საავიაციო აირტურბინული ძრავების დამცავ ბადეზე მოხვედრილი ფრინველების დანაწევრების პირობის თეორიული გამოკვლევა

ა. მაისურაძე[1], ბ. აბესაძე[1], გ. მუშკუდიანი[2]

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

[2]საქართველოს უნივერსიტეტი, 77ა, მ. კოსტავას ქუჩა, თბილისი, 0171, საქართველო

რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილია მეთოდოლოგია, ორი განსხვავებული მიდგომის საფუძველზე, რომელიც განსაზღვრავს პირობებს რა შემთხვევებში მოხდება აირტურბინული ძრავის შემსვლელზე მოთავსებულ დამცავ ბადეზე მოხვედრილი ფრინველების დანაწევრება. იგულისხმება ფრინველის მოხვედრის სიჩქარე, ბადის უჯრედის ზომები, ბადის მავთულის დიამეტრი, ბადის გამძლეობა სიმტკიცეზე და ა. შ. კონკრეტული მაგალითის საფუძველზე განსაზღვრულია აღნიშნული მახასიათებლები. განხილულია ერთმანეთის მიმდევრობით მოთავსებული რამდენიმე ბადის შემთხვევა და მათში ფრინველის სრული დანაწევრების პირობები. შემუშავებულია რეკომენდაციები ასეთი დამცავი მექანიზმების პარამეტრების განსაზღვრის შესახებ.

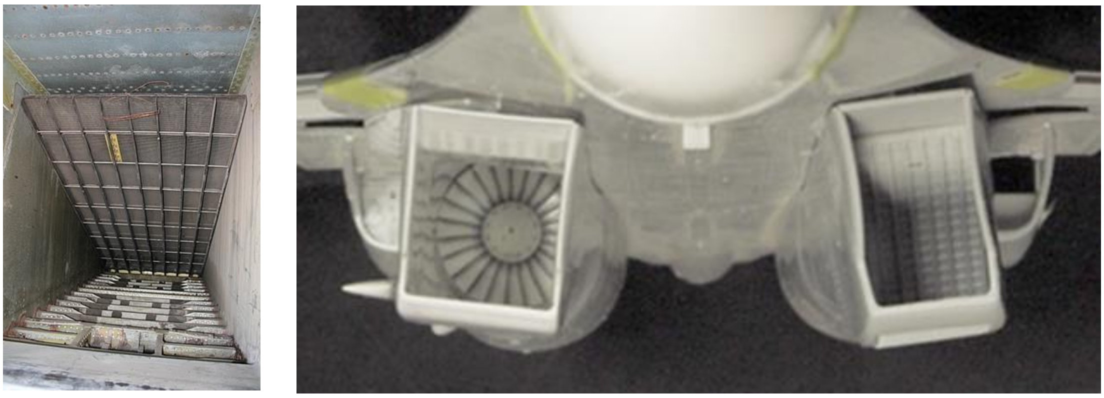
საკვანძო სიტყვები

ფრინველი, დამცავი ბადე, საავიაციო ძრავი, სიჩქარე, დანაწევრება.

შესავალი

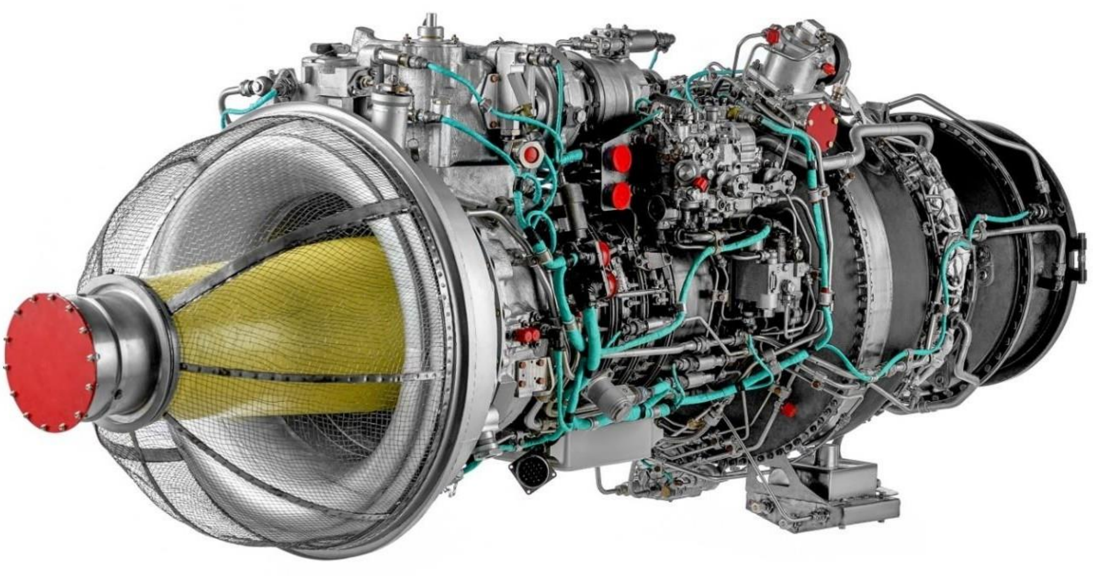
საფრენი აპარატების ექსპლუატაციის პროცესში ერთ-ერთ მთავარ საფრთხეს წარმოადგენს მათ აირტურბინული ძრავებში ფრინველების მოხვედრა, რომელიც ხშირ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად დამაზიანებელ ფაქტორად იქცევა. უმეტეს შემთხვევაში კი საფრენი აპარატების კატასტროფის მიზეზი ხდება. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად ერთ-ერთ მიდგომას წარმოადგენს ძრავის შემსვლელთან დამცავი ბადის დამაგრება, რომელიც გახდება მასზე მოხვედრილი ფრინველის შემაკავებელი ფაქტორი. ფრინველი ან დარჩება ბადეზე ან აისხლიტება მისგან. დაჯახების დიდი სიჩქარის შემთხვევაში შესაძლებელია მოხდეს ბადის გარღვევაც. ამ დროს ფრინველი მნიშვნელოვნად დაკლებული სიჩქარით შევარდება საავიაციო ძრავში და მისი დაზიანების ხარისხი იქნება შედარებით მცირე.

უკვე დიდი ხანია მიმდინარეობს დამცავი ბადეების გამოყენება თანამედროვე საფრენ აპარატებში. ზოგ შემთხვევაში შესაძლებელია დამცავი ბადეების მოძრავი სისტემის დამონტაჟება, რომელიც უზრუნველყოფს, საჭიროებიდან გამომდინარე, ბადის აფარებას ძრავის შემსვლელზე ან მის დაკეცვას. ეს მიდგომა იძლევა შესაძლებლობას მოხდეს აეროდინამიკური წინაღობის შემცირება, ფრენისას, როცა ფრინველებთან შეჯახების საფრთხე აღარ იქნება. მაგალითად გამოდგება რუსული გამანადგურებელი თვითმფრინავის СУ-27-ის ძრავების შემსვლელებთან დამონტაჟებული ასაკეცი დამცავი ბადის არსებობა (იხ სურ. 1).



სურ. 1 რუსული გამანადგურებელი თვითმფრინავი СУ-27, ძრავის ჰაერმიმღებთან ასაკეცი დამცავი ბადით

შედარებით დაბალი სიჩქარეების მქონე საფრენი აპარატებისათვის, ფრინველების შეჯახების სიჩქარეც ასევე დაბალია, თუმცა ძრავის დაზიანების ხარისხი მაინც მნიშვნელოვანია. შესაძლებელია დამცავ ბადეს მიეცეს ისეთი კონფიგურაცია, რომ მოხდეს მოხვედრილი ფრინველის ასხლეტა, ხოლო თვითონ ბადე დამზადდეს მცირე ზომების უჯრედებით და შემავალი მავთულის მცირე დიამეტრით, რაც ერთის მხრივ შეამცირებს აეროდინამიკურ წინაღობას და შემცირდება ასევე ბადის გაგლეჯვის რისკიც. მაგალითისთვის მოვიყვანოთ სურ. 2-ზე გამოსახული ერთ-ერთი ვერტმფრენის ძრავის შემსვლელთან დამონტაჟებული დამცავი ბადე.



სურ. 2 ერთ-ერთი ვერტმფრენის ძრავის შემსვლელთან დამონტაჟებული ფრინველებისგან დამცავი ბადე

დიდი საექსპლუატაციო სიჩქარეების მქონე საფრენი აპარატებისთვის პრობლემა იქმნება ბადის გამძლეობის თვალსაზრისით, საჭირო ხდება სულ უფრო დიდი დიამეტრის და მცირე ზომების

უჯრედის მქონე ბადის გამოყენება, რაც საფრენოსნო მახასიათებლებს მკვეთრად აუარესებს და რენტაბელურობის თვალსაზრისით გამოუსადეგარია. აღსანიშნავია, რომ შედეგების გაუმჯობესების მიზნით არაერთი თეორიული კვლევაა განხორციელებული, ზოგიერთი მათგანი წარმოდგენილია [1, 2] სტატიების სახით.

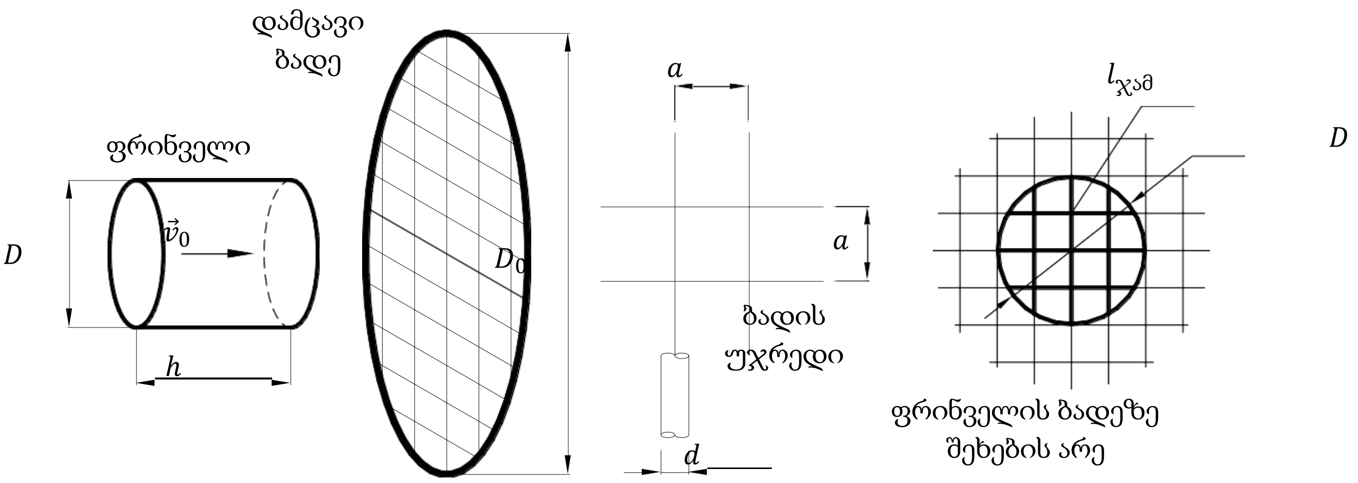
პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლოა მოხერხდეს ისეთი მეთოდიკის შემუშავებით, რომლის მიხედვითაც მოხდება შედარებით დიდი ზომის უჯრედის და მცირე დიამეტრის მავთულის მქონე დამცავი ბადის გამოყენება, ხოლო მოხვედრილი ფრინველი განიცდის მასზე დანაწევრებას. ეს მეთოდიკა მოგვცემს მნიშვნელოვან უპირატესობებს, კერძოდ: დანაწევრებული ფრინველის ნაწილებს ექნება შედარებით მცირე მასა და დაჯახების სიჩქარისგან მკვეთრად შემცირებული სიჩქარის მნიშვნელობა, ასევე ნაწილები გაიფანტება ძრავის შემსვლელის მთელ ფართობზე. შედეგად კი მივიღებთ იმას, რომ ძრავის დაზიანების ხარისხი მნიშვნელოვნად შემცირდება. ასევე შესაძლებელია მცირე დიამეტრის მავთულისგან შემდგარი მეორე ან მესამე ბადის გამოყენებაც, რომელზეც მოხვედრილი დანაწევრებული ნაწილები განიცდის მეორეულ ან მესამეულ დანაწევრებას ან დარჩება მასზე. ზიანის რისკი, ასეთ შემთხვევაში, მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი. წვრილი მავთულების გამოყენება კი ნაკლებად გამოიწვევს საფრენი აპარატების საფრენოსნო მახასიათებლების გაუარესებას.

წარმოდგენილი ნაშრომი, სწორედ ასეთი შემთხვევების მათემატიკურ გამოთვლას ეხება. კონკრეტული მაგალითის საფუძველზე დაახლოებით დადგენილია დამცავი ბადის შესაბამისი პარამეტრების მნიშვნელობები.

ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა აირტურბინული ძრავის შემსვლელთან მოთავსებულია მეტალის ბადე ზომებით $a \times a$ უჯრედით. ბადეში შემავალი მავთულის დიამეტრია d. (მავთულის დიამეტრის ზომა, მისი მასალა და სხვა მახასიათებლები უნდა განისაზღვროს შემდგომში მასზე მოსული დატვირთვის სიდიდის მიხედვით).

ვთქვათ, ასეთ ბადეზე ეცემა რაიმე ფრინველი და შევაფასოთ პირობა რა შემთხვევაში მოხდება მისი დანაწევრება. ჩავთვალოთ, რომ ფრინველის საწყისი სიჩქარე არის საკმარისი მისი ბადეში სრულად დანაწევრებისთვის. ამ სიჩქარის ზღვრულ სიდიდეს ქვემოთ დეტალურად შევაფასებთ. ფრინველის დანაწევრებას უზრუნველყოფს ბადის შემადგენელი თითოეული მავთული, რომლებიც მოექცევა ფრინველის ბადესთან შეხების არეში. სიმარტივისთვის წარმოვიდგინოთ, რომ ფრინველი არის ერთგვაროვანი ცილინდრული ფორმის სხეული დიამეტრით – D და სიმაღლით – h, ხოლო დამცავი ბადის დიამეტრია D_0 (სურ. 3).



სურ. 3 ფრინველის ბადეზე მოხვედრის სქემა და ბადის პარამეტრები

ფრინველის დანაწევრებისას მჭრელ არეს ქმნის ბადის შემხებ ნაწილში მოთავსებული მავთულები. ჭრისას წარმოქმნილი წინაღობის ძალა პროპორციული იქნება მავთულის ჯამური სიგრძის, რომელიც მოექცევა ჭრის არეში. ის უხეშად შეიძლება დაითვალოს ბადის უჯრედის ზომების

მიხედვით. მართკუთხა $a \times a$ უჯრედის ზომის ბადის შემთხვევაში ეს ჯამური სიგრძე ტოლი იქნება:

$$l = 2 \cdot n_{\text{ერთ.მიმ.}} \cdot D = 2 \cdot \frac{D}{a} \cdot D = \frac{2D^2}{a}, \qquad (1)$$

სადაც $n_{\text{ერთ.მიმ.}} = \frac{D}{a}$ არის მჭრელ არეში ერთი მიმართულებით ჩალაგებული მავთულების რაოდენობა.

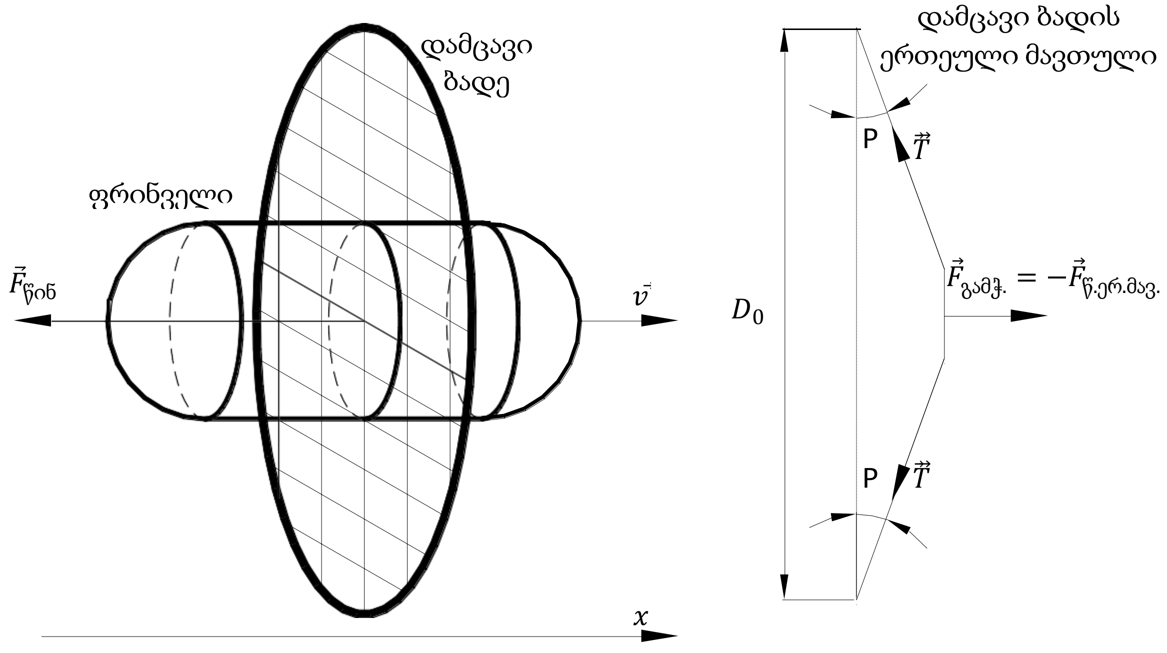
რადგან საქმე გვაქვს დამცავ ბადეზე ფრინველის დიდი სიჩქარით დაჯახებასთან, ამიტომ მოსახერხებელი იქნება გამოყენებული იქნას ჰიდრო და აერო დინამიკის კანონები. ფრინველი შეიძლება ჩაითვალოს გარკვეული სიმკვრივის ბლანტ სითხედ, ხოლო დანაწევრებისას წარმოქმნილი ჭრის ძალა დაითვალოს, როგორც ამ სითხეში მავთულის მოძრაობისას მასზე მოქმედი წინაღობის ძალა. აეროდინამიკიდან ცნობილი თანაფარდობის შესაბამისად წინაღობის ძალა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$F_{\text{წინ}} = C_x \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot S. \qquad (2)$$

როგორც ვხედავთ წინაღობის ძალა პროპორციულია სხეულის განიკვეთის ფართობის. ჩვენ შემთხვევაში, დანაწევრებაში მონაწილე შემხები მავთულის ფართობი უხეშად შეგვიძლია დავთვალოთ როგორც $S = l \cdot d$. ცხადია ამ გამოსახულებით თავისთავად განისაზღვრა წინაღობის ძალის მავთულის ჯამურ სიგრძეზე დამოკიდებულება, ხოლო თვითონ ძალა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ზოგადი სახით:

$$F_{\text{წინ}} = k \cdot f(v) \cdot S = k \cdot f(v) \cdot l \cdot d. \qquad (3)$$

$f(v)$ ფრინველის სიჩქარეზე დამოკიდებული რაიმე ფუნქციაა, ხოლო k წინაღობის კოეფიციენტი. შესაბამისი სქემატური ნახაზი მოცემულია სურ. 4-ზე.



სურ. *4* დამცავ ბადეზე ფრინველის დანაწევრების სქემა და ბადის ერთეულ მავთულზე მოქმედი ძალები

დინამიკური განტოლება, რომელიც აღნიშნულ პროცესს ასახავს, მარტივად შეიძლება დაიწეროს ნიუტონის მეორე კანონის მიხედვით:

$$M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{\text{წინ}} = -k \cdot f(v) \cdot l \cdot d, \qquad (4)$$

სადაც M არის ფრინველის მასა.

რეალობასთან ძალიან ახლოს მყოფი მოდელის მიხედვით $f(v)$ ფუნქცია შეიძლება რაღაც რთული ფორმით გამოისახებოდეს, თუმცა ეს ფორმა სამწუხაროდ არ არის ცნობილი. თუ მოძრაობის სიჩქარე იქნება მცირე, მაშინ ბლანტ სითხეში მოძრავ სხეულზე იმოქმედებდა სიჩქარის პროპორციული წინაღობის ძალა. ან შესაძლოა, ეს ძალა მუდმივი სიდიდის იყოს. საფრენ აპარატებზე ფრინველის დაჯახების სიჩქარე საკმაოდ დიდია ($v > 300$ კმ/სთ), რაც აეროდინამიკური თვალსაზრისით იძლევა მინიშნებას, რომ წინაღობის ძალა სიჩქარის კვადრატის

პროპორციული იქნება. ამიტომ გარკვეული სიზუსტით შეიძლება ჩაითვალოს რომ $f(v) \approx v^2$, ხოლო სხვა დანარჩენი მაკორექტირებელი სიდიდეები ჯამურად შეიძლება აისახოს წინაღობის k კოეფიციენტში. ამ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ აუცილებლად ხდება ფრინველის დანაწევრება და ბადის მავთული ფრინველში მოძრაობს, ისე როგორც ბლანტ სითხეში იმოძრავებდა. განხილულის გათვალისწინებით გვექნება:

$$F_{\text{წინ}} = k \cdot v^2 \cdot l \cdot d = k \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \cdot l \cdot d, \qquad (5)$$

სადაც $v = \frac{dx}{dt}$ სიჩქარე შეიძლება გამოისახოს კოორდინატის დროითი წარმოებულის სახით. (5) ის გათვალისწინებით (4) მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = -\frac{k}{M} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \cdot l \cdot d, \qquad (6)$$

ხოლო სიჩქარის შესაბამისი ფორმულის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{k}{M} \cdot v^2 \cdot l \cdot d. \qquad (7)$$

(7) წარმოადგენს განცალებად ცვლადიან დიფერენციალურ განტოლებას, რომელიც გადაჯგუფების შემდეგ მიიღებს სახეს $\frac{dv}{v^2} = -\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot dt$, ხოლო მისი ინტეგრების შემდეგ გვექნება:

$$\frac{1}{v} = \frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t + C_1. \qquad (8)$$

გავითვალისწინოთ საწყისი პირობა: როცა $t = 0$, მაშინ $v = v_0$. (8)-ში ჩასმით მივიღებთ $C_1 = \frac{1}{v_0}$. რის გათვალისწინებითაც მივიღებთ სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების შემდეგ გამოსახულებას:

$$v(t) = \frac{1}{\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t + \frac{1}{v_0}}. \qquad (9)$$

თუ გამოვსახავთ სიჩქარეს როგორც კოორდინატის დროით წარმოებულს, (9)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ: $\frac{dx}{dt} = v(t) \rightarrow dx = \frac{dt}{\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t + \frac{1}{v_0}}$, რომლის უშუალო ინტეგრირებით გვექნება:

$$x(t) = \frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln\left(\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t + \frac{1}{v_0}\right) + C_2. \qquad (10)$$

საწყის პირობას ექნება სახე: როცა $t = 0$, მაშინ $x = 0$, ათვლის წერტილად აღებულია ფრინველის ბადესთან შეხების წერტილი. (10)-ში ჩასმით მივიღებთ $C_2 = -\frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln\left(\frac{1}{v_0}\right) = \frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln(v_0)$, რის გათვალისწინებითაც გვექნება:

$$x(t) = \frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln\left(\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t + \frac{1}{v_0}\right) + \frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln(v_0) = \frac{M}{k \cdot l \cdot d} \cdot ln\left(\frac{k \cdot l \cdot d \cdot v_0}{M} \cdot t + 1\right). \qquad (11)$$

შემდგომში, უფრო მოსახერხებელია (11) გამოსახულებიდან განისაზღვროს დრო კოორდინატის საშუალებით, გვექნება:

$$t = \frac{M}{k \cdot l \cdot d \cdot v_0} \cdot \left(e^{\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot x} - 1\right). \qquad (12)$$

როცა x სიდიდე გახდება ცილინდრის h სიმაღლის ტოლი (ფრინველის სიმაღლე), მაშინ (12) გამოსახულებით განისაზღვრება ფრინველის ბადეში გავლის დროს:

$$t_h = \frac{M}{k \cdot l \cdot d \cdot v_0} \cdot \left(e^{\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h} - 1\right). \qquad (13)$$

(13) ფორმულით განსაზღვრული დროის ჩასმა (9) გამოსახულებაში მოგვცემს, ფრინველის ბადეში გავლის შემდეგ, მის საბოლოო სიჩქარეს:

$$v_{\text{საბ}} = \frac{1}{\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot t_h + \frac{1}{v_0}} = \frac{1}{\frac{k}{M} \cdot l \cdot d \cdot \frac{M}{k \cdot l \cdot d \cdot v_0} \cdot \left(e^{\frac{k \cdot l \cdot d \cdot h}{M}} - 1\right) + \frac{1}{v_0}} = v_0 \cdot e^{-\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h}. \qquad (14)$$

განხილული თეორიის ფარგლებში, ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარის შესაფასებლად მნიშვნელოვანია სხვა პარამეტრების ცოდნა. კერძოდ, უნდა შეფასდეს დანაწევრების პროცესის დაწყებისთვის საჭირო მინიმალური ძალა, რაც საშუალებას მოგვცემს დაფიქსირდეს ის მომენტი (შეფასდეს დაჯახების მინიმალური სიჩქარე) როცა დაიწყება ჭრის პროცესი. გარდა ამისა საჭიროა შეფასდეს ბადის მავთულების გამძლეობის საკითხი, რომელიც პირდაპირ დამოკიდებულია მავთულზე მოსულ დატვირთვაზე. მოცემულ შემთხვევაში ეს დატვირთვა განისაზღვრება წინაღობის ძალით, რომელიც გამოისახება (5) ფორმულით. ამ საკითხის შესაბამისი დათვლები ასევე ქვემოთ არის მოცემული.

ვთქვათ ჭრის პროცესის დასაწყებად საჭირო მინიმალური ძალა მავთულის ერთეულ შემხებ ფართობზე, ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, განისაზღვრება $f_{\text{ზღ}}$ სიდიდით, მაშინ ჭრის წინაღობის ძალა სრული დანაწევრების განსახორციელებლად უნდა აღემატებოდეს ზღვრულ მნიშვნელობას $F_{\text{წინ}} \geq F_{\text{ზღ}}$, სადაც $F_{\text{ზღ}} = f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d$. (5) ფორმულის გათვალისწინებით $k \cdot v^2 \cdot l \cdot d \geq f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d$, საიდანაც

$$v \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}}. \qquad (15)$$

ასევე ვასკვნით, რომ სრული დანაწევრების განსახორციელებლად საჭიროა ფრინველის ნაწილებს, ბადის დატოვების შემდეგ, ჰქონდეს საბოლოო სიჩქარე, რომელიც უნდა აღემატებოდეს (15) ფორმულით განსაზღვრულ სიდიდეს.

$$v_{\text{საბ}} = v_0 \cdot e^{-\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h} \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}}, \qquad (16)$$

საიდანაც შევაფასებთ ფრინველის დაჯახების საწყის სიჩქარესაც, რომელიც საჭირო იქნება მისი სრული დანაწევრებისთვის:

$$v_0 \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}} \cdot e^{\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h}. \qquad (17)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ მიღებული შედეგი სამართლიანია წარმოდგენილი მიდგომის თვალსაზრისით, თუმცა ქვემოთ დეტალურად ვნახავთ, რომ ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარე (17)-ით განსაზღვრულ შედეგზე მცირეა. ეს გამოწვეულია, დაბალი სიჩქარეების დროს პროცესის განხილვისას განსხვავებული მიდგომის გამოყენებით. სწორედ ამიტომ (15)-ით განსაზღვრული მინიმალური სიჩქარე იქნება ერთგვარი ზღვრული მომენტი აქამდე განხილული თეორიის გამოყენების საზღვრის დადგენის თვალსაზრისით.

თუ, ამ თეორიის ფარგლებში, განვიხილავთ რამდენიმე საფეხურიან ბადეების სისტემას, თითოეულ საფეხურზე დათვლები განხილულის ანალოგიურად იწარმოებს. განსხვავება იქნება ის, რომ ვთქვათ მეორე საფეხურის შემთხვევაში, უკვე პირველადი დანაწევრების შემდგომ, მეორე ბადეზე მოვა მაქსიმალური მოცულობის ნაჭერი, რომელმაც გაიარა პირველი ბადის $a \times a$ ზომების ერთი უჯრედი. ამ ნაჭრის მასა პირობითად M'-ით აღვნიშნოთ. მისი დათვლა მარტივად არის შესაძლებელი. ამ ნაჭრის საწყისი სიჩქარე მეორე ბადეზე დაჯახებამდე ტოლი იქნება (14) ფორმულით განსაზღვრული სიდიდის $v_0' = v_{\text{საბ}}$. თუ მეორე ბადის პარამეტრები იქნება შემდეგი: $a' \times a'$ ზომის ბადის უჯრედი, მავთულის დიამეტრი $- d'$ და შემხები მავთულის ჯამური სიგრძე $- l'$, მაშინ ნაჭრის ბადეზე დაჯახების სიჩქარე, მისი მეორედ სრულად დანაწევრებისთვის, (17)-ის ანალოგიურად დააკმაყოფილებს პირობას

$$v_0' \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}} \cdot e^{\frac{k \cdot l^F \cdot d^F}{M^F} \cdot h}, \qquad (18)$$

ხოლო (16) დამოკიდებულების გამოყენებით ფრინველის სიჩქარე პირველი ბადის წინ ტოლი იქნება $v_0 = v_0' \cdot e^{\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h}$, ხოლო (17)-ის საფუძველზე საბოლოოდ მივიღებთ:

$$v_0 \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}} \cdot e^{\frac{k \cdot l \cdot d}{M} \cdot h} \cdot e^{\frac{k \cdot l^F d^F}{M^F} \cdot h}. \qquad (19)$$

უფრო მეტი რაოდენობის ბადეების შემთხვევაშიც დათვლები ჩატარდება ანალოგიურად.

ახლა ვეცადოთ შევაფასოთ კონკრეტული შედეგები, რაც მეტ-ნაკლებად ასახავს რეალურ მდგომარეობას. (2) და (5) გამოსახულებების შედარებით ვადგენთ $k = C_x \cdot \frac{\rho}{2}$. გრძელი მავთულის ან კაბელის შემთხვევაში მასზე მოქმედი აეროდინამიკური წინაღობის კოეფიციენტი შესაბამისი ცხრილიდან აიღება. ავიღოთ მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა $C_x \approx 1{,}3$. შემდგომი დათვლებისთვის ვირჩევთ ყველაზე არახელსაყრელ შემთხვევას, რომელიც შეიძლება შეგვხვდეს პრაქტიკიდან გამომდინარე კერძოდ, ყველაზე დიდი ზომის ფრინველი, რომელიც შეიძლება საავიაციო ძრავში შევარდეს არის იხვი. საშუალოდ ამ ფრინველის მონაცემები გადმოცემულია შესაბამის ცხრილში [1]. ჩვენთვის საჭირო მონაცემებია: $M \approx 6{,}8$ კგ, ხოლო სიმკვრივე საშუალოდ $\rho \approx 600$ კგ/მ^3. მათ საფუძველზე k კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$k \approx 1{,}3 \cdot \frac{600}{2} = 390 \text{ კგ/მ}^3. \qquad (20)$$

რაც შეეხება $f_{\text{ზღ}}$ მნიშვნელობას ის უნდა განისაზღვროს უშუალოდ ექსპერიმენტის გზით. ამ კვლევის ფარგლებში ჩვენ ჩავატარეთ უხეში ექსპერიმენტი, მოვახდინეთ ქათმის ხორცის გაჭრა მავთულის საშუალებით სტაციონალური დატვირთვის გზით. გვქონდა ასეთი პარამეტრები: მავთულის დიამეტრი $d = 0{,}8$ მმ $= 0{,}0008$ მ; ხორცის ჭრის პროცესში მავთულის შემხები სიგრძე $l = 10$ სმ $= 0{,}1$ მ; გადამჭრელი ძალა, რომელიც ჭრისას წინაღობის ძალის ტოლი იქნება, დაახლოებით $F_{\text{წინ}} \approx 55$ კგძ $= 550$ ნ $= F_{\text{ზღ}}$. ეს სიდიდე შეიძლება ჩაითვალოს ზღვრულ ძალად, რომლის დროსაც იწყება ჭრის პროცესი. როგორც ზემოთ ვახსენეთ $F_{\text{ზღ}} = f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d$, საიდანაც მივიღებთ:

$$f_{\text{ზღ}} \approx \frac{F_{\text{ზღ}}}{l \cdot d} = \frac{550}{0{,}1 \cdot 0{,}0008} = 6.9 \cdot 10^6 \text{ ნ/მ}^2. \qquad (21)$$

გარდა ამისა, საჭიროა ფრინველის გეომეტრიული ზომები. ის წარმოვიდგინოთ როგორც ცილინდრი, დიამეტრით $D \approx 30$ სმ $= 0{,}3$ მ, ხოლო სიმაღლით $h \approx 20$ სმ $= 0{,}2$ მ. (ეს ზომები გარკვეული სიზუსტით არის აღებული, რათა შესრულდეს დამოკიდებულება ფრინველის მასას, სიმკვრივეს და მოცულობას შორის $V \cong \frac{M}{\rho}$).

(15) ფორმულის მიხედვით შევაფასოთ მინიმალური სიჩქარე, რომელიც უნდა ჰქონდეს ფრინველს, რათა დაიწყოს მისი დანაწევრების პროცესი, გვექნება $v \geq \sqrt{\frac{f_{\text{ზღ}}}{k}} = \sqrt{\frac{6.9 \cdot 10^6}{390}} = 133$ მ/წმ ≈ 479 კმ/სთ. ეს საკმაოდ დიდი სიჩქარეა. საფრენი აპარატების საექსპლუატაციო მონაცემების მიხედვით ფრინველების შეჯახება ხდება სიჩქარეთა საზღვრებში $300 - 600$ კმ/სთ.

შესაბამისად გამოთვლილზე უფრო დაბალი სიჩქარეებისთვის ხდება თეორიის და მიდგომის დაზუსტების საჭიროება. რა თქმა უნდა იარსებებს რაღაც მინიმალური სიჩქარე, რომელზე დაბალი მნიშვნელობებისთვისაც ფრინველი ან სრულად დარჩება ბადეზე (შესაძლოა ნაწილობრივ დანაწევრდეს), ან მოხდება მისი ასხლეტა, ან ბადის გაგლეჯა, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ბადის მავთულების სიმტკიცის მაჩვენებლებზე. უფრო ზუსტი შეფასებისთვის საჭიროა მრავალჯერადი ექსპერიმენტების ჩატარება რაც საჭირო სიდიდეების მეტი სიზუსტით განსაზღვრის საშუალებას მოგვცემს.

(15)-ით განსაზღვრული მინიმალური სიჩქარე არის ის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც, აეროდინამიკური მოსაზრებებზე დაფუძნებული თეორიის მიხედვით, დაიწყება ფრინველის დანაწევრების პროცესი. ჭრისათვის საჭირო მინიმალური ძალა განისაზღვრება $F_{\text{ზღ}} = f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d$ მნიშვნელობით. უფრო დაბალ სიჩქარეებზე ფრინველის დაჯახების შემთხვევაში, მისი დანაწევრებისთვის საჭიროა წარმოქმნილი დინამიკური ძალა აღემატებოდეს ამ მნიშვნელობას. ეს მიიღწევა ფრინველის ბადეზე სწრაფი დამუხრუჭების დროს, რაც გულისხმობს იმას, რომ მცირე დროში იმპულსის მნიშვნელოვანი ცვლილება წარმოქმნის დიდ ძალას.

ამ ფაქტის შეფასება მოვახდინოთ ენერგეტიკული მოსაზრებებით. ჩავთვალოთ, რომ ასეთ დროს ფრინველის დანაწევრების პროცესში მჭრელი ძალა მინიმალური მნიშვნელობისაა ($F_{\text{ზღ}}$ – ის ტოლი). ფრინველის კინეტიკური ენერგია მოხმარდება მჭრელი ძალის მუშაობას და ბადის მავთულების გაჭიმვისას დაგროვილ პოტენციურ ენერგიას.

$$\frac{M \cdot v_0^2}{2} \geq A_{\text{ჭრ}} + W \quad . \qquad (22$$

ჭრის მუშაობა მარტივად დაითვლება მუდმივი $F_{\text{ჭრ}} = F_{\text{ზღ}}$ ძალის პირობებში:

$$A_{\text{ჭრ}} = F_{\text{ჭრ}} \cdot h = f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d \cdot h = \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D^2 \cdot h}{a} \cdot d \qquad (23)$$

რაც შეეხება ბადის მავთულების დაჭიმვის პოტენციურ ენერგიას, ის დავთვალოთ სურ. 4-ზე მოცემული სქემის მიხედვით, ასევე გამოვიყენოთ (1) გამოსახულება. ერთეულ მავთულზე მოქმედი გამჭიმავი ძალა ტოლი იქნება

$$F_{\text{წ.ერ.მავ.}} = \frac{F_{\text{ზღ}}}{n} = \frac{f_{\text{ზღ}} \cdot l \cdot d}{\frac{2 \cdot D}{a}} = \frac{f_{\text{ზღ}} \cdot \frac{2 \cdot D^2}{a} \cdot d \cdot a}{2 \cdot D} = f_{\text{ზღ}} \cdot D \cdot d. \quad (24)$$

ბადეზე ფრინველის დაჯახების შემდეგ მოხდება მისი გარკვეულწილად დეფორმირება და მავთულები გადაიხრება ჩამაგრების წერტილების მიმართ გარკვეული Ρ კუთხით, რომელიც მთლიანი მოწყობილობის ზომების დაშვებებს არ უნდა სცილდებოდეს. უხეში შეფასებით, ეს კუთხე Ρ ≈ 20°-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ძალთა წონასწორობის პირობიდან ვწერთ:

$$2 \cdot T \cdot sin\mathrm{P} = F_{\text{წ.ერ.მავ.}} \rightarrow T = \frac{F_{\text{წ.ერ.მავ.}}}{2 \cdot sin\mathrm{P}}. \qquad (25)$$

მავთულში აღძრული ძაბვა დაჭიმულობის ძალის საშუალებით მოიცემა სახით:

$$\sigma = \frac{T}{S_{\text{ კვ}}} = \frac{\frac{F_{\text{წ.ერ.მავ.}}}{2 \cdot sin\mathrm{P}}}{\pi \cdot d^2/4} = \frac{2 \cdot F_{\text{წ.ერ.მავ.}}}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\mathrm{P}} = \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D \cdot d}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\mathrm{P}} = \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D}{\pi \cdot d \cdot sin\mathrm{P}}. \qquad (26)$$

პლასტიკური მასალის დეფორმაციის თეორიიდან ცნობილია, რომ დეფორმაციის კუთრი ენერგია (ენერგია მასალის ერთეულ მოცულობაში) გამოითვლება ფორმულით $w = \frac{\sigma^2}{2 \cdot E}$, სადაც E არის მასალის დრეკადობის (იუნგის) მოდული, ხოლო სრული ენერგია $W_{\text{პოტ.ერ.მავ.}} = w \cdot V = w \cdot S_{\text{კვ}} \cdot D_0$. (26) ფორმულის გათვალისწინებით, მავთულის მთელ სიგრძეზე დაჭიმულობის სრული ენერგიისთვის გვექნება:

$$W_{\text{პოტ.ერ.მავ.}} = \frac{\sigma^2 \cdot D_0}{2 \cdot E} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{4 \cdot f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^2}{\pi^2 \cdot d^2 \cdot sin^2\mathrm{P}} \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot D_0}{8 \cdot E} = \frac{f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^2 \cdot D_0}{2 \cdot \pi \cdot E \cdot sin^2\mathrm{P}},$$

(26)

ხოლო ფრინველის ბადეზე შეხების არეში მოქცეული მავთულების ჯამური პოტენციური ენერგია

$$W_{\text{პოტ}} = n \cdot W_{\text{პოტ.ერ.მავ.}} = \frac{2 \cdot D}{a} \cdot \frac{f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^2 \cdot D_0}{2 \cdot \pi \cdot E \cdot sin^2\mathrm{P}} = \frac{f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^3 \cdot D_0}{\pi \cdot E \cdot a \cdot sin^2\mathrm{P}}.$$

(27)

აღსანიშნავია, რომ იგულისხმება დამცავი ბადე, რომელშიც ურთიერთმართობულად განლაგებული მავთულები ერთმანეთში არ არის შეჭრილი (არ არის წარმოდგენილი ნაქსოვი სახით). წინააღმდეგ შემთხვევაში დათვლა უნდა გვეწარმოებინა ბადეში შემავალი ყველა მავთულისთვის, რაც გაართულებდა ამ პროცესს. მიღებული გამოსახულებების (22)-ში შეტანა მოგვცემს ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარის შეფასების საშუალებას:

$$v_0 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D^2 \cdot h}{M \cdot a} \cdot d + \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^3 \cdot D_0}{\pi \cdot E \cdot M \cdot a \cdot sin^2\mathrm{P}}}. \qquad (28)$$

ცხადია, რაც მეტი იქნება ბადეში შემავალი მავთულის სიმტკიცის მახასიათებელი (მრღვევი ძაბვა $\sigma_{\text{დრ}}$) მით უფრო გაიზრდება შესაძლებლობა, ფრინველის დიდი სიჩქარით დაჯახებისას, დანაწევრება მოხდეს ბადის რღვევის გარეშე. ასეთად ავიღოთ ГОСТ 7372-79 სტანდარტით განსაზღვრული მავთულები, რომლებიც ხასიათდება ერთ-ერთი მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებლებით [3]. ამ სტანდარტით ავარჩიოთ მავთული, რომლის სიმტკიცე რღვევისას $\sigma_{\text{დრ}} =$

200კგძ/მმ² = 2,0 · 10⁹ პა. ეს სიდიდე ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი მაჩვენებელია და გარდა ამისა, არის მავთულის დიამეტრების მიხედვით ფართო არჩევანის შესაძლებლობა. მასალის დრეკადობის მოდულად ავიღოთ მოცემულ სტანდარტში გამოყენებული შესაბამისი მარკის ფოლადის საშუალო მაჩვენებელი $E \approx 5{,}0 \cdot 10^9$ პა. ბადის უჯრედის ზომად ავიღოთ $a = 10$ სმ $= 0{,}1$ მ. ეს ზომა მეტ-ნაკლებად ოპტიმალურად შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან მეტი ზომის შემთხვევაში არის რისკი რომ ფრინველი გაძვრეს ბადეში, ხოლო ნაკლები ზომის შემთხვევაში დიდი წინაღობის გამო მოსალოდნელია მოხდეს ფრინველის ბადეზე დარჩენა ან მისი გაგლეჯა. ბადის დიამეტრი კი ავარჩიოთ სტატისტიკურად ყველაზე ხშირად გამოყენებადი საავიაციო ძრავის შემსვლელის დიამეტრის მიხედვით $D_0 \approx 1{,}6$ მ.

შევაფასოთ რა დიამეტრის მავთული შეიძლება იქნას გამოყენებული ასეთ ბადეში, იმ პირობით, რომ მოხდება ფრინველის სრული დანაწევრება და ამავე დროს არ მოხდება მავთულების რღვევა.

მაქსიმალური სიჩქარე შეიზღუდება იმ პირობით, რომ არ მოხდეს ბადის მავთულების რღვევა. როცა სიჩქარე არ აღემატება (15) ფორმულით განსაზღვრულ მინიმალურ მნიშვნელობას $v_0 = 133$ მ/წმ ≈ 479 კმ/სთ, მაშინ უნდა ვიხელმძღვანელოთ აღწერილი მეორე მიდგომით, როდესაც ბადის მავთულებზე იმოქმედებს მუდმივი გამჭიმავი ძალა, რომელიც სიდიდით ჭრის მინიმალური ძალის ტოლი იქნება (24) ფორმულის შესაბამისად. მავთულში აღძრული ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს მის სიმტკიცის ზღვარს. (24) და (26) ფორმულების გამოყენებით დავწერთ:

$$\sigma = \frac{2 \cdot F_{\text{წ.ერ.მავ.}}}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\text{P}} = \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D \cdot d}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\text{P}} \leq \sigma_{\text{დრ}} \rightarrow d \geq \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D}{\pi \cdot \sigma_{\text{დრ}} \cdot sin\text{P}} = = 0{,}0019 \text{ მ} \approx 2 \text{ მმ}. \quad (29)$$

ასეთ შემთხვევაში ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარე განისაზღვრება (28) ფორმულით. გვექნება $v_0 \geq 68{,}9$ მ/წმ $= 248$ კმ/სთ. შეჯამებისთვის დავწეროთ შემდეგი: როცა გვაქვს დამცავი ბადე პარამეტრებით $d = 2$ მმ, და ბადის უჯრედი ზომით $a = 10$ სმ, ფრინველი სრულად დანაწევრდება დაჯახების სიჩქარეთა 248 კმ/სთ $\leq v_0 \leq$ 479 კმ/სთ დიაპაზონში. როცა დაჯახების სიჩქარე ნაკლებია 248 კმ/სთ-ზე, მაშინ ადგილი ექნება ფრინველის ნაწილობრივ დანაწევრებას ან დანაწევრების გარეშე ბადეზე დარჩენას ან მისგან ასხლეტას.

თუ ფრინველის ბადეზე დაცემის სიჩქარე მეტია 479 კმ/სთ-ზე მაშინ $d = 2$ მმ მავთულის მქონე ბადის გამოყენებისა მოხდება მისი გაგლეჯა. ბადის ურღვეობისთვის საჭირო იქნება უფრო დიდი დიამეტრის მავთულის გამოყენება. დათვლა ასეთ შემთხვევაში უნდა ვაწარმოოთ აეროდინამიკაზე დაფუძნებული თეორიის მიხედვით.

(1) ფორმულით განსაზღვრული ჯამური სიგრძე გავითვალისწინოთ (5)-ში, გვექნება:

$$F_{\text{წინ}} = k \cdot v_0^2 \cdot l \cdot d = k \cdot v_0^2 \cdot \frac{2D^2}{a} \cdot d,$$

ხოლო ფრინველის შეხების არეში ერთ მავთულზე მოსული ძალა ტოლი იქნება:

$$F_{\text{წ.ერ.მავ.}} = \frac{F_{\text{წინ}}}{n} = \frac{F_{\text{წინ}}}{2 \cdot D/a} = \frac{k \cdot v_0^2 \cdot \frac{2D^2}{a} \cdot d}{2 \cdot D/a} = k \cdot v_0^2 \cdot D \cdot d. \quad (30)$$

(26) და (30) ფორმულების გამოყენებით, მავთულში აღძრულ ძაბვა, სიმტკიცის პირობის გათვალისწინებით, დაითვლება შემდეგნაირად:

$$\sigma = \frac{2 \cdot F_{\text{წ.ერ.მავ.}}}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\text{P}} = \frac{2 \cdot k \cdot v_0^2 \cdot D \cdot d}{\pi \cdot d^2 \cdot sin\text{P}} \leq \sigma_{\text{დრ}} \rightarrow d \geq \frac{2 \cdot k \cdot v_0^2 \cdot D}{\pi \cdot \sigma_{\text{დრ}} \cdot sin\text{P}}. \quad (31)$$

როგორც ზემოთ აღინიშნა, საავიაციო ძრავებზე ფრინველების დაჯახების სიჩქარეთა საზღვრებია 300 – 600 კმ/სთ. თუ ავიღებთ პირობითად მაქსიმალურ ზღვარს $v_0 = 600$ კმ/სთ, მაშინ (31) ფორმულის მიხედვით ბადის მავთულის დიამეტრი $d \geq 3$ მმ. ასეთ პირობებში ფრინველის დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარე, (28) გამოსახულების მიხედვით, ტოლი იქნება $v_0 = 74$ მ/წმ ≈ 266 კმ/სთ, რაც ზემოთ მოცემულ სიჩქარეთა ინტერვალის ქვედა ზღვარზე ნაკლებია. ეს კარგი შედეგია, იმ თვალსაზრისით რომ $d = 3$ მმ დიამეტრის მავთულის მქონე ბადის გამოყენების შემთხვევაში, სიჩქარეთა მთელი ინტერვალისთვის მოხდება ფრინველის სრული დანაწევრება მისი რღვევის გარეშე.

ერთი ან რამდენიმე ბადის გამოყენების შემთხვევაში მნიშვნელოვანია ფრინველის დანაწევრებული ნაწილის სიჩქარე ბადის დატოვების შემდეგ, რადგანაც ის ან პირდაპირ შევარდება ძრავში ან მოხვდება მეორე ბადეზე. ცხადია შემდგომი დაზიანების ხარისხს სწორედ ეს სიჩქარე განსაზღვრავს. $v_0 > 479$ კმ/სთ, შემთხვევაში უნდა გამოვიყენოთ (14) გამოსახულება, ხოლო უფრო მცირე საწყისი სიჩქარეებისთვის მივმართოთ ენერგეტიკულ შეფასებას, ვწერთ:

$$\frac{M \cdot v_0^2}{2} = A_{\text{ჭრ}} + W_{\text{პოტ}} + \frac{M \cdot v_{\text{საბ}}^2}{2}, \quad (32)$$

საიდანაც (23) და (27) გამოსახულებების მეშვეობით განვსაზღვრავთ:

$$v_{\text{საბ}} = \sqrt{v_0^2 - \frac{4 \cdot f_{\text{ზღ}} \cdot D^2 \cdot h}{M \cdot a} \cdot d - \frac{2 \cdot f_{\text{ზღ}}^2 \cdot D^3 \cdot D_0}{\pi \cdot E \cdot M \cdot a \cdot \sin^2 \mathrm{P}}}. \quad (33)$$

პრაქტიკული თვალსაზრისით, რამდენიმე მილიმეტრი დიამეტრის მქონე მავთულებისგან შეკრული ბადის გამოყენებამ, შესაძლოა თვითმფრინავის საფრენოსნო მახასიათებლების მნიშვნელოვანი გაუარესება გამოიწვიოს, კერძოდ, მკვეთრად გაიზარდოს შუბლური წინაღობის ძალა კრეისერულ სიჩქარეებზე ფრენისას. გარდა ამისა, ჩვენ მიერ განხილულ შემთხვევაში ვიყენებთ 10 სმ × 10 სმ ზომების უჯრედის მქონე ბადეს, რომელიც გამოდგება დიდი ზომის ფრინველების შესაკავებლად. თუმცა აღსანიშნავია, რომ მცირე ზომის ფრინველსაც არანაკლები ზიანის მოტანა შეუძლია. მოცემულ შემთხვევაში ფრინველი დიდი ალბათობით გაძვრება აღნიშნულ ბადეში და ვერ მოხერხდება მისი შეკავება.

აღწერილი პრობლემის ალტერნატივად შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი შესაძლო მიდგომები:

1. შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შედარებით წვრილი დიამეტრის მავთულისგან შეკრული ბადე, რომელზეც მოხვედრილი ფრინველი მას გაარღვევს, მნიშვნელოვნად დაკარგავს სიჩქარეს და ასეთ მდგომარეობაში შევარდება აირტურბინულ ძრავში რაც ამ უკანასკნელის დაზიანების რისკს მნიშვნელოვნად ამცირებს;
2. მცირე ზომის ფრინველების შესაკავებლად გამოყენებული იქნას ორი თანმიმდევრული ბადე, მეორე საფეხური უფრო მცირე ზომების უჯრედებისგან უნდა შედგებოდეს. დამატებითი აეროდინამიკური წინაღობის შემცირების მიზნით ეს მეორე ბადე შეიძლება გაითვალოს გაგლეჯვაზე და არა დანაწევრებაზე, რაც მცირე დიამეტრის მავთულების გამოყენების შესაძლებლობას მოგვცემს;
3. შესაძლებელია ორ ან სამ საფეხურიანი ბადეების სისტემების გამოყენება, რომლებიც თავიდანვე გაგლეჯვაზე იქნება გაანგარიშებული, ამ შემთხვევაშიც აეროდინამიკური წინაღობის შემცირება იქნება შესაძლებელი და ა. შ.

ცხადია კვლევის თვითმიზანს არ წარმოადგენს მხოლოდ ფრინველის დანაწევრებაზე დაფუძნებული მიდგომის გამოყენება, მთავარი შედეგი უნდა იყოს ფრინველის დაჯახებისას გამოწვეული დამანგრეველი ეფექტის შემსუბუქება და ძრავის დაცვა მნიშვნელოვანი დაზიანებისგან.

ამავე დროს მკვეთრად არ უნდა გაუარესდეს თვითმფრინავის საფრენოსნო მახასიათებლები.

ნაშრომში წარმოდგენილი საკითხი საჭიროებს აუცილებლად შემდგომ დამატებით დეტალურ ექსპერიმენტულ კვლევას, რათა დაზუსტებული იქნას თეორიულ გათვლებში შემავალი პარამეტრები და ამავე დროს შემოწმდეს თვითონ თეორიის ექსპერიმენტთან შეთავსების და სიზუსტის საკითხები.

დასკვნები

ნაშრომში წარმოდგენილი თეორიული გათვლები საშუალებას იძლევა შეფასდეს ფრინველის დამცავ ბადეზე მოხვედრის სიჩქარეთა ფართო კლასისთვის მისი დანაწევრების პირობები, ბადის ზომების და მასში შემავალი მავთულების სიმტკიცის მახასიათებლების გათვალისწინებით. შესაძლებელია, ბადის კონკრეტული პარამეტრების შემთხვევაში, ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო სიჩქარის და მისი რღვევის პირობების შეფასება. ასევე შებრუნებული ამოცანა, შეფასდეს ბადის პარამეტრები ფრინველის დაჯახების სიჩქარეთა გარკვეულ დიაპაზონში. კონკრეტულად განისაზღვრება ფრინველის სრული დანაწევრებისათვის საჭირო მინიმალური სიჩქარე, ნებისმიერი პარამეტრების ბადის გამოყენებისას და მავთულის მინიმალური დიამეტრი, რომლის დროსაც რღვევას ადგილი არ ექნება.

ფრინველის და ბადის კონკრეტული პარამეტრების შემთხვევაში შეფასებულია ყველა შესაძლო შემთხვევა, რაც გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა გადმოცემული კვლევის შემდგომი განვითარების და პერსპექტივების შესახებ. წარმოდგენილია გარკვეული რეკომენდაციები, განხილული პრობლემების უკეთ გადაწყვეტის მიმართულებით. ასევე იმ ექსპერიმენტული კვლევების მიმართულებები, რომლებიც წარმოდგენილი თეორიის მეტი სიზუსტით შეფასების საშუალებას მოგვცემს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. A. Maisuradze, S. mebonia, M. Celidze. METHOD FOR CALCULATIND THE PROTECTIVE GRID OF THE TURBOJET

ENGINE MODULE // International Scientific Journal, PROBLEMS OF MECHANICS, ISSN 1512-0740 №3 (80) / 2020;
2. Б. Ф. ШОР Р , А. В. ГОРЯ Ч ЕВ , В. С. МАЦАРЕ Н К О , В. Г. ЖУЛИН , В. В. САВЕНКОВ. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ВЕРТОЛЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ ПОПАДАНИЯ ПОСТОРОННИХ ПРЕДМЕТОВ // Вестник УГАТУ, 2015. Т. 19, № 3 (69). С. 44–49 УДК 621.81, ISSN 2225-2789 (Online);
3. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ, **ПРОВОЛОКА СТАЛЬНАЯ КАНАТНАЯ**, Технические условия. ГОСТ 7372-79;
4. Биркгоф Г. Гидродинамика. М.: Из-во иностранной литературы, 1963;
5. Дейч М.Е. Техническая газодинамика (2-е изд.). М.: Госэнергоиздат, 1961;
6. ა. დუმბაძე, თ. გარდაფხაძე. მექანიკა, მასალათა გამძლეობა. საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, თბილისი 2014 წ, ISBN 978-9941-0-7018-1.

Theoretical study of fragmenting birds caught in a safety net of an aircraft jet engines

Abstract

This paper presents a methodology based on two different approaches that define the conditions under which birds caught in a safety net placed at the inlet of an air turbine engine will be isolated. This refers to the speed at which the bird is hit, the mesh size of the net, the diameter of the wire mesh, the resistance of the mesh to strength etc. These characteristics are defined using a case study. The case of placing several nets in a row and the conditions of complete fragmentation of birds in them are discussed. Recommendations for determining the parameters of such protective mechanisms are developed.