

UDC 591.4:629.7.02

SCOPUS CODE 2202

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-270-275>

მფრინავი არსებებისა და საფრენი აპარატების საფრენოსნო მახასიათებლების მსგავსების ანალიზი

ზურაბ მჭედლიშვილი	საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: zurab.mch@mail.ru
რამინ ზუკაკიშვილი	მექანიკის ინჟინერიისა და სამრეწველო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: ramini.zukakishvili@gmail.com
გიორგი გრათიაშვილი	ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68 ^ა E-mail: g.gratiashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. სანაძე, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: sanadzegivi05@gtu.ge

თ. ჩხაიძე, სტუ-ის სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: t.chxaidze@gtu.ge

ანოტაცია. ადამიანთა უმეტესობას მიაჩნია, რომ ფრინველებისა და თვითმფრინავების, ნემსიყლაპების, ვერტმფრენებისა და დელტაპლანების ფრენები ერთმანეთის მსგავსია. სპეციალისტები კი მათი სერიოზული ანალიზით თითქმის არ არიან დაკავებულნი. ამის მიუხედავად ჰაერფრენის ფუნქციონირების ნიკოლაი ეგორის ძე ჟუკოვსკისა და ოტო ლილიენტალის ნაშრომები იწყებოდა სწორედ

ფრინველების ფრენის შესწავლით. უფრო სწორად, იმის შესწავლით თუ როგორ წარმოიქმნება პლანირებადი ფრთის ამწევი ძალა. ასეთი კვლევების შედეგად 1904 წელს მიიღეს ფრინველის ფრთის მსგავსი საფრენი აპარატების ფრთების ოპტიმალური პროფილები.

საკვანძო სიტყვები: ამწევი ძალა; მასა; პროფილი; ფრინველი; ფრთა.

შესავალი

ასეთ პროფილებს ეწოდება ჟუკოვსკის პროფილები და მათი ამწევი ძალის შეფარდება ჰაერის წინააღობის ძალასთან არის მაქსიმალური, ხოლო ჰაერის წინააღობის ძალა საკმაოდ მცირეა. ისინი მართლაც იდეალურია ფრენის მცირე სიჩქარისათვის (რამდენიმე ათეული მეტრი წამში), რაც ფრინველებისათვისაა დამახასიათებელი და სრულებითაც არ არის ოპტიმალური ზეგერითი სიჩქარით მოძრაობისათვის.

რაც შეეხება მწერებს, მათ ფრთებს არ გააჩნიათ პროფილი და ბრტყელი ფორმა აქვთ. ზოგიერთი სახეობის მწერს (კერძოდ კრაზანასა და ფუტკარს) არა ორი, არამედ ოთხი ფრთა აქვთ.

სრულიად განსხვავებულია აგრეთვე სხვადასხვა საფრენი ობიექტის ფრთების ზომები. მარტო მწერების ფრთების ზომები შეიძლება განსხვავდებოდეს 1000 - ჯერ. დაახლოებით ამდენჯერვე შეიძლება განსხვავდებოდეს ფრინველების (კოლიბრიდან არწივამდე) ფრთების ზომები და სხვადასხვა თვითმფრინავის ფრთების ზომებიც. ყველაზე მცირე მწერებისა და ყველაზე დიდი საფრენი აპარატები ზომების განსხვავებები აღწევს რამდენიმე ასეულ ათასს.

მასშტაბების ასეთი გაბნევის შემთხვევაში სრულიად შესაძლებელია წარმოიშვას რაოდენობიდან ხარისხში გადასვლის ეფექტი. საფრენ მახასიათებლებს შორის არსებული დამოკიდებულებები, რომლებიც გამოსადეგია მცირე მფრინავი ობიექტებისათვის, შეიძლება სრულიად გამოუსადეგარი აღმოჩნდეს დიდი მფრინავი ობიექტებისათვის. აქედან გამომდინარე სრულიად დასაშვებია, რომ აქამდე სწორედ ამიტომ არ ხდებოდა ჰაერზე მძიმე

მფრინავი ობიექტების ერთიანი მსგავსების კრიტერიუმების ძიება. მაგრამ მაინც, რაღაც საერთო აქვთ. როგორც ბუნებრივ, ისე ხელოვნურ მფრინავ ობიექტებს. ესაა პირველ რიგში წონა, შემდეგ კი გარკვეული ტიპის ფრთების აუცილებელი არსებობა, რომლებიც აუცილებლად ხასიათდება მათი გაქანებით ან ფართობით.

ძირითადი ნაწილი

შევვცადოთ შემოვიტანოთ რაღაც მსგავსების კრიტერიუმი, ის აუცილებლად უნდა შეიცავდეს ამ მახასიათებლებს. კერძოდ ასეთ განუზომელ და ფარდობით კრიტერიუმს შეიძლება წარმოადგენდეს დაყვანილი აფრიანობა:

$$K = S^{1/2} / (G/\gamma)^{1/3}, \quad (1)$$

სადაც G არის ობიექტის წონა, S – ფრთების ფართობი, ხოლო γ – აირის სიმკვრივე ბ/სმ^3 . ამ კრიტერიუმის გაანგარიშებამ სხვადასხვა მფრინავი ობიექტისათვის, გვაჩვენა საინტერესო შედეგები. კერძოდ აღმოჩნდა, რომ მფრინავი ობიექტების წონების მთელს დიაპაზონში K კრიტერიუმის მნიშვნელობები მდებარეობს მცირე არეში (ზოლში): პეპლები-სათვის ეს კრიტერიუმი არ აღემატება – 7,2-ს; პლანერების მოდელებისათვის – 9,0-ს; ხოლო პლანერებისათვის – 8,0-ს. ეს ნიშნავს, რომ მიუხედავად ამ ობიექტების წონებს შორის უზარმაზარი განსხვავებებისა (მილიარდჯერ!), მათი აფრიანობების მნიშვნელობებს შორის რაოდენობრივი სხვაობები საკმაოდ მცირეა. ის იცვლება არაუმეტეს 5-ჯერ. ამასთან ერთად აფრიანობის კრიტერიუმების ცვალებადობის არე შეიძლება დაიყოს რამდენიმე უბნად ისე, რომ ყოველი მათგანი ახასიათებდეს სხვადა-

სხვა მფრინავი ობიექტის ფრენის განსაკუთრებულ სტილს.

ისეთ მფრინავ ობიექტებს, რომელთა აფრიანობის კრიტერიუმები მდებარეობს $1,7 \div 3,0$ -მდე დიაპაზონში (ბუზი, ფუტკარი, იხვი და თვითმფრინავი გამანადგურებლები), აქვს ერთი საერთო ნიშანთვისება: მათი ფრენა სწრაფია, ისენი არ იყენებენ ცოვრვით ფრენას და არ ერიდებიან ფრენას ქარის საწინააღმდეგოდ.

მწერებისა და ფრინველების უმეტესობას მცირედან მოზრდილამდე, აგრეთვე თვითმფრინავების (გამანადგურებლების გარდა), აფრიანობის მნიშვნელობები $3,5 - 5,0$ ფარგლებშია. მათი ფრენა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ქარზე და ჰაერის აღმავალ ნაკადებზე. მაგალითად, პლანერების აფრიანობა $K = 4,75$ და უფრო მეტსაც, ნემსიყლაპიებისთვის კი $K = 4,6$, მათ ფრენას ხანდახან აქვს ცოვრვითი ხასიათი. ცოვრვით ფრენას იყენებენ ასევე ყორნები რომელთა $K = 4,3$.

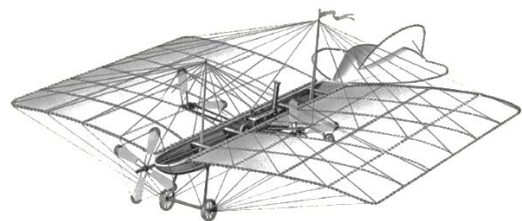
ისეთი ობიექტები რომელთა $K = 5,07,3$ (პეპლები, თოლიები, სვავები, არწივები, პლანერები) დაფრინავენ ძირითადად ცოვრვითი ფრენით და მათი მოძრაობა დამოკიდებულია ქარის მიმართულებასა და სიჩქარეზე.

K -ს ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს პეპლებს, ფრინველებისთვის ის უფრო ნაკლებია, კერძოდ ყველაზე დიდი K -ს მნიშვნელობა აქვს გუგულს $K = 6,6$. ნიშანდობლივია, რომ ტყის ბინადარი ფრინველებისა და მწერების უმეტეს ნაწილს K აქვს გაცილებით დიდი, ვიდრე მათივე წონის ღია სივრცეში ბინადარ მწერებსა და ფრინველებს.

დიდი აფრიანობა აქვს თვითმფრინავების მცირე მფრინავ მოდელებს $K = 9,0$, რომელთა ფრენა მცირე ქარის შემთხვევაშიც რთულდება, ხოლო დიდი ქარის დროს – საერთოდ შეუძლებელია.

ვერტმფრენების აფრიანობის მნიშვნელობა $K = 7,3 - 9,3$, ე.ი. მნიშვნელოვნად დიდი ვიდრე ნებისმიერი ტიპის თვითმფრინავისა და პლანერების. მაგრამ ეს არ ეხება ადრინდელი კონსტრუქციის თვითმფრინავებსა და ვერტმფრენებს, რომლებსაც K -ს მნიშვნელობები აღმოაჩნდათ მნიშვნელოვნად დიდი ვიდრე თანამედროვე თვითმფრინავებს. მაგალითად, მოჟაისკის თვითმფრინავის $K = 19,7$.

ასეთი დიდი აფრიანობის შემთხვევაში თვითმფრინავი შეიძლება გადაყირავდეს მცირე ქარის დროსაც, რაც მოსდიოდა მოჟაისკის თვითმფრინავს (სურ. 1). ამის გამო ის ვერ აფრინდა, ასევე ვერ აფრინდა იურევის ვერტმფრენიც 1913 წელს, რომლის $K = 20$.



სურ. 1

ფრენისათვის გამოდგა ის კონსტრუქციები, რომელთა K იყო მიახლოებული თანამედროვესთან. მათ შორის იყო ოთხძრავიანი სიკორსკის თვითმფრინავი (რუსკი ვიტიაზი) რომელმაც იფრინა 1913 წელს და მისი $K = 6,7$. ამ ავიაკონსტრუქტორის შემდეგი თვითმფრინავი ილია მურომეცი (სურ. 2), აფრინდა 1914 წელს და მისი $K = 6,7$. 1910 წელს შექმნილ დოკუჩევის ბიპლანის $K = 8,3$.



სურ. 2

შეიძლება ითქვას, რომ იმდროინდელი თვითმფრინავებისათვის დამახასიათებელი K -ს მნიშვნელობები დაკავშირებულია თანამედროვე თვითმფრინავებთან შედარებით დაბალ ენერგოშეიარაღებასთან. მიუხედავად იმისა, რომ მომდევნო წლებში უწყვეტად იზრდებოდა მაქსიმალური სიჩქარე, ძრავების კუთრი სიმძლავრე (ერთეულ მასაზე) და ფრთაზე კუთრი დატვირთვა – P/S კმ/გ², ამის შედეგად მცირდებოდა K -ს მნიშვნელობები, რომლებმაც ამ მომენტისათვის უკვე მიაღწიეს ოპტიმალურ მნიშვნელობებს.

შესაძლებელია K -ს დიდი მნიშვნელობების მიღება ფრენის განსაკუთრებული პირობების შემთხვევებში. მაქსიმალური აფრიანობა ($R=20$) აქვს ოთახის მცირე მფრინავ მოდელებს, და რომლებიც მზადდება ზემსუბუქი მასალებისაგან, მათი წონა შეადგენს სულ რამდენიმე გრამს. ღია ცის ქვეშ ასეთი ობიექტების ფრენა შეუძლებელია: მათ ფრენაზე დიდად შეიძლება იმოქმედოს მცირე ნიავემაც კი. მაგალითად, დელტაპლანებისათვის $K = 10$, ხოლო პარაშუტებისათვის $K = 12$. არაა გასაკვირი, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში პარაშუტისტი ჩამოშვების მაგივრად, ამოშვას ნაკადების ზემოქმედებით მაღლა ადის.

პარადოქსულად შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ კოლოს, რომლის სიჩქარეცაა ნახევარი მეტრი წამში მიწასთან ახლოს და ტვირთშიდ თვითმფრინავ ილ 76-ს, რომელიც მიფრინავს 900 კმ/წმ სიჩქარით 12000 მეტრ სიმაღლეზე, დაახლოებით ერთი და იგივე აფრიანობის რიცხვი აქვთ. ზებგერითი თვითმფრინავები ანელეზენ თავის სიჩქარეს მინიმუმამდე იმისათვის, რომ დაეშვან აეროდრომზე, ამ შემთხვევაში K კრიტერიუმში გამოსახავს შეფარდებას საფრენი აპარატის მასასა და მის მიერ ჰაერის ქვემოთ ჩამოტყორცნილ მასას შორის, რომლის ხარჯზეც იქმნება საფრენ აპარატზე მოქმედი ამწევი ძალა. ამ თვალსაზრისით K სიდიდით განისაზღვრება საფრენი აპარატის ხარისხი.

შეიძლება ითქვას, რომ შემოთავაზებული მფრინავი ობიექტების მსგავსების კრიტერიუმში, როგორიცაა აფრიანობა არ არის ერთადერთი შესაძლებელი ვარიანტი. ცოცხალ ბუნებაში ფრენები შეიძლება ხასიათდებოდეს ფრთების ქნევის სიხშირითაც. ცნობილია ასევე, რომ რაც უფრო პატარაა ფრინველი ან მწერი, მით უფრო მეტია ფრთების ქნევის სიხშირე, მაგალითად კოლო ერთ წამში ფრთებს 500-ჯერ აქნევს, ბუზი 140-190-ჯერ, ბელურა-13-ჯერ, ყვავი-4-ჯერ და ა. შ.

შეიძლება ითქვას, რომ ფრთების ქნევის სიხშირე ფრთების გაქანების უკუპროპორციულია.

დასკვნა

ავიაციის ისტორიაში მოიძებნება საკმარისი მაგალითები, როდესაც ადამიანი ფრენის პრობლემის გადაწყვეტას ახდენდა ფრინველების ფრენის მიზამვის გზით. აქვს თუ არა აზრი დღეს, როდესაც

ავიაციაში მიღწეულია კოლოსალური წარმატებები, დავუბრუნდეთ ცოცხალი არსებების ფრენის შესწავლას. საქმე ისაა, რომ ფრინველებისა და სხვა მფრინავი არსებების საფრენი აპარატი უფრო ეკონომიურია ვიდრე თვითმფრინავის, იმიტომ რომ ფრინველის ფრთის მიერ შექმნილი გამწევი ძალა საშუალებას იძლევა უზრუნველყოფილ იქნეს ფრენის უფრო მეტი მარგი ქმედების კოეფიციენტი

თვითმფრინავთან შედარებით. ფრთების ქნევით გამოწვეული ფრენა ძალზე რთული მოვლენაა. მფრინავი არსებების ფრთების დრეკადობა და მასთან დაკავშირებული ჰაერის ნაკადის რხევების გამოყენება ფრენის დროს შეიცავს დამატებით შესაძლებლობებს საფრენი აპარატების საფრენოსნო მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად, რისი ანალიზიც გაკეთებულია მოცემულ ნაშრომში.

ლიტერატურა

1. Tikhonravov, M. K. (1949). *The flight of birds and machines with flapping wings*. Moscow: Oborongiz. (In Russian)
2. Vinogradov, A. N. (1951). *Aerodynamics of soaring birds*. Moscow. (In Russian)
3. Vinokurov, A. A. (1951). *Aerodynamics of soaring birds*. Moscow. (In Russian)
4. Kaznevsky, V. P. (1955). *Aerodynamics in nature and in technology*. Moscow. (In Russian)
5. Krasnov, N. F. (1984). *Aerodynamics in questions and problems*. Moscow: Mashinostroenie. (In Russian)

UDC 591.4:629.7.02

SCOPUS CODE 2202

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-270-275>

Analysis of the Similarities Between the Flight Characteristics of Flying Creatures and Aerial Vehicles

- Zurab Mchedlishvili** Department of Engineering Graphics and Technical Mechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68a, M. Kostava str.
E-mail: zurab.mch@mail.ru
- Ramin Zukakishvili** Department of Mechanical Engineering and Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68a, M. Kostava str.
E-mail: ramini.zukakishvili@gmail.com
- Giorgi Gratiashvili** Institute of Structures, Special Systems and Engineering Maintenance, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^b, M. Kostava str.
E-mail: g.gratiashvili@gtu.ge

Reviewers:

G. Sanadze, Prof. Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: sanadzegivi05@gtu.ge

T. Chkhaidze, Prof. Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: t.chxaidze@gtu.ge

Abstract. Most people shield similar flights of birds and airplanes, dragonflies, helicopters and hang gliders, but specialists have little interest in their serious analysis.

Despite this, the work of the founders of aeronautics Nikolai Yegorovich Zhukovsky and Otto Lilienthal began precisely with the study of bird flights. More precisely, from the study of how the lifting force of the gliding wing arises. More precisely, from the study of how the lifting force of the gliding wing arises. As a result of such work in 1904, they obtained optimal profiles similar to the wings of birds.

Keywords: Bird; Lifting force; Mass; Profile; Wing.

განხილვის თარიღი 14.02.2025

შემოსვლის თარიღი 18.03.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2025