

მიმმართველ მილში მოთავსებული თანალერძული ხრახნების სისტემის მახასიათებლების კვლევა

სერგო ტეფნაძე¹, ვაჟა კელიხაშვილი², ბიძინა აბესაძე³
^{1,2,3}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 ხრახნთა 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 თანალერძული ხრახნის სისტემით

მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეულწილად უკვე შესწავლილია თანალერძული 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, თანალერძული ხრახნების სისტემიდან მეტი სარგებლის მიღება [1].

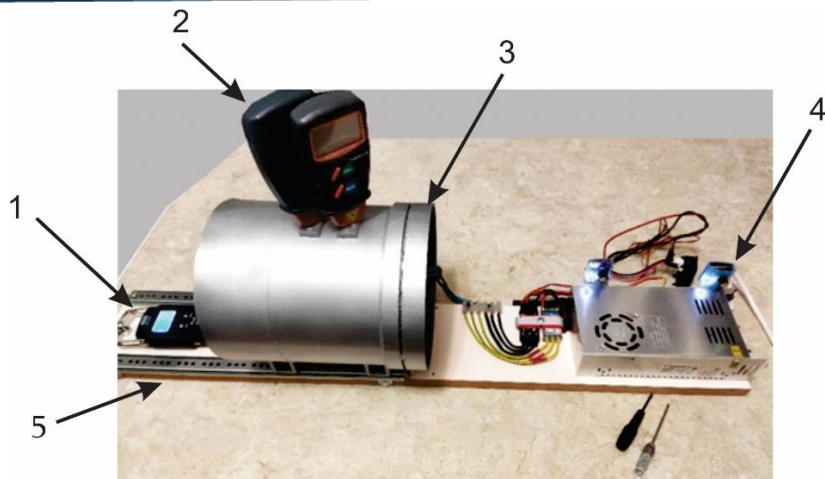
ამრიგად, კვლევის მიზანია მიმართველ მილში მოთავსებული თანალერძული ხრახნების სისტემის მახასიათებლების: წვევის ძალის დამოკიდებულება ხრახნებს შორის მანძილზე და ბრუნთა რიცხვებზე, დანადგარის ეფექტურობა, ზოგადი კანონზომიერებების დადგენა და სხვა მახასიათებლების შესწავლა.

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 თანალერძული 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, $\alpha(d)$ წვევის ძალის კოეფიციენტის d ხრახნებს შორის მანძილზე დამოკიდებულების შესწავლას.

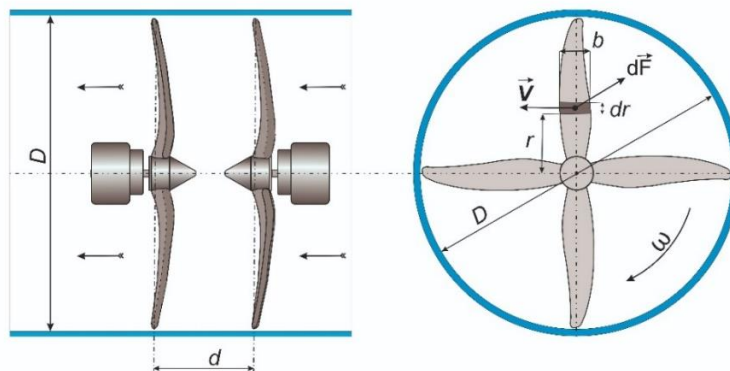


სურ. 2 თანადერძული ხრახნების გამოსაცდელი სტენდი

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 ρ_{\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 თანაღერძული 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.

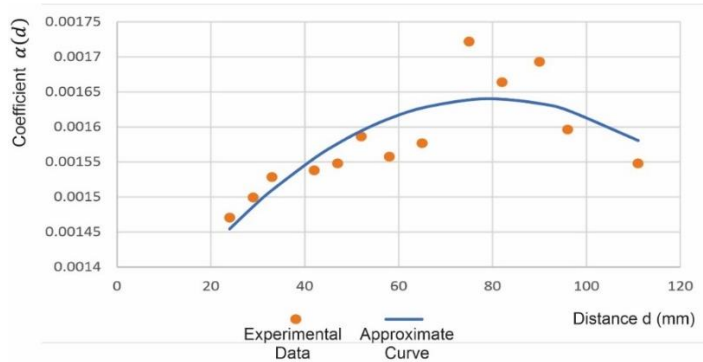
$\alpha(d)$ კოეფიციენტის ხრახნთა შორის მანძილზე დამოკიდებულების შესასწავლად ჩატარდა ექსპერიმენტი. გაზომილი იქნა ძალის მნიშვნელობები კონკრეტული ხრახნთა შორის მანძილებისთვის (13 სხვადასხვა წერტილი). $\alpha(d)$ კოეფიციენტი განისაზღვრა (5) დამოკიდებულებიდან $\alpha(d) = F/(\rho_{\square} \cdot n^2 \cdot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

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
$\rho_{\square} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, d = 35 \text{ მმ}, U_1 = U_2 = 12 \text{ გ}$						
	$F_{\text{ქს}}$ (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
$\rho_{\square} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, d = 50 \text{ მმ}, U_1 = U_2 = 12 \text{ გ}$						
	$F_{\text{ქს}}$ (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 Δt 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 Δt დროში „საქმენიდან“ გამოიტყორცნება Δm მასის მქონე ჰაერის ნაკადი. ჰაერის მასა $\Delta m = \rho_{\text{ჰ}} \cdot \Delta V$, სადაც ΔV 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:

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

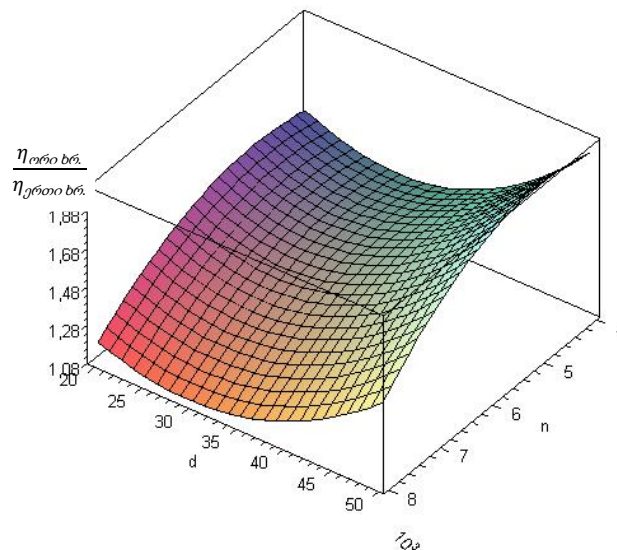
ცხადია (10) ფორმულა გამოსახავს წარმოდგენილი მექანიზმის ეფექტურობას და არა პირდაპირი მნიშვნელობით მარგი ქმედების კოეფიციენტს. მექანიზმის ეფექტურობის უფრო მეტად თვალსაჩინოდ წარმოდგენისთვის, მოსახერხებელია წარმოვადგინოთ შედარება თანაღერძული ორი ხრახნის შემთხვევასა და ერთი ხრახნით წარმოდგენილ მარტივი მექანიზმის 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

$\rho_{\text{ჰ}} = 1.225 \text{ კგ/მ}^3, D = 150 \text{ მმ}, b = 10 \text{ მმ}, N = 2, U_1 = U_2 = 12 \text{ ვ}$			
	$d = 20 \text{ მმ}$	$d = 35 \text{ მმ}$	$d = 50 \text{ მმ}$
$n = 4000 \text{ ბრ/წთ}$	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 Tepnadze¹, Vazha Kelikhashvili², Bidzina Abesadze³

^{1,2,3}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.