებში.

კვლევის მიზანია შემუშავდეს ეფექტური აღჭურვილობა და განლაგდეს საფრენი აპარატის კონსტრუქციაზე, რომელიც დაიცავს სამაშველო დრონის და შვეულმფრენის ძრავებს ფრინველებთან შეჯახებისგან და გაზრდის მათ უსაფრთხოებას სამძებრო-სამაშველო ოპერაციების ჩატარების დროს, განსაკუთრებით ზღვის სანაპირო ზოლზე მათი ექსპლუატაციისას. ზემოაღნიშნული ავარიების თავიდან აცილებისთვის, ერთადერთ სწორ საშუალებას წარმოადგენს, ძრავების დაცვა სპეციალური მოწყობილობებით. ბევრმა მწარმოებელმა დაიწყო საზღვაო რეგიონებში საძიებო-სამაშველო ვერტმფრენების და დრონების დამცავი მოწყობილობით აღჭურვა. თუმცა აღსანიშნავია, რომ ეს ბადეები დამზადებულია მარტივი სახის ლითონის კონსტრუქციისგან, რომლებიც ვერ უზრუნველყოფს სათანადო დაცვას განსაკუთრებით ისეთ ბიომრავალფეროვნებით მდიდარ ქვეყნებში როგორც საქართველოა.

ჩვენი კვლევის საბოლოო შედეგი იქნება, საქართველოს ბიომრავალფეროვნების გათვალისწინებით, შვეულმფრენისა და დრონების ძრავებისთვის შეიქმნას ისეთი საიმედო დამცავი მოწყობილობები, რომელიც უზრუნველყოფს საქართველოს ზღვის სანაპიროებზე მომუშავე საძიებო-სამაშველო ვერტმფრენების და დრონების ფრენის მაღალი დონის უსაფრთხოებას.

**საკვანძო სიტყვები:** შვეულმფრენები, უპილოტო საფრენი აპარატები, ფრენების უსაფრთხოება

## შესავალი

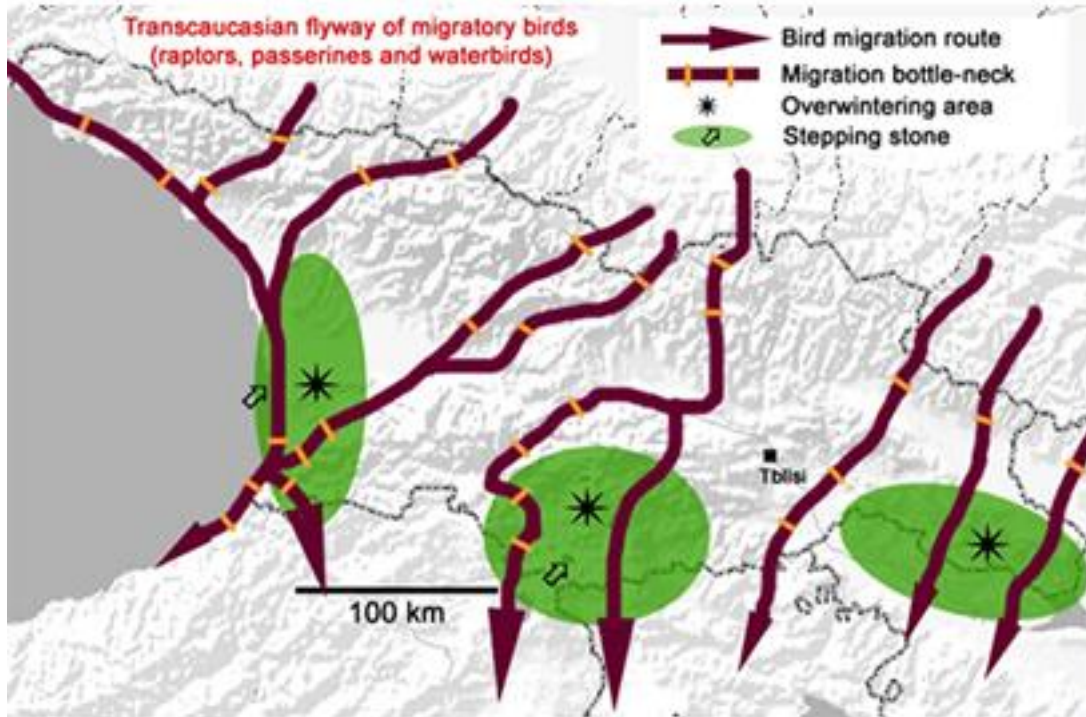
მსოფლიოში საგრძნობლად გაიზარდა მოთხოვნა საძიებო-სამაშველო ვერტმფრენებზე და დრონებზე. ახლო წარსულში ჩვენს ქვეყანაში ხორციელდებოდა მრავალი სხვადასხვა სახის სამძებრო-სამაშველო ოპერაციები. სამწუხაროდ, ზოგიერთმა მათგანმა ვერ მიაღწია წარმატებას, რადგან ეკიპაჟის წევრების მიერ ხალხის სიცოცხლის გადარჩენის მცდელობისას შეიქმნა პრობლემები, რადგან ოპერაცია იყო მაღალი რისკების შემცველი. ეს რისკები კი მნიშვნელოვნადაა განპირობებული საფრენი აპარატის ძრავებში ფრინველთა მოხვედრის გაზრდილი ალბათობით. ზღვის სანაპირო ზოლში ფრინველთა მნიშვნელოვანი აქტივობაა (ალბატროსები, თოლიები, ჩიტები, იხვები და სხვა).



სურ. 1 ფრინველის შეჯახება შვეულმფრენთან და ძრავში

### 1.ფრინველთა მნიშვნელოვანი აქტივობა

- საქართველოს სანაპირო ზოლის რეგიონებში ფრინველთა მნიშვნელოვანი აქტივობაა, ძირითადად კოლხეთის დაცული ტერიტორიებისა და პალიასტომის ტბის მიდამოებში. სამძებრო-სამაშველო ოპერაციებში მონაწილეობისას და საძიებო ადგილის პოვნის მცდელობისას, როცა შვეულმფრენსა და დრონებს უწევს დაბალ სიმაღლეებზე ფრენა, ფრინველების მაღალი აქტივობაა. გარდა სამძებრო-სამაშველო შვეულმფრენებისა და დრონებისა, აღნიშნული პრობლემის მოგვარება საკმაოდ მნიშვნელოვანია აგრეთვე ისეთი კომპანიებისთვისაც, რომლებიც ვიზიტორებს საჰაერო ტურებს სთავაზობს ერთძრავიანი შვეულმფრენების გამოყენებით.



სურ. 2 ფრინველთა საიმიგრაციო მარშრუტები საქართველოში

- ფრინველებს შეუძლიათ ფრენა 30-დან 80 კმ/სთ-მდე სიჩქარით.
- დიდი ფრინველები უფრო სწრაფად დაფრინავენ, ვიდრე მცირე სახეობები.
- ფრენის 10 საათის განმავლობაში, ზოგიერთი ფრინველი ფარავს დაახლოებით 650 კმ-ს.
- რადარის კვლევები აჩვენებს, რომ ფრინველის უმეტესობა 3 კმ-ზე ნაკლებ სიმაღლეზე ხდება, მაგრამ ზოგიერთი ფრინველი დაფიქსირდა 8 კმ სიმაღლეზე.
- შორ მანძილზე მფრინავი ფრინველები უფრო მაღალ სიმაღლეზე დაფრინავენ, ვიდრე მცირე მანძილზე.
- თბილ ამინდში ფრინველები ბევრად უფრო სწრაფად დაფრინავენ და შეუძლიათ დაახლოებით 200 კმ მანძილზე ფრენა დაუსვენებლად. ამ შემთხვევაში ბევრი რამ არის დამოკიდებული ჰაერის მასების მოძრაობაზე, რაც შეიძლება გახდეს, როგორც ხელშემწყობი, ასევე ხელის შემშლელი ფაქტორი.

## 2. იმპულსის ტიპის ძრავებით აღჭურვილი სამხედრო-სამაშველო დრონები



სურ. 3 სამედიცინო დახმარების



სურ. 4 ორკაციანი ეკიპაჟისთვის სამხედრო-სამაშველო

### 3. ფრინველების ძრავებში მოხვედრისაგან შემოთავაზებული დამცავი მოწყობილობები:

- დამცავი ბადეები;
- დამცავი ფიჭური კონუსები;
- კომბინირებული მოწყობილობები.

### 4. ტექნიკური მოთხოვნები და შესრულება:

- მასალების შერჩევა: ძირითადად დარტყმამედეგი კარბონის ბოჭკოვანი პოლიმერული მასალები;
- დამცავი მოწყობილობების დამზადება 3D პრინტერების გამოყენებით;
- მოდელების აეროდინამიკური გამოცდები აეროდინამიკული მილის გამოყენებით.

## დასკვნა

კვლევის მიზანია შესაბამის გამოთვლებზე დაყრდნობით და მოდელირების თანამედროვე საშუალებების გამოყენებით შეიქმნას ისეთი ტიპის ბადე, რომელიც უზრუნველყოფს ძალური დანადგარების დაცვას მასში მფრინველის მოხვედრისაგან. ჩვენს მიერ შემოთავაზებული დამცავი მოწყობილობები დამზადებული იქნება გაცილებით მტკიცე, დღეისათვის მსოფლიოში არსებული ყველაზე მტკიცე პოლიმერილი მასალებისაგან, რომლებიც თავისი გამძლეობით მნიშვნელოვნად აღემატება ლითონის მასალებს, უზრუნველყოფს მაღალ დაცვას და გამოიწვევს ძრავების სიმძლავრის უმნიშვნელო დანაკარგებს. ასევე ის იქნება მსუბუქი, გამძლე, იაფი და მოსახერხებელი ექსპლუატაციაში. ამჟამად მუშავდება დამცავ მოწყობილობათა რამოდენიმე მოდელი, როგორც შვეულმფრენისთვის ასევე დრონებისთვის, რომელიც ინოვაციური იქნება არამარტო საქართველოსთვის, არამედ მის ფარგლებს გარეთაც. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის კვლევით ცენტრში დაგეგმილია მრავალმხრივი დაკვირვება აეროდინამიკურ მილში და გამოვლენილ იქნას თანამედროვე მტკიცე პოლიმერული მასალებისაგან შექმნილი დამცავ ბადეთა სისტემის უპირატესობა სტანდარტული ლითონის კონსტრუქციის ბადებთან მიმართებით.

**მადლიერება:** კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [პროექტი PHDF-24-3549, „სანაპირო ზოლში მომუშავე სამაშველო დრონებისა და შვეულმფრენების ფრენის უსაფრთხოების გაზრდა ძრავებში ფრინველების მოხვედრისაგან დამცავი მოწყობილობების გამოყენებით“].

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] [https://www.rotordronepro.com/tag/impeller-drone/;](https://www.rotordronepro.com/tag/impeller-drone/)
- [2] <https://skybrary.aero/articles/bird-strike;>
- [3] [https://airnav.ge/;](https://airnav.ge/)
- [4] <https://www.easa.europa.eu/community/topics/rotorcraft-birdstrikes;>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle.](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle.)

## **Increasing the Flight Safety of Coastal Rescue Drones and Helicopters with Protective Devices from Bird Strikes**

Zurab Kopaleishvili  
Georgian Aviation University  
Tbilisi, Ketevan Dedoplis Avenue № 16, 0103 Georgia

### **Abstract**

The presented project deals with the issues of developing effective measures to ensure the safety of drones and helicopter engines operating in the coastal zone. The implementation of the project is important because it will be possible to create a product that ensures the safety of aircraft used in search and rescue operations. This product will be innovative for the aviation field, which will bring significant financial benefits to our country. There are many vacation spots on the coast of Georgia, and the number of visitors is increasing every year. Many rescue and search operations are carried out in such regions. A number of such operations are planned and carried out using drones and helicopters. In the future, the involvement of various types of drones in rescue operations of this type will increase even more. This is evidenced by the great interest of leading foreign countries in the multi-purpose use of drones. The aim of the research is to develop effective equipment and place it on the structure of the aircraft, which will protect the engines of rescue drones and helicopters from collisions with birds and increase their safety during search and rescue operations, especially during their operation on the sea coast. To avoid the above-mentioned accidents, the only correct way is to protect the motors with special devices. Many manufacturers have begun equipping search-and-rescue helicopters and drones in maritime regions with protective equipment. However, it is worth noting that these nets are made of simple metal constructions that do not provide adequate protection, especially in such biodiversity-rich regions as Georgia. The final result of our research will be, taking into account the biodiversity of Georgia, to create such reliable protection devices for helicopter and drone engines that will ensure a high level of flight safety of search and rescue helicopters and drones operating on the coast of Georgia.

## მიმმართველ მილში მოთავსებული თანალერძული ხრახნების სისტემის მახასიათებლების კვლევა

სერგო ტეფნაძე<sup>1</sup>, ვაჟა კელიხაშვილი<sup>2</sup>, ბიძინა აბესაძე<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი,  
ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი

**რეზიუმე:** უპილოტო საფრენი აპარატები თანამედროვე მსოფლიოში, ტექნიკური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვნად და სწრაფი ტემპით ვითარდება, შესაბამისად კრიტიკულად მნიშვნელოვანია, რომ მათი ძალური დანადგარების განვითარებაც თანხვედრაში იყოს მთლიან სისტემასთან, რადგან ძრავები არის მთავარი შემადგენელი კონსტრუქციული ელემენტი ნებისმიერი საფრენი აპარატისათვის. ნაშრომში განხილულია თანალერძული ხრახნის სისტემა, რომელიც მოთავსებულია მიმმართველ მილში და გააჩნია ორი დამოუკიდებელი ლილვი, განსხვავებით ტრადიციული და უკვე არსებული თანალერძული ხრახნის სისტემებისგან. კვლევის პროცესში დამზადდა სტენდი, რომლის სქემაც მოცემულია სურ. 3-ზე. ჩატარებულია გამოცდები აღნიშნულ სტენდზე და მიღებული შედეგების საფუძველზე წარმოდგენილია დასკვნები თუ რა რეჟიმებშია მილში მოთავსებული თანალერძული ხრახნების სისტემა მაქსიმალურად ეფექტური. აღნიშნული დასკვნები და შედეგები საშუალებას იძლევა მილში მოთავსებული თანალერძული ხრახნის სისტემის სხვადასხვა საფრენ აპარატზე გამოყენებისას სწორად განისაზღვროს ის კრიტიკულად მნიშვნელოვანი ასპექტები, რომლის საშუალებით შესაძლებელი იქნება ძალური დანადგარისგან მაქსიმალური დადებითი ეფექტების მიღება.

**საკვანძო სიტყვები:** ავიაცია, თანალერძული ხრახნი, ოპტიმიზაცია, ეფექტურობა.

### 1. შესავალი

თავდაპირველად, თანალერძული ხრახნების სისტემები შექმნილი იყო საფრენი აპარატების სიჩქარის და ძრავის ეფექტურობის გასაზრდელად, ამით კი მიიღწეოდა საწვავის მოხმარების შემცირება, თუმცა გასული საუკუნის სხვადასხვა პერიოდში მეცნიერები შეხვდნენ არაერთ პრობლემას, რომელიც დაკავშირებულია სხვადასხვა ტიპის საფრენ აპარატებზე თანალერძული ხრახნების ეფექტურ გამოყენებასთან [3].

თანალერძული ხრახნების განვითარების პერიოდები იყოფა ხუთ სხვადასხვა ეტაპად, ესენია: პიონერული (1940 წლამდე), ოქროს წლების პერიოდი (1940-1950), დასავლური თვითმფრინავები (1950-იანი წლებიდან მოყოლებული), საბჭოთა-რუსული თვითმფრინავები (1950-იანი წლებიდან) და თანამედროვე განვითარება (1980-იანი წლები) [2]. ჩამოთვლილი ეტაპებიდან ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი და წარმატებული თვითმფრინავი, რომელიც შეიძლება ამ ნიშნით გამოიყოს, არის TU-95 (სურ.1), იგი 1956 წელს შეიქმნა საბჭოთა კავშირში და დღემდე აქტიურ სერვისშია ერთ-ერთი ქვეყნის სამხედრო საჰაერო ძალებში.



სურ.1 თვითმფრინავი TU-95 თანაღერძული ხრახნის სისტემით

მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეულწილად უკვე შესწავლილია თანაღერძული ხრახნების სისტემა და მისი მახასიათებლები, დღემდე მაინც რჩება კითხვა, არის თუ არა შესაძლებელი ამ სისტემის სხვადასხვა მახასიათებლების კიდევ უფრო გაუმჯობესება და სრულყოფა. ეს კითხვა განსაკუთრებით მწვავედ დაისვა უპილოტო საფრენი აპარატების განვითარების კვალდაკვალ, რადგან საავიაციო სფეროში ძალზე სწრაფად იკიდებს ფეხს სხვადასხვა ტიპის უპილოტო საფრენი აპარატები, სწორედ ამიტომ მათი განვითარებისთვის კრიტიკულად მნიშვნელოვანია, რომ ხელახლა გადაიხედოს ყველა კვლევა, გამოიყოს ის საკითხები, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება, თანაღერძული ხრახნების სისტემიდან მეტი სარგებლის მიღება [1].

ამრიგად, კვლევის მიზანია მიმართველ მიღში მოთავსებული თანაღერძული ხრახნების სისტემის მახასიათებლების: წევის ძალის დამოკიდებულება ხრახნებს შორის მანძილზე და ბრუნთა რიცხვებზე, დანადგარის ეფექტურობა, ზოგადი კანონზომიერებების დადგენა და სხვა მახასიათებლების შესწავლა.

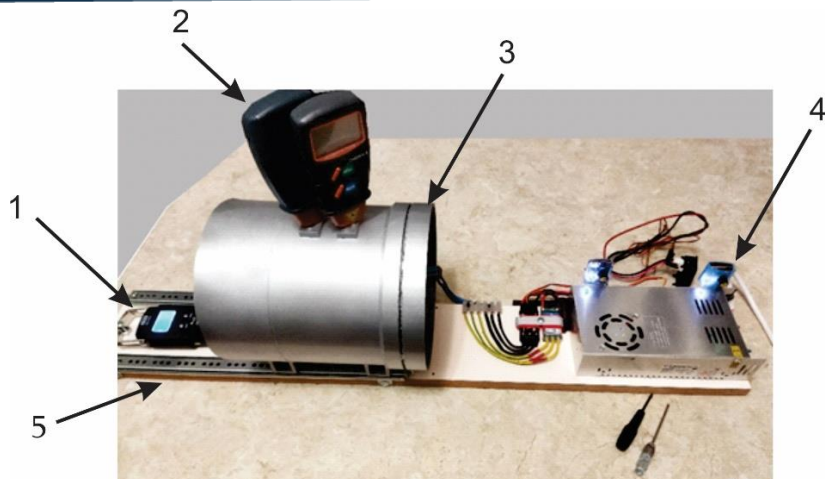
## 2. კვლევის ძირითადი ნაწილი

კვლევის ძირითადი ნაწილი მოიცავს მათემატიკურ გამოთვლებს და მიღებული შედეგების შედარებას იმ პრაქტიკული გამოცდის შედეგებთან, რომელიც მიღებულია აღნიშნულ სტენდზე გამოცდების მეშვეობით.

### 2.1 გამოსაცდელი სტენდის აღწერა

კვლევის საწყის ეტაპზე ექსპერიმენტების განსახორციელებლად შემუშავდა და დამზადდა თანაღერძული ხრახნების სისტემის გამოსაცდელი სტენდი. იგი მოიცავს  $D$  დიამეტრის მქონე მილს, რომელშიც მოთავსებულია ორი ურთიერთ დამოუკიდებელი ელექტროძრავი და თითოეულ ძრავზე არსებული ხრახნი, მათ შორის  $d$  მანძილის ცვლილების შესაძლებლობით, რაც ემსახურება, კვლევის ეტაპზე,  $\alpha(d)$  წევის ძალის კოეფიციენტის  $d$  ხრახნებს შორის მანძილზე დამოკიდებულების შესწავლას.



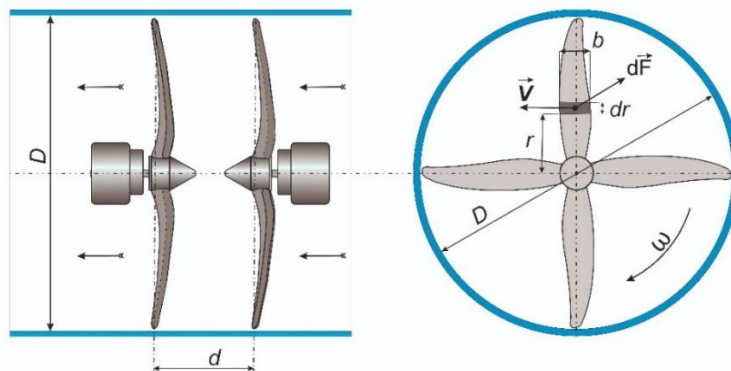


სურ. 2 თანადერძული ხრახნების გამოსაცდელი სტენდი

$D$  დიამეტრის მქონე მილი 3 მიმართველის 5 საშუალებით დამაგრებულია უძრავ ზედაპირზე, რომელიც წევის ძალის ვექტორის საპირისპირო ნაწილიდან მოდებულია დინამომეტრზე 1. საგამოცდო სტენდი ასევე მოიცავს ორ დამოუკიდებელ ტაქომეტრს 2, რომლის საშუალებით შესაძლებელია გაიზომოს თითოეული ძრავას ბრუნთა რიცხვები. ეფექტურობის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის დასადგენად საგამოცდო სტენდში ჩართულია ორი დამოუკიდებელი ვოლტ-ამპერმეტრი 4, რომელიც თითოეულ ძრავაზე დაკავშირებული და აჩვენებს დენის ძალის (ამპერი) და ძაბვის (ვოლტი) სიდიდეებს სხვადასხვა რეჟიმებზე ძრავების მუშაობისას. აღნიშნული ინფორმაციით კვლევის პროცესში დგინდება ძრავების მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.

## 2.2 კვლევის მეთოდოლოგია

მიმართველ მილში მოქცეული ერთი ხრახნის წევის ძალის შეფასებისთვის ვიხილავთ ხრახნს, რომელიც შედგება  $N$  ცალი ფრთოვანისგან. სიმარტივისათვის ჩავთვალოთ, რომ თითოეულ ფრთოვანას აქვს ერთნაირი  $b$  სიგანე და  $D$  დიამეტრი, ხოლო მთელ კვეთში ერთი და იგივე ამწევი ძალის კოეფიციენტი  $C_y$  (იხ. სურ. 3). ხრახნი ბრუნავს ფიქსირებული  $n$  ბრ/წთ სიხშირით.



სურ. 3 მიმართველ მილში მოთავსებული ხრახნის პარამეტრები

შევაფასოთ ხრახნის მიერ განვითარებული წევის ძალა. ცნობილი აეროდინამიკური თანაფარდობის შესაბამისად,  $b$  სიგანისა და  $dr$  სიგრძის მქონე ფრთოვანის ელემენტზე მოქმედი ძალა ტოლი იქნება:

$$dF = C_y \cdot \frac{\rho_{\square} \cdot v^2}{2} \cdot dS = C_y \cdot \frac{\rho_{\square} \cdot (\omega r)^2}{2} \cdot b \cdot dr \quad (1)$$

სადაც  $\rho_{\square}$  - ჰაერის სიმკვრივეა,  $v = \omega \cdot r$  - მოცემული ელემენტის ბრუნვის წირითი სიჩქარე, ხოლო  $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$  - ხრახნის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. მთლიანი ხრახნის წევის ძალა (1) ფორმულის გათვალისწინებით ტოლი იქნება:

$$F = \frac{1}{2} \cdot N \cdot C_y \cdot \rho_{\square} \cdot \omega^2 \cdot b \cdot \int_0^{D/2} r^2 dr = \frac{1}{48} \cdot N \cdot C_y \cdot \rho_{\square} \cdot \omega^2 \cdot b \cdot D^3 \quad (2)$$

თუ შემოვიტანთ ხრახნის დაფარვის კოეფიციენტს:

$$\lambda = \frac{S_{\square\square}}{S_{\square\square}} = \frac{N \cdot b \cdot D/2}{\pi \cdot D^2/4} = \frac{2 \cdot N \cdot b}{\pi \cdot D} \quad (3)$$

მაშინ (2) გამოსახულება მიიღებს ფორმას:

$$F = \frac{C_y \cdot \pi^2}{21600} \cdot \rho_{\square} \cdot n^2 \cdot \lambda \cdot S_{\square\square} \cdot D^2 = \alpha \cdot \rho_{\square} \cdot n^2 \cdot \lambda \cdot S_{\square\square} \cdot D^2 \quad (4)$$

სადაც  $S_{\square\square} = \pi \cdot D^2/4$  მიმართველი მილის კვეთის ფართობია, ხოლო  $\alpha = \frac{C_y \cdot \pi^2}{21600}$  ამწევი ძალის უგანზომილებო კოეფიციენტი. მიღებული გამოსახულება სრულად ეთანადება ლიტერატურით შემოთავაზებულ ფორმას  $F = \alpha \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4$ .

თუ განვიხილავთ ორი თანადერძული ხრახნისგან შემდგარ სისტემას, რომლებიც მოქცეულია მიმართველ მილში და ბრუნავენ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით, ერთი და იგივე ბრუნთა რიცხვით, მაშინ წინასწარი ვარაუდით სისტემის ამწევი ძალის გამოსახულება იმავე ფორმის უნდა იყოს როგორც (4) გამოსახულებაში, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამწევი ძალის კოეფიციენტი იქნება ხრახნებს შორის მანძილის რაიმე ფუნქცია, ხოლო სხვა დამატებით პარამეტრებზე, რომელიც არ ეხება თვითონ ხრახნების გეომეტრიულ მახასიათებლებს, არ იქნება დამოკიდებული. ე.ი. გამწევს ძალას ექნება სახე:

$$F = \alpha(d) \cdot \rho_{\square} \cdot n^2 \cdot \lambda \cdot S_{\square\square} \cdot D^2 \quad (5)$$

ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის ერთ-ერთ მიზანს წარმოადგენდა  $\alpha(d)$  ამწევი ძალის კოეფიციენტის სახის დადგენა და ასევე მისი უცვლელობის ხარისხის შეფასება ბრუნთა რიცხვების სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის.

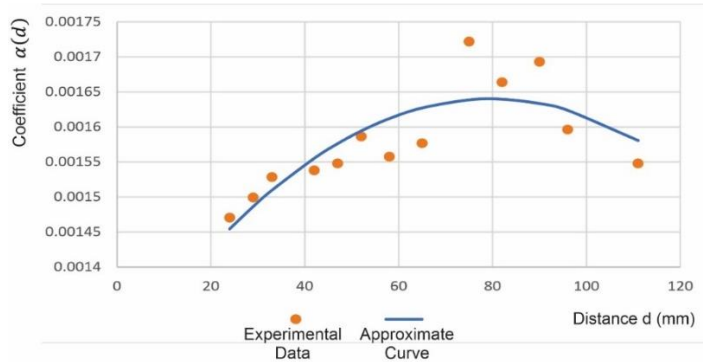
$\alpha(d)$  კოეფიციენტის ხრახნთა შორის მანძილზე დამოკიდებულების შესასწავლად ჩატარდა ექსპერიმენტი. გაზომილი იქნა ძალის მნიშვნელობები კონკრეტული ხრახნთა შორის მანძილებისთვის (13 სხვადასხვა წერტილი).  $\alpha(d)$  კოეფიციენტი განისაზღვრა (5) დამოკიდებულებიდან  $\alpha(d) = F/(\rho_{\square} \cdot n^2 \cdot \lambda \cdot S_{\square\square} \cdot D^2)$ .

მოცემულ წერტილებზე, უმცირეს კვადრატთა მეთოდის [5] გამოყენებით მოხდა უწყვეტი მრუდით აპროქსიმირება მე-2 რიგის პოლინომამდე (გამოთვლილი იქნა მე-3 და მე-4 რიგის

პოლინომების კოეფიციენტებიც, თუმცა მათი მნიშვნელოვნად სიმცირის გამო შევჩერდით მე-2 რიგზე), რომელსაც აქვს სახე:

$$\alpha(d) = a_1 \cdot d^2 + a_2 \cdot d + a_3 \quad (6)$$

სადაც  $a_1 = -6.0075 \cdot 10^{-8} \text{ მმ}^{-2}$ ,  $a_2 = 9.5623 \cdot 10^{-6} \text{ მმ}^{-1}$  და  $a_3 = 1.2594 \cdot 10^{-3}$ , ხოლო ამწევი ძალის კოეფიციენტის ხრახნებს შორის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება მოცემულია სურ. 4-ზე.



სურ. 4 ამწევი ძალის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ხრახნებს შორის მანძილზე

$\alpha(d)$  კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა და, შესაბამისად, მაქსიმალური წევის ძალა მიიღწევა, როცა  $d' = -\frac{a_2}{2 \cdot a_1} = 79.5860 \text{ მმ}$ , ხოლო კოეფიციენტის შესაბამისი მნიშვნელობაა  $\alpha(d') = 1.6909 \cdot 10^{-3}$  და მაქსიმალური წევის ძალა (5) ფორმულის მიხედვით  $F_{მეკ} = 1.6950 \text{ ნ}$ .

პრაქტიკული ექსპერიმენტი ჩატარდა ხრახნების ბრუნთა რიცხვების და მათ შორის მანძილების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. განისაზღვრა ამწევი ძალის და გამოტყორცნილი ჰაერის სიჩქარის მნიშვნელობები. გამოითვალა  $\alpha(d)$  კოეფიციენტის (6) ფორმულით განსაზღვრული თეორიული და (5)-დან გამომდინარე ექსპერიმენტული მნიშვნელობები. შემდგომში საექსპერიმენტო დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებლად ათვლილი იქნა ელექტრო ამძრავებზე დენის ძალები, ხოლო ძაბვა მთელი ექსპერიმენტის განმავლობაში იყო უცვლელად  $U_1 = U_2 = 12 \text{ ვოლტი}$ . მონაცემები წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.

ცხრ. 1 სხვადასხვა ექსპერიმენტული მონაცემები

$\rho_{\text{ჰ}} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, d = 20 \text{ მმ}, U_1 = U_2 = 12 \text{ ვ}$						
	$F_{\text{მეკ}}$ (ნ)	$v_{\text{ჰ}}$ (მ/წმ)	$\alpha(d)_{\text{თეორ}} \times 10^3$	$\alpha(d)_{\text{ექსპ}} \times 10^3$	$I_1$ (ს)	$I_2$ (ს)
$n = 4000$ ბრ/წთ	0.85	6.3	1.2850	1.4266	0.86	1.15
$n = 6000$ ბრ/წთ	2.25	9.4	1.5117	1.4266	2.18	3.00

$n =$ 8000 ბრ/წთ	4.30	12.0	1.6250	1.4266	4.21	6.00
$\rho_{\square} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, d = 35 \text{ მმ}, U_1 = U_2 = 12 \text{ გ}$						
	$F_{\text{ჯს}}$ (ბ)	$v_{\square}$ (მ/წმ)	$\alpha(d)_{\square\square\square}$ $\times 10^3$	$\alpha(d)_{\square} \times 10^3$	$I_1$ (ა)	$I_2$ (ა)
$n =$ 4000 ბრ/წთ	0.90	6.5	1.3605	1.5204	0.83	1.15
$n =$ 6000 ბრ/წთ	2.35	9.2	1.5789	1.5204	2.18	2.96
$n =$ 8000 ბრ/წთ	4.40	12.5	1.6629	1.5204	4.45	6.47
$\rho_{\square} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, d = 50 \text{ მმ}, U_1 = U_2 = 12 \text{ გ}$						
	$F_{\text{ჯს}}$ (ბ)	$v_{\square}$ (მ/წმ)	$\alpha(d)_{\square\square\square}$ $\times 10^3$	$\alpha(d)_{\square} \times 10^3$	$I_1$ (ა)	$I_2$ (ა)
$n =$ 4000 ბრ/წთ	0.95	6.3	1.4361	1.5873	0.83	1.16
$n =$ 6000 ბრ/წთ	2.35	9.4	1.5789	1.5873	2.18	2.97
$n =$ 8000 ბრ/წთ	4.40	12.0	1.6629	1.5873	4.36	6.00

აღსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შეიმჩნევა  $\alpha(d)$  კოეფიციენტის მცირედით ზრდის ტენდენცია ხრახნების ბრუნთა რიცხვის ზრდასთან ერთად. ეს ფაქტი შემდგომში დამატებითი კვლევის საგანი შეიძლება გახდეს. მოცემულ შემთხვევაში მოვახდინოთ ამ სიდიდის ექსპერიმენტული მონაცემების გასაშუალება თითოეული კონკრეტული ბრუნთა რიცხვისათვის და შევადაროთ შესაბამის თეორიულ მნიშვნელობას:

$n = 4000$  ბრ/წთ-თვის  $\alpha(d)_{\square\square\square} = 1.4739 \cdot 10^{-3}$ , რაც 3.32 %-ით მეტია შესაბამის თეორიულ მნიშვნელობაზე;

$n = 6000$  ბრ/წთ-თვის  $\alpha(d)_{\square\square\square} = 1.5341 \cdot 10^{-3}$ , რაც 0.90 %-ით მეტია შესაბამის თეორიულ მნიშვნელობაზე;

$n = 8000$  ბრ/წთ-თვის  $\alpha(d)_{\square\square\square} = 1.5593 \cdot 10^{-3}$ , რაც 1.76 %-ით ნაკლებია შესაბამის თეორიულ მნიშვნელობაზე;

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია გამოთვლილი იქნას დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი. სტანდარტული განმარტებით, ეს კოეფიციენტი არის სასარგებლო მუშაობის შეფარდება სრულ მუშაობასთან, ან სხვაგვარად სასარგებლო სიმძლავრის შეფარდება სრულ სიმძლავრესთან:

$$\eta = \frac{A_{\text{მომ}}}{A_{\text{მომ}}} = \frac{P_{\text{მომ}}}{P_{\text{მომ}}} \quad (7)$$

არსებული მიდგომებით საფრენ აპარატზე დამონტაჟებული ხრახნული ძრავების მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისთვის სასარგებლო სიმძლავრის დასათვლელად საჭიროა ეს აპარატი მოძრაობდეს, რადგან  $P_{\text{მომ}} \sim F_{\text{მომ}} \cdot v_{\text{მომ}}$ , სადაც  $F_{\text{მომ}}$  არის ძრავის მიერ შექმნილი წევის ძალა, ხოლო  $v_{\text{მომ}}$  - საფრენი აპარატის სიჩქარე. წარმოდგენილ შემთხვევაში სასარგებლო სიმძლავრე გამოვა 0-ის ტოლი. აღნიშნულიდან გამომდინარე საჭიროა სხვაგვარი თვისობრივი შეფასება. ერთადერთი ენერგეტიკული მახასიათებელი, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში შეიძლება ჩაითვალოს როგორც სასარგებლო მუშაობა არის „საქმენიდან“ გამოტყორცნილი ჰაერის ნაკადის კინეტიკური ენერგია, ხოლო დანადგარის მიერ შექმნილი წევის ძალა პროპორციული იქნება ამ ენერგიის.

თუ ჩავთვლით, რომ დანადგარი მუშაობდა  $\Delta t$  დროის განმავლობაში, მაშინ სრულად მოხმარებული ენერგია სიდიდით ტოლი იქნება ხრახნის ამძრავებზე დახარჯული ელექტრო ენერგიის, რომელიც შეიძლება ჩაითვალოს როგორც (7) ფორმულაში შემავალი სრული მუშაობა, ვწერთ:

$$A_{\text{მომ}} = (U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2) \cdot \Delta t, \text{ ხოლო სიმძლავრე } P_{\text{მომ}} = \frac{A_{\text{მომ}}}{\Delta t} = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 \quad (8)$$

რაც შეეხება გამოტყორცნილი ჰაერის ნაკადის კინეტიკურ ენერგიას ის შეიძლება დაითვალოს შემდეგნაირად. ჩავთვალოთ, რომ  $\Delta t$  დროში „საქმენიდან“ გამოიტყორცნება  $\Delta m$  მასის მქონე ჰაერის ნაკადი. ჰაერის მასა  $\Delta m = \rho_{\text{ჰ}} \cdot \Delta V$ , სადაც  $\Delta V$  არის  $D$  დიამეტრისა და  $h = v_{\text{ჰ}} \cdot \Delta t$  სიმაღლის ცილინდრის მოცულობა, ანუ  $\Delta V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_{\text{ჰ}} \cdot \Delta t$ . შედეგად სასარგებლო მუშაობის გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$A_{\text{მომ}} = \frac{\Delta m \cdot v_{\text{ჰ}}^2}{2} = \frac{\pi \cdot \rho_{\text{ჰ}} \cdot D^2 \cdot v_{\text{ჰ}}^3}{8} \cdot \Delta t, \text{ ხოლო სიმძლავრე } P_{\text{მომ}} = \frac{A_{\text{მომ}}}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot \rho_{\text{ჰ}} \cdot D^2 \cdot v_{\text{ჰ}}^3}{8} \quad (9)$$

საბოლოოდ მარგი ქმედების კოეფიციენტისთვის (7) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\eta = \frac{P_{\text{მომ}}}{P_{\text{მომ}}} = \frac{\pi \cdot \rho_{\text{ჰ}} \cdot D^2 \cdot v_{\text{ჰ}}^3}{8(U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2)} \quad (10)$$

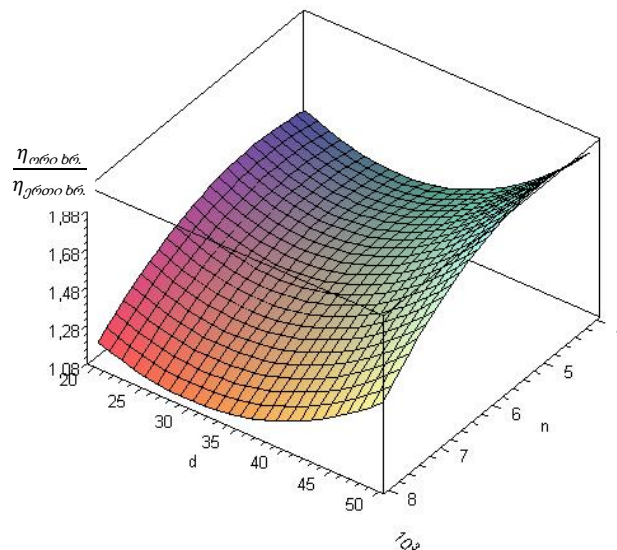
ცხადია (10) ფორმულა გამოსახავს წარმოდგენილი მექანიზმის ეფექტურობას და არა პირდაპირი მნიშვნელობით მარგი ქმედების კოეფიციენტს. მექანიზმის ეფექტურობის უფრო მეტად თვალსაჩინოდ წარმოდგენისთვის, მოსახერხებელია წარმოვადგინოთ შედარება თანაღერძული ორი ხრახნის შემთხვევასა და ერთი ხრახნით წარმოდგენილ მარტივი მექანიზმის ეფექტურობას შორის, ანუ განვიხილოთ შეფარდება  $\eta_{\text{ორი ხრ.}} / \eta_{\text{ერთი ხრ.}}$ .

ცხრ. 1-ის და ერთ ხრახნიან სისტემაზე ჩატარებული გამოცდების მონაცემების მიხედვით (10) ფორმულის დახმარებით ყველა წერტილისთვის დავთვალოთ მარგი ქმედების კოეფიციენტების აღნიშნული შეფარდება. შედეგები მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრ. 2  $\eta_{ორი ბრ.} / \eta_{ერთი ბრ.}$  მნიშვნელობები

$\rho_{\text{ჰა}} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, U_1 = U_2 = 12 \text{ ვ}$			
	$d = 20 \text{ მმ}$	$d = 35 \text{ მმ}$	$d = 50 \text{ მმ}$
$n = 4000 \text{ ბრ/წთ}$	1.2779	1.4248	1.2904
$n = 6000 \text{ ბრ/წთ}$	1.5067	1.4233	1.5161
$n = 8000 \text{ ბრ/წთ}$	1.0871	1.1483	1.0707

როგორც ვხედავთ  $\eta_{ორი ბრ.} / \eta_{ერთი ბრ.}$  შეფარდების მნიშვნელობები დამოკიდებულია, როგორც ხრახნებს შორის მანძილზე, ასევე მათ ბრუნთა რიცხვებზე. მეტი თვალსაჩინოებისთვის შესაძლებელია ეს მონაცემები წარმოვადგინოთ 3D გრაფიკის სახით, რომელიც გამოსახულია სურ. 5-ზე. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებიდან ჩანს, რომ მექანიზმის მაქსიმალური ეფექტურობა მიიღწევა  $n = 6000 \text{ ბრ/წთ}$  და  $d = 50 \text{ მმ}$  დროს და შეადგენს  $\eta_{ორი ბრ.} / \eta_{ერთი ბრ.} = 1,5161$ .



სურ. 5  $\eta_{ორი ბრ.} / \eta_{ერთი ბრ.}$  დამოკიდებულება ხრახნებს შორის მანძილზე და ბრუნთა რიცხვებზე

### 3. დასკვნები

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით მიღებული შედეგები გამოსახავს კანონზომიერებას საჰაერო ხრახნების ისეთ მახასიათებლებს შორის, როგორცაა: ბრუნთა რიცხვები, მათ შორის მანძილი და მიღებული წევის ძალა. ამწევი ძალის კოეფიციენტის ხრახნებს შორის მანძილებზე დამოკიდებულება თეორიულად აპროქსიმირდა მეორე რიგის პოლინომზე. ხრახნებს შორის ფიქსირებული დაშორების დროს აღნიშნული კოეფიციენტი ბრუნთა რიცხვების ზრდასთან ერთად შეიმჩნევა მცირედით ზრდის ტენდენცია.

კვლევის პროცესში შეფასდა საკვლევი მექანიზმის ეფექტურობა, რაც გულისხმობს განსხვავებას სასარგებლო სიმძლავრეებს შორის ერთეულ დახარჯულ სიმძლავრეზე, ერთხრახნიანი და ორხრახნიანი სისტემების მუშაობის დროს. კვლევების შედეგების

თვალსაჩინოებისთვის მიღებული მონაცემები წარმოდგენილია 3D გრაფიკის სახით. გამოვლინდა, რომ ჩატარებული ექსპერიმენტის ფარგლებში მექანიზმის ეფექტურობის მაქსიმალური მაჩვენებელი  $\eta_{ორი ხრ.} / \eta_{ერთი ხრ.} = 1,5161$ , რაც რეალურად გამოკვეთავს ორ ხრახნიანი სისტემის ეფექტურობას ენერგეტიკული თვალსაზრისით.

### მადლიერება

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით, მაგისტრანტთა სამეცნიერო კვლევითი გრანტის ფარგლებში. პროექტის შიფრი: [MR-23-111].

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - LONGFEI ZHAO, SERGEY SHKARAYEV, Characterization of ducted contra-rotating propeller propulsions // International Journal of Micro Air Vehicles Volume 11: 1–12, DOI:10.1177/1756829319837661
- [2] - A. FILIPPONE, Historical development of the coaxial contra-rotating propeller // The Aeronautical Journal, DOI:10.1017/aer.2022.92;
- [3] - SU XINBING, JIANG WEN, ZHAO XIWEI AND ZHANG JUNYI, Research on Aerodynamic Characteristics of Forward-swept Wing with Inclined Basic Airfoil // Journal of Physics: Conference Series, DOI:10.1088/1742-6596/1605/1/012075;
- [4] - CARSON B.H. Fuel efficiency of small aircraft // Proc. of the Aircraft Systems Meeting Anaheim, Aug. 4–6, 1980, California. AIAA Paper AIAA-80-1847. 279 p;
- [5] - A. MAISURADZE, Aviation Gas turbine Engines // Tbilisi 2017, ISBN 978-9941-9533-2-3.

## Study of the Characteristics of a Coaxial Screw System Placed Within a Guiding Tube

Sergo Tepnadze<sup>1</sup>, Vazha Kelikhashvili<sup>2</sup>, Bidzina Abesadze<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Georgian Aviation University

Tbilisi, Ketevan Dedoplis Avenue № 16, 0103 Georgia

### Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are rapidly and significantly evolving in the modern world from a technical perspective. Therefore, it is critically important for the development of their propulsion systems to align with the overall system design, as engines are the primary structural component of any aircraft. This study examines a coaxial screw system placed within a guiding tube that features two independent shafts, differing from traditional and existing coaxial screw systems. During the research, a test rig was designed and constructed, with its schematic shown in Fig. 3. Tests were conducted on this rig, and based on the results, conclusions were drawn regarding the operational regimes in which the coaxial screw system within the tube is most effective. These conclusions and results provide insights into the critical aspects that must be considered for maximizing the positive effects of the propulsion system when applying the coaxial screw system in various aircraft.



## ხმოვანი რადიომაუწყებლობის სერვისიდან (87.5-108 MHz) გენერირებული ინტერმოდულაციური სიგნალების ზემოქმედების გავლენის კვლევა საჰაერო ხომალდის აერონავტიკულ ILS რადიოსანავიგაციო მიმღებზე

თ. ქორთუა<sup>1</sup>, რ. კუჭუხიძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი,  
ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი

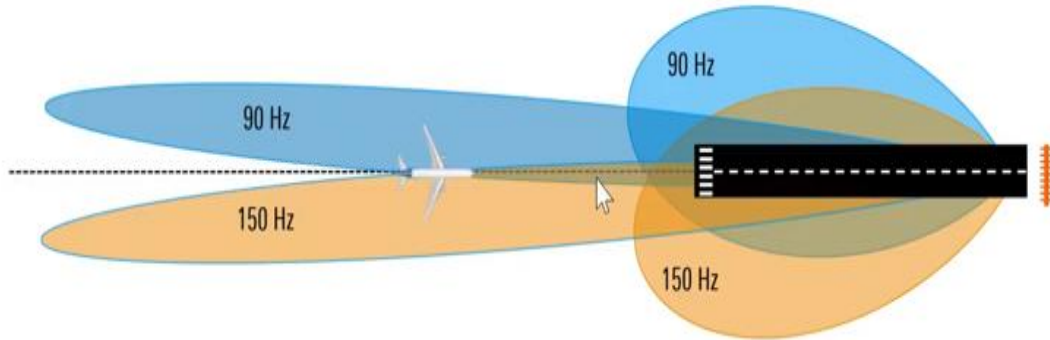
**რეზიუმე:** ჩვენი კვლევა ეფუძნება სატესტო პროცედურებს საავიაციო მიმღების მახასიათებლების გასაზომად, რომლებიც გამოიყენება ინტერმოდულაციური დამახინჯების დასადგენად, ისინი გენერირდება სამაუწყებლო რადიო გადამცემებიდან სიხშირულ დიაპაზონში 87-108 MHz და წარმოქმნის ელექტრომაგნიტურ ხელშეშლებს, ეს ხელშეშლები ზემოქმედებს აერონავტიკულ სერვისებზე 108-118 MHz რადიოსიხშირულ ზოლში. გაანალიზებულია თუ როგორ გავლენას ახდენს ამ სისტემებზე ელექტრომაგნიტური ხელშეშლები, რომლებიც გენერირდება სხვადასხვა წყაროებიდან, მათ შორის FM სამაუწყებლო რადიოსერვისიდან. ეს ხელშეშლები, ქმნიან ინტერმოდულაციურ პროდუქტს ILS - ის (108-112 MHz) სიხშირულ ზოლში, მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯების სახით, რომელმაც აღნიშნულ სიხშირულ ზოლში შეიძლება გამოიწვიოს სანავიგაციო მიმღებში ცრუ გადახრის სიგნალი. ამ ვითარებაში თვითმფრინავმა შესაძლოა მიიღოს არასწორი სახელმძღვანელო სიგნალები, რაც პილოტს აფიქრებინებს, რომ ხომალდი მდებარეობს მარცხნივ ან მარჯვნივ დასაფრენი ზოლის ცენტრალური ხაზიდან. ამ კატეგორიის სიგნალების მიღებამ შეიძლება შეცდომით მონიშნოს კურსის გადახრა ან გამოიწვიოს სიგნალის სრული დაკარგვა რაც გამოიწვევს დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში თვითმფრინავის დეზორიენტაციას.

**საკვანძო სიტყვები:** ავიაცია; ელექტრო-მაგნიტური ხელშეშლა (EMI); ინტერმოდულაცია; რადიონავიგაცია; ხელსაწყობით დაფრენის სისტემა (ILS); კურსიდან გადახრის მანიშნებელი (CDI); სხვაობა მოდულაციის სიღრმეებს შორის.

### სახელსაწყო დაფრენის სისტემის (ILS) მოკლე აღწერა

სახელსაწყო დაფრენის სისტემა (ILS) არის ზუსტი რადიოსანავიგაციო სისტემა, რომელიც მფრინავს ნებისმიერ მეტეოროლოგიურ პირობებში აწვდის ზუსტ სანავიგაციო ინფორმაციას, თუ სად იმყოფება საჰაერო ხომალდი ასაფრენ-დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში. სახელსაწყო დაფრენის სისტემა აგზავნის სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს, რომლებსაც იღებს საჰაერო ხომალდზე განთავსებული რადიოსანავიგაციო მიმღები. ის ჯერ ახდენს შემოსული სიგნალების დემოდულაციას, იღებს 150 და 90 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს და ახდენს მათ შედარებას. სისტემა წარმოქმნის ელექტრულ ძაბვას ამ შედარების საფუძველზე, რომელიც აკონტროლებს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის გადახრას, რომლითაც ხელმძღვანელობს მფრინავი. [1,2] მთავარი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს თვითმფრინავის პოზიციას ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრალურ ხაზთან მიმართებაში, არის მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა (DDM). მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა (DDM) წარმოადგენს განსხვავებას ორი

ტონალური სიგნალის (90 ჰც და 150 ჰც) მოდულაციის სიღრმეებში. როდესაც თვითმფრინავი იდეალურად არის გასწორებული ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრალურ ხაზთან, მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა ნულის ტოლია. [3,4]. (სურ. 1).



სურ. 1 150 Hz და 90 Hz სანავიგაციო ტონალური სიგნალები იგზავნიან საკურსო რადიოშუქურის გადამცემიდან

### დაფრენის სისტემის საკურსო რადიო შუქურის კონცეპტუალური მოდელი

სახელსაწყო დაფრენის სისტემის გადამცემი იყენებს ამპლიტუდური მოდულაციის DSB-SC (სიგნალი ორმაგი გვერდითი ზოლით და ჩახშობილი გადამტანით) მეთოდს, CSB (გვერდითი ზოლები და გადამტანი) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალების გამოყენებით. გადამცემიდან გაგზავნილ სიგნალს იღებს საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღები.

CSB-ს (გადამტანი-გვერდითი ზოლით) და SBO-ს (მხოლოდ გვერდითი ზოლი) მოდულაციის განმარტება სახელსაწყო დაფრენის სისტემაში (ILS).

ხელსაწყო დაფრენის სისტემა (ILS) იყენებს CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) ტექნიკას. CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) სიგნალი არის ამპლიტუდურად მოდულირებული სიგნალი, რომელიც შედგება 90 და 150 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალებისგან. ეს ტონალური სიგნალები ნაწილდებიან ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრის ორივე მხარეს და სწორედ მათი მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობით, განისაზღვრება საჰაერო ხომალდის მდებარეობა ასაფრენ-დასაფრენ ბილიკთან მიმართებაში. CSB (სიგნალი გადამტანით და გვერდითი ზოლებით) მათემატიკურად გამოისახება როგორც:

$$S_{CSB}(t) = A_c [1 + m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (1)$$

სადაც:

$A_c$  არის გადამტანი სიგნალის ამპლიტუდა;

$m_1$  და  $m_2$  არიან ამ ორი მამოდულირებული სიგნალის მოდულაციის სიღრმეები;

$f_{90}$  და  $f_{150}$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების სიხშირეები;  
 $f_c$  არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

სიგნალი მხოლოდ გვერდითი ზოლებით (SBO) არის სიგნალი, სადაც სანავიგაციო ტონალური სიგნალები მოდულაციისას იყენებენ მხოლოდ გვერდით ზოლებს, ხოლო გადამტანი არის ჩახშობილი. მათემატიკურად გამოისახება როგორც:

$$S_{SBO}(t) = A_s[m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (2)$$

სადაც:

$A_s$  არის გვერდითი ზოლების ამპლიტუდა;  
 $m_1$  და  $m_2$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების მოდულაციის სიღრმეები;  
 $f_{90}$  და  $f_{150}$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების სიხშირეები;  
 $f_c$  არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

### კომბინირებული სიგნალი (CSB + SBO):

კომბინირებული სიგნალი, რომელიც მიიღება საბორტო მიმღების მიერ, არის CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალების ჯამი:

$$s_{total}(t) = s_{CSB}(t) + s_{SBO}(t) \\ s_{total}(t) = [(A_{CSB1} + A_{SBO1}) \cos(2\pi \cdot 90t) + (A_{CSB2} + A_{SBO2}) \cos(2\pi \cdot 150t)] \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

საკურსო რადიოშუქურის ცენტრალურ ხაზზე ვრცელდება მხოლოდ CSB (გადამტანით და გვერდითი ზოლებით) სიგნალი, სადაც 150 და 90 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს აქვთ თანაბარი ენერჯია, და კურსიდან გადახრის მაჩვენებელიც, თუ იღებს მხოლოდ ამ სიგნალებს, ასევე თანაბარი ენერჯიით არის გაცენტრებული.

SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალში სანავიგაციო ტონალური სიგნალები ერთმანეთის მიმართ არიან საპირისპირო ფაზაში: მარჯვენა მხარეს 150 ჰც იანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი და CSB სიგნალის 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალები არიან ფაზაში, ამიტომ ისინი დაჯამდებიან და ამ მხარეს დარჩება უფრო ძლიერი 150 ჰერციანი სიგნალი, ხოლო 90 ჰერციან სიგნალებს ექნებათ საპირისპირო ფაზურობა. მეორე მხარეს კი 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს ექნებათ საპირისპირო ფაზურობა, ხოლო 90 ჰერციანი სიგნალები იქნებიან ფაზაში.

### ჯამისა და სხვაობის ტექნიკა

მიმღები მდებარეობის განსაზღვრისათვის იყენებს ჯამისა და სხვაობის ტექნიკას. F1 და F2 არიან 150 და 90 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალების მნიშვნელობები. m და n არიან ფაქტორები, რომლებიც დამოკიდებულნი არიან გადამცემის სიმძლავრეზე და ანტენის მომატებაზე, ჩვენ შეგვიძლია ჩავწეროთ სიგნალები შემდეგნაირად: CSB=m(f1+f2) და SBO=n(f1-f2), სანამ f1 იქნება უფრო დიდი ვიდრე f2, 90 ჰერციანი სიგნალი იქნება უფრო ძლიერი ამ წერტილში.

$$CSB = m(f1 + f2)SBO = n(f1 - f2)$$

დაჯამებისას

$$\begin{aligned} CSBB + SBO &= m(f_1 + f_2) + n(f_1 - f_2) \\ CSBB + SBO &= mf_1 + mf_2 + nf_1 - nf_2 \\ CSBB + SBO &= (m + n)f_1 + (m - n)f_2 \end{aligned}$$

$$f_1 \text{ არის უფრო ძლიერი} \quad f_1 > f_2. \quad (5)$$

სხვაობის შემთხვევაში,  $f_1 < f_2$  -ზე, რაც ნიშნავს, რომ ცენტრალური ხაზის მარჯვენა მხარეს დომინირებს 150 ჰერციანი სიგნალი.

$$CSB = m(f_1 + f_2) \quad SBO = n(f_1 - f_2)$$

გამოკლებისას

$$\begin{aligned} CSB - SBO &= m(f_1 + f_2) - n(f_1 - f_2) \\ CSB - SBO &= mf_1 + mf_2 - nf_1 + nf_2 \\ CSB - SBO &= (m - n)f_1 + (m + n)f_2 \end{aligned}$$

$$f_1 < f_2 \quad f_2 \text{ არის უფრო ძლიერი} \quad (6)$$

საკურსო რადიო შუქურის შემთხვევაში, ცენტრალური ხაზის მარცხნივ (ქვემოთ) 90 ჰერციანი სიგნალი იქნება უფრო ძლიერი, ხოლო მარცხნივ (ზემოთ) 150 ჰერციანი სიგნალი.

**სცენარები**

მოდულაციის სიღრმებს შორის სხვაობა ანგარიშდება 90 და 150 ჰერციანი სანავიგაციო სიგნალების მოდულაციის სიღრმის გამოყენებით შემდეგი ფორმულით:

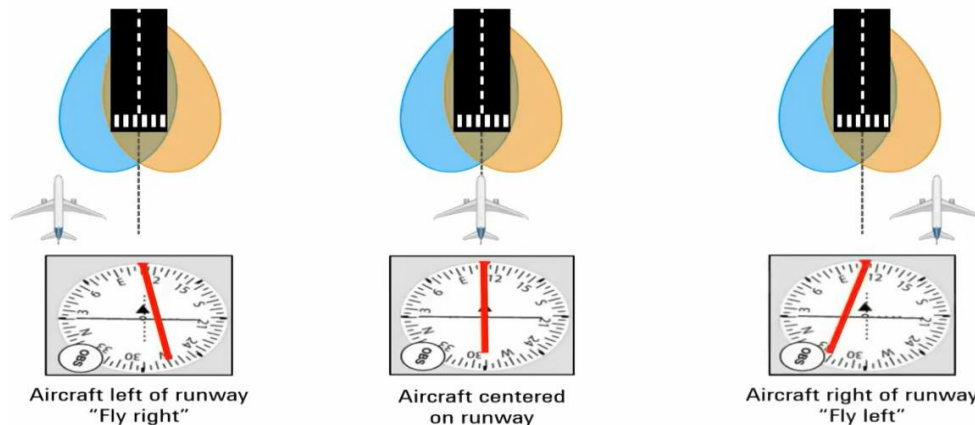
$$DDM = \frac{U_{90 \text{ Hz}} - U_{150 \text{ Hz}}}{U_{90 \text{ Hz}} + U_{150 \text{ Hz}}} \quad (7)$$

როდესაც  $DDM \neq 0$  :

$DDM \neq 0$  საჰაერო ხომალდი არ იმყოფება ცენტრალურ ხაზზე.

თუ  $DDM > 0$ , 90 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი უფრო ძლიერია, და იმყოფება ა.დ.ზ -ის მარცხნივ.

If  $DDM < 0$ , 150 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი უფრო ძლიერია, და იმყოფება ა.დ.ზ -ის მარჯვნივ. (სურ. 2).



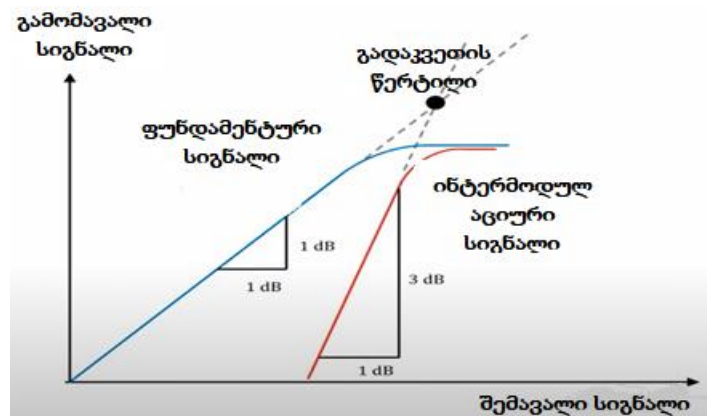
სურ. 2 მფრინავისთვის მიწოდებული სანავიგაციო ინფორმაცია კურსიდან გადახრის მაჩვენებლით

ინტერმოდულაციური დამახინჯება საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღებში

ინტერმოდულაციური დამახინჯება (IMD) არის ხელშემშლის ერთ-ერთი ფორმა, რომელიც წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც სხვადასხვა სიხშირის სიგნალები ერევა მიმღებში და იწვევს მიმღების არაწრფივ მუშაობას, რის შედეგადაც ჩნდება არასასურველი სიგნალები ახალ, ხშირად გაუთვალისწინებელ სიხშირეებზე. საავიაციო მიმღებში, ინტერმოდულაციური დამახინჯება შეიძლება გამოიწვევოს იყოს საავიაციო დიაპაზონის გარეთ არსებული სიგნალებით, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღების არაწრფივი მუშაობა ამ ტიპის ხელშემშლის წარმოქმნისთვის, აუცილებელია ორი ან მეტი სამაუწყებლო სიგნალის არსებობა ასევე ამ სიგნალებს უნდა ჰქონდეთ გარკვეული სიხშირული კავშირი რათა წარმოქმნას ინტერმოდულაციური სიგნალები სანავიგაციო მიმღების სიხსირულ არხში. ერთ-ერთი სიგნალი უნდა იყოს საკმარისად დიდი ამპლიტუდის, რათა მიმღები გადაიყვანოს არაწრფივ გარემოში, თუმცა ჩარევა შეიძლება მოხდეს მაშინაც, თუ სიგნალს მნიშვნელოვნად დაბალი ამპლიტუდის იქნება. [6,7]. სახელსაწყო დაფრენის სისტემის მიმღებისთვის მთავარი პრობლემა არის მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯება, რადგან მესამე რიგის ინტერმოდულაციური პროდუქტი არის ძალიან ახლოს საკურსო რადიო შუქურის სიგნალთან და მიმღებისთვის რთულია ფილტრაციის შესრულება.

მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯება (IMD).

მესამე რიგის ინტერმოდულაციური სიგნალები განსაკუთრებით პრობლემურია, რადგან მისი პროდუქტები უფრო სწრაფი ტემპით იზრდება შემავალ სასურველ სიგნალებთან შედარებით. კერძოდ, თუ სასურველი შემავალი სიგნალი გაიზარდება 1 დბ-ით, მესამე რიგის არასასურველი პროდუქტები გაიზარდება 3 დბ-ით.



სურ. 3. ფუნდამენტური სიგნალის 1dB-ით გაზრდა იწვევს არასასურველი ინტერმოდულაციური სიგნალის ამპლიტუდის 3dB-ით გაზრდას.

ეს მახასიათებელი ხდის მას ჩარევის მნიშვნელოვან წყაროს საბორტო რადიოსანავიგაციო მიმღებებისთვის. მაგალითად, თუ ორი VHF რადიო გადამცემი მუშაობს მიმდებარე სიხშირეებზე, მათი ზემოქმედებით შექმნილი მესამე რიგის პროდუქტი შეიძლება მოხვდეს სახელსაწყო დაფრენის სისტემის სიხშირის დიაპაზონში. ამ ტიპის ხელშეშლამ შეიძლება გამოიწვიოს სახელსაწყო დაფრენის სისტემის რადიო მიმღების არასწორი ფუნქციონირება და მფრინავისთვის შესაბამისად არასწორი სანავიგაციო მითითებების მიწოდება [6, 7, 8, 9].

$$f_{IMD3} = 2f_1 - f_2 \text{ და } f_{IMD3} = 2f_2 - f_1 \quad (8)$$

სადაც:  $f_1$  და  $f_2$  არიან ორი შემავალი სიგნალის სიხშირეები.

მესამე რიგის ინტერმოდულაციის პროდუქტის სიმძლავრე შეიძლება გამოიხატოს როგორც:

$$P_{IMD3} = P_{in} - 2 \cdot (IP3 - P_{in}) \quad (9)$$

$P_{IMD3}$ - არის მესამე რიგის ინტერმოდულაციური პროდუქტის სიმძლავრე და  $P_{in}$ - ფუნდამენტური სასურველი სიგნალის სიმძლავრე.

### CSB და SBO სიგნალებზე ინტერმოდულაციური დამახინჯების ეფექტის ზემოქმედების ანალიტიკური აღწერა

ზემოქმედება CSB სიგნალებზე: როდესაც ინტერმოდულაციური დამახინჯების (IMD) პროდუქტი, რომელიც წარმოქმნილია ახლომდებარე VHF გადამცემიდან, რომელიც განთავსებულია სახელსაწყო დაფრენის სისტემის გადამტანი სიხშირის მახლობლად (დაახლოებით 108,1 MHz), მას შეუძლია შეაფერხოს ამპლიტუდურად მოდულირებული CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლი) სიგნალი. ამ შემთხვევაში მას შეუძლია გამოიწვიოს არასწორი სანავიგაციო ინფორმაცია და სიგნალის ხარისხის დაქვეითება, რაც მიმღებში ართულებს ან შეუძლებელს ხდის 150 და 90 ჰერციანი სიგნალების აღმოჩენას და ამოღებას. თუ IMD პროდუქტი გამოჩნდება 109 MHz-თან ახლოს, მას შეუძლია შემოიტანოს არასასურველი ხმაური ან ტონები,

რომლებიც არღვევს AM დემოდულაციის პროცესს, რის შედეგადაც თვითმფრინავის მიმღები ვერ უზრუნველყოფს ტონალური სანავიგაციო სიგნალების სწორ დემოდულაციას და შეცდომით დაამუშავებს და მიაწვდის მფრინავს სანავიგაციო ინფორმაციას. CSB სიგნალისთვის, მათემატიკურად ინტერმოდულაციური დამახინჯება შეიძლება დაიწეროს როგორც:

$$S_{CSB}(t) = (A_c + \varepsilon' \cos(2\pi f_{IMD}t))[1 + m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (10)$$

სადაც:

1.  $(\varepsilon')$  ეფსილონი არის ინტერმოდულაციური სიგნალის  $f_{IMD}$  ამპლიტუდა, რომელიც ამახინჯებს 90 და 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონებს ;
2.  $A_c$ : არის გადამტანი სიგნალის ამპლიტუდა;
3.  $f_{IMD}$ : ინტერმოდულაციური სიგნალის სიხშირე;
4.  $m_1$  and  $m_2$ : არიან  $f_{90}$  და  $f_{150}$ . ჰერციანი სანავიგაციო სიგნალების მოდულაციის სიღრმეები;
5.  $f_c$ : არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

**ინტერმოდულაციური ზემოქმედება SBO (DSB-SC) სიგნალზე**- SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალი არის უფრო სუსტი ამ ხელშეშლის მიმართ რადგან ჩახშობილია გადამტანი სიხშირე. ნებისმიერმა ინტერმოდულაციურმა პროდუქტმა რომელიც განთავსდება, რომელიც განთავსდება გვერდითი ზოლის სიხშირეებთან ახლოს, შეიძლება გამოიწვიოს ხმაური ან დამახინჯება 90 ჰც/150 ჰც სიგნალების გვერდითა ზოლებში და დაარღვიოს ამ სიგნალებს შორის ამპლიტუდური ბალანსი, რაც გამოიწვევს მიმღების არასწორ ფუნქციონირებასან [10].

SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები)-თვის ინტერმოდულაციური დამახინჯება აღიწერება როგორც:

$$S_{SBO}(t) = (A_s + \varepsilon' \cos(2\pi f_{IMD}t))[m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (11)$$

სადაც:

1.  $\varepsilon'$  სადაც ეფსილონი არის ინტერმოდულაციური სიგნალის ამპლიტუდა SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალში. რადგან SBO სიგნალს აქვს გადამტანი სიხშირე აქვს ჩახშობილი, IMD პირდაპირ გავლენას ახდენს სანავიგაციო ტონალური სიგნალების მოდულაციის სიღრმეების ბალანსზე 90 Hz და 150 Hz ტონებს შორის, რაც ამახინჯებს სივრცით მოდულაციას;
2.  $A_s$ : (მხოლოდ გვერდითი ზოლებით) სიგნალის ამპლიტუდა;
3.  $m_1 \cos(2\pi f_{90}t)$ : წარმოადგენს 90 ჰერციან მამოდულირებელ სიგნალს;
4.  $m_2 \cos(2\pi f_{150}t)$ : წარმოადგენს 150 ჰერციან მამოდულირებელ სიგნალს;
5.  $f_c$  : გადამტანი სიხშირე საკურსო რადიო მუქურისთვის 108.1 MHz - 111.95 MHz სიხშირულ დიაპაზონში.

## ფაზის და ამპლიტუდის დამახინჯება ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შედეგად

თუ IMD პროდუქტი ცვლის 90 ჰც და 150 ჰც სანავიგაციო ტონების ფაზას, ჩვენ შეგვიძლია გამოვსახოთ მთლიანი სიგნალი, როგორც:

$$S_{IMD}(t) = S_{CSB}(t) + S_{SBO}(t), \quad (12)$$

სადაც ფაზაზე და ამპლიტუდაზე ზემოქმედებით აქვს უარყოფითი ეფექტი ამ ორი სანავიგაციო ტონალური სიგნალების შეკრებისა და სხვაობის დროს.

**ფაზაში მყოფი კომპონენტები** (ცენტრალური ხაზის მარჯვენა მხარეს) გავლენას განიცდიან ინტერმოდულაციური პროდუქტებიდან, და თუ ეს არასასურველი ტონები ფაზის გადაადგილებას გამოიწვევენ, ამან შეიძლება გამოიწვიოს არასწორი დამატებითი (საჭიროზე მეტი) მოდულაცია, რაც გამოიწვევს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის არასწორ ჩვენებებს.

**ფაზაში წანაცვლებული კომპონენტები** (ცენტრალური ხაზის მარცხენა მხარეს) ფაზის არასწორი გადაწვლილება გამოიწვევს არასწორ სანავიგაციო მითითებებზე კურსიდან გადახრის მაჩვენებელზე, რადგან სანავიგაციო ტონალური სიგნალები ცენტრალური ხაზის კონკრეტულ მხარეს ემატებიან იქ, სადაც სიგნალები არიან ფაზაში, და უქმდებიან იქ, სადაც აქვთ საპირისპირო ფაზურობა ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შედეგად. თუ მოხდება სანავიგაციო 150 და 90 ჰერციანი სიგნალების ფაზაში გადაადგილება, ეს გამოიწვევს შეცდომებს ჯამისა და სხვაობის შესრულებისას, ასევე შეიძლება არ მოხდეს სიგნალის სწორად გაუქმება იქ, სადაც მათ აქვთ საპირისპირო ფაზა. ამ შემთხვევაში საკურსო რადიო შუქურის სანავიგაციო მითითებები მიმღების მიერ აღიქმება შეცდომით და გამოიწვევს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის არასწორ ჩვენებას. პრაქტიკაში ინტერმოდულაციურ დამახინჯებას რადიოსანავიგაციო მიმღებში შეუძლია გამოიწვიოს:

1. ყალბი გადახრის მითითება ა.დ.ზ -ს მიმართ: თვითმფრინავმა შეიძლება მიიღოს არასწორი სიგნალები, რაც პილოტს აფიქრებინებს, რომ იგი ცენტრალური ხაზის მარცხნივ ან მარჯვნივ იმყოფება, მაშინ, როდესაც ეს ასე არ არის.

2. გამაფრთხილებელი ალმის გააქტიურება:\*\* მიმღებმა შეიძლება გამოიწვიოს გამაფრთხილებელი ალმის გააქტიურება და სიგნალის სრული დაკარგვა, მაშინაც კი, როდესაც გადამცემიდან გამოგზავნილი სიგნალი სწორი და მკაფიოა.

### დასკვნა

კვლევა უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტური ხელშეშლის, მათ შორის ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შეფასებას აერონავტიკული სიხშირის სპექტრში. დატვირთულ აეროპორტებში, სხვადასხვა მაღალი სიმძლავრის გადამცემებმა შეიძლება გამოიწვიოს ინტერმოდულაციური დამახინჯება მრავალი წყაროდან, რაც შესაძლოა გახდეს მიზეზი თვითმფრინავის ორიენტაციის არევის მისი დაფრენის განხორციელებისას



დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში. ეს მიდგომა გვეხმარება იმის დადგენაში, თუ რამდენად კარგად შეუძლია სანავიგაციო სისტემას გაუმკლავდეს ყალბ სიგნალებს. საიდანაც მაღალი სიმძლავრის გადამცემებმა შეიძლება გამოიწვიოს ინტერმოდულაციური დამახინჯება.

### მადლიერება:

კვლევა დაფინანსებულია საქართველოს შოთა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ (SRNSFG) [PHDF-22-3447].

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Boeing. (2022) Statistical summary of commercial jet airplanes: 10- 14. Pp;
- [2] - Zhang X., Luo Z., & Kang G. (2022) Analysis and research on the interference of civil aviation radio navigation equipment. Journal of Physics, 7:. 2-4. Pp;
- [3] - International Telecommunication Union (1995) Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz (Rec. ITU-R SM.1009-1). ITU: 5-14. Pp;
- [4] - Sathaye H. Schepers D., Ranganathan A. & Noubir G. (2019) Wireless Attacks on Aircraft Instrument Landing Systems. In 28th USENIX Security Symposium (USENIX Security 19), August 2019, Santa Clara, CA. USENIX Association. ISBN: 978-1-939133-06-9: 4-7. Pp;
- [5] - McCollum D. M. (1983) Evaluation of instrument landing system DDM calibration accuracies. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Air Force Institute of Technology: 1-126. Pp;
- [6] - International Telecommunication Union (1995) Test procedures for measuring aeronautical receiver characteristics used for determining compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-118 MHz (Rec. ITU-R SM.1140-0). ITU: 1-16. Pp;
- [7] - International Civil Aviation Organization (ICAO) (2008) Assessment of potential interference from FM broadcasting stations into aeronautical VDL Mode 4 systems in the band 112-117.975 MHz. In Aeronautical Communications Panel (ACP) Nineteenth Meeting of Working Group F, Montreal, Canada: 2-13. Pp;
- [8] - Iliev T. B., Stoyanov I. S., Mihaylov G. Y., & Ivanova E. P. (2021). Study the influence of intermodulation products on navigation signals. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1032, 012013: 2-4. Pp;
- [9] - Kortua T., Kutchukhidze R. (2022). Classification of electromagnetic interference impact on VOR, ILS, and GBAS radio navigation systems operating in the VHF band. International Scientific Journal “Airtransport”, 1(16): 2-5. Pp;
- [10] - Leuchter J., & Bloudicek R. (2021). Influence of aircraft power electronics processing on backup VHF radio systems. Electronics, 27: 9-14. Pp.

## **Study of the Impact of Intermodulation Signals Generated by FM Radio Broadcasting Services (87.5-108 MHz) on the Aeronautical ILS Radio Navigation Receivers of Aircraft.**

T. Kortua<sup>1</sup>, Ramin Kutchukhidze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Georgian Aviation University

Tbilisi, Ketevan Dedoplis Avenue № 16, 0103 Georgia

### **Abstract**

Our research is based on test procedures for measuring the characteristics of aviation receivers used to identify intermodulation distortion generated by broadcast radio transmitters in the frequency range of 87-108 MHz. These distortions create electromagnetic interference that affects aeronautical services operating in the 108-118 MHz radio frequency band. The study analyzes how electromagnetic interference from various sources, including FM broadcast radio services, impacts these systems. This interference generates intermodulation products in the ILS (108–112 MHz) frequency band in the form of third-order intermodulation distortion, which may produce a false deflection signal in navigation receivers within this frequency range. Under such circumstances, the aircraft may receive incorrect guidance signals, leading the pilot to believe that the aircraft is positioned either left or right of the runway centerline. Receiving signals of this category could erroneously indicate a course deviation or result in a complete loss of signal, causing disorientation of the aircraft relative to the runway.

## დრონის პრაქტის ფრინველთან შეჯახებისგან დამცავი ბადისა და ფიჭა-კონუსის მასალების კვლევა

ბ. მაზანიშვილი<sup>1</sup>, რ. ხაჩიძე<sup>2</sup>, ნ. ბლიაძე<sup>3</sup>, დ. გვენცაძე<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი,

ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი

<sup>4</sup> რ. აგლაძის არაორგანული და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი

**რეზიუმე:** ფრინველთან შეჯახება სერიოზული საფრთხეა ავიაციის უსაფრთხოებისთვის. ასეთმა შემთხვევებმა შეიძლება გამოიწვიოს საფრენი აპარატის დაზიანება, ძრავის გაჩერება, უარეს შემთხვევაში კატასტროფა. ამიტომ, ამ პრობლემის შესწავლა და პრევენციის მეთოდების შემუშავება ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ავიაციის სფეროში. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სამეცნიერო ცენტრში დამუშავდა დრონებისა და საჰაერო ტექსის პრაქტის ფრინველთან შეჯახებისგან დამცავი ბადეებისა და ფიჭას ტიპის კონუსის კონსტრუქციები. ასეთი შეჯახების შედეგების პრევენციის მიზნით დამცავი ბადეების გამოყენება საპასუხისმგებლო ამოცანაა. იგი მოითხოვს კონსტრუქციული მასალების ყურადღებით შერჩევას და გამოცდას ექსპლუატაციის ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში.

**საკვანძო სიტყვები:** საფრენი აპარატების უსაფრთხოება, დამცავი ბადეები, მაღალი სიმტკიცის ბოჭკოები, დარტყმამდევი პლასტიკები, კარბონის ბოჭკოთი არმირებული პოლიამიდი

### შესავალი

საფრენ აპარატებზე დაყენებული დღემდე ცნობილი დამცავი ბადეები ძირითადად მზადდებოდა მეტალის დაწნული მავთულებისგან, ან მტკიცე მეტალური კონსტრუქციებისგან, რომლებიც შედარებით მძიმეა. ფრინველთან შეჯახებისას მოსალოდნელია მათი ლითონური ნაწილების ძრავში მოხვედრის ალბათობა რაც ძრავისთვის კატასტროფული შეიძლება გახდეს.

მეორეს მხრივ, დღეისათვის მსოფლიოში უკვე არსებობს მაღალი სიმტკიცის პოლიმერული მასალები, რომელთა ბოჭკოებისგან დამზადებული თოკების სიმტკიცე უფრო მეტია იგივე დიამეტრის მეტალის ანალოგებზე. ამავ დროს, ისინი წარმატებით პასუხობს ავიაციის ისეთ მკაცრ მოთხოვნებს როგორცაა საფრენი აპარატების ნაწილების სიმსუბუქე. ისინი 7-8-ჯერ უფრო მსუბუქია, არსებულთან შედარებით, კარგად უძლებენ მათზე მოსულ ხანგრძლივ სტატიკურ და დინამიკურ დატვირთვებს. ასეთივე წარმატებული გამოდგა ახალი, 3D ტექნოლოგიების გამოყენება ავიაციის სფეროში. მნიშვნელოვნად ამაღლდა 3D ბეჭდვისას გამოყენებული პლასტიკურ მასალათა სიმტკიცის მაჩასიათებლები, რისთვისაც არმირების მიზნით მათ ფილამენტებში შეყვანილია მინაბოჭკოს და კარბონის ბოჭკოს ძაფის ნაწილაკები. ძირითადად ფილამენტის მასალად იყენებენ პოლიამიდის, პოლიკარბონატის, ნეილონის და სხვა პლასტიკებს.

## პოლიმერული ბოჭკოს თოკების შერჩევა და დახასიათება

სპეციალური სამეცნიერო-ტექნიკურ ინფორმაციის ბაზაზე დაყრდნობით, დამცავი ბადეების მასალად შეირჩა დღეისათვის მსოფლიოში საყოველთაოდ აღიარებული ულტრა მაღალი სიმტკიცის პოლიმერული ბოჭკოებისგან (მსპ) დამზადებული მრავალწვერა, დაწნული თოკები, რომლებიც თავიანთი მექანიკური მახასიათებლებით მნიშვნელოვნად აღემატება ტრადიციულ მტკიცე პოლიმერული მასალის თოკებს, ლითონის მავთულებს და კაბელებს.

შერჩეული თოკების ჩამონათვალი ასეთია:

- UHMWPE: ულტრა მაღალ მოლუკულური წონის პოლეთილენი;
- Dyneema (DSM-ჰოლანდა) და Spectra (Honeywell-აშშ),
- Zylon (Toyobo MC Corporation, იაპონია),
- VECTAN (Kuraray-იაპონია)
- Kevlar (DuPont-აშშ)

ყველა მათგანი არის მაღალი სიმტკიცის და მსუბუქი წონის სინთეტიკური მასალა, რომლებიც გამოირჩევა განსაკუთრებული მექანიკური თვისებებით. მათი სიმტკიცე, სიმსუბუქე და სხვადასხვა გარემო პირობებისადმი მდგრადობა ამ ბოჭკოებს უნიკალურ მასალებად წარმოაჩენს.

ზემოაღნიშნულ მასალების კვლევისათვის გადაწყდა, რომ შერჩეული თოკების დიამეტრი, ყოფილიყო  $\Phi=1-3$  მმ-ის ფარგლებში, რადგან იგი იმ ოპტიმალური, სასურველი ზომების დიაპაზონშია, რომელიც დადგენილ იქნა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის წინა წლებში სხვადასხვა ბოჭკოებზე ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შედეგად.

ჩვენს მიერ გამოსაცდელად შერჩეული Dyneema-ს თოკის დიამეტრი არის 1,4 მმ, თუმცა ეს არ ნიშნავს თვითონ მრავალბოჭკოიანი დაინამას ძაფებისგან დაწნული თოკის ზუსტ დიამეტრს, არამედ იგი არის ქარხნული მარკირება.

უნდა აღინიშნოს, რომ თოკის სიმტკიცე თითქმის არასოდეს არის მისი ცალკეული ძაფების სიმტკიცეთა ჯამი და ყოველთვის მნიშვნელოვნად ნაკლებია ამ მნიშვნელობაზე, რადგან თოკის დამზადებისას შეუძლებელია დაგრეხვისას ყველა ძაფში ერთნაირი გაჭიმვის მიღწევა. დაგრეხვისას კლებულობს მასალის სიმტკიცის მოდულიც. მსპ-ის თოკების მექანიკური მახასიათებლების ასეთი მნიშვნელოვანი ცვლილება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე:

ქარხანა დამამზადებლის მიერ გამოყენებულ მასალის მარკაზე, სისუფთავესა და დამზადების ტექნოლოგიაზე;

„დენიზე“ და თოკში ძაფების რაოდენობაზე („დენიე“ - სპეციალური ტერმინია ბოჭკოების დასახასიათებლად. დენიე არის ბოჭკოების ან ძაფების წრფივი სიმკვრივის არასისტემური ერთეული, დენ =  $0,05$  გ/450 მ, ანუ მისი დიამეტრი, როცა 1 გრამი მასალა გაჭიმულია 9 კილომეტრზე). რაც უფრო მცირეა ბოჭკოების დიამეტრი მით უფრო მაღალია მათი სიმტკიცე.

მნიშვნელოვანია, თუ რა სახის წნულია გამოყენებული დამზადების პროცესში. მასზე ბევრი რამაა დამოკიდებული, რადგან წნულის ტიპი თოკს სძენს სხვადასხვა მექანიკურ თვისებებს.

თოკს შესაძლოა ჩაწნული ჰქონდეს სხვა ტიპის ერთი ან რამოდენიმე ბოჭკო სხვადასვა მიზნებისთვის, ტექნოლოგიური ან ზოგიერთი თვისების ხაზგასასმელად.

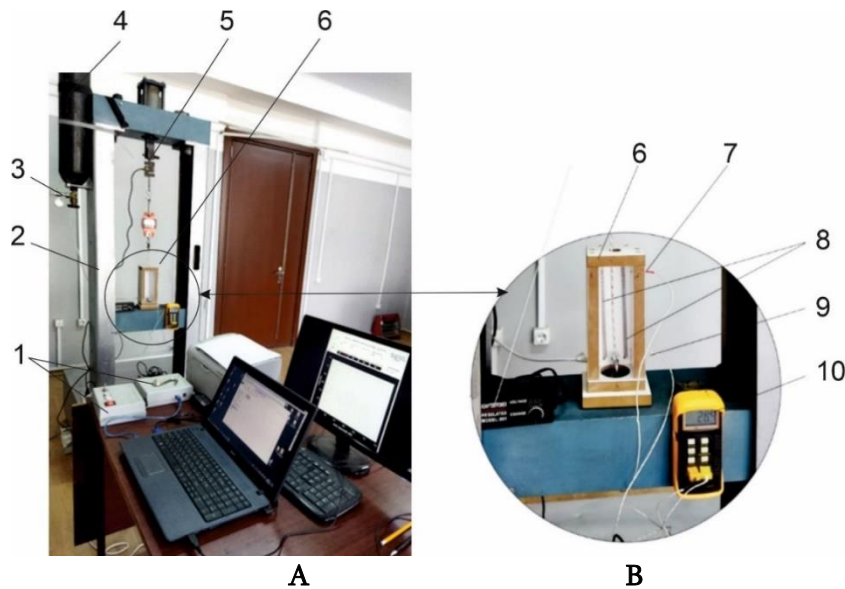
გარედან შესაძლოა ჰქონდეს სხვა მასალის დამცველი ნაქსოვი, გარსაცმი, მაგალითად ანტიფრიქციული ან ულტრაიისფერი სხივებისგან დასაცავად და სხვ.

შესაძლოა თოკი დაფარული ან გაჟღენთილი იყოს სპეციალური დამცავი ნივთიერებით ზოგიერთი თვისების გასაძლიერებლად: მზის ულტრაიისფერი სხივებისგან, ტენიანობისგან, მავნე გარემოსგან, გაცვეთისგან და სხვა მრავალი.

ზოგიერთი ეს ნიშან-თვისება შესაძლოა იყოს ფირმა-დამამზადებლის ტექნოლოგიური Know-how.

პოლიმერული თოკების ნიმუშების სიმტკიცის მახასიათებლების დადგენა უგმ UTM-M-ზე ნორმალურ და ექსტრემალურ პირობებში

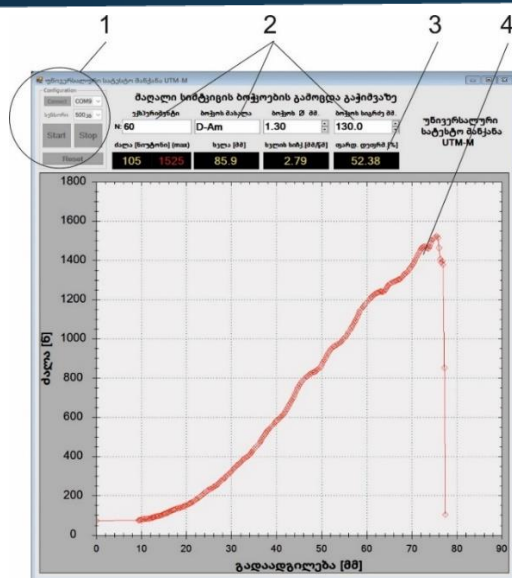
ნორმალურ და ექსტრემალურ ტემპერატურულ გარემოში მაღალი სიმტკიცის ბოჭკოების თოკების გაჭიმვის მახასიათებლების დასადგენად გამოყენებულ იქნა ჩვენს მიერ მოდერნიზებული უნივერსალური გამჭიმავი მანქანა UTM-M, რომელიც სხვადასხვა ტიპის მასალების ფართო სპექტრის გამოსაცდელი სტენდია. მისი პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახ.1-ზე



ნახ. 1: უნივერსალური გამჭიმავი მანქანა (უგმ UTM-M) გამზომი აპარატურით

A- პარამეტრების კომპიუტერული გაზომვის სისტემა და B-გათბობისა და გაცივების თერმო-კრიო კამერა. 1-ნოუტბუქი გაჭიმვის სიჩქარის და ტენზო USB კონტროლერით ; 2- უნივერსალური გამჭიმავი მანქანა; 3-რედუქტორი ონკანით; 4-თხევადი ნახშირორჟანგის ბალონი; 5-დატვირთვის 500 კგ ტენზო სენსორი; 6- თერმო-კრიო კამერა; 7-9-თერმოწყვილები; 8-გამათბობელი ელექტროსპირალები; 10-ორარხიანი თერმოკონტროლერი.

ექსპერიმენტების მაღალი სიზუსტეების უზრუნველსაყოფად შეიქმნა მონაცემთა გაზომვის და შეგროვების კომპიუტერული სისტემა (DAQ).



ნახ. 2: მსკზ გაჭიმვის პარამეტრების კომპიუტერული გაზომვის და შეგროვების სისტემის პროგრამული ინტერფეისი: 1-პროგრამის სტარტის ველები; 2-მონაცემთა ველები; 3-გაზომილ პარამეტრთა ფანჯრები: მყისიერი ძალა, მაქსიმალური ძალა, სვლა [მმ], სვლის სიჩქარე [მმ/წმ], ფარდობითი დეფორმაცია [%]; 4-გაჭიმვის ძალა [ნ]

### გამჭიმავი სტენდის უნივერსალური თერმო-კრიო კამერა

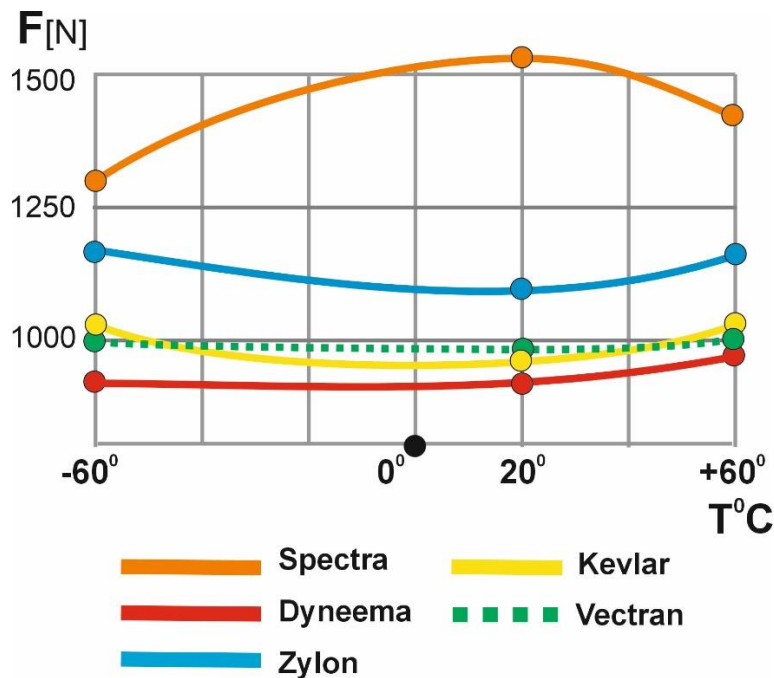
ცნობილია, რომ საფრენი აპარატების ფრენის ექსტრემალური ტემპერატურები იცვლება -60°C-დან +60°C ტემპერატურამდე. შერჩეული მსკზ-ის თოკების ასეთ ექსტრემალურ ტემპერატურულ პირობებში გამოცდების მიზნით უგმ UTM-M-თვის დაპროექტდა, დამზადდა და გამოიცადა სპეციალური თერმო-კრიო კამერა. მასში შესაძლებელია -60°C-დან +60°C-მდე ტემპერატურული დიაპაზონის გარემო პირობების შექმნა და ყველა საჭირო კვლევითი სამუშაოების ჩატარება. მისი საშუალებით რეალურად განხორციელდა საავიაციო ძრავას უცხო სხეულებისაგან, მათ შორის ფრინველებისაგან, დამცავი ბადის ძირითადი მუშა ელემენტის, მაღალი სიმტკიცის მქონე ბოჭკოებისგან დამზადებული თოკების, ექპერიმენტული გამოცდები გაჭიმვაზე.

ნორმალურ პირობებში მსკზ თოკების გამოცდის შედეგებიდან ჩანს, რომ გაჭიმვაზე მსკზ თოკებიდან ყველაზე მეტი სიმტკიცე აქვს Spectra-ს, Dyneema-ს და Zylon-ის ბოჭკოსაგან დამზადებულ თოკებს, მაგრამ 1 კვ. მილიმეტრზე მოსული გაგლეჯვის ძალის სიდიდით თითქმის თანატოლნი არიან იხ. ცხრილი №2

ცხრილი N2

მსპ ბ თოკი	ქარხნის მარკირება Φ [მმ]	რეალუ რი კვეთის ფართი [მმ <sup>2</sup> ]	F <sub>ა.</sub> [კგ]	F <sub>ბ</sub>	სიმტკი ცე გაჭიმ. [GPa]
Zyl on	1.3	1.1	10	1	1.0
Spe ctra	1.3	1.69	53	1	1,1
Dy neema	1.4	0.96	1	9	1,0
Kev lar	1.6	1.26	6	9	0.8
Vec tran	1.6	1,27	7	9	0,8

ქვემოთ ნაჩვენებია, მსპბ-გან დამზადებული თოკების ნორმალურ და ექსტრემალურ ტემპერატურულ პირობებში ჩატარებული ექსპერიმენტების ერთიანი, გამჟღავნებულ მნიშვნელობათა გრაფიკი.



ნახ. 3 მსპბ თოკების დინამას, სპექტრას, კევლარის, ზაილონის და ვექტრანის თოკის გაგლეჯვაზე ნიშნულების სიმტკიცის მახასიათებლები

### შედეგები:

მსპბ-ს თოკების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები და სხვა შესაძლო დამატებითი ფაქტორების ზეგავლენის ანალიზი

სპეციალურ უნივერსალურ გამჭიმავ მანქანაზე გამოიცადა მსოფლიოში დღეისათვის ყველაზე მტკიცე ოთხი სხვადასხვა ტიპის მსპბ მასალისგან (დაინემა, სპექტრა, კველარი, ვექტრანი და ზაილონი) დამზადებული თოკები. აღნიშნული მსპბ თოკები ასევე გამოიცადა საფრენი აპარატების ფრენის რეალურ ექსტრემალურ საექსპლუატაციო პირობებში  $-60^{\circ}\text{C}$ -დან  $+60^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტული გამოცდების შედეგები სპეციალურ გამჭიმავ სტენდზე და ექსტრემალური ტემპერატურის გარემოს შემქმნელ თერმო-კრიო კამერაში აჩვენებს, რომ ზემოთ აღნიშნულ ტემპერატურულ დიაპაზონში ყველა სახის მსპბ თოკი შესანიშნავად მუშაობს და პრაქტიკულად სტაბილურია, მხოლოდ Spectra-ს თოკია, რომელიც ტემპერატურული ცვლილებისას უმნიშვნელოდ იცვლის მექანიკურ მახასიათებლებს.

რაც შეეხება მათ მაქსიმალურ დატვირთვის მახასიათებლებს, აქ ლიდერია სპექტრას, ზაილონისა და დაინემას მსპბ თოკები.

### ტენშემცველობის როლი პოლიმერული თოკების ესტრემალურ პირობებში ექსპლუატაციისას:

**ციკლური გაყინვა-გაღობა:** მუდმივი გაყინვა-გაღობის პროცესი ბოჭკოს სტრუქტურაში მიკროსკოპულ ნაპრალებს გამოიწვევს, რაც დროთა განმავლობაში დაასუსტებს მასალას.

**ზაილონის** მასალისთვის ტენშემცველობა 0.6-3.5% აღწევს, ამის გამო მასში პერიოდულად მოხდება მის შემადგენლობაში შემავალი წყლის ციკლური გაყინვისა და გაღობის მავნე პროცესების ზემოქმედება, რაც უარყოფითად აისახება მის მახასიათებლებზე და მნიშვნელოვნად შეამცირებს მის რესურსს.

მიუხედავად იმისა, რომ Zylon ძალიან მაღალი სიმტკიცის და სითბოსადმი მდგრადი ბოჭკოა, ტენშემცველობა შეიძლება სერიოზული პრობლემა გახდეს ექსტრემალურ ტემპერატურულ და ტენის შემცველ პირობებში გამოყენებისას.

**დაინემას, იზანასის და სპექტრას** შემთხვევაში ტენშემცველობის მახასიათებელი მითითებულია 0.0%, ამიტომ მასში ტენის ზეგავლენა ამ მასალების მექანიკურ მახასიათებლებზე საერთოდ არ აისახება.

რაც შეეხება ვექტრანისა და კველარის მსპბ-ის თოკებს, მათი მახასიათებლები გაჭიმვაზე დაინემასა და სპექტრას თოკებთან შედარებით ისედაც 20-25%-ით მცირეა, ამიტომ დაინემას, იზანასისა და სპექტრას ბოჭკოსგან დამზადებული თოკები **ლიდერები** არიან.

ულტრაიისფერი სხივების ზეგავლენა პოლიმერული თოკების სიმტკიცეზე

**UHMWPE** ბოჭკის მასალები სხვა მასალებთან შედარებით არის უფრო მკვრივი მოლეკულური სტრუქტურის და ნაკლებად მგრძნობიარეა ულტრაიისფერი გამოსხივების მიმართ. მიუხედავად იმისა, ხანგრძლივი და ინტენსიური ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედება მათ სიმტკიცეს ოდნავ მაინც შეამცირებს.

აღნიშნული მასალის თოკების მზის ულტრაიისფერი სხივების მავნე ზემოქმედების დასაცავად გამოიყენება შემდეგი ცნობილი ტექნიკური საშუალებები: მასალის მოდიფიკაციის ულტრაიისფერი **სტაბილიზატორები**, რომლებიც ამცირებენ მასალის მგრძნობელობას მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების მიმართ. **დამატებითი საფარი:** ბადის ზედაპირზე დაიტანება



სპეციალური დამცავი ფენა. ის შეიძლება იყოს ორგანული ან არაორგანული, მაგალითად, PTFE (ტეფლონი).

### დასკვნები:

განალიზდა პოლიმერული თოკების სასტენდო გამოცდების შედეგები, როგორც ნორმალურ, ასევე ექსტრემალურ გარემო პირობებში და ასევე თითქმის ყველა შესაძლო მოქმედი ფაქტორის ზეგავლენა, რამაც შესაძლებელია გამოიწვიოს ამ თოკების მახასიათებლების გაუარესება ექსტრემალურ გარემოში.

მოპოვებულ ინფორმაციაზე და ექსპერიმენტულ შედეგებზე დაყრდნობით შესაძლოა ითქვას, რომ დამცავი ბადის თოკის შერჩეულ საუკეთესო მასალათა შორის ლიდერია UHMWPE ბოჭკოსგან (Dyneema, Spectra, Iznas) დამზადებული თოკები, რადგან ისინი თავისი ტექნიკური პარამეტრებით პასუხობენ მათდამი წაყენებულ თითქმის ყველა მოთხოვნას:

მაღალი მექანიკური მახასიათებლებით იგი ერთ-ერთი საუკეთესო მასალაა დამცავი ბადეების შესაქმნელად. მისი მაღალი გაჭიმვის უნარი საშუალებას აძლევს შთანთქმოს შეჯახების ენერჯის რაღაც ნაწილი და შეამციროს დინამიკური დატვირთვები შეჯახებისას. შეუძლია გაუმკლავდეს სწრაფ დეფორმაციებს მაღალი დატვირთვის დროს;

ერთნაირად კარგად მუშაობს როგორც ნორმალურ ასევე ექსტრემალურ საექსპლუატაციო პირობებში,  $-60^{\circ}\text{C}$ -დან  $+60^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დიაპაზონში;

სხვა მასალებისაგან განსხვავებით, მასში ტენის არარსებობის გამო, გარემოს ექსტრემალურ ტემპერატურულ პირობებში, არ ხდება წყლის ხშირი, ციკლური გაყინვა-გაღობის მავნე ზეგავლენა მის სტრუქტურაზე, რაც გამოც მისი მახასიათებლები საკმაოდ სტაბილურია.

არის უფრო მკვირივი მოლეკულური სტრუქტურის მქონე და ამის გამო ნაკლებად მგრძობიარეა მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების მიმართ.

რადგან მათი დნობის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად მცირეა ( $147^{\circ}\text{C}$ ) და ადვილად იწვის, ბადის დაზიანების ან გაწყვეტის შემთხვევაში, მისი ძრავში მოხვედრა კრიტიკული არ იქნება.

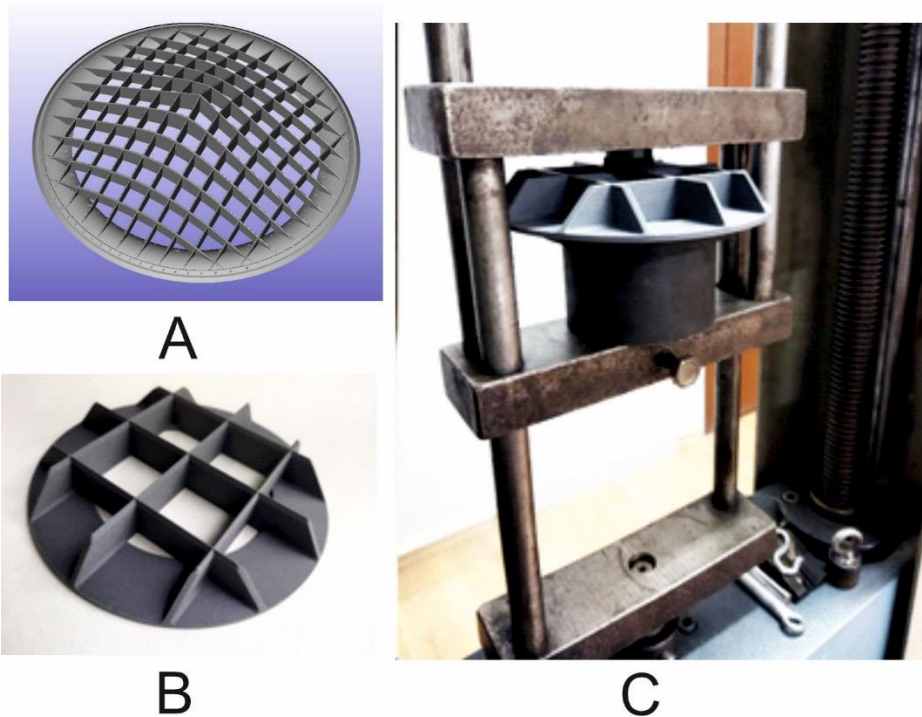
მიღებული შედეგებისა და მათი ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დანამდვილებით ითქვას, რომ მსკბ დაინამას თოკი დამცავი ბადეებისთვის ზუსტად შერჩეული და მის ტექნიკურ მოთხოვნებზე გათვლილი მასალაა, რაც ნამდვილად დადასტურდა ბადეების კვლევის შემდგომი ეტაპის დინამიკური გამოცდებით.

### დრონის ძრავების ფრინველთა შეჯახებისგან დამცავი ფიჭა-კონუსის კონსტრუქციები

ისევე, როგორც დამცავი ბადეებისათვის, დამცავი ფიჭა-კონუსის ფუნქციაა თავის თავზე პირველმა მიიღოს შეჯახება, მოახდინოს ფრინველის სხეულის დაჭრა-დაქუცმაცება, შთანთქმოს 100-200 კმ/სთ სიჩქარით შეჯახებული ფრინველის კინეტიკური ენერჯის გარკვეული ნაწილი. ამით შემცირდება შეჯახებით გამოწვეული ძრავას დაზიანების კრიტიკული შედეგები და შესაბამისად გაიზრდება ფრენის უსაფრთხოება.

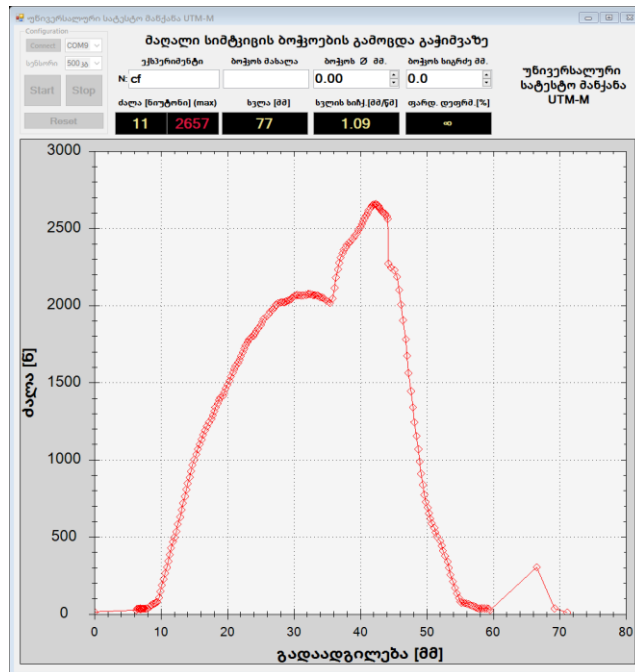
ექსპერიმენტების ჩასატარებლად დაპროექტდა და შერჩეული იქნა დამცავი ფიჭური კონუსის კონსტრუქცია კვადრატული ფორმის ოპტიმალური ზომების 40x40 მმ უჯრებით, კედლის სისქე და სიმაღლე 3x20მმ. აღნიშნული დამცავი კონუსის კუმშვაზე სიმტკიცის მახასიათებლის დასადგენად გამოყენებულ იქნა ჩვენს მიერ მოდერნიზებული უნივერსალური

გამჭიმავი მანქანა UTM-1M, პარამეტრთა კომპიუტერული გაზომვის სისტემით, რომლის ტექნიკური შესაძლებლობები მიმდინარე სტატიაში ზემოთაა მოყვანილი. დამცავი კონუსის 3D ესკიზი, მისი რეალური ზომის გამოსაცდელი ფრაგმენტის და სტენდზე გამოცდის ფოტოები ქვემოთაა წარმოდგენილი ნახ. 4-ზე.



ნახ.4: A-დამცავი ფიჭა კონსტრუქციის კონუსი კვადრატული ფორმის უჯრედებით; B-დამცავი კონუსის რეალური ზომის ფრაგმენტი, C-გამოცდა უნივერსალურ სატესტო დანადგარ UTM-1M -ზე

კუმშვაზე გამოცდის კომპიუტერული გაზომვის შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 5-ზე ნაჩვენებ გრაფიკზე.



ნახ. 5: კარბონის ბოჭკოთი არმირებული პოლიამიდის PA6+CF მასალით დაბეჭდილი, 1:1 მასშტაბის ზომების დამცავი კონუსის ფრაგმენტის გამოცდის კუმშვის მახასიათებელი:  
 $F_{max}=2657$  ნიუტონი

გამოცდის გრაფიკიდან ჩანს, რომ დეფორმაციის ძალის  $F_{max}=2657$  დატვირთვისას უკვე რეალურად დაიწყო ფიჭა კონუსის შესამჩნევი პლასტიკური დეფორმაცია. ეს მნიშვნელობა თითქმის 2-ჯერ მეტია ბადეების მაღალი სიმტკიცის თოკების გაწყვეტისას მიღებულ ძალების მნიშვნელობაზე.

აღმოჩნდა, რომ ასეთი უახლესი, 3D ბეჭდვითი ტექნოლოგიებით და თანამედროვე არმირებული მაღალი სიმტკიცისა და დარტყმითი სიბლანტის მქონე პლასტიკის მასალებით შექმნილი დამცავი კონუსის კონსტრუქციები მტკიცე და საკმაოდ საიმედოა არიან.

დამცავი ბადეებისა და კონუსების ზემოთ განხილული ტექნიკური გადაწყვეტები, ფრინველთა შეჯახებისგან დასაცავად ჩატარებული რეალური დინამიური გამოცდების მერე, წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული დრონებისა და საჰაერო ტექსტების პერსპექტიულ მოდელებში, ფრენის უსაფრთხოების ასამაღლებლად.

## References:

- [1] - Experimental investigation of the influence of dynamic multiaxial transverse loading on ultrahigh molecular weight polyethylene single fiber failure; Frank David Thomas a b, Stephen L. Alexander c, Tusit Weerasooriya d, Subramani Sockalingam a b; Volume 142, March 2021;
- [2] - Statistical dynamic tensile strength of UHMWPE-fibers, Author links open overlay panel Wen Huang, Yang Wang, Yuanming Xia;
- [3] - R.H. Zee *et al.* Energy absorption processes in fibrous composites Mater Sci Engng A (1998);
- [4] - <https://www.kuraray.com/products/vectran> ;
- [5] - <https://www.dupont.com/brands/kevlar.html>;
- [6] - <https://www.dyneema.com/>;
- [7] - <https://advancedmaterials.honeywell.com/us/en/products/spectra-fibers/industrial-grade-fiber/s-1000/spectra-75-denier-s-1000>;
- [8] <https://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4481722d60e54cc3b3c112eb3d4b9d02>;
- [9] - <https://www.toyobo-mc.jp/products/zylon/>;
- [10] - <https://matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=zylon>;
- [11] - <https://www.toyobo-mc.jp/products/izanas/>.

## Research on Materials for Protective Nets and Honeycomb-Cones Shielding Drone Engines from Bird Strikes

B. Mazanishvili<sup>1</sup>, N. Tabatadze<sup>2</sup>, N. Bliadze<sup>3</sup>, D. Gventsadze<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Georgian Aviation University

Tbilisi, Ketevan Dedoplis Avenue № 16, 0103 Georgia

<sup>4</sup>R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry and Electrochemistry

### Abstract

A bird strike poses a serious threat to aviation safety. Such incidents can cause damage to the aircraft, engine failure, or, in the worst-case scenario, a disaster. Therefore, studying this issue and developing prevention methods is one of the most important tasks in the field of aviation. The Scientific Center of the Georgian Aviation University has developed protective nets and honeycomb-type cone structures to shield the engines of drones and air taxis from bird strikes. Using protective nets to prevent the consequences of such collisions is a critical task. It requires the careful selection of construction materials and testing under both normal and extreme operational conditions.

## კომპიუტერული ტექნოლოგიები და მათი გამოყენება საავიაციო სამეცნიერო კვლევებში

დემურ ვეფხვაძე

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

**რეზიუმე:** დღეს თანამედროვე მეცნიერება ვითარდება ინფორმაციის მოცულობის სწრაფი ზრდის, რთული გამოთვლითი ამოცანების და მაღალი სიზუსტის ექსპერიმენტების ჩატარების პირობებში. ასეთ პირობებში კომპიუტერული ტექნოლოგიები გახდა სამეცნიერო კვლევების განუყოფელი ნაწილი, რომელიც ხსნის ახალ ჰორიზონტებს ცოდნის სხვადასხვა სფეროში.

თანამედროვე სამეცნიერო კვლევები წარმოდგენილია კომპიუტერული ტექნოლოგიების გარეშე, რომლებიც გახდა მონაცემების დამუშავების, ანალიზის და ინტერპრეტაციის საფუძველი. გამოთვლითი სიმძლავრეების განვითარებით და ინოვაციური პროგრამული გადაწყვეტებით მეცნიერებმა მიიღეს საშუალება გადაწყვიტონ ურთულესი ამოცანები, რომელთა გადაჭრა ადრე შეუძლებელი იყო. კომპიუტერული ტექნოლოგიები მეცნიერებს უზრუნველყოფენ რთული ამოცანების მოდელირების, დიდი მონაცემების დამუშავების, რუტინული ამოცანების ავტომატიზაციის და ექსპერიმენტების ჩატარების ინსტრუმენტებით ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით. ისინი პოულობს გამოყენებას როგორც ფუნდამენტურ, ისე გამოყენებით კვლევებში.

ნაშრომში განხილულია და ყურადღებაა გამახვილებული კომპიუტერული ტექნოლოგიების განმსაზღვრელ როლზე და მნიშვნელობაზე, როგორც ზოგადად სამეცნიერო კვლევების შემთხვევაში, ისე კერძოდ საავიაციო სფეროში სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების ამოცანების გადაწყვეტის ფართო შესაძლებლობაზე. მოყვანილია სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოს რაციონალური ორგანიზაციის სქემა სისტემური მიდგომის პრინციპების გამოყენებით. მოცემულია კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების ძირითადი მიმართულებები და გადასაწყვეტი ამოცანები. შემოთავაზებულია სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის, როგორც ამ ამოცანების გადაწყვეტის სისტემის ტიპური სტრუქტურა, სტრუქტურში შემავალი თითოეული ბლოკის თუ კომპონენტის ფუნქციური დანიშნულების ანალიზით.

ნაშრომში მნიშვნელოვანი ყურადღება აქვს დათმობილი კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების საკითხს ავიაციაში და მისი როლის ანალიზს საავიაციო კვლევებში. განხილულია მათი გამოყენების საკვანძო სფეროები ავიაციაში, ხაზგასმულია მათი უპირატესობები, შემდგომი განვითარების პერსპექტივები და გავლენა ინოვაციებზე საავიაციო ინდუსტრიაში.

**საკვანძო სიტყვები:** კომპიუტერული ტექნოლოგიები, სამეცნიერო კვლევის ავტომატიზებული სისტემა, საავიაციო სამეცნიერო კვლევა, აეროდინამიკური მოდელირება, ფრენების სიმულაცია, ღრუბლოვანი ტექნოლოგიები.

## ძირითადი ნაწილი

კომპიუტერული ტექნოლოგიები (Computer Technologies) - ეს არის განზოგადებული დასახელება იმ ტექნოლოგიებისა, რომლებიც ახორციელებს ინფორმაციის შენახვას, გადაცემას, დამუშავებას, დაცვას და აღწარმოებას კომპიუტერების დახმარებით. კომპიუტერული ტექნოლოგიების შემადგენლობაში შედის სისტემური და გამოყენებითი პროგრამული საშუალებები, ინფორმაციული ტექნოლოგიების (Information Technologies) ტექნიკური საშუალებები (პერსონალური კომპიუტერები, პერიფერიული მოწყობილობების აუცილებელი ნაკრები - ჩართული ლოკალურ და გლობალურ გამოთვლით ქსელებში) და ორგანიზაციულ - მეთოდური უზრუნველყოფა [7,8].

ამჟამად, სამეცნიერო კვლევების ჩატარებისათვის სპეციალისტების მთელი ძალისხმევა მიმართულია თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების შექმნაზე და მათ გამოყენებაზე [1,2]. კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს განმსაზღვრელი როლი უკავია სამეცნიერო - ტექნიკური პროგრესის განვითარებაში და შესაძლებლობას იძლევა ოპტიმიზირება გაუკეთოს სხვადასხვა ინფორმაციულ პროცესებს სამეცნიერო - კვლევით სამუშაოებში.

კომპიუტერული ტექნოლოგიების ჩართვა სამეცნიერო კვლევების პროცესში ამაღლებს სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების ჩატარების ეფექტურობის დონეს შემდეგი ფაქტორების ხარჯზე:

1. ინფორმაციის წარმოდგენის, დამუშავების, შენახვის და გადაცემის პროცესების გამარტივება და დაჩქარება;
2. ამოცანების გადაწყვეტის სიღრმისეულობის, სიზუსტის და ხარისხის უზრუნველყოფა;
3. ობიექტების სინთეზის დიდი რიცხვის ვარიანტების და გადაწყვეტილების მიღების ანალიზის შესაძლებლობა;
4. სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების დამუშავების ვადების, შრომატევადობის და ღირებულების შემცირება.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნული ნათლად აჩვენებს თუ რა მნიშვნელობას იძენს სამეცნიერო კვლევების წარმართვისათვის კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენება. ამ თვალსაზრისით, მკვლევარებისთვის პრინციპულ მომენტს წარმოადგენს პერსონალური კომპიუტერებისა და ინტერნეტის გამოყენება, რომლებიც მათ საშუალებას აძლევს იქონიონ წვდომა არა მარტო მონაცემთა ბაზებთან, არამედ ექსპერტულ სისტემებთანაც. დღევანდელი კომპიუტერული საკომუნიკაციო სისტემების საშუალებით შესაძლებელია განხორციელდეს ეროვნული და საერთაშორისო საინფორმაციო ბაზების ინტეგრირება და უზრუნველყოფილ იქნეს ცოდნის ახალი დონე მეცნიერების სხვადასხვა სფეროში.

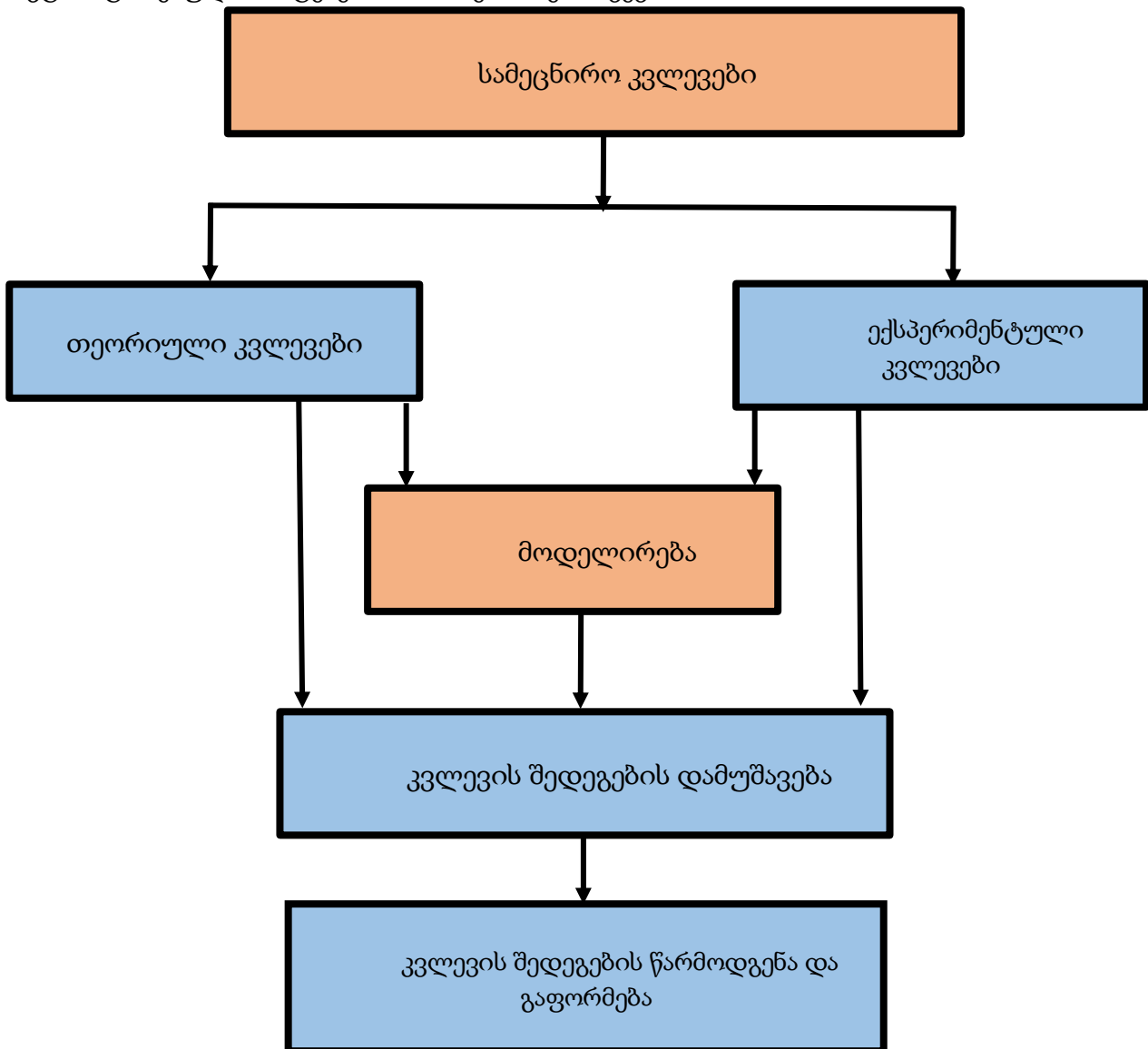
სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოს რაციონალური ორგანიზაცია აიგება სისტემური მიდგომის პრინციპების გამოყენებით, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 1- ზე ნაჩვენები სქემით [8].

სამეცნიერო კვლევის ამოცანებიდან და მათი რეალიზაციის წესრიგიდან გამომდინარე შესაძლებელია განისაზღვროს სამეცნიერო კვლევებში კომპიუტერული ტექნოლოგიების რაციონალური გამოყენების შემდეგი ძირითადი მიმართულებები:

- სამეცნიერო ინფორმაციის შეკრება, შენახვა და გადაცემა;
- სამეცნიერო კვლევის პროგრამების მომზადება;
- მათემატიკური გამოთვლები;
- ინტელექტუალურ - ლოგიკური ამოცანების გადაწყვეტა;

- ობიექტებისა და პროცესების მოდელირება;
- ექსპერიმენტის მართვა;
- ექსპერიმენტული მონაცემების რეგისტრაცია და კომპიუტერში შეტანა;
- ერთგანზომილებიანი და მრავალგანზომილებიანი (გამოსახულებითი) სიგნალების დამუშავება;
- სამეცნიერო კვლევის შედეგების განზოგადება და შეფასება;
- სამეცნიერო კვლევის შედეგების გაფორმება და წარმოდგენა;
- სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების მართვა.

ამ ამოცანების ყველაზე უფრო ეფექტური გადაწყვეტა ხდება სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემების ჩარჩოების შემთხვევაში.



ნახ.1. სამეცნიერო - კვლევითი სამუშაოების რაციონალური ორგანიზაცია სისტემური მიდგომის საფუძველზე



სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემა ეს არის პროგრამულ - აპარატული კომპლექსი გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებების ბაზაზე, რომელიც განკუთვნილია სამეცნიერო ექსპერიმენტების ავტომატიზაციისათვის, კვლევის ობიექტების, მოვლენების და პროცესების მოდელირების განხორციელებისათვის, ახალი ტექნიკის ნიმუშების კომპლექსური გამოცდებისათვის, რომელთა შესწავლა და განხორციელება ტრადიციული საშუალებებით გაძნელებული ან შეუძლებელია [9].

კვლევის ობიექტის, მოვლენის ან პროცესის ურთიერთქმედება სამეცნიერო - კვლევების ავტომატიზებულ სისტემასთან ხორციელდება შეუღლების აპარატურის საშუალებით, რომელიც შედის პროგრამულ - აპარატული კომპლექსის შემადგენლობაში.

კვლევების ჩატარებისათვის რესურსების დიდმა დანახარჯებმა განაპირობა კვლევითი სამუშაოების ეფექტურობის ამაღლების აუცილებლობა. სამეცნიერო კვლევების ეფექტურობის ამაღლება მნიშვნელოვანი ხარისხით დაკავშირებულია კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენების დონესთან.

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემებში კომპიუტერები გამოიყენება საინფორმაციო - საძიებო და ექსპერტულ სისტემებში, ასევე არსებობს შესაძლებლობა მოხდეს შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

- ექსპერიმენტის მართვა;
- ანგარიშების დოკუმენტაციის მომზადება;
- ექსპერიმენტული მონაცემების ბაზის შექმნა და სხვ.

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემების გამოიყენების შედეგად მიიღება შემდეგი დადებითი მომენტები:

- საგრძნობლად მცირდება კვლევების ჩატარების დრო;
- იზრდება მიღებული შედეგების სიზუსტე და უტყუარობა;
- ძლიერდება ექსპერიმენტის მსვლელობისადმი კონტროლი;
- მცირდება ექსპერიმენტში მონაწილეთა რაოდენობა;
- მალდება ექსპერიმენტის ხარისხი და ინფორმაციულობა საკონტროლებელი პარამეტრების რიცხვის გაზრდისა და მონაცემების უფრო სწრაფი დამუშავების გამო;
- ექსპერიმენტის შედეგები გამოიტანება გრაფიკული ან სიმბოლური სახით.

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემების გამოყენება ყველაზე უფრო ეფექტურია მეცნიერების და ტექნიკის ისეთ თანამედროვე სფეროებში, რომლებსაც საქმე აქვთ დიდი მოცულობის ინფორმაციის გამოყენებასთან (კოსმოსური კვლევები, რთული ტექნოლოგიური პროცესების მართვა, ელექტრონიკა, რთული ტექნიკური ობიექტები).

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემების შექმნა განპირობებულია შემდეგი მიზნებით:

- მიღწეულ იქნეს სამეცნიერო - ტექნიკური პროგრესის მაღალი ტემპები;
- ამაღლდეს მათი დახმარებით სამეცნიერო კვლევების ეფექტურობა და ხარისხი კვლევის ობიექტების მათემატიკური მოდელების მიღებისა და დაზუსტების საფუძველზე;
- ამაღლდეს სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემების დახმარებით დამუშავებადი ობიექტების ეფექტურობა, შემცირდეს დანახარჯები მათ შექმნაზე;
- მიღებულ იქნეს ხარისხობრივად ახალი სამეცნიერო შედეგები;

- შემცირდეს ახალი ტექნიკის სამეცნიერო კვლევების და კომპლექსური გამოცდების შრომატევადობა.

ამ მიზნების მიღწევისათვის სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის რეალიზება მოითხოვს:

- სამეცნიერო კვლევების და კომპლექსური გამოცდების პროცესების სისტემატიზაციას და სრულყოფას მათემატიკური მეთოდების და გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენების საფუძველზე;
- სამეცნიერო სამუშაოების კომპლექსურ ავტომატიზაციას;
- სამეცნიერო კვლევების მართვის ხარისხის ამაღლებას;
- სამეცნიერო კვლევების და გამოცდების შედეგების დამუშავების და წარმოდგენის მეთოდების გამოყენებას მათემატიკური მოდელების სახით;
- ნატურალური გამოცდისა და მაკეტირების შეცვლას მათემატიკური მოდელებით.

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის ტიპური სტრუქტურა მოცემულია ნახ.2 - ზე.

სტრუქტურაში შემავალ თითოეულ ბლოკს თუ კომპონენტს აქვს თავისი ფუნქცია, კერძოდ:

**კავშირის ბლოკი** გამოზომი აპარატურიდან მიწოდებულ ინფორმაციას გარდაქმნის საჭირო სახეში.

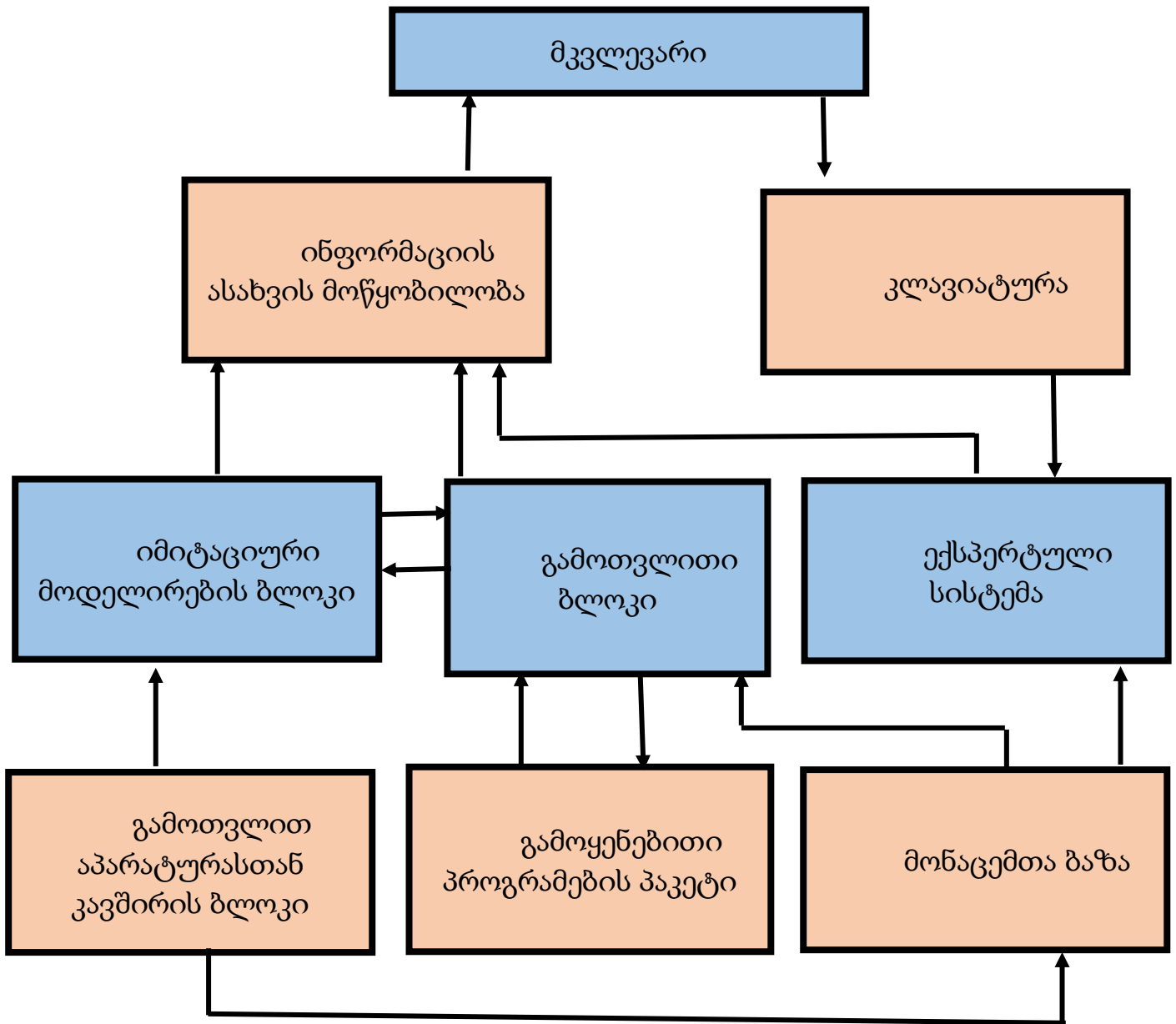
**მონაცემთა ბაზაში** ინახება ინფორმაცია, რომელიც მიწოდებულია გამოზომი აპარატურიდან კავშირის ბლოკის საშუალებით.

**გამოთვლითი ბლოკი** ასრულებს პროგრამებს გამოყენებითი პროგრამების პაკეტიდან, აწარმოებს ყველა მათემატიკურ გამოთვლებს, რომლებზეც შესაძლებელია წარმოიშვას მოთხოვნა სამეცნიერო კვლევის მიმდინარეობის დროს. გამოთვლები შეიძლება სრულდებოდეს, როგორც მკვლევარის მოთხოვნით, ისე იმიტაციური ბლოკით. ამასთან მათემატიკური მოდელების საფუძველზე ხდება გარე გარემოში მიმდინარე პროცესის აღწარმოება.

**ექსპერტული სისტემა** მოდელირებას უკეთებს მოცემულ საგნობრივ სფეროში სპეციალისტების მსჯელობას. მისი დახმარებით მკვლევარს შეუძლია მოახდინოს დაკვირვებადი მოვლენების კლასიფიკაცია და მიმდინარე პროცესების დიაგნოსტიკა.

**სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის** ძირითადი ფუნქცია მდგომარეობს ექსპერიმენტული მონაცემების და სხვა ინფორმაციის ავტომატიზებული დამუშავების გზით სამეცნიერო კვლევების შედეგების მიღებაში, ობიექტების, მოვლენების და პროცესების მოდელების მიღებასა და კვლევაში, ავტომატიზებულ პროცედურებში, ექსპერიმენტის დაგეგმვასა და მართვაში. ავტომატიზებული პროცედურები მდგომარეობს იმაში, რომ ობიექტების, მოვლენების და პროცესების ანალიზი, მათემატიკური მოდელების მიღება და კვლევა ხორციელდება მომხმარებლის ურთიერთქმედების გზით სამეცნიერო კვლევის ავტომატიზებულ სისტემასთან დიალოგის რეჟიმში.

სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის ფუნქციონირებამ უნდა უზრუნველყოს სათანადო ფორმაში შესრულებული გამოსასვლელი დოკუმენტების მიღება, რომლებიც შეიცავს სამეცნიერო კვლევების ან გამოცდების შედეგებს, ასევე რეკომენდაციებს ამ შედეგების გამოყენებისთვის პროგნოზირების, მართვის ან დაპროექტების დროს.



ნახ.2. სამეცნიერო კვლევების ავტომატიზებული სისტემის ტიპური სტრუქტურა

კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით შესაძლებელია მოხდეს საავიაციო სისტემების უფრო ზუსტი ანალიზი, მოდელირება, დაპროექტება და გამოცდა [3,4,5,6,10].

მათი გამოყენების ძირითადი სფეროებია:

1) კომპიუტერული მოდელირება და სიმულაცია:

კომპიუტერული მოდელირება გამოიყენება:

- მოვლენების კვლევისათვის, რომლებიც ძნელი ან შეუძლებელია შესწავლილ იქნეს ექსპერიმენტულად;

- ვირტუალური ექსპერიმენტის ჩატარებისათვის, რომელიც იძლევა დროისა და რესურსების ეკონომიას.

ამ თვლსაზრისით ავიაციაში აქტუალური და ძალზე ღირებულია აეროდინამიკის, მასალებისა და კონსტრუქციების სიმტკიცეზე ანალიზის და ფრენების სიმულაციის ამოცანების გადაწყვეტა კომპიუტერული მოდელების გამოყენებით.

- აეროდინამიკა: გამოთვლითი ჰიდროდინამიკის CFD (Computational Fluid Dynamics) მეთოდების გამოყენება ჰაერის ნაკადების მოდელებისათვის საჰაერო ხომალდის კონსტრუქციის ელემენტების გარშემო (ირგვლივ). ეს იძლევა საშუალებას მოხდეს ფრთის და ფიუზელაჟის ფორმის ოპტიმიზირება. (გამოთვლითი ჰიდროდინამიკა წარმოადგენს ერთიანი გარემოს მექანიკის ქვენაწილს, რომელიც მოიცავს ფიზიკურ, მათემატიკურ და რიცხვით მეთოდებს ნაკადური პროცესების მახასიათებლების გამოთვლისათვის).

- სიმტკიცეზე ანალიზი: მასალებისა და კონსტრუქციების ქცევის მოდელების დატვირთვების ზემოქმედებისას სასრული ელემენტების მეთოდის FEM (Finite Element Method)

- ის გამოყენებით (სასრული ელემენტების მეთოდი ეს არის ზოგადი რიცხვითი მეთოდი დიფერენციალური და ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნისათვის მათემატიკური მოდელების დროს).

- ფრენების სიმულაცია: ტრენაჟორები პილოტებისთვის და ფრენის დინამიკის მოდელების დროს.

## 2) მონაცემების შეკრება და დამუშავება:

კომპიუტერული ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა:

- მოახდინოს ინფორმაციის ავტომატიზებული შეკრება სენსორების, თანამგზავრების და სხვა მოწყობილობების გამოყენებით და დაამუშაოს დიდი მონაცემები (Big Data) და ჩაატაროს მიწოდებული ინფორმაციის ანალიზი მეტეოროლოგიური პირობების და სხვა ფაქტორების შესახებ საჰაერო ხომალდების ფრენის უსაფრთხოების და ფრენების ეფექტურობის ამაღლებისათვის. (დიდი მონაცემები - სხვადასხვაარი მონაცემები, რომლებიც მიეწოდება ძალზე მაღალი სიჩქარით და რომელთა მოცულობა მუდმივად იზრდება. დიდი მონაცემების დამახასიათებელია სამი ძირითადი თვისება - სხვადასხვაგვარობა, მაღალი სიჩქარე და დიდი მოცულობა).

- მანქანური სწავლება და ხელოვნური ინტელექტი (Machine Learning and Artificial Intelligence) ავარიული სისტემების ავტომატური ანალიზი, მოწყობილობების მტყუნებების პროგნოზირება, ფრენების მარშრუტების ოპტიმიზაცია. (მანქანური სწავლება - ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების კლასი, რომელთა დამახასიათებელი ნიშანია ამოცანის არა პირდაპირ გადაწყვეტა, არამედ სწავლება მსგავსი სიმრავლის ამოცანების გამოყენების ხარჯზე. ხელოვნური ინტელექტი - ინტელექტი დემონსტრირებული კომპიუტერული სისტემებით).

## 3) დაპროექტების ავტომატიზაცია:

- ავტომატიზებული დაპროექტების სისტემა (CAD - Computer - Aided Design). კონსტრუქციის 3D მოდელების დამუშავება, კომპონენტების ინტეგრაცია და აეროდინამიკური მახასიათებლების გაანგარიშება. (ავტომატიზებული დაპროექტების სისტემა წარმოადგენს ორგანიზაციულ - ტექნიკურ სისტემას დაპროექტების პროცესის ავტომატიზაციისათვის).

- პროდუქტების სასიცოცხლო ციკლის მართვის სისტემა (PLM - Product Lifecycle Management) - დაპროექტების, ხარისხის კონტროლის და მონაცემების ინტეგრაციის სამუშაოებზე კოორდინაცია (პროდუქტების სასიცოცხლო ციკლის მართვის სისტემა - ეს არის

ავტომატიზაციის ეფექტურად ურთიერთმოქმედი უბნების ერთობლიობა, რომელიც წარმოიშობა სახვადასხვა სისტემების (CAD / CAE / CAPP / CAM / MPM) გაერთიანების შედეგად.

#### **4) ვირტუალური და დამატებული რეალობა (VR / AR):**

- VR / AR - ის გამოყენება კოკპიტების (საფრენოსნო ეკიპაჟის კაბინა) დამუშავებისა და ტესტირებისათვის, პილოტების და ინჟინრების სწავლება. (VR - Virtual Reality - ვირტუალური რეალობა - ტექნიკური სისტემების მიერ შექმნილი სამყარო რომელიც გადაეცემა ადამიანს მისი გრძნობითი ორგანოების საშუალებით. რეალობის შეგრძნების დამაჯერებელი კომპლექსის შესაქმნელად ვირტუალური რეალობის თვისებების და რეაქციების კომპიუტერული სინთეზი მიმდინარეობს რეალურ დროში. AR - Augmented Reality - დამატებული რეალობა - შედეგი მიღებული მხედველობით არეში ნებისმიერი სენსორული მონაცემების დახმარებით გარემომცველი გარემოს მდგომარეობის და ცვლილების შესახებ ცნობების დამატების მიზნით).

- რთული აეროდინამიკური პროცესების იზუალიზაცია.

#### **5) პროცესების ოპტიმიზაცია:**

- განაწილებული გამოთვლები. სუპერკომპიუტერების და ღრუბლოვანი ტექნოლოგიების გამოყენება რთული გამოთვლებისთვის, ისეთების როგორცაა ტურბულენტობა და ძრავებში წვის პროცესები. (განაწილებული გამოთვლები - მოცულობითი გამოთვლითი ამოცანების გადაწყვეტის ხერხი რამდენიმე კომპიუტერის გამოყენებით, რომლებიც გაერთიანებულია პარალელურ გამოთვლით სისტემაში. ღრუბლოვანი ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა მსოფლიოს ნებისმიერ წერტილში მომხმარებლებმა შეძლონ დაშორებულ მოწყობილობებთან, სერვისებთან, პროგრამებთან და მონაცემებთან წვდომა, რაც აჩქარებს მეცნიერებს შორის საერთაშორისო თანამშრომლობას და იძლევა ახალ შესაძლებლობებს მეტა კვლევებისათვის, მაგალითად, ღრუბლოვანი პლატფორმები Google Drive და Git Hub საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერებმა იმუშაონ ერთობლივად).

- ადიტიური ტექნოლოგიები (Additive Manufacturing) მოდელირება და დეტალების 3D ბეჭდვა მათი საექსპლუატაციო მახასიათებლების გათვალისწინებით. (ადიტიური ტექნოლოგიები - სამგანზომილებიანი ობიექტების, დეტალების ან ნივთების შექმნის მეთოდი მასალის შრეობრივი დამატების გზით. ასეთი სამგანზომილებიანი ან 3D ობიექტები იქმნება 3D პრინტერებით).

#### **6) ავტონომიური სისტემები**

- პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავება უპილოტო საფრენი აპარატებისთვის, ავტოპილოტის, ნავიგაციის და შეჯახების თავიდან აცილების სისტემების ჩათვლით.

- ახალი კონცეპციების კვლევა, ისეთების როგორცაა გუნდური ინტელექტის (Swarm intelligence) ტექნოლოგიები, რომლებიც დაფუძნებულია მრავალი დრონების ურთიერთქმედებებზე (გუნდური ინტელექტი აღწერს დეცენტრალიზებული თვითორგანიზებადი სისტემის კოლექტიურ ქცევას და ხელოვნური ინტელექტის თეორიაში განიხილება როგორც ოპტიმიზაციის მეთოდი).

#### **7) კიბერუსაფრთხოება და ციფრული უსაფრთხოება:**

- საბორტო სისტემების მონაცემების დაცვა, რომლებიც გამორიცხავენ ავიონიკაზე კიბერშეტევებს.

- რისკების ანალიზი და უსაფრთხოების პროტოკოლების დამუშავება საავიაციო ინტელექტუალური სისტემებისთვის.

## **8) ნივთების ინტერნეტი (IoT – Internet of things) და ინტელექტუალური სისტემები:**

- საჰაერო ხომალდების მდგომარეობის მონიტორინგი რეალურ დროში IoT სენსორების გამოყენებით (ინტერნეტ ნივთები - მონაცემების გადაცემის ქსელის კონცეფცია ფიზიკურ ობიექტებს შორის, რომლებიც აღჭურვილია ჩაშენებული საშუალებებით და ტექნოლოგიურობით ერთმანეთთან ან გარე გარემოსთან ურთიერთქმედებისათვის).

- საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების ინტეგრაცია ამინდის პროგნოზირებისა და მარშრუტების ოპტიმიზაციის სისტემებთან.

კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენება საშუალებას იძლევა შეიქმნას უფრო საიმედო უსაფრთხო და ეფექტური საავიაციო სისტემები. თანამედროვე კვლევები აქტიურად იყენებს დისციპლინებს შორის მიდგომას, რომელიც ითვალისწინებს ინჟინრების, პროგრამისტების, მათემატიკის და ფიზიკის სპეციალისტების ერთობლივ მუშაობას.

სამეცნიერო კვლევები ავიაციაში მოიცავს მრავალ ასპექტს, რომლებიც მიმართულია საჰაერო ხომალდების ფრენების უსაფრთხოების, ეფექტურობის და საჰაერო გადაზიდვების ეკონომიურობის ამაღლებისაკენ. ამჟამად აქტიური კვლევები მიმდინარეობს შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

### **1. აეროდინამიკა და აეროდინამიკური მოდელირება**

ა) საჰაერო ნაკადების კვლევა, რაც მიზნად ისახავს საჰაერო ხომალდების ირგვლივ საჰაერო ნაკადების შემოდინების გაუმჯობესების საკითხებს წინააღმდეგობის შემცირებისა და საწვავის ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით;

ბ) საჰაერო ხომალდების ფრთების ახალი კონსტრუქციების დამუშავება, რაც მიზნად ისახავს ფრთებისთვის ინოვაციური ფორმებისა და მასალების გამოყენებას ამწევი ძალის გაუმჯობესებისა და წინააღმდეგობების შემცირებისათვის.

### **2. საავიაციო მასალები**

ა) კომპოზიტური მასალების გამოყენება მიზნად ისახავს საჰაერო ხომალდების კონსტრუქციების მსუბუქი და მტკიცე მასალების დამუშავებას და გამოყენებას, მაგალითად, როგორცაა ნახშირბადოვანი ბოჭკო საჰაერო ხომალდების წონის შემცირებისა და მათი სიმტკიცის ამაღლებისათვის;

ბ) ხდება ახალი ლითონური შენადნობების შესწავლა, რომლებსაც შეეძლება მაღალი ტემპერატურის წნევისადმი მედეგობა, რაც მნიშვნელოვანია საჰაერო ხომალდების ძრავებისთვის.

### **3. ძრავები და ძალური დანადგარები**

ა) ძრავების ეფექტურობის ამაღლება. ამ კუთხით კვლევები მიმდინარეობს უფრო ეფექტური და ეკოლოგიურად სუფთა საავიაციო ძრავების შექმნისათვის;

ბ) საწვავის ალტერნატიული სახეების გამოყენების თვალსაზრისით კვლევები მიდინარეობს ბიოსაწვავის, წყალბადის და ელექტრული ძრავების შექმნისათვის, რათა შემცირებულ იქნეს საწვავის ამოწურვადი სახეებზე დამოკიდებულება.

### **4. ეკოლოგიური მდგრადობა**

ა) გამონახოლქვების შემცირება. ამ მიზნით კვლევები მიმართულია CO<sub>2</sub> გამონახოლქვების შემცირებაზე და სხვა დამაბინძურებელი ნივთიერებების (მაგალითად, როგორცაა NO) ძრავების ოპტიმიზაციისა და საწვავის ახალი სახეების დამუშავების საშუალებით.

ბ) ხმაურის მართვა. მიმდინარეობს კვლევები საჰაერო ხომალდებისგან გამოწვეული ხმაურის დონის შემცირებისათვის სათანადო ტექნოლოგიებისა და პროცედურების დამუშავებით (განსაკუთრებით აფრენის და დაფრენის ეტაპებისთვის).

#### **5. საჰაერო მოძრაობის მართვა**

ა) მართვის ინტეგრირებული სისტემები. კვლევები მიმდინარეობს საჰაერო მოძრაობის მართვის სფეროში საჰაერო მოძრაობის მართვის სხვადასხვა სისტემებს შორის კოორდინაციის გასაუმჯობესებლად საჰაერო ხომალდების ფრენების უსაფრთხოებისა და ეფექტურობის ამაღლებისათვის.

ბ) მონაცემებისა და ანალიტიკის გამოყენება. დიდი მონაცემებისა და ანალიტიკის გამოყენება საჰაერო მოძრაობის პროგნოზირებისა და ოპტიმიზაციისათვის, ტრაფიკისა და მარშრუტიზაციის ჩათვლით.

#### **6. უსაფრთხოება და საიმედოობა**

ა) ავტომატიზაცია და ხელოვნური ინტელექტი: ამ მიმართულებით კვლევისას ხდება ხელოვნური ინტელექტის და მანქანური სწავლების გამოყენება საჰაერო ხომალდების ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირების, მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის სისტემების გაუმჯობესების მიზნით.

ბ) კიბერუსაფრთხოება: მიმდინარეობს კვლევები საავიაციო სისტემების დასაცავად კიბერშეტევების მხრიდან, რაც მიზნად ისახავს უფრო მდგრადი კიბერუსაფრთხო გადაწყვეტების დამუშავებას და დანერგვას.

#### **7. ადამიანური ფაქტორი და სისტემა - ადამიანი - ურთიერთქმედება**

ა) ინტერფეისების გაუმჯობესება. ამ მიმართულებით კვლევების ჩატარება გამიზნულია უფრო ინტუიციური და უსაფრთხო ინტერფეისების დამუშავებისაკენ პილოტებისა და ეკიპაჟებისათვის.

ბ) სწავლება და სიმულატორები. ამ შემთხვევაში კვლევა მიმართულია პილოტირებისა და მიწისზედა პერსონალისათვის სწავლების ახალი მეთოდების და ტრენაჟორების დამუშავებისაკენ.

#### **8. კვანტური კომპიუტერები და ახალი ტექნოლოგიები**

ა) პროცესების ოპტიმიზაცია. კვლევის ეს მიმართულება საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს კვანტური კომპიუტერის შესაძლებლობები სახვადასხვა საავიაციო პროცესების ოპტიმიზაციისათვის, მაგალითად, ისეთების, როგორცაა ფრენების მარშრუტიზაცია და საჰაერო მოძრაობის მართვა.

#### **ბ) მოდელირება და პროგნოზირება**

ამ მიმართულებით კვლევების შემთხვევაში ხდება ახალი ტექნოლოგიების გამოყენება ამინდის პრობების და სხვა ფაქტორების უფრო ზუსტი მოდელირებისა და პროგნოზირებისათვის, რომლებიც გავლენას ახდენს ფრენებზე.

კვლევის ეს მიმართულებები აქტიურად ვითარდება სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტებში, უნივერსიტეტებში და კორპორატიულ ლაბორატორიებში მთელი მსოფლიოს მასშტაბით. ისეთი ორგანიზაციები, როგორებიცაა NASA, ESA, Boeing, Airbus, ასევე ბევრი სხვა აკადემიური დაწესებულებები, დებენ მნიშვნელოვან რესურსებს კვლევებში და ტექნოლოგიების დამუშავებაში საავიაციო ინდუსტრიისათვის.

## დასკვნა

დღეს წარმოდგენილია თანამედროვე სამეცნიერო ამოცანები გადაწყვეტილ იქნეს კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე. კომპიუტერული ტექნოლოგიები შეუცვლელია, როგორც თეორიულ ისე ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების დროს და უზრუნველყოფს სამუშაოების ეფექტურობის ამაღლებას სამეცნიერო კვლევის ყველა ეტაპზე. ნაშრომში საკმაოდ დეტალურადაა განხილული კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების შესაძლებლობები და მაგალითები საავიაციო სფეროს ფართო სპექტრის ამოცანებისათვის. რაც შეეხება პერსპექტივაში კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარებას და უფრო რთული სამეცნიერო პრობლემების გადაწყვეტას, ამ სფეროში მოღვაწე მეცნიერებისა და სპეციალისტების აზრით მიღწეულ იქნება კვანტური გამოთვლების, მომდევნო თაობის ხელოვნური ინტელექტის, ინტერნეტ ნივთების (ითვალისწინებს მილიონობით ჰკვიანი მოწყობილობების ინტეგრაციას ერთ ქსელში), გამოთვლებისთვის ახალი მასალების შექმნის (ახალი ტიპის პროცესორების შექმნა ტოპოლოგიური იზოლატორების ბაზაზე) და ნეირომორფული გამოთვლების საშუალებით ისეთი კომპიუტერების შექმნა, რომლებსაც შეეძლებათ ზერთული ამოცანების გადაწყვეტა და ისეთი მოვლენების და პროცესების მოდელირება, რაც დღეს შეუძლებელია სფეროდ გვეჩვენებოდეს.

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Use of computer in research. <https://mycvcreator.com> (date of access: 16.09.2024);
- [2] - Role of computer in scientific research process. [https://ask.orkg.org > item](https://ask.orkg.org/item) (date of access 10.10.2024);
- [3] - Role of computer applications in science and engineering. <https://www.ijmtst.com> (date of access 16.10.2024);
- [4] - Use of computer in aviation industry. <https://www.linkedin.com> > (date of access 20.10.2024);
- [5] - Digital transformation of airline industry. <https://SienseDirect.com> > (date of access 20.10.2024);
- [6] - The application of internet of Things in air transport. <https://SiensDirect.com> (date of access 24.10.24);
- [7] - Артюшина Л.А., Спирина Т.В. Компьютерные технологии в науке и образовании. – Владимир: Вл.ГУ, 2018. – 228 с;
- [8] - Бай Т.В. компьютерные технологии в науке и образовании. – Челябинск: Урал.ГУ УФК, 2020. – 77 с;
- [9] - Федотова Д.М. Автоматизированные системы научных исследований // Международный студенческий научный вестник. – 2019. - № 6;
- [10] - Варюхина Е.В., Ключков В.В. Интеллектуальные технологии управления в авиации и авиастроении. <https://vspu2024.ipu.ru> > (Дата обращения 26.10.2024).



## Computer Technologies And Their Application In Aviation Scientific Research

Demur Vepkhvadze

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

### Abstract

The article discusses and focuses on the determining role and importance of computer technologies, both in the case of scientific research in general and in the aviation field in particular, on the wide possibilities of solving scientific research tasks. A scheme of rational organization of scientific research work using the principles of a systems approach is presented. The main directions of the use of computer technologies and the tasks to be solved are given. A typical structure of an automated system of scientific research - as a system for solving these tasks - is proposed, with an analysis of the functional purpose of each block or component included in the structure.

The article pays significant attention to the issue of the use of computer technologies in aviation and the analysis of its role in aviation research. The key areas of their use in aviation are discussed, their advantages, prospects for further development and impact on innovations in the aviation industry are emphasized.

**Keywords:** computer technologies, automated system for scientific research, aviation scientific research, aerodynamics and aerodynamic modeling, flight simulation, cloud technologies.