

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დიამეტრის ცვლილების
მექანიზმის გაუმჯობესება ცენტრიდანული ძალების
კომპენსაციის მექანიზმთან შერწყმით და ფრთის გრეხვის
დიაპაზონის გაზრდა

თეიმურაზ მოსაშვილი

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2013 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით თეიმურაზ მოსაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დიამეტრის ცვლილების მექანიზმის გაუმჯობესება ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმთან შერწყმით და ფრთის გრეხვის დიაპაზონის გაზრდა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

„—“ ————— 2013 წელი

ხელმძღვანელი: რაულ თურმანიძე ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი

რეცენზენტები: არჩილ ბეთანელი ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,
სრული პროფესორი

მიხეილ ჯანიკაშვილი ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: თეიმურაზ მოსაშვილი

დასახელება: „ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დიამეტრის ცვლილების მექანიზმის გაუმჯობესება ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმთან შერწყმით და ფრთის გრეხვის დიაპაზონის გაზრდა“

ფაკულტეტი : სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი
აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: „—“ ————— 2013 წელი

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე. ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

მიძღვნის გვერდი

სადისერტაციო ნაშრომს ვუძღვნი სახელოვანი ინჟინერის შოთა ხუციშვილის ხსოვნას, რომელმაც ფასდაუდებელი წვლილი შეიტანა ქვემოთ მდებარე ნაშრომში განხილული ცვლებადი გეომეტრიის საჰაერო ხრახნის კონსტრუქციების კონსტრუირებაში.

რეზიუმე

ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის მთავარ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი საჰაერო ხრახნის ფიქსირებული გეომეტრია. სასურველია მის ხრახნს ვერტიკალურად აფრენის რეჟიმში გააჩნდეს დიდი დიამეტრი და მცირე გრეხვა, ხოლო ჰორიზონტალურად ფრენის რეჟიმში მცირე დიამეტრი და დიდი გრეხვა. ამიტომ მისი ხრახნი წარმოადგენს კომპრომისს მზიდ ხრახნსა და სამარშო ხრახნს შორის. შესაბამისად მას არ გააჩნია საუკეთესო მახასიათებლები არც დაკიდების რეჟიმში და არც ჰორიზონტალური ფრენის რეჟიმშიც.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე მნიშვნელოვანი პრობლემაა ფრენის პროცესში ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილება. ამასთან დინამიკაში გეომეტრიული პარამეტრების შეცვლა დამოკიდებულია საიმედო და ოპტიმალურ მექანიზმის არსებობაზე, ამიტომ საჭიროა დამუშავდეს ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილების საიმედო კონსტრუქცია.

საჰაერო ხრახნის გეომეტრიის ტრანსფორმაცია ასევე აუმჯობესებს ხრახნიანი თვითმფრინავებისა და ვერტმფრენების საფრენოსნო მონაცემებს. კეროდ ამცირებს თვითმფრინავის აფრენის და დაფრენის მანძილს, ზრდის მის ჰორიზონტალურად ფრენის სიჩქარეს ან ფრენის სიშორეს იგივე საწვავის ოდენობით. ვერტმფრენზე ტრანსფორმირებადი საჰაერო ხრახნის გამოყენება, ზრდის მის ტვირთამწეობას და ფრენის სიჩქარეს ან ფრენის სიშორეს.

წინამდებარე ნაშრომი ეძღვნება სწორედ გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნების გაუმჯობესებული კონსტრუქციების შექმნას, მისი მართვის მექანიზმების დახვეწას, ხრახნის დიამეტრის ცვლილების სისტემასთან შერწყმული ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმის შემუშავებას. ხრახნის მექანიზმების ფუნქციონირების საიმედოობის და მისი აეროდინამიკული მაჩვენებლების საკვლევი სტენდების და მათზე კვლევის მეთოდის შექმნას, დამზადებული ხრახნის კონსტრუქციის საიმედოობის და ხრახნის ფრთების გეომეტრიული პარამეტრების რეგულირებით მიღებული აეროდინამიკული პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერების შესწავლას.

შემუშავებულია საჰაერო ხრახნების რამოდენიმე გეომეტრიულ პარამეტრების დინამიკაში ერთდროულად ცვალებადობის კონსტრუქცია და დასაბუთებულია საფრენ აპარატებზე მისი გამოყენების შემთხვევაში ფრენის ყველა რეჟიმში საექსპლუატაციო მახასიათებლების მაქსიმალური მნიშვნელობების უზრუნველყოფის შესაძლებლობა.

ჩატარებული სამუშაოების შედეგად მიღებულია შემდეგი პრაქტიკული შედეგები:

1. შემუშავებულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნის კონცეფცია.

2. დამუშავდა და დამზადდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოქმედი მოდელი, რომელსაც ერთდროულად დინამიკაში შეუძლია სამი გეომეტრიული პარამეტრის ცვლა. მისი საპასუხისმგებლო ელემენტების განტვირთვის მიზნით, იგი აღიჭურვა ხრახნის მაღალ ბრუნთა რიცხვზე წარმოქმნილი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით.
3. შეიქმნა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რითაც მოხდა მისი მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და განისაზღვრა ხრახნის გეომეტრიის ცვლილებით მიღებული აეროდინამიკული ეფექტი.
4. როტორის დინამიკულ სტენდზე გამოცდამდე მისი კვანძების საიმედოობის წინასწარი გამოკვლევისთვის, დამზადდა სტატიკური კვლევების სტენდი.
5. შემუშავდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტატიკურ და დინამიკულ სტენდებზე კვლევების სპეციალური მეთოდიკა.
6. აღნიშნული სტენდები შემდგომში შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შესაბამისი სპეციალობის ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სასწავლო პროცესშიც, ლაბორატორიული და პრაქტიკული მეცადინეობების ჩატარების დროს.

თეორიული გაანგარიშებებით და შექმნილი მოდელების სპეციალურ საკვლევ სტენდებზე მრავალმხრივი გამოცდებით დადგენილია, დღეისთვის არსებული ფიქსირებული გეომეტრიის პარამეტრების მქონე ხრახნებთან შედარებით გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნების გამოყენების უპირატესობები ტექნიკის ისეთ აქტუალურ დარგებში, როგორებიცაა თვითმფრინავთმშენებლობა, ქარის ენერგეტიკა, დიდი ტვირთამწეობის დირიჟაბლების მშენებლობა, ჰიდრო ენერგეტიკა, გემთმშენებლობა და სხვა.

Abstract

The main negative side of takeoff and landing machine is fixed geometry of its air rotor. It is necessary to have large diameter and little twist while flying vertically and little diameter and big twist while flying horizontally. That is why its rotor presents compromise between aircraft rotor and helicopter rotor. Accordingly it does not have any excellent characteristics neither in vertical regime nor while flying horizontally.

According to abovementioned, the problem is the changes of rotor geometrical parameters while flying. At the same time, the change of geometrical parameters depends on the existence of trusty and optimal mechanism. Therefore, it is necessary to process reliable construction of variable geometry rotor.

The transformation of air rotor geometry improves flying data of rotor aircrafts and rotor helicopter. Particularly it decreases the distance of aircraft takeoff and landing, increases the speed of horizontal flying or flying distance with the same amount of fuel. The use of transformable rotor on helicopter increases its Burden lifting and flying speed or flying distance. Prior work is dedicated right to the creation of improved construction of variable geometry rotor; smarten of its operating

mechanism, rotor's diameter changing system confluence to centrifugal power compensating mechanism development. Rotor mechanism functioning reliability and its aero dynamical indicator research stands and creation of their research methods, already made rotor construction reliability and studying regulatory changes of aero dynamical parameters by regulating rotor wing geometrical parameters.

Simultaneously changeable construction in geometrical parameters dynamics of air rotor has already been made and has been proved that incase it is used on flying machine it is possible to guarantee the entire indicator meaning in any flying regime.

The result are as follows:

1. The conception of variable geometry rotor parameters dynamics is worked out.
2. Variable geometry rotor in dynamic was worked out and made, that simultaneously can change three geometrical parameters, in order to relieve its responsible element, and it was equipped with centrifugal power compensation mechanism that was formed by large number of RPM of rotor.
3. The special research board was created in rotor geometry dynamics, by this was checked the mechanism work and was defined the aero dynamical effect got by rotor geometry changing.
4. The statistic research stand was made for preliminary researches on nodes reliability before checking rotor on the dynamics research stand.
5. The special research methods were developed of variable geometry rotor model on static and dynamic stands.
6. The abovementioned stands can be used for Bachelor and Master Students while studying practically and in laboratories.

Theoretical calculations and tests made on special research stands, proved the advantage of using air rotor with potential of changing in geometry parameters dynamic on rotors with fixed geometry parameters, in such actual field as airplane building, wind energetic, dirigibles, hydro energetic, shipbuilding and etc.

1. შინაარსი

შესავალი.....	xiii
I. თავი - ლიტერატურის მიმოხილვა	19
1.1. საჰაერო ხრახნებისადმი წაყენებული ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნები.....	19
1.2. საჰაერო ხრახნების გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა საფრენოსნო მონაცემებზე.....	20
1.3. მზიდი საჰაერო ხრახნების კონსტრუქციების ძირითადი თავისებურებანი.....	23
1.4. ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის ხრახნის კონსტრუქციის თავისებურებანი	25
1.5. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის უპირატესობანი.....	28
1.6. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნებზე ჩატარებული კვლევები.....	31
1.7. საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შექმნილი გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კონსტრუქცია.....	47
1.8. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალების შემცირების შესაძლო გზები.....	57
II. თავი - შედეგები და მათი განსჯა.....	63
2.1. გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის გამოსაცდელი სტენდიები და ექსპერიმენტული კვლევების მეთოდები.....	63
2.2. დინამიკური ცდების სტენდის კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტები და მოქმედების პრინციპი.....	67
2.2.1. დინამიკური კვლევის სტენდის მოდერნიზაცია.....	71
2.3. სტატიკური კვლევის სტენდის საჭიროების დასაბუთება და მისი აღწერა.....	74
2.3.1. სტატიკური კვლევის სტენდის გაანგარიშება.....	77
2.3.2. სტატიკური კვლევების სტენდის დამზადების ტექნოლოგია.....	78
2.4. გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კვანძების ქმედითუნარიანობის კვლევა.....	81
2.5. ფრთის დეტალების დამზადებისა და აწყობის ტექნოლოგიური პროცესები.....	91
2.6. სტატიკურ და დინამიკური კვლევების სტენდებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების მეთოდიკა.....	94
2.6.1. სტატიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები.....	94
2.6.2. დინამიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები.....	103
დასკვნები.....	108
გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.....	111
დანართი 1.....	114
დანართი 2.....	120

ნახაზების ნუსხა

სურ. 1 მზიდი ხრახნების სახეობები: ა – ფრთების სახსრული დაკიდებით; ბ – საერთო ჰორიზონტალური სახსრით; ვ – კარდანით; გ – ფრთების ხისტი დამაგრებით.....	23
სურ. 2 მზიდი ხრახნის ძირითადი ელემენტები.....	24
სურ. 3 Bo.140 -ის ხრახნის კონსტრუქციული სქემა.....	26
სურ. 4 საფრენი აპარატების მოხმარებული სიმძლავრის დამოკიდებულება ფრენის სიჩქარეზე.....	28
სურ. 5 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის უპირატესობის პრიციპიალური სქემა.....	30
სურ. 6 ვერტმფრენისა და თვითმფრინავს ჰიბრიდები.....	31
სურ. 7 „კონვერს“ ფირმის XfV-1.....	31
სურ. 8 თვითმფრინავი XV-3.....	32
სურ. 9 თვითმფრინავი X-22A.....	32
სურ. 10 თვითმფრინავი XC-142 A.....	32
სურ. 11 თვითმფრინავი X-14 A.....	32
სურ. 12 თვითმფრინავი SC 1.....	32
სურ. 13 თვითმფრინავი XV-5A.....	32
სურ. 14 ვერტიკალურად ამფრენ-დამჯდომი გამანადგურებელი "AV-8B Harrier".....	33
სურ. 15 ვერტიკალურად ამფრენ-დამჯდომი სამხედრო სამგზავრო თვითმფრინავი V-22 "Osprey".....	33
სურ. 16 ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ფრთა.....	36
სურ. 17 ფრთის დიამეტრის ცვლის კონსტრუქციის მართვის მექანიზმი.....	36
სურ. 18 ფრთის კვეთის პროფილი, გრეხილობის ცვლის მექანიზმით თვითმფრინავისთვის V-22 "Osprey".....	37
სურ. 19 ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ფრთის კონსტრუქცია.....	39
სურ. 20 სიმძლავრის დამოკიდებუ-ლება ფრთაზე დატვირთვის კოეფიციენტზე.....	40
სურ. 21 ავია-კოსმოსური საფრენი აპარატი.....	41
სურ. 22 მზიდი ხრახნის მოწყობილობა.....	43
სურ. 23 მზიდი ხრახნის საყრდენი კვანძი მისი დიამეტრის შეცვლის მექანიზმით.....	45
სურ. 24 ფიუზელაჟის კუდის ნაწილი.....	46
სურ. 25 ფრთის კონსტრუქციის სქემა.....	49
სურ. 26 ხრახნის ფრთის კონსტრუქცია.....	50
სურ. 27 ფრთის ნერვიურები და ლონჟერონის კონსტრუქცია.....	51
სურ. 28 ფრთის კუდი.....	52
სურ. 29 ფრთის ტელესკოპური ნაწილი.....	52
სურ. 30 ხრახნის გეომეტრიის ცვლილების მექანიზმი.....	53
სურ. 31 ნერვიურის თითისა და სპირალური ღარის ურთიერთქმედება.....	54
სურ. 32 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი.....	56

სურ. 33 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტენდის მართვის კინემატიკური სქემა	56
სურ. 34 ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმების ვარიანტები	59
სურ. 35 ჰიდროცილინდრისა და ჰიდროაკუმლიატორის მილისის ქვემოთ დამაგრების სქემა	62
სურ. 36 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვლევის სტენდი	63
სურ. 37 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვლევის სტენდი	66
სურ. 38 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვლევის სტენდის მოდერნიზების ვარიანტი	67
სურ. 39 სტენდის კინემატიკური სქემა	69
სურ. 40 სტენდის მოქმედების პრინციპი	70
სურ. 41 სტენდის პირველი ბლოკი	72
სურ. 42 სტენდის მეორე ბლოკი	72
სურ. 43 სტენდის მესამე ბლოკში ჩამონტაჟებული ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი	73
სურ. 44 დაკომპლექტებული მესამე ბლოკის საერთო ხედი ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნით.	73
სურ. 45 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდერნიზირებული დინამიური გამოცდების სტენდი	74
სურ. 46 სტატიკური გამოცდების სტენდის სქემა	75
სურ. 47 სტატიკური გამოცდების სტენდი	76
სურ. 48 ფრთაზე მოქმედი ძალები	77
სურ. 49 სტენდზე დამაგრებული ცილინდრი ცენტრიდანული ძალების იმიტირებისთვის	79
სურ. 50 ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი	79
სურ. 51 სტენდის დამზადების პროცესი	80
სურ. 52 გამოსაცდელად გამზადებული ხრახნის ფრთა	80
სურ. 53 ამწევი ძალის იმიტირება	81
სურ. 54 ფრთაზე მოქმედი ძალები	82
სურ. 55 ფრთის კვეთებში მოქმედი ძალები	83
სურ. 56 ხრახნის გეომეტრიული მონაცემები	84
სურ. 57 ბრუნთა რიცხვისა და საჰაერო დატვირთვის ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკი	85
სურ. 58 დატვირთვების განაწილება ფრთის გასწვრივ	88
სურ. 59 ქორდის გასწვრივ დატვირთვების განაწილების დიაგრამა	88
სურ. 60 ფრთის მოძრავი ნაწილის ცენტრიდანული ძალის ცვლილების ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკი	90
სურ. 61 შპინდელის კონუსური ნახვრეტის პოლირების სქემა პნევმო საყრდენებზე	93
სურ. 62 ფრთის ბალანსირების მოწყობილობა	93
სურ. 63 ნახვრეტის დამუშავების სამარჯვი D80მმ.	93
სურ. 64 ფრთის ღუნვის განსაზღვრის სქემა	95
სურ. 65 ფრთის ღუნვის გაზომვის პროცესი სტენდზე	95

სურ. 66 ფრთის ზედაპირზე მინაწებების განთავსების სქემა.....	96
სურ. 67 ბერკეტული სისტემის მხრების განაწილების სქემა.....	97
სურ. 68 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქციულ ძალური სქემა ფრთის ბოლო ნაწილის პროფილზე.....	98
სურ. 69 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქციულ ძალური სქემა ფრთის შიდა ნაწილის პროფილზე.....	99
სურ. 70 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქციულ ძალური სქემა ფრთის სრულ ფართზე.....	100
სურ. 71 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქცია, ფრთაზე აეროდინამიკური დატვირთვების იმიტირებისათვის.....	101
სურ. 72 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხის-ტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე.....	101
სურ. 73 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხის-ტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით.....	101
სურ. 74 ტენზომეტრიული მეთოდით ხრახნის წვევის განსაზღვრის სქემა..	103
სურ. 75 ხრახნის წვევის ძალის გაზომვის მოწყობილობების მონტაჟის სქემა.....	104
სურ. 76 ხრახნის წვევის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე და დაყენების კუთხეზე.....	105
სურ. 77 ანემომეტრების საშუალებით ხრახნის წვევის განსაზღვრის სქემა..	106
სურ. 78 ფრთის გასწვრივ ინდუქციური სიჩქარეების განაწილების გრაფიკი, ხრახნის მინიმალურ და მაქსიმალურ დიამეტრებზე. როტორის ბრუნთა რიცხვი - 150ბრ/წთ, შეტევის კუთხე - 5°.....	107

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთის გასწვრივ საჰაერო დატვირთვის განაწილება.....	86
ცხრილი 2 საჰაერო დატვირთვა ფრთის რადიუსის გასწვრივ.....	87
ცხრილი 3 ხრახნის ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალები.....	90

დანართების ნუსხა

დანართი 1 ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმის საპასუხისმგებლო ელემენტების გაანგარიშება.....	114
დანართი 2 ფრთის დრეკადობის წირი სხვა და სხვა დიამეტრზე და დატვირთვაზე.....	120

მადლიერების გვერდი

მადლობა მინდა ვუთხრა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მექანიკის ინჟინერიის საწარმოო ტექნოლოგიური დეპარტამენტის სრულ პროფესორს ჩემს ხელმძღვანელს რაული თურმანიძეს რომელსაც უდიდესი წვლილი მიუძღვის ჩემს არა მხოლოდ პროფესიონალურ არამედ პიროვნულ ჩამოყალიბებაში.

შესავალი

თემის აქტუალურობა: რეაქტიული ავიაციის ინტენსიური განვითარების მიუხედავად, დღეს არსებობს ხრახნიანი ავიაციის ეფექტური გამოყენების სფეროები. რაც განპირობებულია იმით, რომ რეაქტიული თვითმფრინავების სიჩქარის ზრდასთან ერთად შესაბამისად მატულობს ფრენის კომფორტულობა და გადაზიდული ტვირთის რაოდენობა, თუმცა, ამავდროულად იზრდება დაფრენის სიჩქარე და აეროდრომების ბეტონირებული ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის სიგრძე. ეს იწვევს აეროდრომების დაპროექტებისა და აშენების ხარჯების გაზრდას. ამავდროულად მატულობს აეროპორტების დასახლებული პუნქტებისგან დაშორება და ტვირთების და მგზავრების აეროპორტებამდე ტრანსპორტირების ხარჯები.

ეს ნაკლოვანებები პრაქტიკულად გამორიცხულია შვეულმფრენების გამოყენების დროს, რომლებსაც შეუძლიათ მოახდინონ აფრენა და დაფრენა უშუალოდ დანიშნულების ადგილთან სიახლოვეში. თუმცა, ისინი თვითმფრინავებს ჯერ კიდევ უთმობენ სიჩქარეში, ფრენის სიშორეში და ტვირთამწეობაში.

ამიტომაც, შვეულმფრენებისა და თვითმფრინავების ძირითადი დადებითი თვისებების შერწყმის მიზნით მრავალი ათეული წლის მანძილზე ტარდება ფართომასშტაბიანი სამეცნიერო-კვლევითი და საგამოცდო-საკონსტრუქტორო სამუშაოები. ამ სამუშაოების შედეგად შეიქმნა საფრენი აპარატებისა და ამძრავების ბევრი ახალი კონსტრუქცია, რომელმაც გარკვეული როლი ითამაშა ხრახნიანი ავიაციის განვითარებაში. რამოდენიმე მათგანი საბოლოო შემუშავების პროცესშია და ჯერ ფართო პრაქტიკული გამოყენება არ აქვთ. ამასთან, სხვადასხვა სკოლის მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ განსაკუთრებით პერსპექტიულ მიმართულებად შეიძლება ჩაითვალოს უშუალოდ საჰაერო ხრახნების სრულყოფა, ასევე უაეროდრომო ავიაციის - ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავების შექმნა, რომლებშიც შვეულმფრენის

ვერტიკალური აფრენა–დაფრენის კომფორტი წარმატებით არის შეთავსებული თვითმფრინავის ეკონომიურ ჰორიზონტალურ ფრენასთან. თუმცა, მრავალი სხვადასხვა ტიპის ვერტიკალურად ამფრენ დამფრენი აპარატის კონსტრუქციის შექმნის მიუხედავად, ისინი ჯერჯერობით თვითმფრინავს ტვირთამწეობაში და ეკონომიურობაში ჩამოუვარდებიან [1,2].

ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის მთავარ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი საჰაერო ხრახნის არასრული ტრანსფორმაცია. სასურველია მის ხრახნს ვერტიკალურად აფრენის რეჟიმში გააჩნდეს დიდი დიამეტრი და მცირე გრეხვა, ხოლო ჰორიზონტალურად ფრენის რეჟიმში მცირე დიამეტრი და დიდი გრეხვა. სინამდვილეში მისი ხრახნი წარმოადგენს კომპრომისს მზიდ ხრახნსა და სამარშო ხრახნს შორის. შესაბამისად მას არ გააჩნია საუკეთესო მახასიათებლები არც დაკიდების რეჟიმში და არც ჰორიზონტალური ფრენის რეჟიმშიც.

საჰაერო ხრახნის გეომეტრიის ტრანსფორმაცია ასევე აუმჯობესებს ხრახნიანი თვითმფრინავებისა და ვერტმფრენების საფრენოსნო მონაცემებზე. კეროდ ამცირებს თვითმფრინავის აფრენის და დაფრენის მანძილს, ზრდის მის ჰორიზონტალურად ფრენის სიჩქარეს ან ფრენის სიშორეს იგივე საწვავის ოდენობით. ვერტმფრენზე ტრანსფორმირებადი საჰაერო ხრახნის გამოყენება, ზრდის მის ტვირთამწეობას და ფრენის სიჩქარეს ან ფრენის სიშორეს.

ხრახნის ფრთების ოპტიმალური აეროდინამიკური მუშაობის ხარისხი არის დამოკიდებული მის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, ხრახნის დიამეტრზე და ფრთის გრეხილობაზე. ამასთან ფრენის პროცესში ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების შეცვლა დამოკიდებულია საიმედო და ოპტიმალურ მექანიზმის არსებობაზე, ამიტომ საჭიროა დამუშავდეს ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილების საიმედო კონსტრუქცია.

სამუშაოს მიზანია: გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნების გაუმჯობესებული კონსტრუქციების შექმნა, მისი მართვის მექანიზმების დახვეწა, ხრახნის დიამეტრის ცვლილების სისტემასთან შერწყმული ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმის შემუშავება. ხრახნის მექანიზმების ფუნქციონირების საიმედოობის და მისი აეროდინამიკული მაჩვენებლების საკვლევი სტენდების და მათზე კვლევის მეთოდის შექმნა, დამზადებული ხრახნის კონსტრუქციის საიმედოობის და ხრახნის ფრთების გეომეტრიული პარამეტრების რეგულირებით მიღებული აეროდინამიკული პარამეტრების ცვლილების კანონზომიერების შესწავლა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები: შეიქმნა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელი, ცენტრიდანული ძალების მავნე ზემოქმედების კომპენსირების მექანიზმით. დაგეგმარდა და დამზადდა მისი კვლევის დინამიკური სტენდი. შემუშავდა ხრახნის კვლევის სპეციალური მეთოდები მისი მექანიზმების მუშაობის და გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილების შედეგად აეროდინამიკული მახასიათებლების ცვლილების შესასწავლად. ანემომეტრების და ტენზომეტრიული გაზომვების მეთოდებით განსაზღვრულია ამწევი ძალის მნიშვნელობები ხრახნის დიამეტრისა და მისი ბრუნთა რიცხვების დიდ დიაპაზონებში ცვლილების დროს. შესწავლილია როტორის დიამეტრის, ფრთის გრეხილობის და შეტევის კუთხის დინამიკაში ცვლის შედეგად ფრთის გასწვრივ წარმოქმნილი ამწევი ძალების განაწილების ხასიათი.

დინამიკაში კვლევების სტენდზე ექსპერიმენტების ჩატარებისას უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით შექმნილია სპეციალური სტენდი როტორის კვანძების წინასწარი სტატიკური გამოცდებისთვის. მასზე შეიძლება განხორციელდეს ფრთებზე მოქმედი, თეორიულად წინასწარ განსაზღვრული, მოსალოდნელი ამწევი და ცენტრიდანული ძალების იმიტირება სხვადასხვა დიამეტრებზე და ბრუნთა რიცხვებზე, რითაც მოწმდება მექანიზმების მუშაობის საიმედოობა ცენტრიდანული

ძალების კომპენსირების მექანიზმით და მის გარეშე. დადებითი შედეგების მიღწევის შემდეგ გრძელდება ექსპერიმენტები დინამიკული კვლევების სტენდზე.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე: დამუშავებულია საჰაერო ხრახნების რამოდენიმე გეომეტრიული პარამეტრის დინამიკაში ერთდროულად ცვალებადობის კონსტრუქცია და დასაბუთებულია საფრენ აპარატებზე მისი გამოყენების შემთხვევაში ფრენის ყველა რეჟიმში საექსპლუატაციო მახასიათებლების მაქსიმალური მნიშვნელობების უზრუნველყოფის შესაძლებლობა.

შემუშავებულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნის კონცეფცია.

დამუშავდა და დამზადდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოქმედი მოდელი, რომელსაც ერთდროულად დინამიკაში შეუძლია სამი გეომეტრიული პარამეტრის ცვლა. მისი საპასუხისმგებლო ელემენტების განტვირთვის მიზნით, იგი აღიჭურვა ხრახნის მაღალ ბრუნთა რიცხვზე წარმოქმნილი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით.

შეიქმნა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რითაც მოხდა მისი მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და განისაზღვრა ხრახნის გეომეტრიის ცვლილებით მიღებული აეროდინამიკული ეფექტი. როტორის დინამიკულ სტენდზე გამოცდამდე მისი კვანძების საიმედოობის წინასწარი გამოკვლევისთვის, დამზადდა სტატიკური კვლევების სტენდი. შემუშავდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტატიკურ და დინამიკულ სტენდებზე კვლევების სპეციალური მეთოდიკა.

ხრახნის მოდელის სტატიკურ სტენდზე ჩატარებული კვლევების შედეგად დამტკიცდა ფრთის მექანიზმების მუშაობის საიმედოობა, გამოიცადა ცენტრიდანული ძალების მექანიზმის მუშაობის ეფექტურობა.

დინამიკური კვლევების სტენდზე განისაზღვრა ხრახნის ფრთის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლის შედეგად ამწევი ძალის

მნიშვნელობები ხრახნის დიამეტრისა და მისი ბრუნთა რიცხვების დიდ დიაპაზონებში ცვლილების დროს. განსაზღვრულია აგრეთვე ამწევი ძალების განაწილების ხასიათი ფრთის გასწვრივ კვეთში მისი გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილების დროს.

პრაქტიკული შედეგები: ჩატარებული სამუშაოების შედეგად მიღებულია შემდეგი შედეგები:

- შემუშავებულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნის კონცეფცია.
- დამუშავდა და დამზადდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოქმედი მოდელი, რომელსაც ერთდროულად დინამიკაში შეუძლია სამი გეომეტრიული პარამეტრის ცვლა. მისი საპასუხისმგებლო ელემენტების განტვირთვის მიზნით, იგი აღიჭურვა ხრახნის მაღალ ბრუნთა რიცხვზე წარმოქმნილი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით.
- შეიქმნა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რითაც მოხდა მისი მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და განისაზღვრა ხრახნის გეომეტრიის ცვლილებით მიღებული აეროდინამიკული ეფექტი.
- როტორის დინამიკულ სტენდზე გამოცდამდე მისი კვანძების საიმედოობის წინასწარი გამოკვლევისთვის, დამზადდა სტატიკური კვლევების სტენდი.
- შემუშავდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტატიკურ და დინამიკულ სტენდებზე კვლევების სპეციალური მეთოდოლოგია.
- აღნიშნული სტენდები შემდგომში შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შესაბამისი სპეციალობის ბაკალავრიატის და მაგისტრატურის სასწავლო პროცესშიც, ლაბორატორიული და პრაქტიკული მეცადინეობების ჩატარების დროს.

შედეგების გამოყენების სფერო: თეორიული გაანგარიშებებით და შექმნილი მოდელების სპეციალურ საკვლევ სტენდებზე მრავალმხრივი გამოცდებით დადგენილია, დღეისთვის არსებული ფიქსირებული

გეომეტრიის პარამეტრების მქონე ხრახნებთან შედარებით გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჭაერო ხრახნების გამოყენების უპირატესობები ტექნიკის ისეთ აქტუალურ დარგებში, როგორებიცაა თვითმფრინავთმშენებლობა, ქარის ენერგეტიკა, დიდი ტვირთამწეობის დირიჟაბლების მშენებლობა, ჰიდრო ენერგეტიკა, გემთმშენებლობა და სხვა.

სამუშაოს აპრობაცია: სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები მოხსენებული და განსჯილი იქნა

1. XVII საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ სემინარზე „მაღალი ტექნოლოგიები მანქანათმშენებლობაში“ ინტერპარტნიორი - 2008, ალუმტა, 2008წ;
2. XV საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კომფერენციაზე „XXI საუკუნის მანქანათმშენებლობა და ტექნოგარემო“, სევასტოპოლი 2008წ;
3. უკრაინის ახალგაზრდული კომფერენცია „უკრაინის მექანიკური ინჟინერია ახალგაზრდა თვალით“, კიევი, 2012წ.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ:

ნაშრომი შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგები და მათი განსჯის, დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურისა და დანართისაგან. მისი საერთო მოცულობაა 131 გვერდი, იგი შეიცავს 3 ცხრილს და 78 ნახაზს.

I. თავი - ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. საჰაერო ხრახნებისადმი წაყენებული ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნები

თუ პირველი თვითმფრინავის ფრენიდან (1903) სერიულად წარმოებული თვითმფრინავის პირველ ფრენამდე (1907) გავიდა 4 წელი, ვერტმფრენის პირველი ფრენიდან (1907) მისი სერიულად წარმოებული ანალოგის ფრენამდე (1942) - 35 წელი. ვერტმფრენის შექმნის ასეთი ხანგრძლივობა აიხსნება მისი მზიდი ხრახნის სირთულით, თვითმფრინავის ფრთასთან შედარებით, რისთვისაც საჭირო იყო დიდი მოცულობის სამეცნიერო ექსპერიმენტული სამუშაოები. მაგრამ 70 წლიან პერიოდში ვერტმფრენების მზიდი ხრახნების წარმოებისას შეუდარებლად გაიზარდა მათი საიმედოობის და უსაფრთხო ექსპლუატაციის სრულყოფის დონე.

თვითმფრინავზე, რომელსაც აქვს ხრახნული გამწევი დანადგარი, ხრახნი ასრულებს მხოლოდ ერთ ამოცანას — ის ქმნის წევის ძალას, რომელიც აუცილებელია ჰაერის წინაღობის ძალის დასაძლევად და თვითმფრინავის წინ წასაყვანად, ხოლო აფრენისათვის საჭირო ამწევ ძალას ქმნის ფრთა. თვითმფრინავი იმართება მართვადი ზედაპირებით: ელერონები, სიმალის და მიმართულების საჭეები. მაშასადამე, თვითმფრინავზე ყოველი მისი ნაწილი ასრულებს შეიძლება ძალიან მნიშვნელოვან, მაგრამ ვიწრო ფუნქციას და რომელიმე მათგანის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში ნორმალური ფრენა შეუძლებელი გახდება.

ვერტმფრენის ძირითად და მთავარ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს მზიდი ხრახნი.

ვერტმფრენის მზიდი ხრახნი ქმნის მისი ფრენისათვის აუცილებელ ამწევ ძალას. მზიდი ხრახნის წევის ძალა გადაიხრება პილოტის მიერ ნებისმიერი მიმართულებით, არა მარტო იქმნება წევა მოცემული

მიმართულებით, არამედ იქმნება ეფექტი, რომელიც ანალოგიურია თვითმფრინავზე სიმაღლის საჭის და ელერონების მოქმედების. ამგვარად, როგორც ვხედავთ, მზიდი ხრახნი ამწევი ძალის შექმნასთან ერთად ასრულებს სიმაღლის საჭის, ელერონების და გამწევი ხრახნის ფუნქციებს; მაშასადამე ის წარმოადგენს ვერტმფრენის ყველაზე მნიშვნელოვან და საპასუხისმგებლო შემადგენელ ნაწილს.

ამ თვალსაზრისით, ვერტმფრენი წარმოადგენს უფრო სრულყოფილ საფრენ აპარატს ნებისმიერ თვითმფრინავთან შედარებით.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ვერტმფრენის მზიდი ხრახნის ფრთები მუშაობენ რამდენადმე რთულ პირობებში, ვიდრე თვითმფრინავის ფრთა.

თუ თვითმფრინავის ფრთის ყველა წერტილი ხვდება ერთი და იგივე სიჩქარის მქონე ჰაერის ნაკადს, მბრუნავი ხრახნის ფრთების ელემენტებს გარსშემოევლება სხვადასხვა სიჩქარის ჰაერის ნაკადი. მბრუნავი ხრახნის ფრთების ელემენტის წრიული სიჩქარის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$V_{\text{წრ.ელ}} = n \cdot 2\pi \cdot R_{\text{ელ}}/60,$$

სადაც $V_{\text{წრ.ელ}}$ — ფრთის ელემენტის წრიული სიჩქარეა მ/წმ.

$R_{\text{ელ}}$ — ფრთის ამ ელემენტის მდებარეობის რადიუსი.

აღსანიშნავია, რომ ვერტმფრენის მზიდი ხრახნის ფრთის ბოლოზე წრიული სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს 0,7 — 0,8 ბგერის სიჩქარეს ანუ 220-270 მ/წმ, რადგანაც უფრო მაღალ სიჩქარეებზე მკვეთრად მცირდება მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

1.2. საჰაერო ხრახნების გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა საფრენოსნო მონაცემებზე

ძალიან მომგებიანია მზიდ ხრახნებს ქონდეს დიდი დიამეტრი, რადგანაც ამის გამო მკვეთრად მატულობს მათი მარგი ქმედების

კოეფიციენტი ფრთების გარსგარსშემოწერი ფართობის გაზრდის და ამ ფართობის ყოველ კვადრატულ მეტრზე დატვირთვის შემცირების ხარჯზე.

თვითმფრინავებზე მნიშვნელოვანია შენარჩუნდეს განსაზღვრულ საზღვრებში დატვირთვა ფრთის ფართობის ყოველ კვადრატულ მეტრზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$P = G_{ფრ} / S_{ფრ},$$

სადაც P — დატვირთვა ფრთაზე კგ/მ²;

$G_{ფრ}$ — თვითმფრინავის მასა კგ;

$S_{ფრ}$ — ფრთის ფართობი მ²,

ვერტმფრენებისთვის მიღებულია განისაზღვროს დატვირთვა ფრთების მიერ გარსგარსშემოწერილი ფართობის კვადრატულ მეტრზე, რომელიც ტოლია:

$$P = G_{ფრ} / \pi R^2 K,$$

სადაც P — დატვირთვა ფრთის ფართობზე კგ/მ²;

$G_{ფრ}$ — თვითმფრინავის საფრენი მასა კგ;

R — მზიდი ხრახნის რადიუსი მ²;

K — კოეფიციენტი, ტოლია 0,9-0,92.

მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ხრახნის გარსშემოწერილი ფართობზე დატვირთვის განსაზღვრისას უნდა ავიღოთ არა გეომეტრიული ფართობი, არამედ ხრახნის ეფექტური ფართობი, რომელიც გეომეტრიულზე მცირეა ხრახნზე დანაკარგების შედეგად. დანაკარგები მზიდ ხრახნზე გამოწვეულია ფრთების ელემენტების მცირე სიჩქარეებით ხრახნის ცენტრთან და ასევე იმით რომ ხრახნის შუაში მოთავსებულია ღერძი. ფრთების ბოლოებზე დანაკარგები გამოწვეულია ტალღური წინაღობით და ასევე ხდება ნაკადის გადადინება ქვევიდან ზევით. ეფექტური ფართობის გეომეტრიულ ფართობთან შეფარდება ტოლია:

$$K = F_{ეფ} / A_{გეომ} = 0.9, 0.92$$

ჩვეულებრივ, ფრენის დროს ვერტმფრენებზე ხრახნის გარსშემომწერ ფართობის კვადრატულ მეტრზე დატვირთვას აქვს შემდეგი მნიშვნელობები:

- მსუბუქი ვერტმფრენებისთვის 11 - 15 კგ/მ²;
- მძიმე ვერტმფრენებისთვის 18 - 23 კგ/მ².

ხრახნის ყველა ფრთის ჯამური ფართობის შეფარდებას ხრახნის გარსშემომწერ ფართობთან უწოდებენ შევსების კოეფიციენტს (σ), მისი სიდიდე თანამედროვე ვერტმფრენებისათვის იცვლება საზღვრებში 0,03 – 0,08.

ვერტმფრენის ხრახნის ფრთას უძრავ მდგომარეობაში აქვს დიდი ჩალუნვა საკუთარი მასის მოქმედებით, რაც მეტყველებს მის მცირე სიხისტეზე ვერტიკალურ სიბრტყეში. მზიდი ხრახნის ბრუნვის პროცესში, ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით, ხდება "დინამიური სიხისტის" წარმოქმნა. მხოლოდ ამ სიხისტის არსებობა ანიჭებს ფრთას შესაძლებლობას მიიღოს აეროდინამიკური დატვირთვები და შექმნას ამწევი ძალა.

პრაქტიკულად, ფრთის მიერ წარმოქმნილი უმეტესი ამწევი ძალა წარმოიქმნება მის ბოლო ნაწილში, რომელიც შეადგენს მისი სიგრძის ნახევარს, იმის ხარჯზე, რომ დიდია ბოლო ნაწილის ბრუნვითი სიჩქარე.

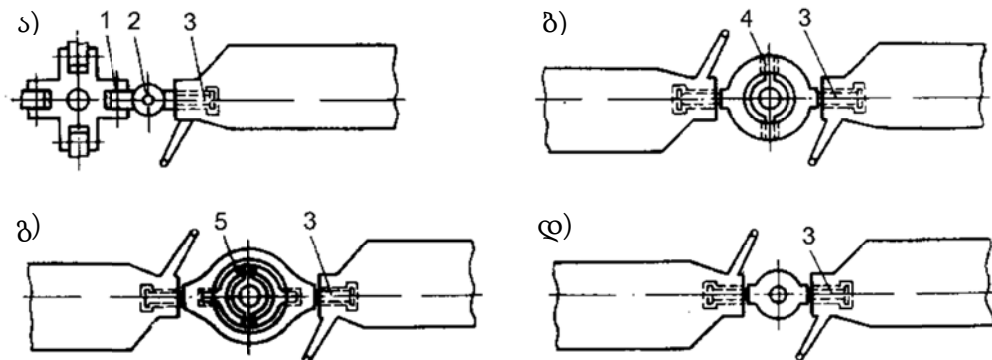
ცნობილია, რომ ფიქსირებული გეომეტრიული პარამეტრების მქონე საჰაერო ხრახნზე ურთიერთსაწინააღმდეგო მოთხოვნების დაყენება სხვადასხვა ფრენის რეჟიმში, ამცირებს ხრახნული საფრენი აპარატების ეფექტურობას. ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია ფრენის პროცესში ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების შეცვლით.

აღსანიშნავია, რომ როგორც თეორიული გათვლები გვიჩვენებს, საჰაერო ხრახნის დიამეტრის ან მისი გრეხილობის ცვლა ცალ-ცალკე არ იძლევა საჰაერო ხრახნების გამოყენების შესაძლებლობის სრულ ეფექტს.

1.3. მზიდი საჰაერო ხრახნების კონსტრუქციების ძირითადი თავისებურებანი

მზიდი ხრახნი ვერტმფრენის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია. მზიდი ხრახნის ძირითადი დანიშნულებაა შექმნას ამწევი ძალა და უზრუნველყოს ვერტმფრენის ჰორიზონტალური გადაადგილება. ამას გარდა მზიდი ხრახნი უზრუნველყოფს ვერტმფრენის მდგრადობას და გამოიყენება მისი მართვისათვის. მოთხოვნები, რომლებსაც ეფუძვნება ხრახნის შექმნა, გამომდინარეობს მისი დანიშნულებისაგან, აეროდინამიკისგან, სიმტკიცისგან, სიხისტისგან და კონსტრუქციის სიმსუბუქისგან, აგრეთვე წარმოების და ექსპლუატაციის პირობებისგან.

მზიდი ხრახნის ძირითადი ელემენტებია - მილისა და ფრთები. ფრთის მილისასთან დამაგრების და მილისის ლილვზე დამაგრების ნაირსახეობის მიხედვით მზიდი ხრახნები იყოფა სამ ტიპად: ფრთის სახსრული დაკიდებით (სურ.1 ა, ბ); კარდანზე (სურ.2 ვ); ფრთის ხისტი დამაგრებით (სურ. 1 გ).

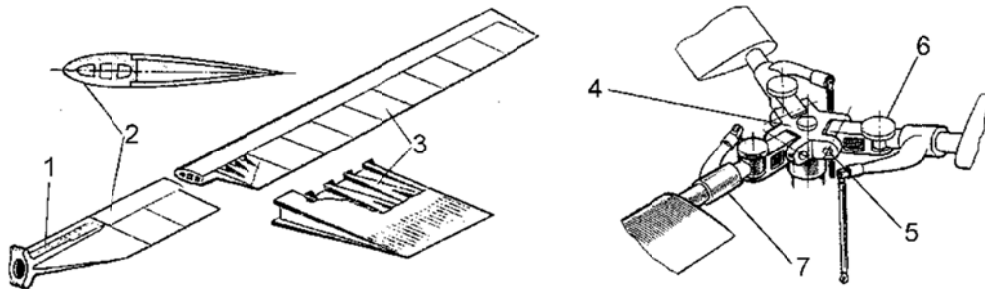


დღევანდელ დღეს რამდენიმე მსუბუქ ვერტმფრენზე იხმარება მზიდი ხრახნები ფრთის რესორული დამაგრებით, რომლებიც შეიძლება მივაკუთვნოთ ხრახნების პირველი ტიპის ნაირსახეობას.

ასეთი ტიპის ფრთას გააჩნია სამი ტიპის სახსარი: ჰორიზონტალური, ვერტიკალური და ღერძული.

ჰორიზონტალური სახსრის საშუალებით ფრთას შეუძლია ე.წ. ქნევითი მოძრაობის შესრულება, ზემოთ და ქვემოთ. ქნევის კუთხე კონსტრუქციულადაა შეზღუდული საყრდენებით.

ვერტიკალური შარნირი ფრთას აძლევს ბრუნვის სიბრტყეში რხევის საშუალებას. ფრთის ჩამორჩენის და წინსწრების კუთხე ასევე შეზღუდულია საყრდენებით. ღერძული შარნირი ფრთას მისი ღერძის გარშემო მობრუნების საშუალებას აძლევს და ცვლის თავის დაყენების კუთხეს (ფრთის ბიჯი).



ლური

ყველაზე მეტად გავრცელებულია ხრახნები ფრთების სახსრული დამაგრებით. ფრთების უმეტესწილად აკეთებენ მართკუთხა ფორმისას. ფრთის ძირითადი ძალური ელემენტია - ლონჟერონი, რომელზედაც მიმაგრებულია ბოლოვანა სექციები (სურ. 2). ყოველი სექცია წარმოადგენს თხელ გარსაცმზე მიმაგრებულ ნერვიურების ნაკრებს. ფრთის

დასამზადებლად, ფართოდ იყენებენ პლასტიკურ მასალებს. ფრთის ძალურ ელემენტს წარმოადგენს ღრუ ცხვირი - ლონჟერონი, რომელიც წარმოადგენს დაფრესილ პროფილს. ბოლო ნაწილი - ამზადებენ გარსშემომდენი ფორმისას თხელი გარსაცმით. ბოლო ნაწილის შიდა სივრცეს ავსებენ ქაფპლასტით ან ფიჭური მასალით. პლასმასის კონსტრუქციის ფრთებს აქვთ მცირე მასა, არ ემუქრებათ კოროზია, ითხოვენ მინიმალურ ტექნიკურ მომსახურებას, აქვთ მომატებული გამძლეობა დარტყმისადმი და მარტივია დასამზადებლად. ფრთის ცხვირის ნაწილს ხშირ შემთხვევაში გაყინვის საწინააღმდეგო მოწყობილობითაა აღჭურვილი.

მზიდი ხრახნის მილისა წარმოადგენს რედუქტორის ლილვის და ფრთების შემაკავშირებელ ელემენტს. მექანიკური ამძრავიდან მბრუნავი მომენტი მილისის საშუალებით გადაეცემა ხრახნს, მილისაზე კონცენტრირდება ყველა ინერციული და აეროდინამიკური ძალები რომლებიც წარმოიქმნება ფრთებზე. მილისას ძირითად ელემენტებს წარმოადგენს: კორპუსი, ჰორიზონტალური, ვერტიკალური და ღერძული სახსრები. მილისას ამზადებენ ლეგირებული ფოლადით, ტიტანის და ალუმინის შენადნობებით და კომპოზიციური მასალებით. კორპუსს გააჩნია საყრდენები, რომლებიც ზღუდავენ ჰორიზონტალურ სახსრის მობრუნებას, ანუ ფრთის ქნევით მოძრაობას, ასევე ფრთის ვერტიკალურ რევას. ხრახნის ამუშავებისას ფრთების დამტვრევისგან დასაცავად გამოიყენება დემფერები.

1.4. ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის ხრახნის

კონსტრუქციის თავისებურებანი

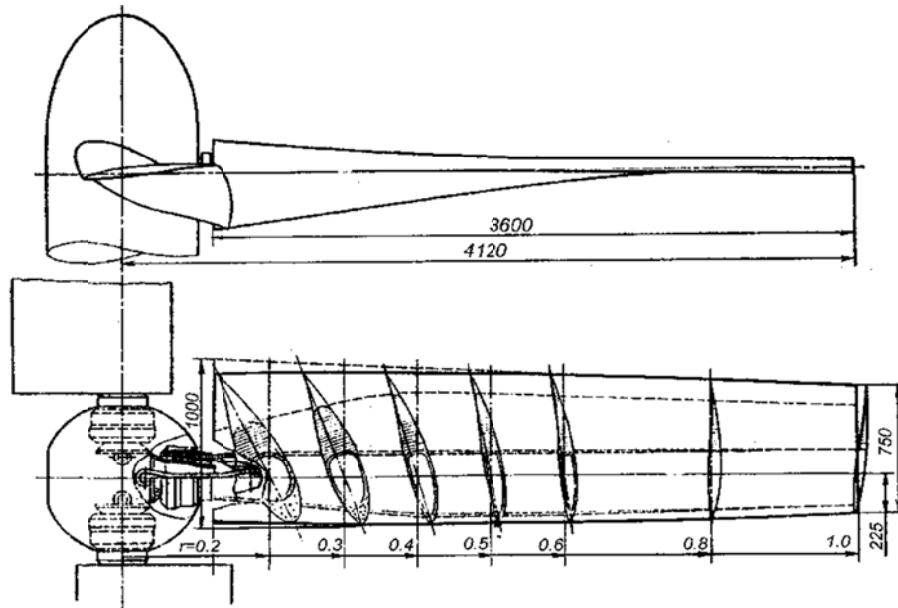
ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ აპარატებზე ტურბოხრახნული ძრავების დაყენებამ საჭაერო ხრახნების კონსტრუქციები ახალი პრობლემების წინაშე დააყენა, რომელთაგანაც ძირითადს წარმოადგენს

დიდი სიმძლავრის წევის ძალად გარდაქმნა შედარებით მცირე დიამეტრის ხრახნით.

დიდი სიმძლავრეების გამოყენება და ხრახნის დიამეტრში შეზღუდვამ გამოიწვია ფრთის სიგანის გაზრდა, განსაკუთრებით ფრთის დაბოლოებებში.

მნიშვნელოვან ინტერესის სფეროს წარმოადგენს, ღრუ ფრთების შექმნა მუშა შემონაკერით, პლასმასის მასალით ფრთის დამზადება, მინაბოჩკოვანი, ქაფპლასტის და ფიჭური კონსტრუქციის გამოყენება.

ერთერთ თანამედროვე მიღწევას წარმოადგენს მსუბუქი კონსტრუქციის ფრთა, რომელსაც გააჩნია ლითონის ლონჟერონი და შუშაპლასტის დაფარვა. ასეთ კონსტრუქციას გააჩნია საკმარისი სიმტკიცე და მცირე მასა. იგი საშუალებას იძლევა შეიქმნას დიდი დიამეტრის ხრახნები მცირე თვითღირებულებით.



ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის Bo.140 ოთხფრთიანი ხრახნის კონსტრუქციის სქემა ნაჩვენებია სურ.3-ზე. ხრახნის

ფრთები ტრაპეციული ფორმისაა, პროფილირებული ლონჟერონი მიმაგრებულია მილისასთან ცანგური მოწყობილობის საშუალებით და ეყრდნობა ორ ფტოროპლასტის საკისარს. ფრთის ცენტრიდანული ძალის დატვირთვას იღებს ტორსიონები. ლონჟერონი დამზადებულია კომპოზიციური მასალით. ფრთის ბოლონაწილს გააჩნია ფიჭური შემავსებელი, შემონაკერი შუშაპლასტისაა, ხოლო მილისა ტიტანისგანაა დამზადებული.

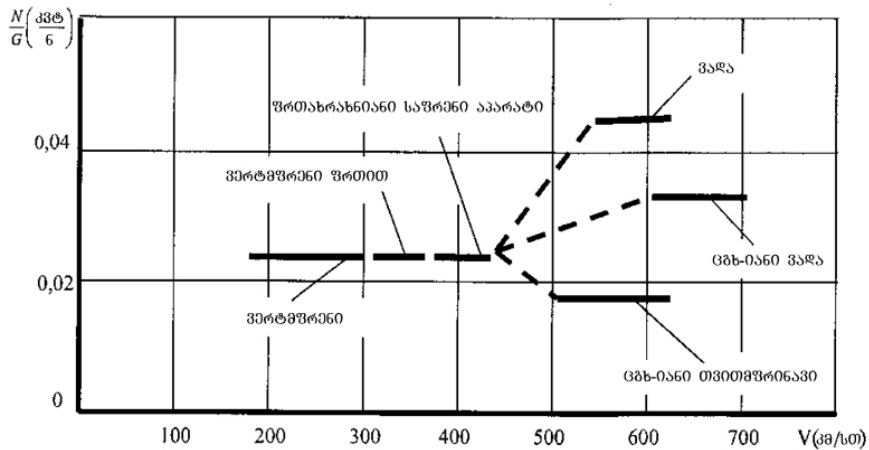
ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავებისთვის მნიშვნელოვან ინტერესს წამოადგენს ნახევრადხისტი ხრახნები. ნახევრადხისტი ხრახნი ეწოდება ხრახნს რომელსაც არ გააჩნია ვერტიკალური და ჰორიზლოტალური სახსრები, ხოლო ფრთის ღუნვადი სიხისტე ძალიან განსხვავებულია ვერტმფრენის ჩვეულებრივი ხისტფრთიანი ხრახნის ფრთის სიხისტისგან. ნახევრადხისტი ხრახნის ძირითადი პრინციპი მდგომარეობს ხრახნის კონსტრუქციის სიმარტივეში და ფრთის ძირითად და ძირა ნაწილში მისი დრეკადობით. რათა ფრენის და დაკიდების რეჟიმში გაიზარდოს მისი მართვადობა. ხრახნის კონსტრუქციის გამარტივება ზრდის მის საიმედოობას, ამარტივებს ექსპლუატაციის პირობებს. ამას გარდა ნახევრად ხისტ ხრახნს, სახსრულ და ხისტ ხრახნებთან შედარებით გაჩნია გაუმჯობესებული აეროდინამიკური და დინამიკური მახასიათებლები. ფრთებს გააჩნიათ დრეკადობა, ამიტომ მათ შეუძლიათ ქნევითი მოძრაობის შესრულება, მნიშვნელოვანი ღუნვითი დამაბულებების წარმოქმნის გარეშე. ნახევრადხისტი ხრახნი ბევრი თვისებით, მათშორის აეროდინამიკის თვალსაზრისით ექვივალენტურია სახსრული ხრახნისა.

ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის ხრახნის ამძრავი ძირითადად შედგება რედუქტორისა და მილისისაგან. ბიჯის ცვლა ხმორციელდება მექანიკურად მილისიდან ჭიხრახნული გადაცემით. უსაფრთხოების თვალსაზრისით ხდება მექანიზმების დუბლირება [3,4,5,6,7].

1.5. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის უპირატესობანი

ხრახნულ ავიაციის მიმართულებაში კომპლექსულ პრობლემას წარმოადგენს საფრენი აპარატების ფრენის ოპტიმიზირება. ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა ოპტიმალური საჰაერო ხრახნის შექმნა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ქვემოთ განხილულია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის (ცგხ) კონცეფცია.

ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ აპარატებს (ვადა) შორის ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვეს მზიდ ხრახნიანმა აპარატებმა - ვერტმფრენებმა. მაგრამ ვინაიდან ჩვეულებრივი ვერტმფრენების მაქსიმალური ფრენის სიჩქარე 300კმ/სთ არ ცდება, ამან ხელი შეუშალა მათ უფრო ფართო გავრცელებას. ფრენის სიჩქარის გასაზრდელად ვერტმფრენს დაუმატეს ფრთა, რამაც მისი სიჩქარე გაზარდა 350კმ/სთ-მდე. საფრენ აპარატზე მზიდ ხრახნთან ერთად სამარშო ხრახნების დამატებამ ფრენის სიჩქარე 400-



სურ. 4 საფრენი აპარატების მოხმარებული სიმძლავრის დამოკიდებულება ფრენის სიჩქარეზე

450კმ/სთ-მდე გაზარდა. ეფექტური აღმოჩნდა ისეთ ტრანსფორმირებად საფრენ აპარატებზე გადასვლა როგორცაა ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავები, ისინი ვერტიკალურად აფრენის შემდეგ ახდენენ თავისი გეომეტრიის ტრანსფორმირებას და იღებენ

ტურბოხრახნული თვითმფრინავის კონფიგურაციას. მაგრამ ცნობილია რომ ისინი უთმობენ საფრენოსნოს-ტექნიკურ მახასიათებლებში ვერტმფრენს დაკიდების რეჟიმში და ტურბოხრახნულ თვითმფრინავს ჰორიზონტალურ ფრენის სიჩქარეში (სურ. 4). ამის მთავარი მიზეზი ისაა რომ მისი ხრახნი წარმოადგენს კომპრომისს მზიდ ხრახნსა და სამარშო ხრახნს შორის. შესაბამისად მას გააჩნია გაუარესებული მახასიათებლები დაკიდების რეჟიმშიც და ჰორიზონტალურ ფრენის რეჟიმშიც [8].

ვერტიკალურად აფრენის რეჟიმში ხრახნს უნდა გააჩნდეს დიდი დიამეტრი და მცირე გრეხილობა. ასეთ შემთხვევაში ხრახნს აქვს შემდეგი უპირატესობები:

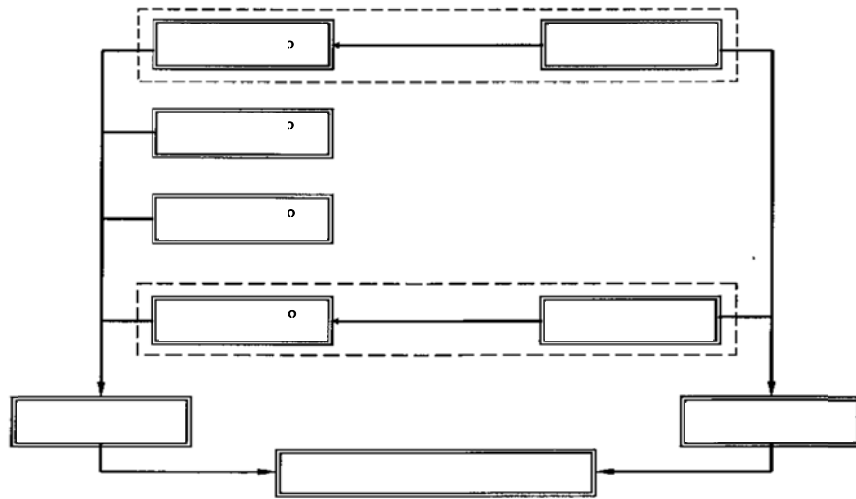
- შემცირებული დატვირთვა შემოწერილ ფართობზე;
- გაზრდილი ტვირთამწეობა;
- ხრახნის გაზრდილი მგკ, მცირდება მოხმარებული სიმძლავრე და შესაბამისად საწვავის ხარჯი;
- ქვემოთ მიმართული ჰაერის ჭავლის შემცირება, რაც ამცირებს მიწიდან ქვების და სხვა ნივთების აწევის ალბათობას, რაც ზრდის საფრენი აპარატის ექსპლუატაციის უსაფრთხოებას;
- ხმაურის შემცირება, რაც გარდა მზავრების კომფორტისა ასევე მნიშვნელოვანია გარემო პირობებისთვის;
- ავტოროტაციის რეჟიმის გაუმჯობესება, რაც უზრუნველყოფს საფრენი აპარატის ავარიულ დაფრენას ძრავის გაუმართაობის შემთხვევაში;
- დაკიდების რეჟიმში საფრენი აპარატის მდგრადობა.

ჰორიზონტალურად ფრენის რეჟიმში ხრახნს საჭიროა ქონდეს მცირე დიამეტრი და დიდი გრეხილობა, რაც უზრუნველყოფს შემდეგ უპირატესობებს:

- გაზრდილი მგკ და შესაბამისად ეკონომიურობა;

- შემცირებული რეაქცია ქარზე, რაც დადებითად მოქმედებს მგზავრების კომფორტზე და ფრენის პირობებზე;
- შემცირებული ხმაური და ვიბრაცია;
- ფრთის ბოლოზე სიჩქარის შესამცირებლად ხრახნის ბრუნთა რიცხვის შეზღუდვის აუცილებლობის არ არსებობა;
- ფრენის კრეისერულის სიჩქარის გაზრდა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის მთავარ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი საჰაერო ხრახნის არასრული ტრანსფორმაცია. შესაბამისად მისი საფრენ-ტექნიკური მონაცემების გასაუმჯობესებლად კარგი იქნებოდა მასზე ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დაყენება (სურ.5).



ემა

ადი

გეომეტრიის ხრახნის დაყენება გარდა იმისა რომ გააუმჯობესებს მის საფრენ-ტექნიკურ მახასიათებლებს, აგრეთვე უზრუნველყოფს მათ უფრო კომპაქტურ განლაგებას დახურულ შენობაში ან ავიაბზიდის ბორტზე [9].

1.6. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნებზე ჩატარებული კვლევები

ვერტმფრენების ერთ-ერთ ნაკლად რჩება მათი ჰორიზონტალური ფრენის სიჩქარე. ფრენის სიჩქარის გაზრდის სურვილმა წარმოშვა იდეა შექმნილიყო კომბინირებული საფრენი პარატი, რომელიც წარმოადგენს ჰიბრიდს ვერტმფრენსა და თვითმფრინავს შორის. ეს საფრენი აპარატები აფრენას ახორციელებენ ჩვეულებრივი ვერტმფრენის პრინციპით, ჰორიზონტალურად ფრენისას ამწევ ძალას ქმნის როგორც მზიდი ხრახნი, ასევე ფრთა, რომელიც აღჭურვილია გამწევი ხრახნებით. მაგალითად ინგლისში შეიქმნა ასეთი სამგზავრო თვითმფრინავი Rotordyne, საბჭოთა კავშირში შეიქმნა KA-22 (სურ. 6) და სხვა. ასეთი საფრენი აპარატები საშუალებას იძლევა ფრენის სიჩქარე გაიზარდოს 300...400 კმ/სთ-მდე.



Rotordyne



KA-22

სურ.6 ვერტმფრენისა და თვითმფრინავს ჰიბრიდები



სურ. 7 „კონვერსი“ ფირმის XFV-1

საფრენი აპარატების სიჩქარის შემდგომი გაზრდისათვის, წარმოიშვა იდეა შექმნილიყო ვერტიკალურად ამფრენ-დამჯდომი თვითმფრინავი, ანუ საფრენი აპარატი, რომელიც აფრენა-დაფენას შეასრულებს ვერტმფრენის მაგვარად, ხოლო ჰორიზონტალურ ფრენას — როგორც თვითმფრინავი.

ბევრი ცნობილი საკონსტრუქ-

ტორო განყოფილება იყო დაკავებული ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ თვითმფრინავთან დაკავშირებული საკითხების გამოკვლევით.



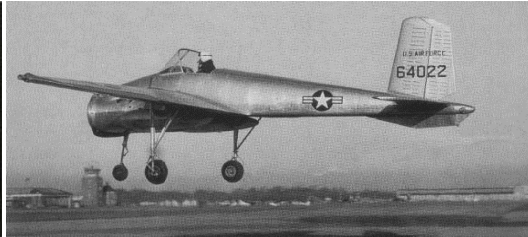
სურ. 8 თვითმფრინავი XV-3



სურ. 9 თვითმფრინავი X-22A



სურ. 10 თვითმფრინავი XC-142 A



სურ. 11 თვითმფრინავი X-14 A



სურ. 12 თვითმფრინავი SC 1



სურ. 13 თვითმფრინავი XV-5A

ექსპერიმენტული საფრენი აპარატის შექმნისას ერთ-ერთი იდეა იყო, აფრენის დროს აპარატი მდგარიყო კუდზე და აფრენის შემდგომ კორპუსის სივრცეში მდებარეობის შეცვლის გზით განეხორციელებინა გადასვლა ჰორიზონტალურ ფრენის რეჟიმზე. ასეთი აპარატი იყო მაგალითად „კონვერის“ ფირმის XFV-1 (სურ. 7).

ვერტიკალურად ამფრენ დამფრენი თვითმფრინავის ამგვარმა გადაწყვეტამ განვითარება ვერ პოვა. უფრო დიდი ინტერესი გამოიწვია

აპარატებმა, რომლებიც ფრენისას ტრანსფორმირდებოდნენ. ერთ-ერთი ასეთი იყო ბელის ფირმის XV-3 (1995), მობრუნებადი საჰაერო ხრახნებით, რომლებიც დამაგრებული იყო ფრთების ბოლოებზე (სურ.8). ორიგინალური გადაწყვეტას წარმოადგენს ხილერის ფირმის X-22A (1966) (სურ.9). 1964 წელს შეიქმნა სამხედრო სატრანსპორტო თვითმფრინავი მობრუნებადი ფრთებით XC-142A (სურ.10) [10,11].

ერთ-ერთი ვარიანტის მიხედვით, ვერტიკალური წევის მისაღებად არ არის აუცილებელი ძალური დანადგარის, ფრთის ან საფრენი აპარატის მთლიანი კორპუსის შემობრუნება. შემოთავაზებული იყო იდეა შემობრუნებულიყო რეაქტიული წევა მობრუნებადი საქმენების გამოყენებით. ამ გზით წავიდა ბელის ფირმა, რომელმაც შექმნა თვითმფრინავი X-14A (1957), მობრუნებადი საქმენებით (სურ.11). რაიანის ფირმამ შექმნა თვითმფრინავი SC 1 (1957), რომელიც აღჭურვილი იყო, როგორც ამწევი ასევე სამარშუტო ძრავებით (სურ.12). რაიანის ფირმაც წავიდა იგივე გზით XV-5A თვითმფრინავისთვის (1964) წელს, ამწევ ძალას ქმნიდა ხრახნული ძრავა, რომელიც დამაგრებული იყო ფრთაზე (სურ.13) [12].



სურ. 14 ვერტიკალურად ამფრენ-დამჯდომი გამანადგურებელი "AV-8B Harrier"



სურ. 15 ვერტიკალურად ამფრენ-დამჯდომი სამხედრო სამგზავრო თვითმფრინავი V-22 "Osprey"

ბუნებრივია, რეაქტიული ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავი მის ხრახნულ ანალოგებთან შედარებით, არის ნაკლებად ეკონომიური, მაგრამ მათი ძირითადი უპირატესობა არის დიდი სიჩქარე. უნდა აღინიშნოს, რომ 20-ე საუკუნეში ამ საკითხის მიმართ დიდი

დაინტერესების მიუხედავად, 21-ე საუკუნეში ეს ინტერესი რამდენადმე ჩაქრა. დღესდღეობით არსებობს რამდენიმე ექსპლუატაციაში მყოფი ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის მოდელი, მათ შორის ყველაზე წარმატებულია სამხედრო კლასის ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავი – გამანადგურებელი ხარიერი GR.3 (სურ. 14), რომლის მაქსიმალური სიჩქარეა 1175 კმ/სთ [13], ხოლო სატრანსპორტო კლასში – სამხედრო სატრანსპორტო თვითმფრინავი V-22 “ოსპრეი” (სურ. 15) [14].

საავიაციო ტექნოლოგიების თანამედროვე შესაძლებლობები ახალ პერსპექტივებს ხსნის და ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის განვითარების საშუალებას იძლევა. პერსპექტიულ პროექტებს შორის შეიძლება აღინიშნოს ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვითმფრინავის სამგზავრო პროგრამა მობრუნებადი ხრახნებით EUROFAR (დიდი ბრიტანეთი-საფრანგეთი-იტალია). EUROFAR (European Future Advanced Rotorcraft) პროგრამის მიზანია შეიქმნას ვერტიკალური აფრენის სამგზავრო თვითმფრინავი მობრუნებადი ხრახნებით მცირე მანძილების საჰაერო ხაზებზე [15,16,17].

დღესდღეობით გამოიკვეთა ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი საფრენი აპარატების განვითარების ორი ძირითადი მიმართულება: სამხედრო და სატრანსპორტო. სამხედრო თვითმფრინავებზე მაღალი სიჩქარეების და მანევრულობის მოთხოვნიდან გამომდინარე, გამოიყენება რეაქტიული ძრავები. სატრანსპორტო მიზნებისთვის პერსპექტიულია ხრახნული ძრავების გამოყენება. ამ შემთხვევაში მთავარ ინტერესს წარმოადგენს შესაძლებლობა აიგოს მცირე ზომის ასაფრენ დასაფრენი ბილიკი ქალაქების ახლოს, რაც მნიშვნელოვანად განტვირთავს მსხვილი ქალაქების აეროპორტებს. აეროპორტის გარეშე ავიაციის განვითარება წარმოადგენს 21-ე საუკუნის ერთერთ მთავარ გამოწვევას. დღევანდელ ამ კლასის სატრანსპორტო თვითმფრინავებზე დიდი ტვირთამწეობის და ეკონომიურობის მოთხოვნიდან გამომდინარე, ყველაზე მისაღები აღმოჩნდა

ტურბოხრახნული ძრავის სქემა. ხრახნის წვევის ძალის მობრუნება ამ შემთხვევაში ხორციელდება ან ფრთაზე მოთავსებული ძალური დანადგარის შემობრუნებით, ან ფრთის შემობრუნებით მასზე განთავსებული ძრავით. ამ კლასის თვითმფრინავის საუკეთესო მაგალითია საჰაერო სატრანსპორტო თვითმფრინავი V-22 “ოსპრეი”.

ცნობილია, რომ ხრახნული ვერტიკალურად აფრენ-დამჯდომი თვითმფრინავი საფრენ-ტექნიკური მახასიათებლებით ჩამოუვარდება როგორც ვერტმფრენს (ვერტიკალურად ამფრენის რეჟიმში) აგრეთვე თვითმფრინავს (ქორიზონტალურად ფრენის რეჟიმში). ამის მიზეზი არის არამარტო ძალური დანადგარის და მართვის სისტემის სირთულე, ასევე ხრახნული ვერტიკალურად აფრენ-დამჯდომი თვითმფრინავის წამყვანი ხრახნის არასრული ტრანსფორმაცია.

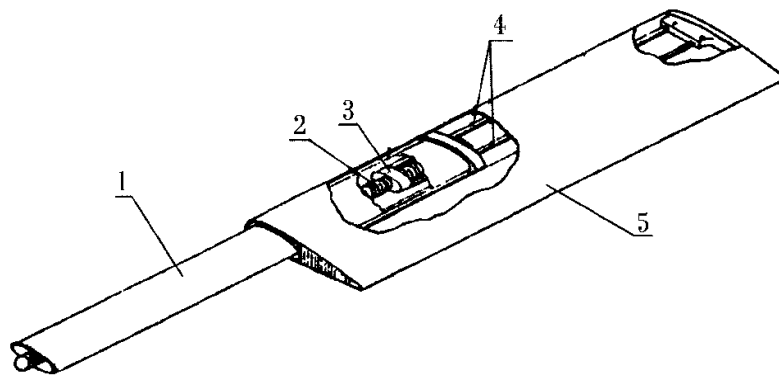
ვერტმფრენის მზიდი ხრახნის მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიღების პირობაა — მცირე ბიჯი, დიდი დიამეტრი და მცირე გრეხილობა, ხოლო თვითმფრინავის წამყვანი ხრახნი ჰორიზონტალური ფრენისას — დიდი ბიჯი, მცირე დიამეტრი და დიდი გრეხილობა.

ამის გამო, აუცილებელია, ხრახნული ვერტიკალურად აფრენ-დამჯდომი თვითმფრინავის სრულყოფა ისეთი ტრანსფორმირებადი საჰაერო ხრახნით, რომელსაც აფრენისას ექნება მცირე ბიჯი, დიდი დიამეტრი და მცირე გრეხილობა, ხოლო ჰორიზონტალური ფრენისას დიდი ბიჯი, მცირე დიამეტრი და დიდი გრეხილობა.

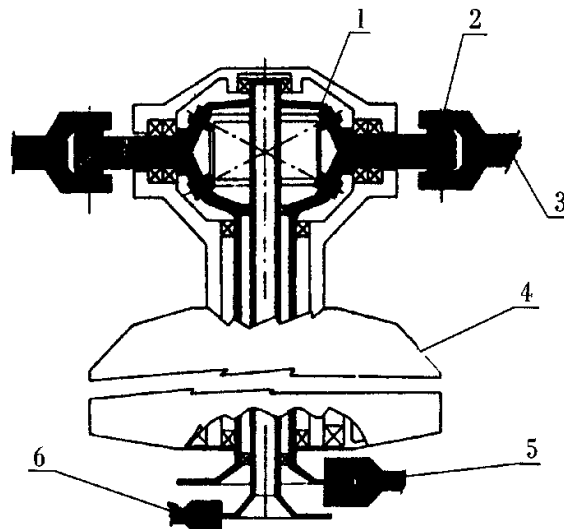
ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დამუშავების მთავარი მიზანი არის ვერტიკალურად აფრენ-დამჯდომი თვითმფრინავის სრულყოფა, მაგრამ ასევე ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას ვერტმფრენების ტვირთამწეობის გასაზრდელად, სატრანსპორტო თვითმფრინავების გარბენის სიგრძის შესამცირებლად და ფრენის სიჩქარის გაზრდის მიზნით.

უნდა აღინიშნოს, რომ საჰაერო ხრახნების გეომეტრიის შეცვლის პრობლემის კვლევა ძირითადად მიმდინარეობდა აშშ-ში, ისეთ წამყვან ფირმებში, როგორებიცაა კორპორაცია Sycorsky, კომპანია Boeing და NASA.

კორპორაცია Sicorsky და NASA ძირითადად თანამშრომლობდნენ ხრახნის დიამეტრის ცვლილების პრობლემაზე (სურ. 16, სურ. 17), ხოლო კომპანია Boeing — ფრთების გრეხილობის ცვლილების პრობლემაზე. ამ სფეროში მნიშვნელოვანი სამეცნიერო გამოკვლევები ჩაატარეს მეცნიერებმა: ე. ფრედენზურგი, რ. სეგელი, დ. მატუსკა, დ. დეივისი, რ. მოფეტი, დ. უენგი, კ. ჯოუნსი (Sicorsky Aircraft Corporation), მ. ნიქსონი, კ. სნუდებიკერი (NASA), ტ. კუეკენბუმი, დ. უოჩსპრესი (Continuum Dynamics), დ. როჯერსი, (Midé Technology Corporation) და სხვა.



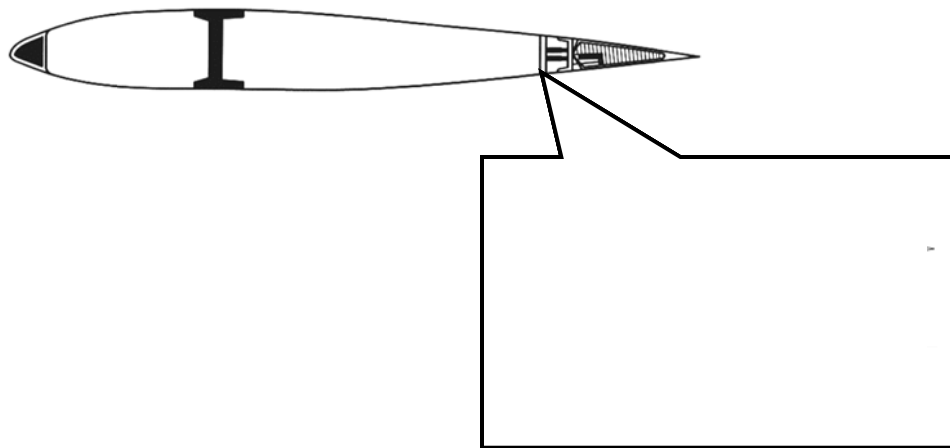
სურ. 16 ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ფრთა.
Sicorsky Aircraft Corporation, NASA:
1-ტელესკოპური ნაწილი, 2-ხრახნი, 3-ქანჩი, 4-ლონჯერონი, 5-ფრთა



სურ. 17 ფრთის დიამეტრის ცვლის კონსტრუქციის მართვის მექანიზმი.
Sicorsky Aircraft Corporation, NASA:
1-კბილათვალი, 2-შარნირი, 3-ხრახნი, 4-გადაცემის კოლოფუ, 5-დიამეტრის შესამცირებელი ქურო, 6- დიამეტრის გასაზრდელი ქურო.

მეტად საინტერესო შედეგები იქნა მიღებული Sycorsky Aircraft Corporation-ში, შემუშავებული იქნა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების პროგრამა საჰაერო ხრახნის მახასიათებლების განსასაზღვრად. ეს იყო ცვალებადი დიამეტრის ხრახნი ტელესკოპური ფრთებით, უნიკალური კონცეფცია მზიდ ხრახნიანი საფრენი აპარატების სრულყოფისათვის. პროგრამა შედგებოდა ფრთების კონსტრუქციის წინასწარი გამოკვლევის და აეროდინამიკულ მილში გამოცდის ეტაპებისგან. პროგრამის მთავარი მიზნები იქნა მიღწეული. ხრახნის მოდელი წარმატებით მუშაობდა ფრენის ყველა დაგეგმილ რეჟიმზე.

ინტერესს წარმოადგენს Continuum Dynamics-ის მიერ თვითმფრინავ V-22 "Osprey"-სთვის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ფრენის რეჟიმის ოპტიმიზაციისთვის დამუშავებული, ცვალებადი გრეხილობის საჰაერო ხრახნის ფრთის კონსტრუქცია. გამოგონებას საფუძვლად უდევს ფრთის პროფილის ბოლო ბაწილის მობრუნების შესაძლებლობა ე.წ. მეხსიერებიანი შენეადნობის საშუალებით. (სურ.18)



ქანიზმით

ცვალებადი დიამეტრის მზიდი ხრახნი დამუშავდა მოსკოვის საავიაციო ინსტიტუტში 1993 – 1995 წლებში. მზიდი ხრახნს ჰქონდა 3 მ დიამეტრი ფრთების გაშლილ მდგომარეობაში.

მზიდი ხრახნის ბრუნვის დროს ბაგირის ფორმის მოქნილი ლონჟერონის გაშლა შესაძლებელია, ფრთის მასით გამოწვეული ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით ხოლო დაკეცვა დოლზე დახვევით, გახსნა-დაკეცვის მექანიზმის საშუალებით [28].

რადგან ექსპერიმენტის დროს გამოვლინდა რომ ფრთების მოძრაობა სტაბილურია, შემდგომში არის შესაძლებლობა გაიზარდოს ლონჟერონის სიგრძე და შესაბამისად ხრახნის დიამეტრი.

ხრახნის ფრთების გარსგარსშემომწერი ფართობის სიდიდე ბოლომდე გამოშვებულ მდგომარეობაში (ბაგირით აღწერილი ფართობის გათვალისწინების გარეშე) 3-ჯერ მეტია მზიდი ხრახნის ფართობზე შეკეცილი ფრთებით. ბაგირის მასა შეადგენს ფრთის მასის 1/13-ს.

ცვალებადი დიამეტრის მზიდი ხრახნის უპირატესობა გამოწვეულია ფრთების გარსშემომწერი ფართობის მნიშვნელოვნად გაიზარდის შესაძლებლობით. ცნობილია, რომ რაც უფრო დიდია მზიდი ხრახნის დიამეტრი, მით უფრო დიდია ხრახნის წევა.

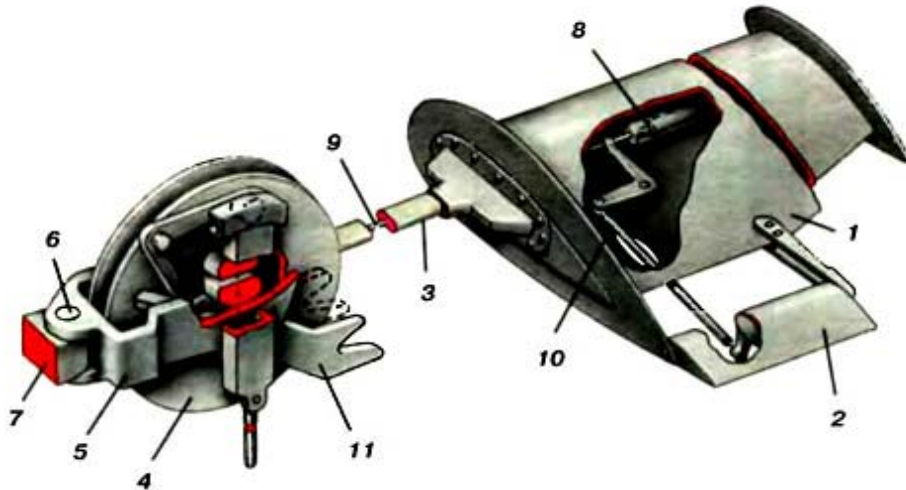
ჩვალეზადი დიამეტრის მზიდ ხრახნს შეუძლია მუშაობა ფრთების ზებგერთი ნაკადის გარს შემოდენისასაც:

შესაძლებელია ფრთაზე თხელი ზებგერთი პროფილის გამოყენება და მოქნილი ლონჟერონის აეროდინამიკური დაპროფილება.

ფრთის კონსტრუქციის თავისებურება შესაძლებლობას იძლევა რამდენჯერმე შემცირდეს მისი მასა ტრადიციულ ანალოგთან შედარებით და უზრუნველყოფილი იყოს კონსტრუქციის ქმედითუნარიანობა დიდ ბრუნვითი სიჩქარეების მიუხედავად.

მოქნილი ლონჟერონის არსებობა შესაძლებლობას იძლევა თავისუფლად აირჩეს ფრთის ფორმა გეგმაში, რაც საშუალებას იძლევა გამოირიცხოს არასასურველი მოქმედება ფრთაზე (განსხვავებით

ვერტმფრენების მზიდი ხრახნებისგან, რომელთათვისაც ეს პრობლემა უბრალოდ გადაუწყვეტადია).



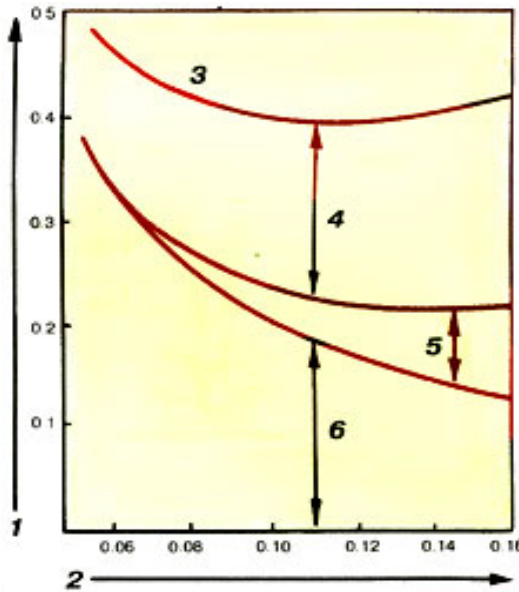
სურ. 19 ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ფრთის კონსტრუქცია:

- 1 — მზიდი ზედაპირის ხისტი დაბოლოება; 2 — მართვადი ფრთაუკანა; 3 — მოქნილი ლონჯერონი; 4 — დოლი; 5 — კავი; 6 — სახსარი; 7 — მზიდი ხრახნის მილისა; 8 — ცენტრიდანული ტვირთი; 9 — ბაგირი; 10 — ქანქარა; 11 — დამჭერი.

ზებგერთი მზიდი ხრახნი გამოიკვლიეს დიდ ბრიტანეთში, ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ თვითმფრინავებზე გამოყენების მიზნით. ექსპერიმენტებში, ფრთის ბოლოზე წრიული სიჩქარე 2-ჯერ აღემატებოდა ბგერის სიჩქარეს. ამის გამო აღმოჩნდა, რომ ზებგერთ ხრახნიანი საფრენი აპარატის ამწევი ძალა და შესაბამისად ასაფრენი მასა იქნებოდა 3-ჯერ დიდი, ვიდრე ბგერამდელ ხრახნიანი აპარატისა (ორივე ხრახნის ტოლი დიამეტრებისთვის), ამასთანავე ძებგერთი მზიდი ხრახნის მასა იქნება ბგერამდელ სიჩქარეზე მომუშავე ხრახნზე მცირე. ხრახნი მზიდობის შესაძლებლობას ინარჩუნებს აირტურბინული თვითმფრინავების ფრენის სიმაღლემდე.

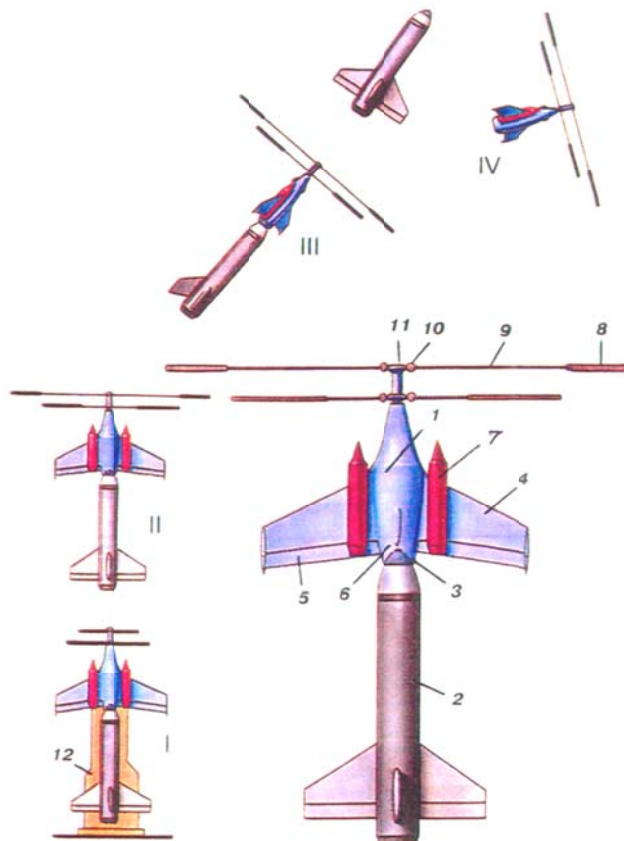
სურ. 20-ზე ნაჩვენებია მასის ერთეულზე მოსული სიმძლავრის დამოკიდებულების ცვლილება ფრთაზე დატვირთვის კოეფიციენტზე.

დატვირთვის კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც წვეა შეფარდებული ფრთის ფართობზე და ატმოსფერულ წნევაზე. ამგვარად, ეს კოეფიციენტი იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. ფრთაზე დატვირთვის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა არის 0,10. თუ დატვირთვის კოეფიციენტს ავირჩევთ 0,08 ან 0,16, მაშინ სიმძლავრე უმნიშვნელოდ გაიზრდება. ეს ნიშნავს, რომ ფრენისათვის საჭირო სიმძლავრე, მაგალითად 6000 მ სიმაღლეზე არ გადააჭარბებს ზღვის დონეზე ფრენისთვის საჭირო სიმძლავრის მნიშვნელობას. ჩვეულებრივი მზიდი ხრახნების კონსტრუქციები საჭიროებს დაახლოებით 1,5-ჯერ მეტ სიმძლავრეს.



სურ. 20 სიმძლავრის დამოკიდებულება ფრთაზე დატვირთვის კოეფიციენტზე:
 1 — მასის ერთეულზე მოსული სიმძლავრის სიდიდე; 2 — ფრთის დატვირთვის კოეფიციენტი; 3 — სრული სიმძლავრე; 4 — ინდუქციური სიმძლავრე; 5 — სიმძლავრე ტალღურ წინაღობაზე ამწევი ძალის შექმნისათვის; 6 — სიმძლავრე ტალღურ წინაღობაზე ნულოვანი ამწევი ძალის დროს და ხახუნის დაძლევაზე.

მეორე მნიშვნელოვანი პრობლემა დაკავშირებულია ზებგერით წრიულ სიჩქარეზე ხრახნის ხმაურთან. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ხმაურის დონე ახლოს იქნება ზებგერითი სატრანსპორტო თვითმფრინავის "კონკორდის" ხმაურის დონესთან. ზებგერითი მზიდი ხრახნის ხმაურის დონე იზრდება წრიული სიჩქარის გაზრდასთან ერთად. ერთგვარად თეორია და ექსპერიმენტი მოწმობს, რომ ეს სამართლიანია მახის რიცხვის 1,1-მდე მნიშვნელობისთვის. უფრო მაღალ მახის რიცხვებზე ხმაურის დონე მცირედ არის დამოკიდებული სიჩქარის ზრდაზე.



ური
თის
, და
ივცო

ერთგვარად, კავშირი იმასთან, რომ ხრახნის ტრანსფორმაცია შეიძლება მოხდეს მიწაზე, არ წარმოადგენს ფრენისას ყურადღების მოდუნების ფაქტორს.

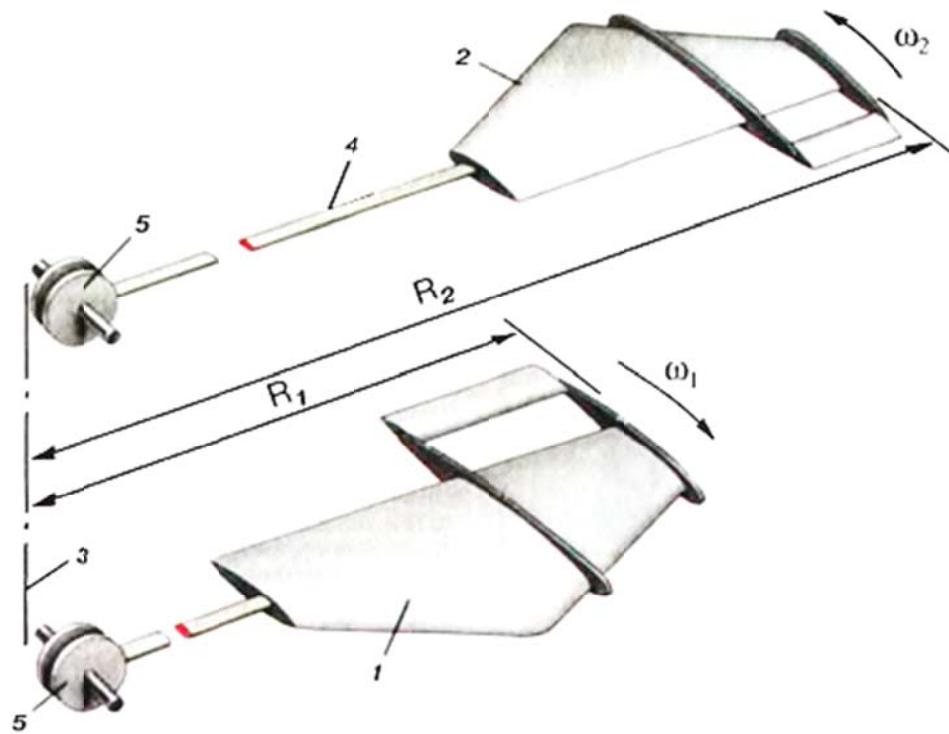
იგეგმება ცვალებადი დიამეტრის ზებგერითი მზიდი ხრახნის გამოყენება ავია-კოსმოსურ საფრენ აპარატზე (აკს), იგი შედგება საავიაციო და კოსმოსური საფეხურებისგან, უკანასკნელი შეიცავს კონტეინერს სასარგებლო ტვირთისთვის (სურ. 21).

მზიდი ხრახნის ფრთების სრული სიგრძით გამოშვება ხორციელდება ძრავის მცირე ბრუნვით მუშაობის რეჟიმში აკს-ს სასტარტო კოლონაზე ყოფნისას (სურ. 21 პოზიცია I). ძრავის ფრენის რეჟიმში გადაყვანის შემდეგ, იმავდროულად მზიდი ხრახნის ბრუნთა რიცხვის მომატებით, სრულდება აკს-ის ვერტიკალური სტარტი (სურ. 21 პოზიცია II). სიმაღლის აღება ხორციელდება დახრილად ფრენის რეჟიმში (სურ. 21 პოზიცია III). საჭირო სიმაღლის მიღწევის შემდგომ მოხდება საფეხურების განცალკევება (სურ. 21 პოზიცია IV). საავიაციო საფეხური ბრუნდება სასტარტო კომპლექსისკენ ფიუზელაჟის ჰორიზონტალურ მდებარეობაში. სასტარტო კოლონასთან "საბოლოო მიახლოება" ხორციელდება ვერტიკალურად დაკიდების რეჟიმში.

ხრახნულ დანადგარზე ფრთების გაშლა დაკეცვის პროცესი გრძელდება დაახლოებით ერთი წუთი, ფრთების მოძრაობა არის სტაბილური და პრაქტიკულად არ განსხვავდება ხრახნის სამუშაო რეჟიმში მუშაობისგან.

ცვალებადი დიამეტრის ზებგერითი მზიდი ხრახნი მეტად ეფექტურად რეალიზდება თანადერძულად, დუბლირებულად გამოყენების შემთხვევაში. ამიტომ ფართობები რომელსაც შემოწერენ ზედა და ქვედა ხრახნები, არ უნდა თანაიკვეთებოდეს, რაც მიიღწევა სხვადასხვა სიგრძის მოქნილი ლონჟერონების დაყენებით. ეს გამოიწვევს ხრახნების

აეროდინამიკური ურთიერთქმედების შემცირებას და მზიდი ხრახნის წვევის ძალის გაზრდას.



რუნვის

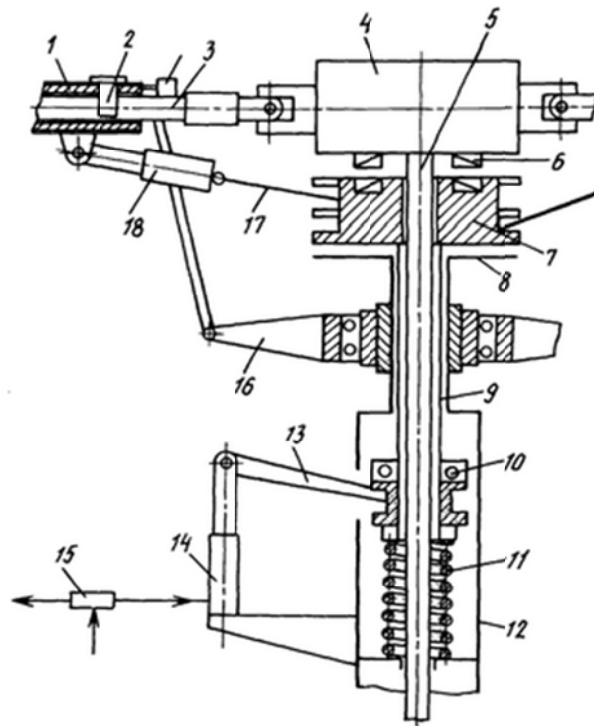
ზებგერთი ცვალებადი დიამეტრის მზიდი ხრახნის პრობლემის გადაჭრით შეიძლება მივიღოთ ეფექტური საავიაციო გამწევი დანადგარი, რომელიც შეძლებს რაღაც შემთხვევაში შეცვალოს, როგორც ჰაერ რეაქტიული, ასევე რაკეტული საავიაციო გამწევი დანადგარები. აკს-ის ვერტიკალური სტარტი ჰორიზონტალური თვითმფრინავ-გადამზიდისგან განსხვავებით შესაძლებლობას იძლევა 3 – 5-ჯერ შემცირდეს საავიაციო საფეხურის კონსტრუქციის მასა, რადგანაც საჭირო აღარ იქნება დიდი ფიუზელაჟი, ფრთა და შასი (მაგალითისთვის თვითმფრინავ-გადამზიდ

AH-225 "მრია"-ს შასი შედგება 32 თვლისგან). აღარ იქნება ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის საჭიროება. უსაზღვროდ შემცირდება სასტარტო კომპლექსის მასა სარაკეტო სისტემების და მათ ტექნიკურ აღჭურვილობასთან შედარებით. ზებგერთი მზიდი ხრახნის არსებობა საშუალებას მოგვცემს აკს ვამოდრაოთ ფრენის ზებგერთი რეჟიმით, დახრილი ტრაექტორიით, სიმაღლის აკრების მონაკვეთზე.

ყველაზე დიდი მზიდი ხრახნი 32 მ დიამეტრით დაყენებულია ვერტმფრენ Mh-26-ზე (მასიმალური ასაფრენი მასა 55 ტ). ამავე დიამეტრის ზებგერთი მზიდ ხრახნს შეუძლია ააფრინოს აკს მასით 165 ტ.

შემდგომში, ახალი კონსტრუქციული მასალების აღმოჩენასთან ერთად, ზებგერთი მზიდი ხრახნის დიამეტრი შეიძლება გაიზარდოს, რაც საშუალებას მოგვცემს გაიზარდოს ასაფრენი მასა და შესაბამისად აკს-ის სასარგებლო დატვირთვა.

ცნობილ საფრენ აპარატში კონვერტოპლანში შერწყმულია ერთმანეთში ვერტმფრენის და თვითმფრინავის თვისებები, რაც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს აპარატის ვერტიკალური აფრენა და დაფრენა, ხოლო ჰორიზონტალური კრეისერული სიჩქარე ვერტმფრენებთან შედარებით უფრო მაღალია. კონვერტოპლანი KA-22 შეიცავს ვერტმფრენის ძირითად კონსტრუქციულ კვანძებს — ძალურ დანადგარს რედუქტორით და მზიდი ხრახნით. გარდა ამისა, მას გააჩნია ფრთები და გამწევი ხრახნები. კონვერტოპლანების აფრენა და დაფრენა წარმოებს ვერტმფრენის მსგავსად, იგი იყენებს მზიდი ხრახნის ამწევ ძალას, რომელიც მოძრაობაში მოყავს მთავარ ძრავას. ჰორიზონტალური ფრენისას მზიდი ხრახნი მოძრაობს ავტოროტაციის რეჟიმში, ხოლო ჰორიზონტალური ძალა მიიღება გამწევი ხრახნებიდან, ამის გამო ფრთის ზედაპირი ნაწილობრივ დატვირთულია, რაც საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ჰორიზონტალური ფრენის სიჩქარე. მისი სიჩქარე არ აღემატება 400 კმ/სთ-ს, რადგანაც დიდ სიჩქარეებზე მზიდი ხრახნი იძლევა მნიშვნელოვან წინაღობას შემხვედრი ჰაერის ნაკადის გამო.

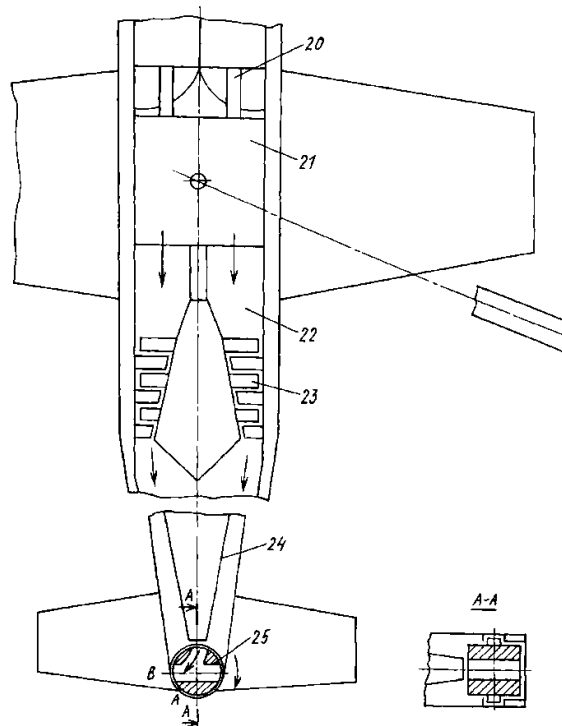


ხმით

პატენტ №2003124905/11/026412/-ში გამოგონების ამოცანაა — გაიზარდოს კონვერტოპლანის ჰორიზონტალური ფრენის სიჩქარე ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის გამოყენებით. სურ.23-ზე გამოსახულია მზიდი ხრახნის საყრდენი კვანძი მისი დიამეტრის ცვლილების მექანიზმით. რადიუსის გასწვრივ მოძრავი მზიდი ხრახნის ფრთა შეიცავს ლონჟერონს 1, საყრდენს 2 და შტანგას 3. მისი შტანგები და ლონჟერონები სახსრების სისტემის გავლით უერთდება მილისას 4, რომელიც ხისტად დაკავშირებულია ამძრავი ლილვთან 5. ქვედა ზედაპირზე მილისაზე შესრულებულია კბილების ჩანართები 6. მილისის ქვეშ ამძრავ ლილვზე, თავისუფლად ბრუნვის საშუალებით დასმულია დოლი 7. დოლის ზედა ზედაპირს აქვს ღარი რაშიც შეუძლია იმოძრაოს მილისის კბილების ჩანართს. მილისისა ზედაპირზე ჩანართები და დოლის ღარი წარმოქმნის ბერკეტულ ქუროს. დოლი ხისტად დამაგრებულია საყრდენ მილისაზე 9,

ხოლო ის, თავის მხრივ, დაწყვილებულია საყრდენ საკისართან 10, კორპუსი რომელშიც გადის ბერკეტი 13 დაკავშირებულია ჰიდროამპრავის ცილინდრის ღერძთან 14.

ფრთების გადაადგილება შეზღუდულია საყრდენებით, რეზინის შემზღუდველებით, რომლებიც დამაგრებულია შტანგის გარე ბოლოებზე. ვერტმფრენ-კონვერტოპლანის აფრენა წარმოებს მზიდი ხრახნის მაქსიმალურ დიამეტრზე, ხოლო ფიუზელაჟზე მოქმედი მბრუნავი მომენტის გაბათილება ხდება ძალით, რომელიც წარმოიქმნება გვერდითი ფანჯრიდან გამომავალი ჰაერის ნაკადით (სურ. 24) ფიუზელაჟის კუდის ნაწილში. შემავალი ჰაერის ნაკადის რეგულირება შესაძლებელია დროსელირებით, გამშვები ფანჯრის კვეთის ცვლილებით, შემავალი ჰაერის ნაკადის ნაწილი გამოიყენება რედუქტორის ზეთის გასაგრილებლად.



სურ. 24 ფიუზელაჟის კუდის ნაწილი.

თანამედროვე ავიაციაში ვხვდებით ფრენისას საფრენი აპარატების კონსტრუქციის გეომეტრიის ცვლილებას: შასის შეკეცვა, შესაკეცი ფრთაუკანების გამოყენება, ფრთების ისრისებურობის შეცვლა და.ა.შ.

ფრენის პროცესში გეომეტრიის ცვლილების დამახასიათებელ მაგალითად გამოდგება ვერტმფრენის მზიდი ხრახნი, რომელსაც შეუძლია თავისი სიბრტყის დახრის კუთხის ცვლილება, ვერტიკალურ წევასთან ერთად ჰორიზონტალური წევის მოცემა. ამის გამო ფრთების დაყენების კუთხე იცვლება ცნობილ საზღვრებში მზიდი ხრახნის ბრუნვის თითოეულ ციკლზე.

საფრენი აპარატის ყოველი აღწერილი გეომეტრიის ცვლილების მექანიზმი მეტ-ნაკლებად წარმოადგენს ხიფათს ფრენისთვის და ყოველი მათგანს თავდაპირველად ეკიდებიან განსაზღვრული სიფრთხილით. ცვალებადი გეომეტრიის საჭაერო ხრახნი არ არის გამონაკლისი და დღეს-დღეობით მიმდინარეობს მისი დახვეწა-დამუშავება.

1.7. საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შექმნილი გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კონსტრუქცია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის (სტუ) მეცნიერთა ჯგუფმა შეიმუშავა გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის რამოდენიმე კონსტრუქცია, რომელიც იძლევა ფრენის პროცესში ხრახნის დიამეტრის, გრეხილობის და ამავდროულად ფრთების შეტევის კუთხის შეცვლის შესაძლებლობას [18,19,20]. მოცემული კონსტრუქციები ფრენის ყველა რეჟიმში მაღალი მქკ-ს მიღების შესაძლებლობას იძლევა. ასეთი კონსტრუქციის ხრახნი ნებისმიერი სახისა და დანიშნულების საფრენი აპარატის საფრენ მაჩვენებლებს ზრდის,

მაგრამ განსაკუთრებით ეფექტურია მისი გამოყენება ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ თვითმფრინავზე.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურმა ცენტრმა (სსტც) მიიღო სტუ-ს მეცნიერთა ჯგუფის შეთავაზება პროექტ „ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი და მისი მართვის საშუალებები“ კვლევისა და შემუშავების შესახებ, ხოლო აშშ-ს მეცნიერების დეპარტამენტმა მისცა თანხმობა მის დაფინანსებაზე. პროექტი „ბონგის“ (აშშ) კორპორაციასთან ერთად იყო შესრულებული. პროექტის კოლაბორატორი იყო „ბონგის“ უფროსი მეცნიერ-მუშაკი და კორპორაციის მრჩეველი ბატონი ლეო დადონე.

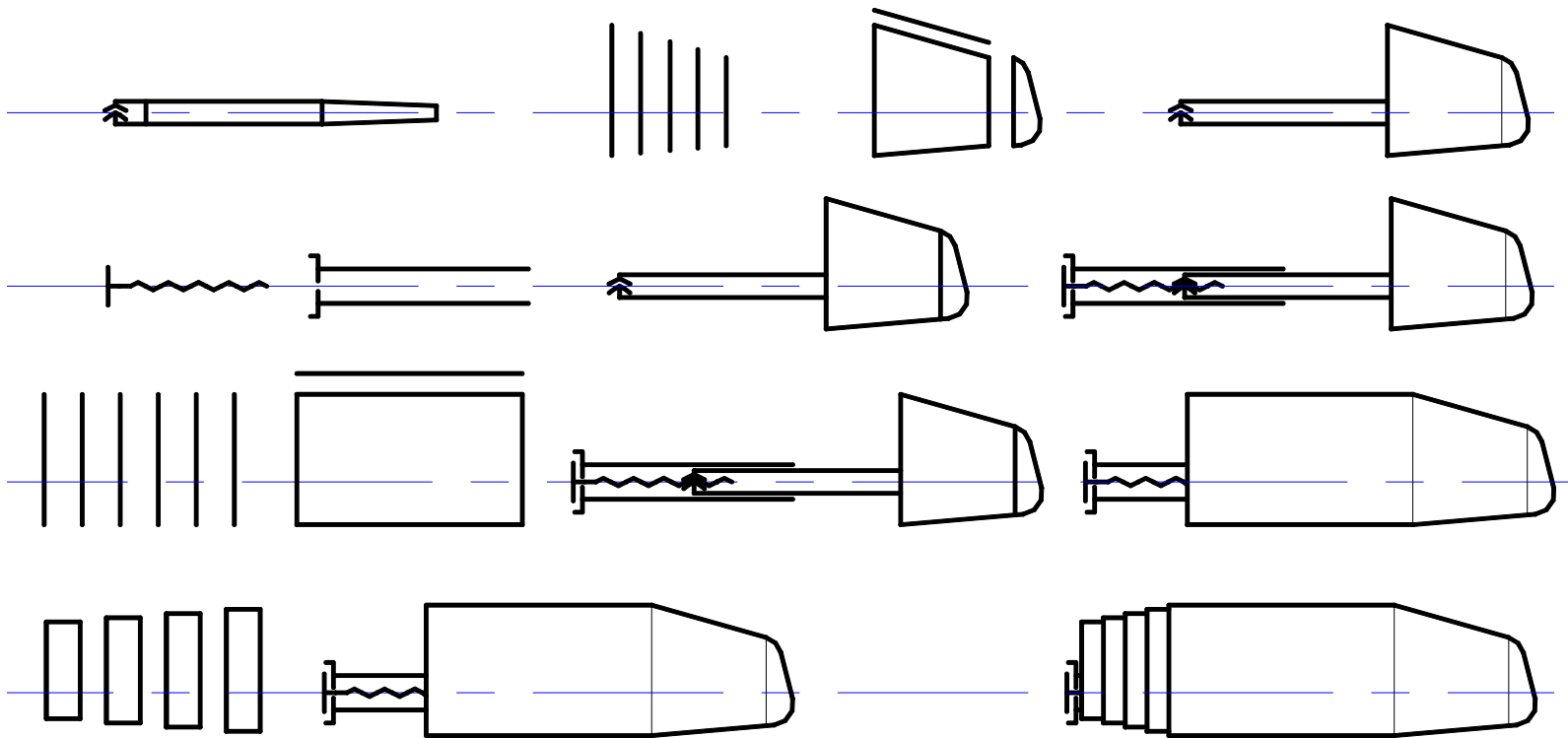
პრიორიტეტულ მიმართულებად განისაზღვრა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელისა და მისი კვლევის სტენდების შექმნა. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის შემუშავებული მოდელი შეიძლება გახდეს საფუძველი რეალური ნიმუშის შექმნისა და შესაძლებელია მისი კონკრეტულ საფრენ აპარატთან შეთავსება [21].

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი ორიგინალური კონსტრუქციაა. მის მოდელის აქვს ინდივიდუალური პარამეტრები, რომელიც ქვემოთაა მოყვანილი.

ეკონომიკური თვალსაზრისით შერჩეულია ორ-ფრთიანი ხრახნი მაქსიმალური დიამეტრით $D_{max}=5,768$ მ, მინიმალური დიამეტრის სიდიდით $D_{min}=4,120$ მ, მაქსიმალური და მინიმალური დიამეტრების შეფარდებით $D_{max}/D_{min}\approx 1.4$. საშუალო ქორდის სიგრძეა ≈ 0.5 მ.

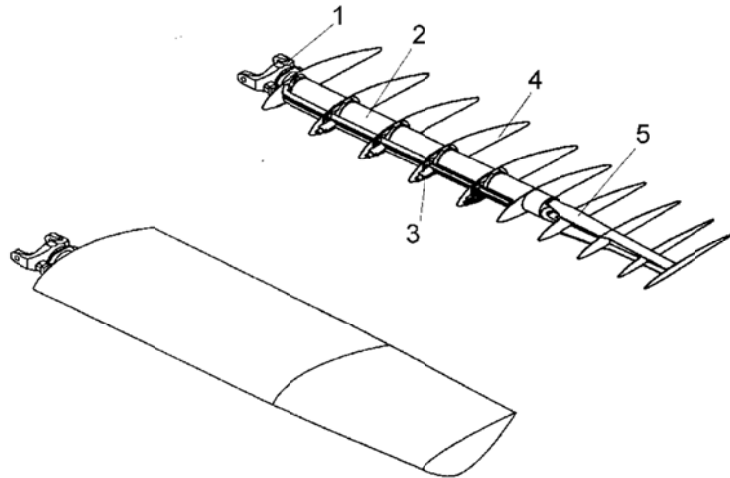
ფრთის კონსტრუქცია

ხრახნის ფრთას გააჩნია ტელესკოპური (ფრთის ძირში), დეფორმირებადი (ფრთის შუა ნაწილში) და ხისტი (ფრთის ბოლო ნაწილში) სექცია (სურ. 25).



ნერვიურის №	N 2	N 2'	N 2/1	N 2/2	N 2/3	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11
α	16°	16°	16°	16°	16°	16°	13.5°	11°	8.5°	7°	5°	3°	1°	0°

სურ. 25 ფრთის კონსტრუქციის სქემა



ელი.

კონსტრუქციულ ძალურ სქემის მიხედვით ფრთა ძირითადად შედგება შემდეგი ელემენტებისგან - ლონჯერონი 2, ნერვიურების ნაკრები 4 და შემონაკერისაგან (სურ. 26).

მაგრამ კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურად უფრო მოსახერხებელია ფრთა დაიყოს მოძრავ, უძრავ და ტელესკოპურ ნაწილად.

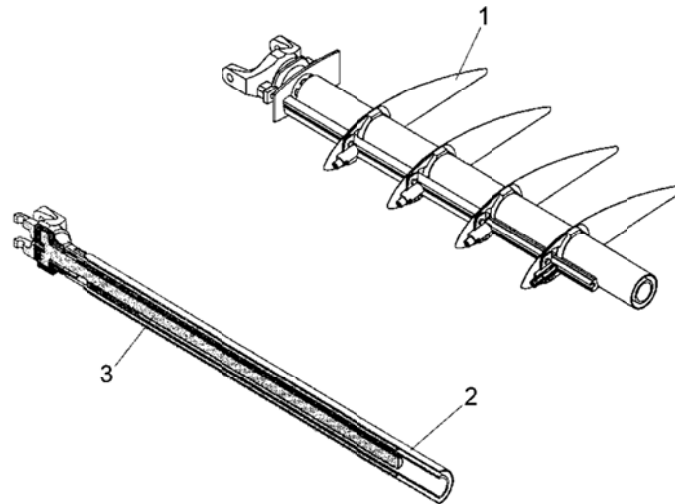
ფრთის უძრავი ნაწილი შედგება მილისებული ლონჯერონისგან, რომლის გარე ზედაპირზე შლიცია მოჭრილი და ჩანგლით მიერთებულია ქუროზე. ფრთის დიამეტრის ცვლილების ხრახნი, სახსრული ქუროს საშუალებით შეერთებულია მილისაში განთავსებულ ლილვზე და მასზე დასმულ კონუსურ კბილანაზე.

გარე მოძრავი ლონჯერონი შლიცური შეერთებით დასმულია შიდა უძრავ ლონჯერონზე (სურ. 27). მისი ერთი ბოლო დამაგრებულია ფრთის ხისტ ნაწილზე (სურ. 28), რომელზეც თავის მხრივ ქანჩია დამაგრებული.

უძრავ ლონჯერონის შიგნით განთავსებულია ხრახნი, რომელიც დაკავშირებულია ფრთის მოძრავ ნაწილზე დამაგრებულ ქანჩთან.

ლონჯერონის მოძრავი ნაწილის უძრავ ნაწილზე გადაადგილება ხდება შლიცზე, ხრახნი-ქანჩის წყვილის (დომკრატის) დახმარებით.

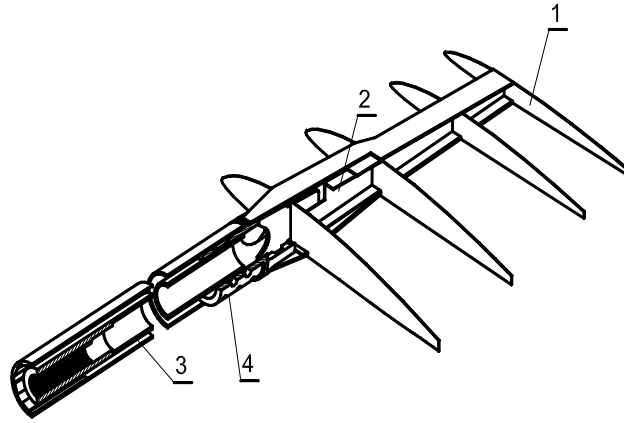
ფრთის მოძრავი ნაწილი შესდგება მოძრავი ლონჟერონისა და ხისტი ნაწილისგან.



ფრთის დეფორმირებად ნაწილის კონსტრუქციას აქვს შემდეგი თავისებურება: ნერვიურები თავისუფლად არიან დასმული მოძრავ გარე ლონჟერონზე და აქვთ მის გარშემო შემობრუნების საჭუალებაა.

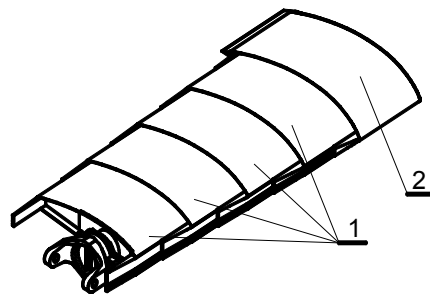
ფრთის გარსაცმი მისი გრეხვალობის გასაუმჯობესებლად პროფილის ბოლოში არის გაჭრილი. ფრთის ბოლოზე ხისტი შემონაკერი დამაგრებულია ნერვიურებზე. როგორც ცდების შედეგებიდან გახდა ცნობილი მოცემული კონსტრუქცია 18-20° გრეხვაზე კარგად მუშაობს, მაგრამ მომავალში სასურველია გრეხვის კუთხის გაზრდა 35-40° მნიშვნელობამდე.

სურ.28-ზე ნაჩვენებია ფრთის ბოლო ხისტი ნაწილი. იგი შედგება კედელისგან 2, ხისტად დამაგრებული ნერვიურებისგან 1, მოძრავი ლონჟერონისგან და ქანჩისგან 4.



სურ. 28 ფრთის კუდი:
 1-ნერვიურა, 2-კედელი, 3-ქანჩი, 4-ლონჯერონი.

ფრთის გაშლისას, ფრთაში მტვრისა და უცხო ნივთების მოხვედრისგან დასაცავად და აგრეთვე აეროდინამიკული დარვირთვების განაწილებისთვის მის ძირში გათვალისწინებულია ტელესკოპური გარსშემომდენი, (სურ.29). ხრახნის ტელესკოპური ნაწილი შედგება 4 ნაწილისაგან, რომლებიც ხრახნის დაკეცილ მდგომარეობაში ფრთის დრეკად ნაწილში მისთვის გათვალისწინებულ ჯიბეშია მოთავსებული. გარსშემომდენის გახსნა ხდება სექციის მიმმართველებში გადაადგილების საშუალებით [14].



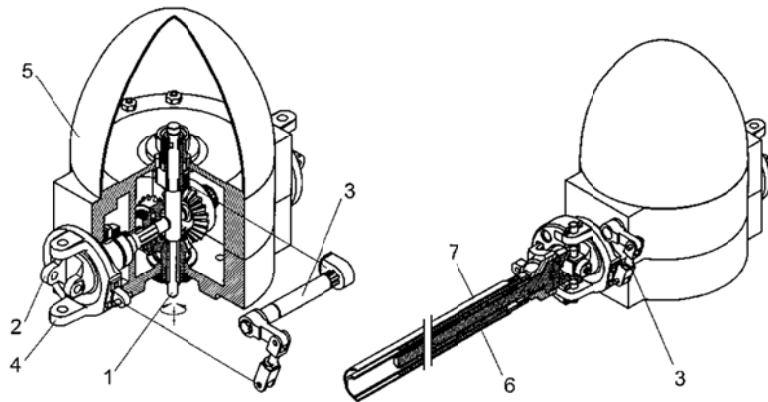
სურ.29 ფრთის ტელესკოპური ნაწილი:
 1-ტელესკოპური სექციები, 2-დრეკადი ნაწილის ჯიბე

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მართვის მექანიზმი

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოქმედებაში მომყვან კვანძს უნდა ქონდეს მცირე მასა და გააჩნდეს მცირე გაბარიტები. ეს მოთხოვნები უნდა იყოს უზრუნველყოფილი მნიშვნელოვანი დატვირთვების ფონზე, რომლებიც წარმოიქმნება ცენტრიდანული და აეროდინამიკური დატვირთვებისგან. სიტუაციას ართულებს მცირე გაბარიტების საკისრების არარსებობა, რომლებსაც შეეძლება ასეთი დატვირთვების მიღება თავისთავზე მცირე ხახუნის კოეფიციენტით.

სრიალის საკისრის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა მცირე წონის და გაბარიტის მიღწევა. მოხახუნე ზედაპირები დაიფარა სპეციალური საცხით რომელიც გამოიყენება მსგავს მექანიზმებში.

მართვის ძირითად მექანიზმს წარმოადგენს დიფერენციალური გადაცემა, რომელიც მდებარეობს მილისაში.



ასის

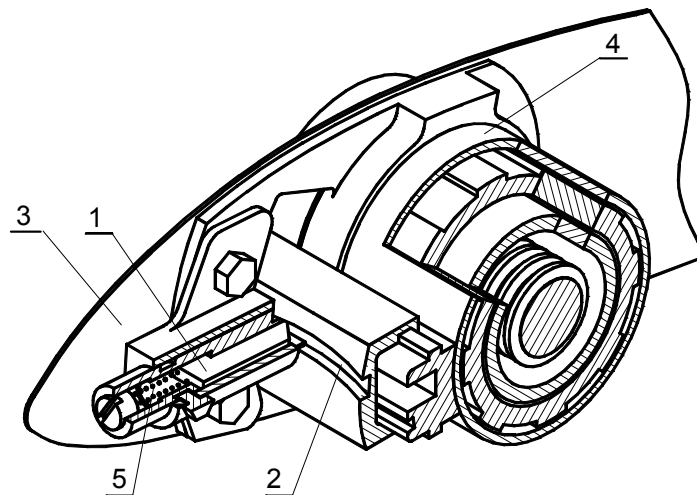
კონსტრუქციის პროექტირებისას განხილულ იქნა მრავალი ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ვარიანტები. დიამეტრის ცვლისთვის შეირჩა ჩვეულებრივი დომკრატული ხრახნი-ქანჩის წყვილი, გამომდინარე მისი

საიმედოობიდან და მცირე გაბარიტებით დიდი დატვირთვების მიღების შესაძლებლობით.

ხრახნული დომკრატი დიფერენციალთან ერთად უზრუნველყოფს ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთების სინქრონულ მუშაობას ხრუტუნა მექანიზმის, საკეტელასა და სინქრონიზაციის მექანიზმების გარეშე [22].

სურ.30-ზე მოცემულია ხრახნის გეომეტრიის ცვლის მექანიზმი. ლილვს 1 გააჩნია ბრუნვითი და გრძივი მოძრაობები. ლილვის ბრუნვა კონუსური კბილანური გადაცემით გადაეცემა ჩანგალს 2. ლილვის გრძივი მოძრაობა კბილა ლარტყას საშუალებით გადაეცემა ბერკელ მექანიზმს 3, რომელიც სახსრული შეერთებით გადასცემს ბრუნვით მოძრაობას ჩანგალს 4.

ხრახნის დიამეტრის ცვლა ხდება შემდეგნაირად (სურ.30), ჩანგლის 2 ბრუნვა იწვევს ხრახნის 6 ბრუნვას. თავის მხრივ ხრახნის ბრუნვა იწვევს გარე ლონჟერონის ქანჩის წრფივ გადაადგილებას, რაც იწვევს ხრახნის დიამეტრის გაზრდას ან შემცირებას. ბერკეტული სისტემა 3 უზრუნველყოფს ფრთის დაყენების კუთხის ცვლას.



სურ. 31 ნერვიურის თითისა და სპირალური ღარის ურთიერთქმედება
1-ნერვიურის თითი, 2-სპირალური მიმართველი ღარი, 3-ნერვიურა,
4-ლონჟერონი, 5-ზამბარა.

ფრთის გრეხვის შეცვლის მიზნით ფრთის დრეკად ნაწილში გათვალისწინებულია სპეციალური თითები 1 (სურ.31), რომელიც დიამეტრის შეცვლის დროს ზამბარის 5 ზემოქმედებით გადაადგილდებიან ლონჟერონის 4 სპირალურ ღარებში 2, ისინი დამაგრებულია ნერვიურებზე 3 და აიძულებენ მათ ინდივიდუალურად შემობრუნდნენ ლონჟერონის ღერძის გასწვრივ და მიიღონ განსაზღვრული კუთხე.

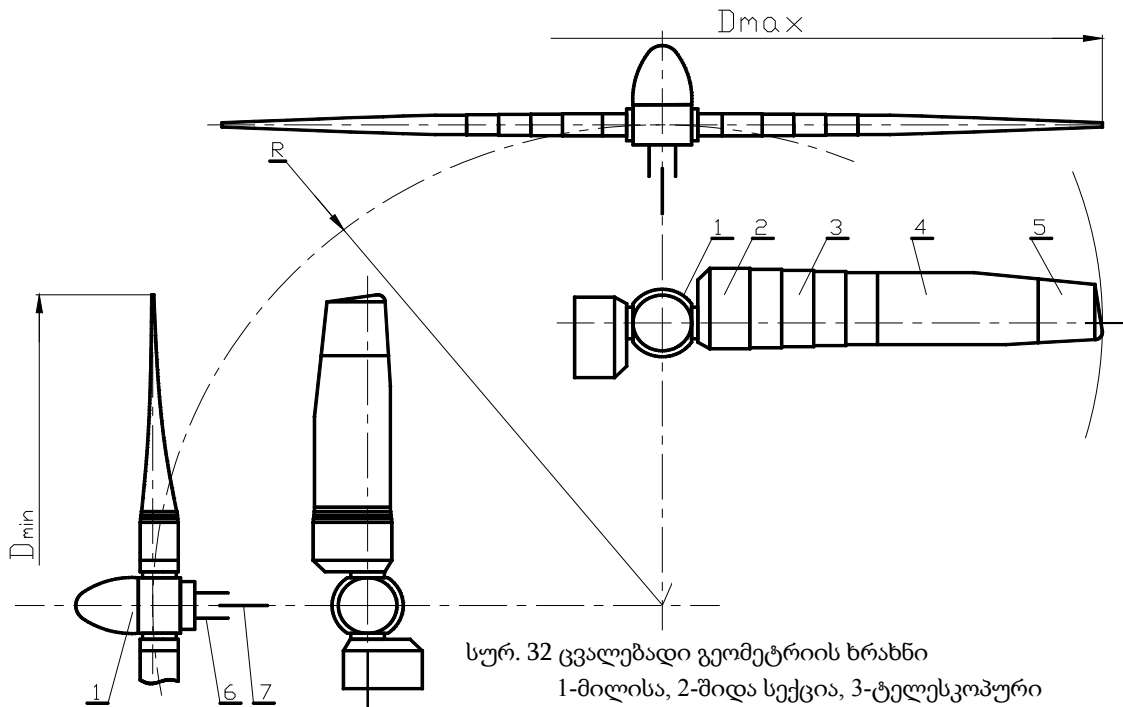
ფრთის დეფორმირებადი კორპუსების შესრულების შესაძლო ვარიანტებია:

1. ჩვეულებრივი ლითონის გარსის საფუძველზე;
2. პლასტმასის, კომპოზიციური კონსტრუქციის კორპუსი, რომელიც არმირებულია ნერვიურებისა და სტრინგერების ელემენტებით;
3. ბიონიკიდან გამომდინარე: გარსი თევზის ქერცლისა და ფრინველების ბუმბულის სახით, არალითონისა ან ქსელური ლითონის საფუძველზე.

ხრახნის მოდელის მართვის სტენდის კინემატიკური სქემა მოცემულია სურ.33-ზე.

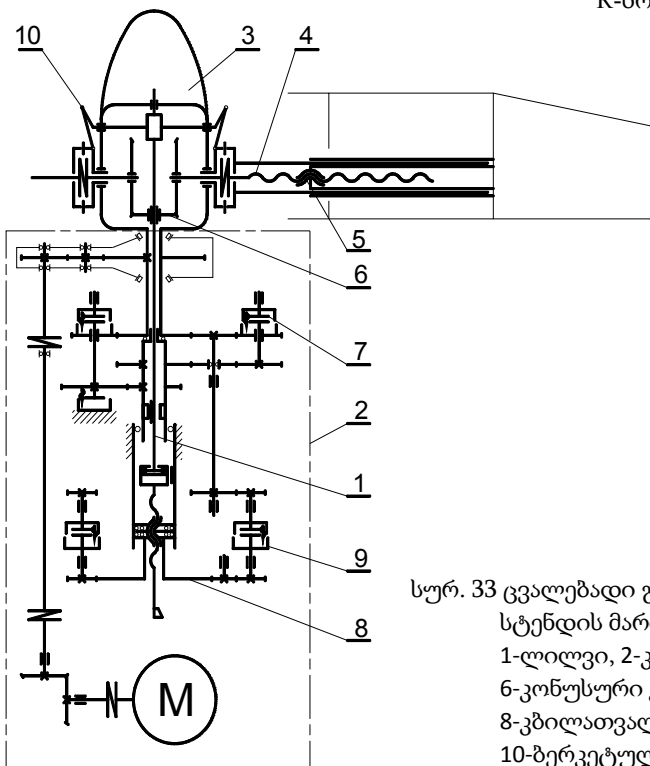
ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მართვის მექანიზმების მამოძრავებელია ძირითადი ძრავი, საიდანაც ბრუნვადი მოძრაობა მიეწოდება ღერძს 1, რომელიც აბრუნებს ცენტრალურ კონუსურ კბილანას 6 და მილისას 3. კბილანების გადაცემის სიდიდე რედუქტორში 2 ისეთნაირადაა შერჩეული, რომ როდესაც არ არის საჭირო დიამეტრის ცვლილება მილისას ბრუნებისა და მისი ცენტრალური კბილანის რაოდენობა თანაბარია და ფრთის ხრახნი 4 არ ბრუნავს, შესაბამისად ხრახნის დიამეტრი უცვლელია. შესაბამისი კომბინაციით ელექტრო ქუროების 7 ჩართვის გზით იცვლება მილისისა და ცენტრალური კონუსური კბილანის ბრუნთა რიცხვი, რაც შესაბამისად ახორციელებს

ხრახნის 5 გადასვლას ერთ ან მეორე მხარეს, ანუ ხრახნის დიამეტრის გაზრდას ან შემცირებას.



სურ. 32 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი

1-მილისა, 2-შიდა სექცია, 3-ტელესკოპური ნაწილი, 4-დეფორმირებადი ნაწილი, 5-ბოლო ნაწილი, 6-ხრახნის ლილვი 7-მართვის ლილვი.
R-ხრახნის მობრუნების რადიუსი



სურ. 33 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტენდის მართვის კინემატიკური სქემა
1-ლილვი, 2-კორპუსი, 3-მილისა, 4-ხრახნი, 5-ქანჩი, 6-კონუსური კვილანა, 7-ელ-მაგნიტური ქურო, 8-კვილათვალი, 9-ელ-მაგნიტური ქურო, 10-ბერკეტული მექანიზმი.

1.8. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალების შემცირების შესაძლო გზები

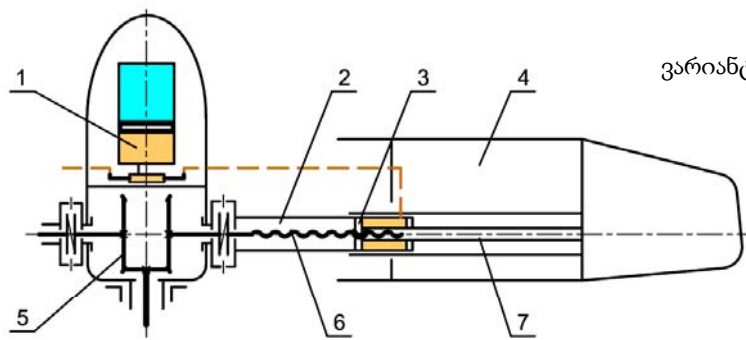
დიდ ბრუნებზე ხრახნის ფრთის მოძრავი ნაწილს გააჩნია დიდი ცენტრიდანული ძალა (45-50 ტონა) რაც მკვეთრად უარყოფით გავლენას ახდენს ფრთაში არსებულ ხრახნი-ქანჩის მუშაობაზე. ამიტომ გადაწყდა ხრახნი მოდერნიზირებულიყო და აღჭურვილიყო ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით.

განხილულ იქნა ცენტრიდანული ძალის კომპენსირების მექანიზმით აღჭურვილი ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის რამდენიმე კონსტრუქციის გამოყენების შესაძლებლობა, რომლებიც ნაჩვენებია სურ. 34-ზე.

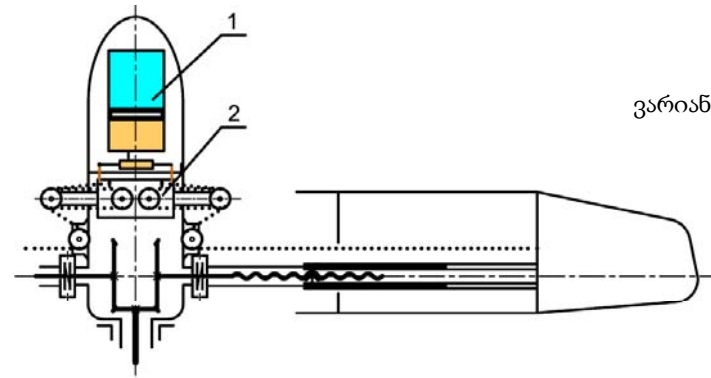
ვარიანტი 1. ხრახნი, გეომეტრიას იცვლის ჰიდროპნევმატური აკუმულატორით 1, განთავსებულია მილისას ზედა მხარეს და იყენებს ლონჟერონის შიდა ზედაპირს ჰიდროცილინდრის 2 განთავსებისთვის. ფრთების ამოძრავებისთვის კონუსური კბილური გადაცემა 5 აბრუნებს წამყვან ხრახნს 6, ხრახნი გადაადგილებს ქანჩს 3, რომელიც ერთდროულად წარმოადგენს ჰიდროცილინდრის დგუმს. ღერძი 7 ჰიდროცილინდრის დგუმში თავის მხრივ არის მილი, რომლის შუაში გადის წამყვანი ხრახნი 6. ღერძი დამაგრებულია ფრთის მოძრავ ნაწილზე 4. ფრთის შიდა ლონჟერონი იმავდროულად წარმოადგენს ჰიდროცილინდრს 2. ძალურ სქემაში ჰიდროცილინდრის და ხრახნი – ქანჩი წყვილის პარალელური ჩართვა უზრუნველყოფს კონსტრუქციის ელემენტებს შორის ძალების გადანაწილებას და ამის გამო მიიღწევა წამყვანი ხრახნის განტვირთვა. ფრთის დგუმის ამოძრავებისას, წარმოიქმნება ჭარბი წნევა ჰიდროცილინდრის ღრუმში, რომელიც გადაეცემა ჰიდროპნევმატიკურ აკუმულატორს 1. ზეთის წნევა გადაადგილებს აკუმულატორის დგუმს და კუმშავს აირს. ფრთის მოძრაობისას შეკუმშული აირის აკუმულირებული ენერგია ჰიდროცილინდრის დგუმის მეშვეობით იძლევა ძალას, რომელიც მიმართულია ცენტრიდანული ძალის საწინააღმდეგოდ, რაც განსაზღვრული ხარისხით აკომპენსირებს ამ ძალას. ერთ ღერძზე მოქმედი

ცენტრიდანული და ჰიდროცილინდრის მაკომპენსირებელი ძალები ამცირებს ხრახნის კონსტრუქციაზე მღუნავი მომენტების წარმოქმნის შესაძლებლობას. ამ ვარიანტის უპირატესობას ასევე წარმოადგენს დანადგარის კონსტრუქციის ელემენტების ფუნქციების შეთავსება, ასე მაგალითად, ქანჩი იმავდროულად წარმოადგენს ჰიდროცილინდრის დგუმს, ხოლო ხრახნის შიდა ლონჟერონი წარმოადგენს ჰიდროცილინდრს. ამ ვარიანტის ნაკლს წარმოადგენს ჰიდროცილინდრის შეზღუდული გაბარიტები, რაც არ იძლევა შესაძლებლობას კომპენსირებადი ძალის ოპტიმალური პარამეტრების მიღებისა ფრთების პროფილის კორექტირების გარეშე. ჰიდროცილინდრზე მოქმედებს ფრთების მღუნავი მომენტები. წარმოიქმნება ჰიდროსისტემის გაჭედვის საშიშროება. ხრახნის ნიჩაბი გამოდის მძიმე.

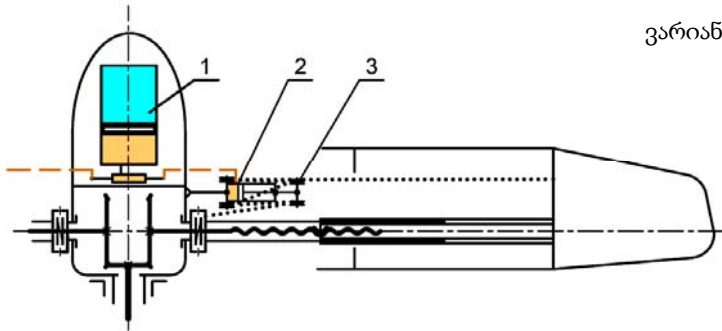
ვარიანტი 2. წარმოადგენს ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნს ჰიდროპნევმატური აკუმულატორით 1, რომელიც თავსდება მილისას ზედა ნაწილში და ჰიდროცილინდრით 2, რომელიც ფრთის სიღრუეშია მოთავსებული. წინა ვარიანტისგან განსხვავებით, ამ შემთხვევაში ჰიდროცილინდრი წარმოადგენს ცალკეულ ელემენტს. იმ შემთხვევაში, თუ ჰიდროცილინდრის ღერძის გადაადგილება იქნება ფრთის მოძრავი ნაწილის გადაადგილების ტოლი, მაშინ ჰიდროცილინდრს უნდა ჰქონდეს დიდი სიგრძე. ღერძის და შესაბამისად ჰიდროცილინდრის გადაადგილების შესამცირებლად, შეიძლება გამოვიყენოთ პოლისპასტი 3, მოწყობილობა, რომელიც შედგება ჭოჭონაქებისა და ბაგირების ბლოკებისგან. პოლისპასტის გადამცემი თანაფარდობის შეცვლადობის დახმარებით, შეგვიძლია მივიღოთ სასურველი თანაფარდობა ფრთის მოძრავი ნაწილის გადაადგილებასა და ჰიდროცილინდრის ღერძის გადაადგილებას შორის. ამ ვარიანტის ნაკლს წარმოადგენს ჰიდროცილინდრის დიამეტრის შეზღუდვა, რომელიც არ იძლევა შესაძლებლობას კომპენსირებადი ძალის ოპტიმალური პარამეტრების მიღებისა, ფრთის პროფილის კორექტირების გარეშე. გარდა ამისა, ხრახნის ფრთა გამოდის უფრო მძიმე.



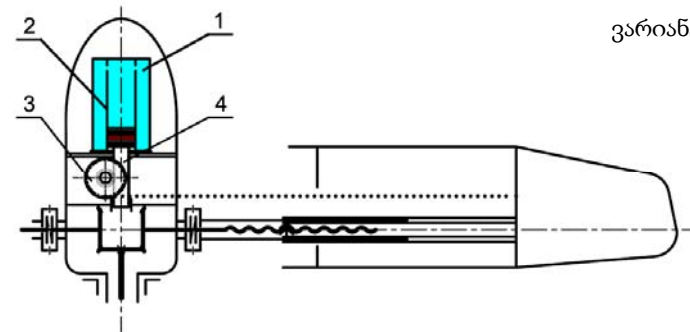
ვარიანტი 1



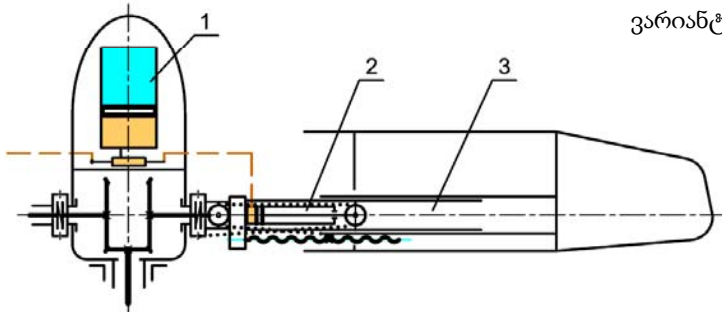
ვარიანტი 4



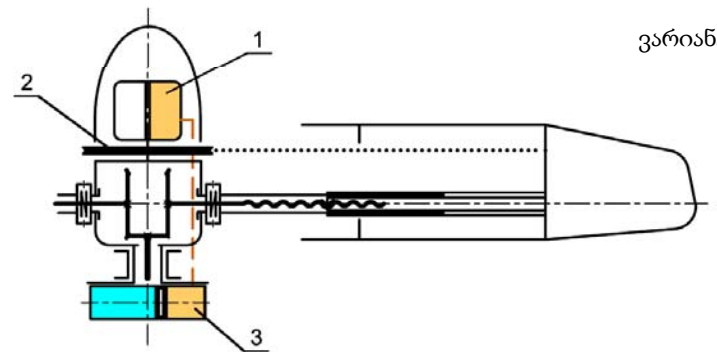
ვარიანტი 2



ვარიანტი 5



ვარიანტი 3



ვარიანტი 6

სურ. 34 ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმების ვარიანტები

ვარიანტი 3. მოცემულ სქემაში ჰიდროპნევმატური აკუმულატორი 1, განთავსებულია მილისას ზედა მხარეს და ჰიდროცილინდრი 2, მოთავსებულია ლონჟერონის სიღრუეში. ამ სქემაში ასევე აუცილებელია პოლისპასტის 3 გამოყენება. ამ სქემის ნაკლს წარმოადგენს ჰიდროცილინდრის გაბარიტების შეზღუდვა, ასევე ლონჟერონის და ფრთების გართულება და დამძიმება. იმის გამო რომ ბმულის "ხრახნ-ქანჩის" ღერძი ფრთის სიმეტრიის ღერძისგან, ხდება მღუნავი მომენტების გაჩენა.

ვარიანტი 4. ამ ვარიანტში კონსტრუქციის გართულების თავიდან აცილების და ფრთების მასის შემცირების მიზნისთვის ჰიდროცილინდრები 2 მოთავსებულია ხრახნის მილისაში. მაგრამ აქ წარმოიქმნება გაბარიტების შეზღუდვის პრობლემა. მილისა მიიღება ძალიან მაღლი. ჰიდროცილინდრები გამოდიან მილისას კორპუსის საზღვრების გარეთ. პოლისპასტის გამოყენების აუცილებლობა ისევ რჩება.

ვარიანტი 5. ეს კონსტრუქცია განსხვავდება ჰიდროპნევმატური აკუმულატორის 1 და ჰიდროცილინდრის 2 კონსტრუქციული გაერთიანებით. დგუშის ღერძი იმავდროულად წარმოადგენს კბილა ლარტყას 4. ხრახნის ფრთის ამოძრავებისას ბაგირი, რომელიც მიმაგრებულია ფრთის მოძრავ ნაწილზე, შემოაბრუნებს ჭოჭონაქს, რომელიც დასმულია ღერძზე კბილათვალთან ერთად, რომელსაც თავისმხრივ მოძრაობაში მოჰყავს კბილა ლარტყა, რომელიც იმავდროულად წარმოადგენს ცილინდრის დგუშს. აირი იკუმშება პნევმოაკუმულატორში, რის შედეგადაც აკუმულირდება ენერგია. ხრახნის ფრთის ამოძრავებისას, აკუმულირებული ენერგია ამოძრავებს ღერძს (კბილა ლარტყას) ქვევით. კბილა ლარტყა შემოაბრუნებს კბილანურ ბორბალს და შესაბამისად ჭოჭონაქს დამაგრებულს იგივე ღერძზე. ჭოჭონაქზე ეხვევა ფრთის მოძრავი ნაწილის მამოძრავებელი ბაგირი, რომელიც ამოძრავებს ფრთის მოძრავ ნაწილს. "ხრახნ-ქანჩის" წყვილს ამით დატვირთვა უმსუბუქდება. დიდი დიამეტრის ჭოჭონაქის 3 შემოტანით შეიძლება პოლისპასტის სისტემის

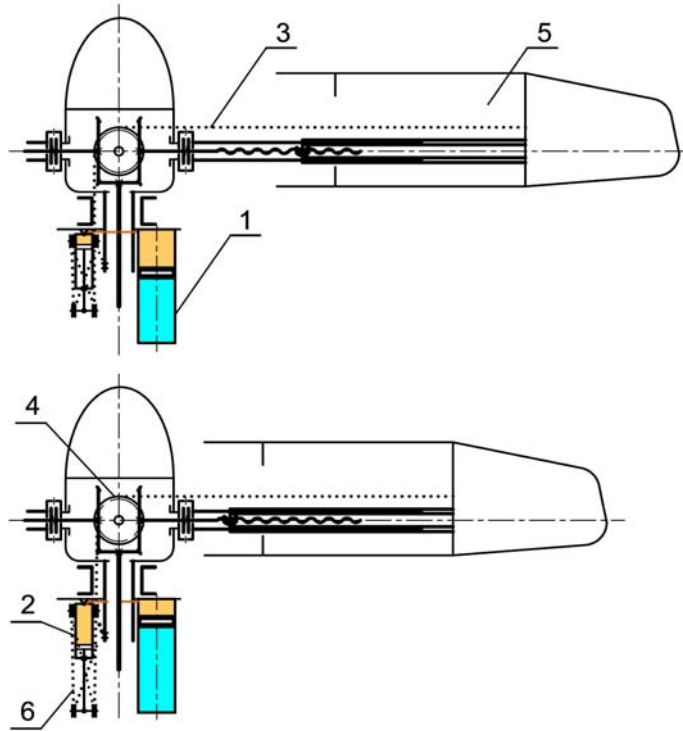
გამოყენების თავიდან აცილება. ამ სქემის ნაკლს წარმოადგენს ჰიდროპნევმატური აკუმულატორის და ჰიდროცილინდრის არასტანდარტული კონსტრუქცია.

ვარიანტი 6. ამ ვარიანტში გამოყენებულია მბრუნავი ჰიდროძრავა 1, ჭოჭონაქი 2, განთავსებული მილისას ზედა ნაწილში და ჰიდროპნევმატური აკუმულატორი 3, მოთავსებული მილისას ქვემოთ. ხრახნის ფრთის ამოდრავებისას, მის მოძრავ ნაწილზე მიმაგრებული ბაგირი აბრუნებს ჭოჭონაქს 2, რომელიც დამაგრებულია ჰიდროძრავის ღერძზე. ზეთი ჰიდროძრავის მუშაობის ზონიდან გადაიტვირთება ჰიდროპნევმოაკუმულატორში, შედეგად ამისა აკუმულირდება ენერგია. ხრახნის ფრთის მოძრაობის დროს ზეთი ჰიდროპნევმოაკუმულატორიდან გადაიტვირთება ჰიდროძრავაში, რომელიც აბრუნებს ჭოჭონაქს. ჭოჭონაქზე ეხვევა ბაგირი, რომელიც ამოდრავებს ფრთის მოძრავ ნაწილს და განტვირთავს ”ხრახნქანჩის” წყვილს. ამ ვარიანტის მთავარ უპირატესობას წარმოადგენს საკმარისად რთული პოლისპასტის სისტემის გამორიცხვა.

ვარიანტების დეტალური განხილვის შემდეგ გადაწყდა იყო ისეთი ცგხ-ს დამზადება, რომლებსაც ექნებოდა ჰიდროპნევმატური აკუმულიატორები 1 და ჰიდრო ცილინდრები 2, რომელიც ხრახნის მილისის ქვემოთაა დამაგრებული (სურ. 35).

სურ. 35-ზე ბაგირის ერთი კიდე 3 დამაგრებულია ფრთის მოძრავ ნაწილში 5. ბაგირი მილისაში განთავსებული ჭოჭონაქის 4 მეშვეობით ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმს უერთდება, რომელიც შედგება ჰიდროცილინდრებისა 2 და პნევმოჰიდრავლური აკუმულიატორებისაგან 1. ფრთის 5 გამოწვევის დროს ცენტრიდანული ძალების ქმედების გამო ჰიდროცილინდრის 2 დგუში გადაადგილდება და ქმნის წნევას, რომელიც გადაეცემა ჰიდროპნევმოაკუმულიატორს. შედეგად ზეთი ჰიდროაკუმულატორში გადმოედინება, დგუში გადაადგილდება ჭირხნის აირს და ხდება ენერგიის აკუმულირება. ფრთის 5 გადაადგილების დროს ჰიდროცილინდრი 2 აკუმულირებული ენერგიის ხარჯზე ქმნის ძალას,

რომელიც მიმართულია ცენტრიდანული ძალების მოქმედების საწინააღმდეგოდ, რაც უზრუნველყოფს ხრახნი-ქანჩის განტვირთვას. ჰიდროცილინდრის 2 დგუშის სვლის შემცირებისათვის გამოყენებულია პოლისპასტი 6.



სურ. 35 ჰიდროცილინდრისა და ჰიდროაკუმლიატორის მილისის ქვემოთ დამაგრების სქემა.
 1-ჰიდროპნევმო აკუმლიატორი, 2-ჰიდროცილინდრი, 3-ბაგირი, 4-შკივი, 5-ფრთა,
 6-პოლისპასტი.

ამ კონსტრუქციის უპირატესობა ადრე შემოთავაზებულ ვარიანტებთან შესდარებით არის უშუალოდ ფრთაში დამატებითი დეტალებისა და კვანძების არარსებობა, რაც გამორიცხავს მის დამძიმებას. არ იზრდება ფრთის პროფილის შედარებითი სისქე, ეს კი არ აუარესებს ხრახნის აეროდინამიურ მახასიათებლებს. გარდა ამისა, ჰიდროცილინდრების, ჰიდროპნევმოაკუმლატორების და სხვა კომპონენტების სისტემის ელემენტების ხრახნის ბრუნვის ღერძის უშუალო სიახლოვეში ამცირებს კონსტრუქციის ინერციის მომენტებს და ხელს უწყობს ხრახნის კარგ მუშაობას.

II. თავი - შედეგები და მათი განსჯა

2.1. გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კვლევის დინამიკური სტენდი

გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის, ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ აპარატზე გამოყენების შემთხვევაში, მისი დადებითი ან უარყოფითი მხარეების განსასაზღვრად საჭიროა სამოდელო ექსპერიმენტების ჩატარება. სამოდელო ექსპერიმენტის ჩასატარებლად საჭირო გახდა ხრახნის მოდელისა და მისი გამოსაცდელი სტენდის დამზადება.



o

დაგეგმარდა და დამზადდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რომელიც უზრუნველყოფს ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დიამეტრის, გრეხვის და შეტვის კუთხის ცვლილებას დინამიკაში (სურ.36) [21,22,23]. იგი შესაძლებლობას იძლევა

განხორციელდეს მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და აეროდინამიკული პარამეტრების კვლევა.

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის გამოსაცდელი სტენდი ახდენს ფრენის პროცესში ხრახნის გეომეტრიის ცვლილების მართვის იმიტირებას.

ხრახნის დამუშავება ხდებოდა ეტაპების მიხედვით. თავდაპირველად მოხდა ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის პროექტირება და დამზადდა მაკეტი, შემდეგ - ცვალებადი გრეხილობის ხრახნის მაკეტი. მათი ძირითადი კვანძების ანალიზის შემდეგ გაკეთდა მოდელი, რომელიც ერთდროულად იცვლის ფრთების დიამეტრს და გრეხილობას.

ეკონომიურობის თვალსაზრისით მოხდა ორფრთიანი ხრახნის დამზადება მინიმალური დიამეტრით 4,120 მ და მაქსიმალური დიამეტრით 5,768მ.

ზედაპირის მათემატიკური მოდელი შეიქმნა კომპიუტერულ პროგრამა AUTOCAD-ში. პროგრამული მართვის ჩარხზე დამზადდა: ზედაპირის ეტალონი, შაბლონები და ფორმბლოკები.

საამწყობო სამარჯვები დამონტაჟდა ეტალონების დახმარებით, რომლებიც შემდგომში გამოიყენეს როგორც მუშა ფორმა, ფრთების შემონაკერების დასამზადებლად.

აწყობის ტექნოლოგიის თვალსაზრისით, ფრთა პირობითად დანაწევრდა ოთხ ძირითად ნაწილად: ლონჟერონი, დეფორმირებადი ნაწილი, არადეფორმირებადი ნაწილი და ტელესკოპური ნაწილი.

აწყობა წარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით: ლონჟერონი, არადეფორმირებადი ნაწილი, დეფორმირებადი ნაწილი და ტელესკოპური ნაწილი. ლონჟერონის ელემენტები დამზადდა პროგრამულ და ასევე უნივერსალურ ჩარხებზე. ფრთის ელემენტების დეფორმაციის შესამცირებლად, აწყობა განხორციელდა პროფილის ნეიტრალური გრეხილობით.

გაკეთდა სტენდის შესაძლო ალტერნატიული ვარიანტების ანალიზი. სტენდის ტიპის არჩევისას გათვალისწინებული იქნა იატაკის დონიდან

ხრახნის სიმაღლე, მომსახურე პერსონალის დაცვა და უსაფრთხოება, ფუნდამენტზე დამაგრების საიმედოობა, ბრუნვის სიხშირის და სიმძლავრის მდორე რეგულირების აუცილებლობა.

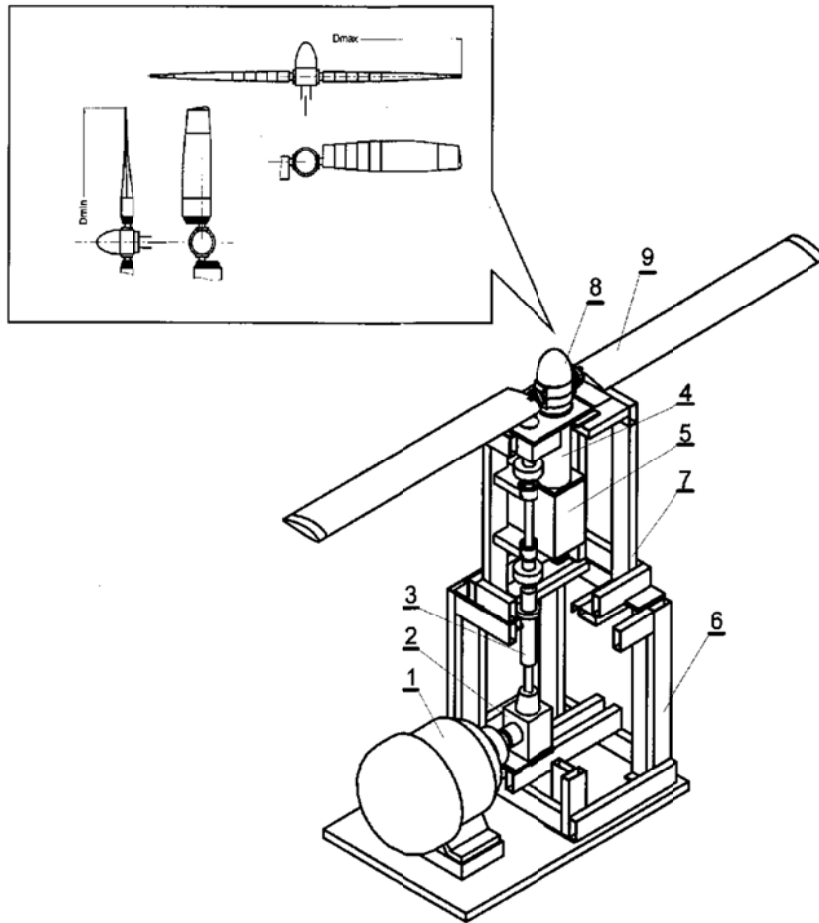
ხრახნის სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვზე გამოცდისთვის, ბრუნთა რიცხვის რეგულირებისას, აუცილებელი იყო მდორე გადასვლები. ამიტომ საჭირო იყო შერჩეულიყო ისეთი ამპრავი, რომელსაც ბრუნთა რიცხვის უსაფეხურო რეგულირება შეეძლებოდა. თავდაპირველად იყო იდეა ტურბოხრახნული ან ტანკის ძრავის გამოყენებისა. მაგრამ ეს ძრავები არ შეესაბამებოდა მოცემულ მოთხოვნებს, გარდა ამისა, ვიბრაცია და ხმაური, რომელიც თან ახლავს ამ ძრავების მუშაობას, შექმნიდა ეკოლოგიურად არასასურველ სიტუაციას. ძრავისადმი წაყენებულმა მოთხოვნების გაანალიზებამ მიგვიყვანა ელმავლის ცვალებადი დენის ელექტრულ ძრავის გამოყენების იდეამდე. სტენდი აღიჭურვა 750 კვტ სიმძლავრის, ბრუნთა რიცხვის მდორედ ცვლადი (1200 ბრ/წთ-მდე) ელექტროძრავით.

სტენდი დამონტაჟდა თბილისის ელმავალმშენებელი ქარხნის, ძრავების გამოცდის ლაბორატორიაში. აქ არის უნიკალური პულტი, რომელიც უზრუნველყოფს ძრავის ბრუნთა რიცხვის მდორე რეგულირებას, სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვებზე მუდმივი მაქსიმალური სიმძლავრის შენარჩუნებით.

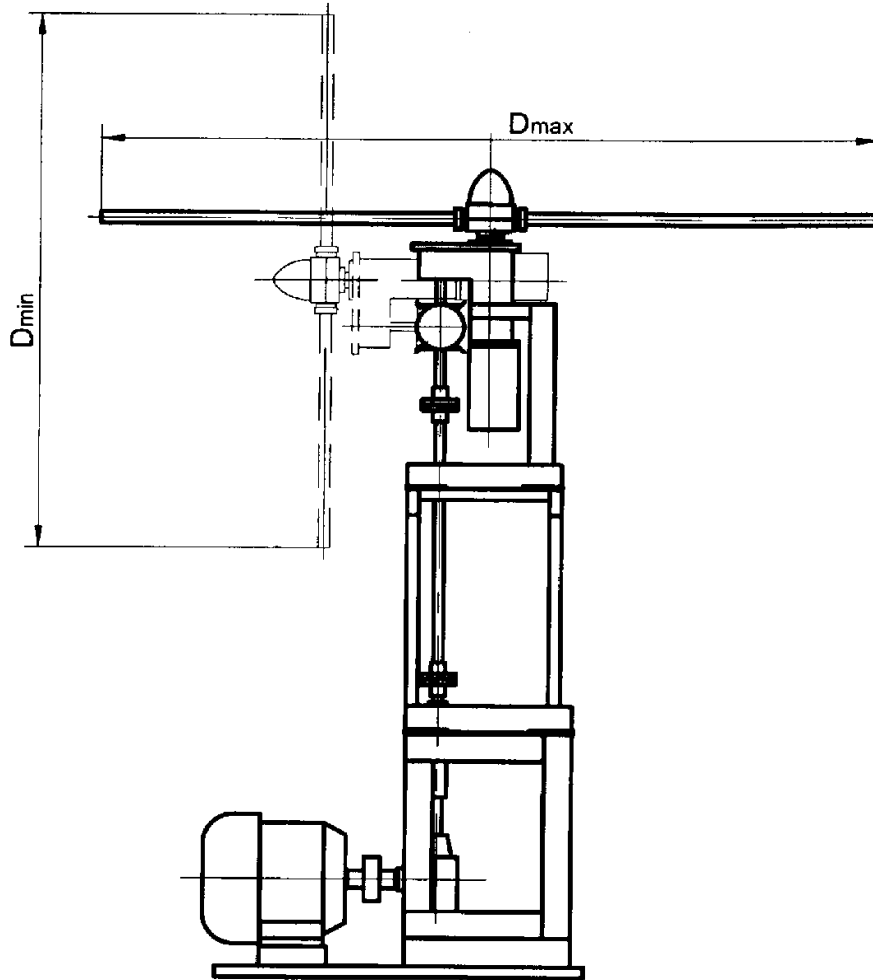
ქვემოთ მოყვანილია სტენდის ძირითადი მახასიათებლები:

ხრახნის დიამეტრის ცვლილების დიაპაზონი	4,120...5,768მ
ფრთის მობრუნების კუთხე	-5...+14 ⁰
ხრახნის ბრუნთა რიცხვის დიაპაზონი	350 ბრ/წთ
ამპრავის ნომინალური ბრუნთა რიცხვი	830/790 ბრ/წთ
ამპრავის ნომინალური სიმძლავრე	575/670 კვტ
სტენდის გაბარიტები საჰაერო ხრახნის გარეშე	
სიგრძე	6,000 მ
სიგანე	1,890 მ
სიმაღლე	4,700 მ

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის და სტენდის მასა ელექტროძრავის გარეშე არის 3200 კგ.



შემდგომში, ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ახლი კონსტრუქციის შექმნისა და გამოკვლევისთვის იგეგმება სტენდის მოდერნიზაცია (სურ. 38), რომელიც განახორციელებს არამარტო ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების შეცვლას, ასევე ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ფრენის რეჟიმების იმიტირებას. ამ მოდერნიზირების მიზანია მოხდეს ხრახნის კვლევა აეროდინამიკული მილში ფრენის სხვა და სხვა რეჟიმებისთვის.



სურ.38 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვლევის სტენდის მოდერნიზების ვარიანტი.

2.2. დინამიკური ცდების სტენდის კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტები და მოქმედების პრინციპი

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დინამიკაში კვლევის სტენდი შედგება შემდეგი ძირითადი ნაწილებისგან: ელექტროძრავი 1, კონუსური რედუქტორი 2, ტრანსმისია 3, ცილინდრული რედუქტორი 4, მართვის რედუქტორი 5, ქვედა 6 და ზედა 7 ჩარჩოები. (სურ. 37), მილისა 8 და ფრთები 9. [22,24,25,26].

მილისა წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის შედუღებულ კონსტრუქციას, მის კორპუსში განლაგებულია ფრთების გახსნის და

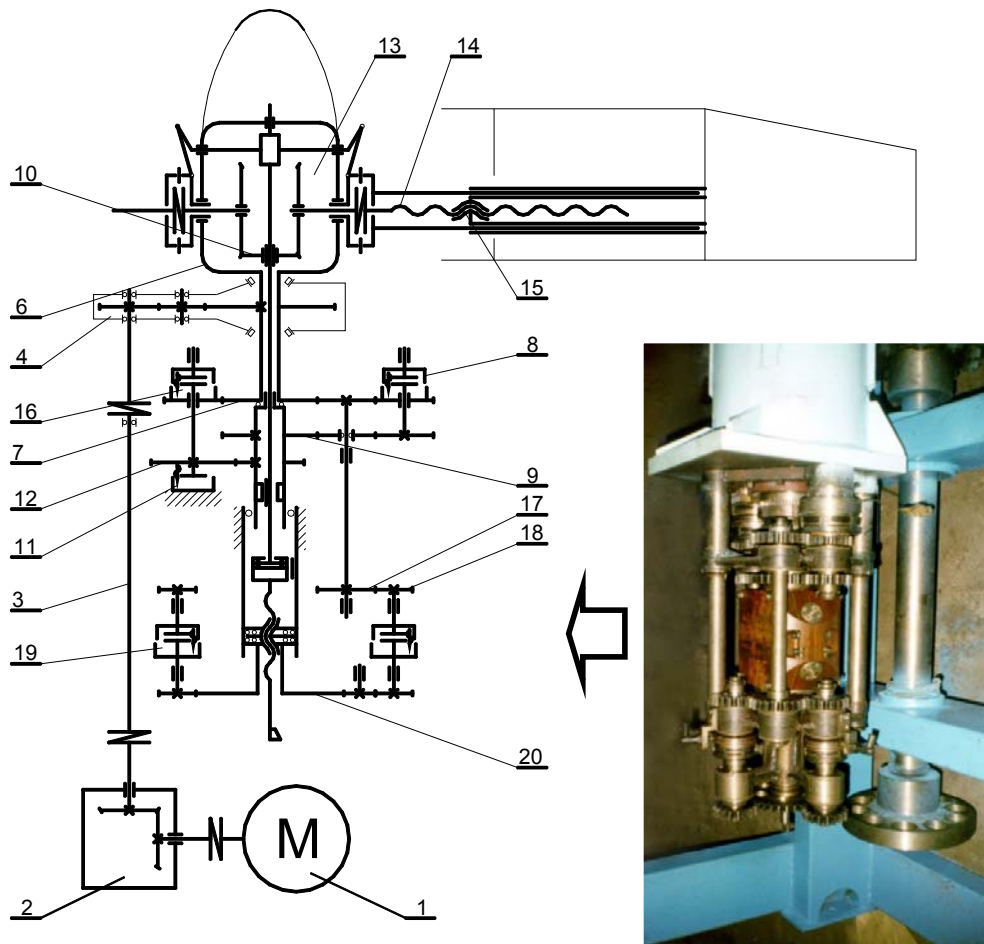
დაკეცვის მექანიზმები, ფრთის განსაზღვრულ კუთხეზე მობრუნების მექანიზმი. მილისა დამაგრებელია ცილინდრული რედუქტორის შპინდელზე.

ფრთა შედგება ტელესკოპური, უძრავი და მოძრავი ნაწილებისგან. ხრახნს ფრთების რხევების ჩასახშობად აქვს დემპფერი.

ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების მართვის რედუქტორი მაგრდება ცილინდრული რედუქტორის კორპუსის ქვედა ნაწილზე. მართვის რედუქტორის მექანიზმი ბრუნვას ღებულობს ცილინდრული რედუქტორიდან. მართვის რედუქტორი წარმოადგენს ხუთი ფილისგან შემდგარ კონსტრუქციას, რომლებიც დაკავშირებულია ერთმანეთთან სამი ვერტიკალურად განაგებული შტანგით. ფილებს შორის მოთავსებულია ხრახნის დიამეტრის და ბიჯის შემცვლელი მართვის მექანიზმები. მექანიზმები, თავის მხრივ, წარმოადგენს კინემატიკურ ჯაჭვებს, რომელიც შედგება კბილანური გადაცემებისგან და ელექტრომაგნიტური ქუროებისგან.

კონუსური რედუქტორი დაყენებულია სტენდის კონსტრუქციის ქვედა ნაწილზე, იგი ძრავის ბრუნვით მოძრაობას გადასცემს ცილინდრულ რედუქტორს. თავის მხრივ ცილინდრული რედუქტორი წარმოადგენს კვანძს, რომელიც აკავშირებს სტენდის ამძრავს როტორთან და მართვის რედუქტორთან.

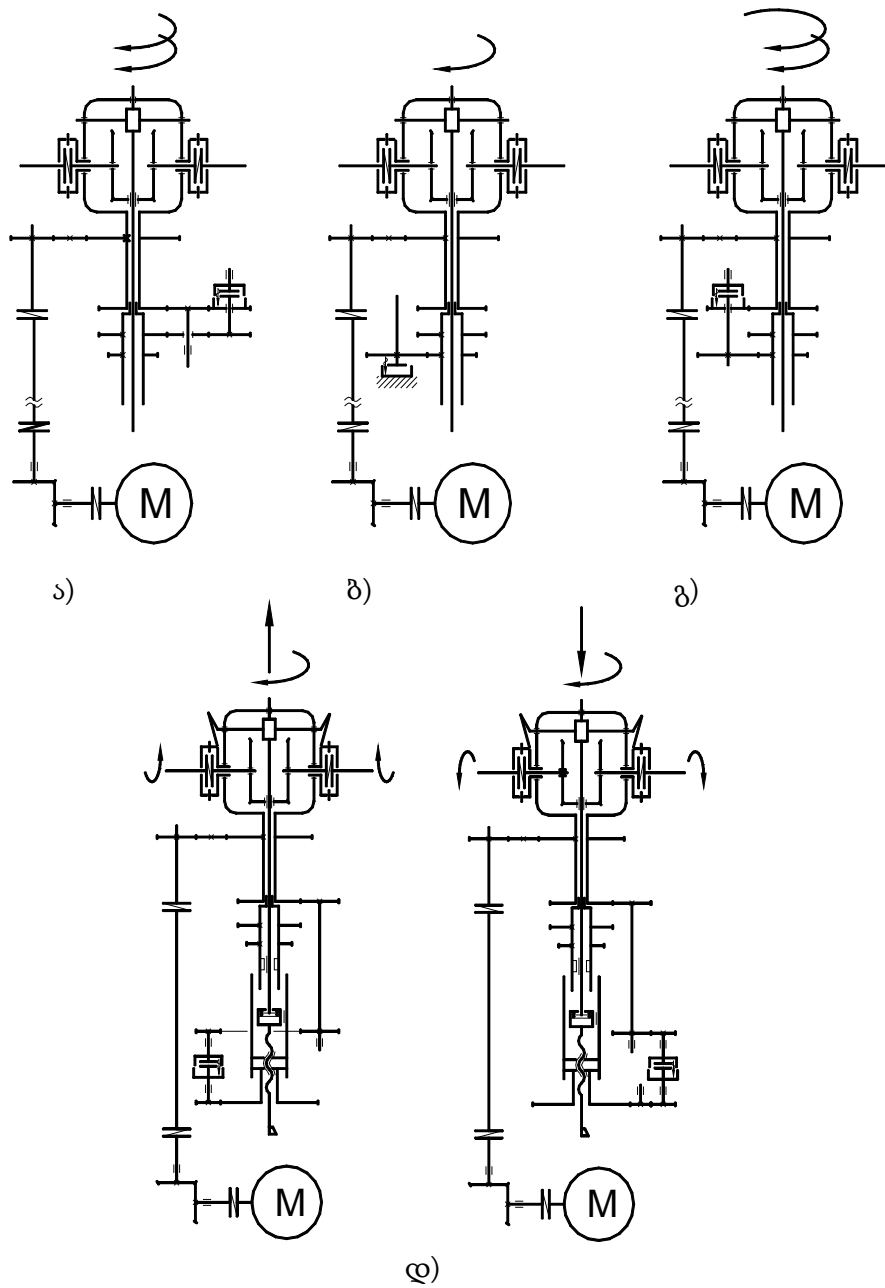
სტენდის ჩარჩო წარმოადგენს მართკუთხა პროფილებისგან შედუღებულ კონსტრუქციას. ფერმები განთავსებულია ვერტიკალის გასწვრივ ერთი მეორის მიყოლებით და ერთმანეთთან დაკავშირებულია ჭანჭიკებით. მათზე ვერტიკალურ მდგომარეობაში განთავსებულია ტრანსმისიის ლილვები, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია თითო ქუროებით.



სურ.39 სტენდის კინემატიკური სქემა

სტენდის სრული კინემატიკური სქემა წარმოდგენილია სურ.39-ზე და აქვს შემდეგი გადაცემის თანმიმდევრობა: ელექტროძრავა 1-დან კონუსური რედუქტორის 2 და ტრანსმისიის 3 გავლით ბრუნვა გადაეცემა რედუქტორის 4 შემავალ ლილვს, გამომავალი ლილვი რომელიც აბრუნებს მილისას კორპუსს 6 და კბილანა 7-ს, კბილანა 7 გადასცემს ბრუნვას ხრახნის მართვის რედუქტორის მექანიზმს.

მართვის მექანიზმი ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს:



სურ.40 სტენდის მოქმედების პრინციპი:

- ა) - ხრახნის გომეტრიის ფიქსირებული რეჟიმი, ბ) - ფრთის გაშლის რეჟიმი,
- გ) - ფრტების დაკეცვის რეჟიმი, დ) - ფრთის დაყენების კუთხის ცვლილების რეჟიმი

ხრახნის ბრუნვის ფიქსირებული რეჟიმი. ელექტრომაგნიტური ქუროს 8 ჩართვისას, კბილანა 7-დან ბრუნვა გადაეცემა კბილანა 9-ს და ცენტრალური

მართვის ლილვი 5 კონუსური კბილანით 10 ბრუნავს მილისასთან ერთად, ერთი და იგივე სიჩქარით (სურ. 40 ა).

ფრთების გაშლის რეჟიმი. ელექტრომაგნიტური ქუროს 11 ჩართვისას, კბილანა 12 გაჩერებულია და არ ბრუნავს, ამის გამო გაჩერებულია ცენტრალური მართვის ლილვი კონუსური კბილანით 10. მილისას 6 ბრუნვისას კონუსური კბილანა 13, შემოგორდება კბილანა 10-ზე, რაც გამოიწვევს ხრახნის 14 ბრუნვას, რომელიც გადაადგილებს ქანჩს 15 და გადაადგილებს ფრთის მოძრავ ნაწილს, რაც გამოიწვევს ხრახნის გაშლას. (სურ.40 ბ).

ფრთის დაკეცვის რეჟიმი. ელექტრომაგნიტური ქუროს 16 ჩართვისას ბრუნვა კბილანა 7-დან გადაეცემა ცენტრალურ მართვის ლილვს და კონუსურ კბილანა 10 ბრუნავს მილისაზე დიდი სიჩქარით, კონუსური კბილანა 13 შემოგორდება კბილანაზე 10, რაც გამოიწვევს ხრახნის 14 ბრუნვას, რომელიც გადაადგილებს ქანჩს 15 და ფრთის მოძრავ ნაწილს გადაადგილებს მილისას მიმართულებით (სურ.40 გ).

ფრთის შეტევის კუთხის ცვლის რეჟიმი. კბილანა 7-დან ბრუნვა გადაეცემა კბილანა 17-ს და ელექტრომაგნიტური ქუროს 18 ან 19 ჩართვისას ბრუნვა გადაეცემა კბილანა-ქანჩს 20, რომელიც ბრუნავს ან საათის ისრის მიმართულებით, ან საწინააღმდეგოდ. იგი გადასცემს მიღებულ მოძრაობას ცენტრალურ ლილვს 21 და ბერკეტების სისტემის დახმარებით წარმოებს ფრთების ბრუნვა საჭირო კუთხეზე. (სურ.40 დ) [22,27].

2.2.1 დინამიკური კვლევის სტენდის მოდერნიზაცია

არსებული სტენდის მოდერნიზაციის მთავარი არსი მდგომარეობდა იმაში, რომ მომხდარიყო სტენდზე ცენტრიდანული ძალის კომპენსირება. შესაბამისად, განხორციელდა არსებული სტენდის ცვლილება, დაემატა

მესამე ბლოკი, სადაც განთავსდა ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი.



სურ.41 სტენდის პირველი ბლოკი



სურ.42 სტენდის მეორე ბლოკი

სურ.41-ზე და სურ.42-ზე ნაჩვენებია სტენდის პირველი და მეორე ბლოკი.

სურ.43-ზე გამოსახულია სტენდის მესამე ბლოკში განთავსებული, ხრახნის ფრთაზე მოქმედი, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი.

სურ.44-ზე ნაჩვენებია დაკომპლექტებული მესამე ბლოკის საერთო ხედი, ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნით.



სურ.43 სტენდის მესამე ბლოკში ჩამონტაჟებული ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი

სურ.45-ზე ნაჩვენებია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდერნიზირებული დინამიური გამოცდების სტენდი.



სურ.44 დაკომპლექტებული მესამე ბლოკის საერთო ხედი ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნით.

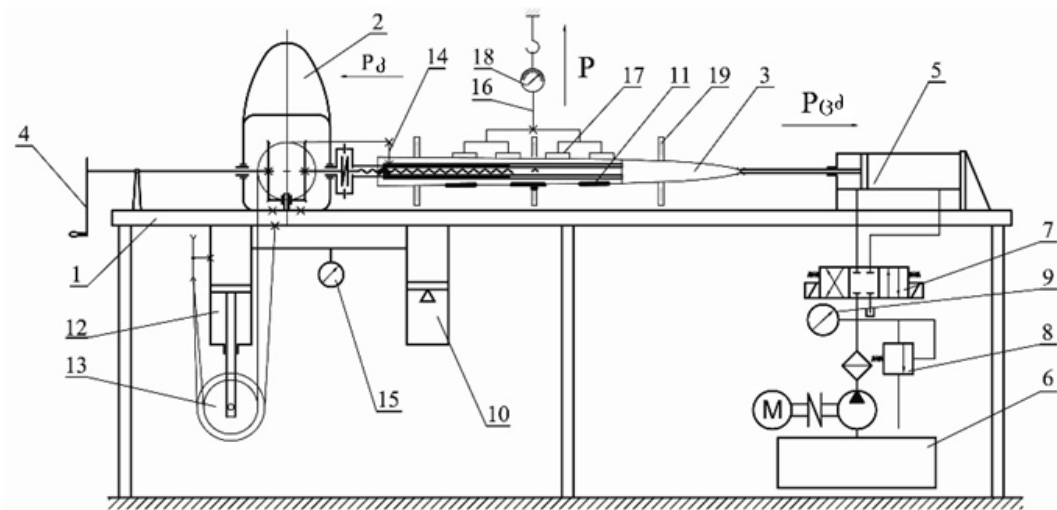


სურ.45 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდერნიზირებული დინამიური გამოცდების სტენდი.

2.3. სტატიკური კვლევის სტენდის საჭიროების დასაბუთება და მისი აღწერა

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დინამიკური ცდების სტენდზე კვლევების დაწყებამდე, ჯერ საჭირო იყო დავრწმუნებულიყავით მისი კონსტრუქციის სიმტკიცეში და საიმედოობაში. უნდა შემოწმებულიყო მთავარი კვანძების, ხრახნის დიამეტრის და გრეხილობის მექანიზმების ქმედითუნარიანობა, შესამოწმებელი იყო ცენტრიდანული ძალის კომპენსირების ჰიდრო-პნევმო სისტემის გამართულობა. ასევე საინტერესო იყო ფრთის კონსტრუქციის სიხისტის მრუდი წირის განსაზღვრა, ფრთაზე შესაძლო დატვირთვების იმიტირებით სხვა და სხვა ბრუნებთა რიცხვზე.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე გადაწყდა დამზადებულიყო სტატიკური გამოცდების სტენდი, რომელზეც მოხდებოდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთაზე ცენტრიდანული და ამწევი ძალის მოქმედების იმიტირება. ასევე სტენდზე უნდა გამოცდილიყო ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი და ხრახნის ფრთაზე მისი ზემოქმედება. ანუ ამ სტენდზე უნდა მომხდარიყო გამოკვლევა ხრახნის ბრუნვის გარეშე ფრთაზე წარმოქნილი დეფორმაციების გავლენისა, ხრახნის დიამეტრისა და ფრთების გრეხვის შეცვლის მექანიზმების მუშაობაზე.



სურ. 46 სტატიკური გამოცდების სტენდის სქემა.

- 1- ჩრჩო, 2 - მილისა, 3 - ფრთა, 4 - სახელური, 5 - ჰიდროცილინდრი,
- 6 - ჰიდროსადგური, 7 - ჰიდროგამანაწილებელი, 8 - უკუსარქველი,
- 9 - მანომეტრი, 10 - ჰიდროაკუმლიატორი, 11 - ლონჩერონი,
- 12 - ჰიდროცილინდრი, 13 - პოლისპასტი, 14 - კრონშტეინი,
- 15 - მანომეტრი, 16 - დერძი, 17 - მინაწებები, 18 - დინამომეტრი,
- 19-სახაზავი

სურ.46 მოცემულია სტატიკური დატვირვების გამოსაცდელი სტენდის სქემა, ხოლო სურ.47 წარმოდგენია უკვე დამზადებული სტენდის ფოტოსურათი.

სტენდი შედგება ჩარჩოსაგან 1, რომელზედაც დამაგრებულია მილისა 2 ერთი ფრთით 3. ჩარჩოზე 1 მარცხნივ დამაგრებულია სახელური

4, რომელიც ატრიალებს მილისის დიფერენციალს, რითაც ხდება ფრთის 3 გაშლა ან დაკეცვა. მარჯვნიდან ფრთა დაკავშირებულია ჰიდროცილინდრთან 5, რომელიც ხდება ცენტრიდანული ძალის მოქმედების იმიტირება. ჰიდროცილინდრის კვება ხორციელდება ჰიდროსადგურიდან 6 და იმართება ჰიდროგადამანაწილებლის საშუალებით 7. ცენტრიდანული ძალის $P_{ც.ა}$ სიდიდე რეგულირდება სარქველით 8 და იზომება მანომეტრით 9.

ცენტრიდანული ძალის მაკომპენსირებელი ძალა P_3 იქმნება ჰიდროაკუმულატორით 10 და გადაეცემა ჰიდროცილინდრს 12, რომელზეც დამაგრებულია პოლისპატის ჭოჭონაქები 13, ბაგირი დამაგრებულია ფრთის ლონჟერონზე 3 კრონშტეინის 14 მეშვეობით. კომპენსირების ძალა იზომება მანომეტრით 15.



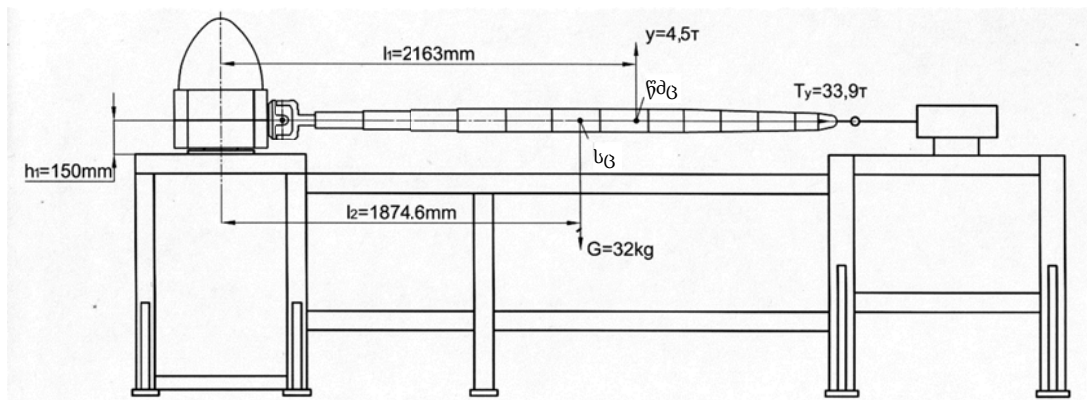
სურ. 47 სტატიკური გამოცდების სტენდი

P ამწევი ძალა გადაეცემა ფრთას სპეციალური მცირებიჯიანი გაჭიმვის დანადგარიდან, ბრეზენტის ჩანართების 17 მქონე ბერკეტებით 16, რომელიც ფრთაზე 3 თანაბრადაა მიმაგრებული. ამწევი ძალა იზომება დინამომეტრით 18.

სახაზავების 19 საშუალებით განისაზღვრება ფრთის დახრა მოცემული დატვირთვის დროს და იგება მისი მრუდი წირი. სტენდზე გათვალისწინებულია ხრახნის ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევის იმიტირება.

2.3.1 სტატიკური კვლევის სტენდის გაანგარიშება

სტენდის სიმტკიცისა და სიხისტის გასათვლელად საბაზისო მონაცემებად ვიღებთ, ფრთაზე საჰაერო დატვირთვის, ცენტრიდანული ძალის და წონის სიდიდეებს.



სურ.48-ზე ნაჩვენებია სტენდზე დამაგრებული ხრახნის ფრთა, რომელზეც მოდებულია ძალები.

დათვლებში ვიღებთ ძალების მაქსიმალურ სიდიდეებს:

საჰაერო დატვირთვა - 4,5ტ;

ფრთის წონა - 32კგ;

ცენტრიდანული ძალა - 33,69ტ.

სტენდის ჩარჩოს სიმტკიცის დათვლა განხორციელდა კომპიუტერული პროგრამით SAP 2000.

გათვლების შედეგებზე დაყრდნობით მოხდა პროფილების კვეთების დაზუსტება.

2.3.2 სტატიკური კვლევების სტენდის დამზადების ტექნოლოგია

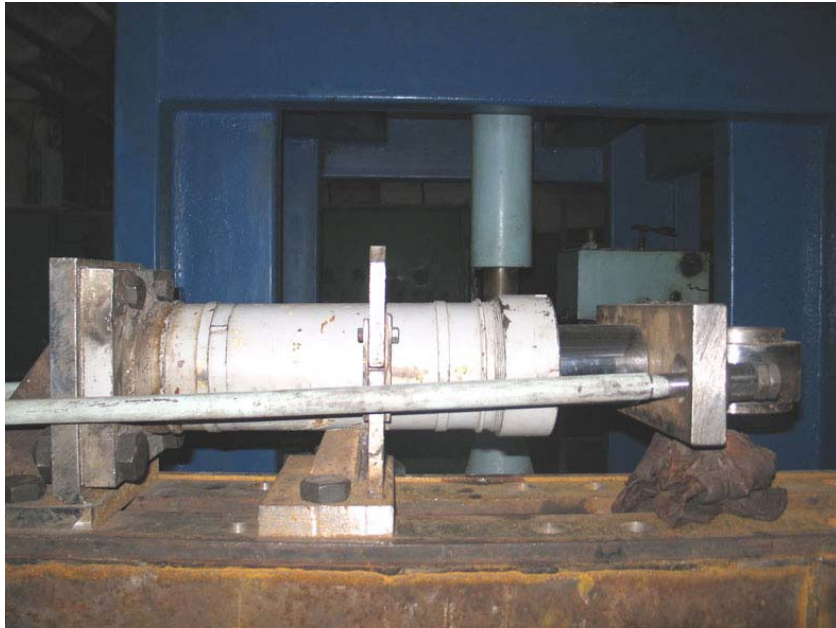
სტენდი დამზადდა ერთ ეგზემპლარად. ამიტომ მისი დამზადების ტექნოლოგია ხასიათდება ინდივიდუალური წარმოების ნიშნებით, ანუ გამოყენებულია უნივერსალური აღჭურვილობა და ხელით შრომა.

სურ.47-ზე ნაჩვენებია დამზადებული სტატიკური კვლევების სტენდის სურათი.

სტენდის გამართული მუშაობის მთავარ პირობას წარმოადგენს მისი კონსტრუქციის სიხისტე და სიმტკიცე. ეს პირველ რიგში ეხება სტენდის ჩარჩოს. მისი შემადგენელი ყველა კომპონენტი მტკიცედ უნდა დამაგრდეს ჩარჩოზე. შემოწმებამ აჩვენა, რომ ზემოთ მოცემული მოთხოვნები შესრულებულია.

პოლისპასტის ჭოჭონაქების, ჰიდროცილინდრის და სტენდის სხვა კომპონენტების დამზადებისას ტექნოლოგიური ბაზები აირჩა ისე, რომ დეტალების დამზადებისას შესაძლებელი ყოფილიყო მათი ზომების სიზუსტის და ზედაპირების დამზადების საჭირო ხარისხის მიღება.

სურ.49-ზე ნაჩვენებია სტენდზე დამაგრებული ჰიდროცილინდრი ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალების იმიტირებისთვის. სურ.50-ზე გამოსახულია ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი.



სურ.49 სტენდზე დამაგრებული ცილინდრი ცენტრიდანული ძალების იმიტირებისთვის



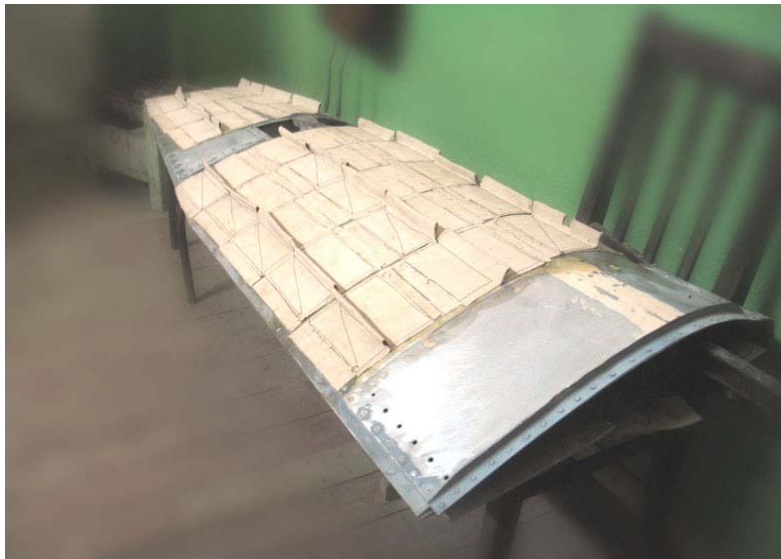
სურ.50 ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი.

სურ.51-ზე ნაჩვენებია სტატიკური კვლევების სტენდის დამზადების მუშა პროცესი.



სურ.51 სტენდის დამზადების პროცესი

სურ.52-ზე ნაჩვენებია გამოსაცდელად გამზადებული ხრახნის ფრთა, ბრეზენტის დანაწებებებით ამწევი ძალის იმიტირებისთვის.



სურ.52 გამოსაცდელად გამზადებული ხრახნის ფრთა

სურ.53 ფრთაზე მოქმედი ამწევი ძალის იმიტირების მომენტი სტატიკურ კვლევების სტენდზე.



სურ.53 ამწევი ძალის იმიტირება

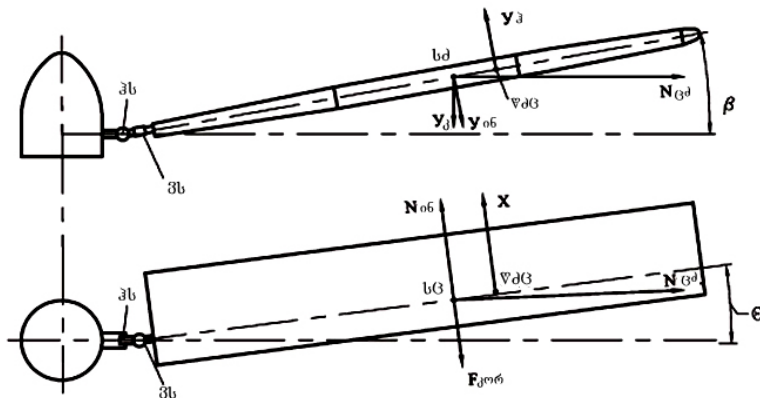
2.4. გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კვანძების ქმედითუნარიანობის კვლევა

სამუშაოს მიზანი

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს, სტატიკური გამოცდის სტენდზე, ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთაზე წინასწარ გამოთვლილი შესაძლო დატვირთვების იმიტაციის გზით მთავარი კვანძების შრომისუნარიანობის შემოწმება. მთავარი ყურადღება უნდა მიექცეს ხრახნის დიამეტრის და გრეხილობის მექანიზმების საიმედოობის შემოწმებას, ასევე ცენტრიდანული ძალის კომპენსირების ჰიდრო-პნევმო სისტემას.

ზოგადი წარმოდგენა ხრახნის ფრთაზე მოქმედ დატვირთვებზე

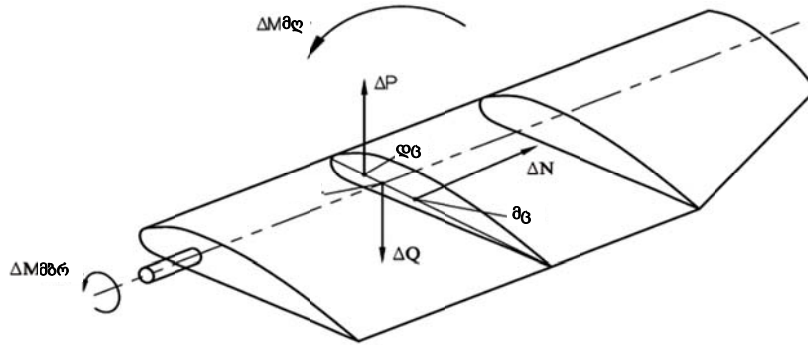
საჰაერო ხრახნის ფრთა, საფრენი აპარატის ფრენისას, იტვირთება საჰაერო (ზედაპირული) და მასური ძალებით. საჰაერო ძალები შედგება საჰაერო დატვირთვის Y_3 და შუბლური წინაღობის X ძალებისგან. მასურ ძალებს მიეკუთვნება: ფრთის კონსტრუქციის წონით გამოწვეული დატვირთვა Y_3 ; ფრთის ცენტრიდანული ძალა Y_6 ; ინერციის ძალები, რომლებიც გამოწვეულია ფრთის ქნევითი მოძრაობისას ჰორიზონტალური სახსრის მიმართ Y_{06} და ვერტიკალური შარნირის მიმართ რხევისას N_{06} ; კორიოლისის ძალა $F_{კორ}$, რომელიც გამოწვეულია ფრთის ბრუნვის და მისი ქნევითი მოძრაობის ურთიერთქმედების შედეგად (სურ.54).



სურ. 54 ფრთაზე მოქმედი ძალები: \aleph_s - ჰორიზონტალირო სახსარი.
 ψ_s - ვერტიკალური სახსარი, s_G - სიმძიმის ცენტრი,
 ψ_{DG} - წნევის ძალის ცენტრი

საჰაერო, ზედაპირული და მასური ძალების მოქმედების შედეგად ფრთის კვეთებში აღიძვრება: განივი Q და ღერძული N ძალები, მღუნავი $M_{აღ}$ და მგრეხავი $M_{აგრ}$ მომენტები (სურ.55).

დატვირთვის მთავარ ნაწილი მოდის ლონჟერონზე, რომელიც წარმოადგენს ფრთის მთავარ ძალურ ელემენტს.



ხრახნის ფრთის გამოცდისას, საჭირო ხდება განისაზღვროს საჰაერო დატვირთვა და ცენტრიდანული ძალა, ხოლო სხვა ძალები, მათი მცირე მნიშვნელობების გამო შეიძლება უგულებელყოს.

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთის გასწვრივ საჰაერო დატვირთვის განაწილება

საჰაერო დატვირთვის განსაზღვრისათვის ვიპოვოთ აეროდინამიკული ამწევი ძალა ფრთის უბანზე $\bar{r}=0.7$ და $\bar{r}=0.8$ რადიუსებს შორის.

ხრახნის საწყისი საანგარიშო პარამეტრები: მაქსიმალური დიამეტრი $D_{max}=5.768$ მ ($R_{max}=2.884$ მ), მინიმალური დიამეტრი $D_{min}=4.120$ მ ($R_{min}=2.060$ მ), მთავარი ქორდის სიგრძე $b=0.5$ მ, პროფილის ფარდობითი სისქე $\bar{C} = 0.2$ გ. (ნახ. 56).

განვსაზღვროთ ფრთის საანგარიშო ნაწილის ფართობი:

$$\Delta S = 0.1 \cdot R_{max} \cdot b = 0.1 \cdot 2.884 \cdot 0.5 = 0.144 \text{ მ}^2$$

ხრახნის ბრუნვის მაქსიმალური სიხშირე:

$$n = \frac{U_{კრ}}{2 \cdot \pi \cdot R_{max}} = \frac{220}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.884} = 12.1 \cdot \frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}} \left(726 \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}} \right)$$

სადაც $U_{კრ}$ - ფრთის ბოლო ნაწილის კრიტიკული სიჩქარეა

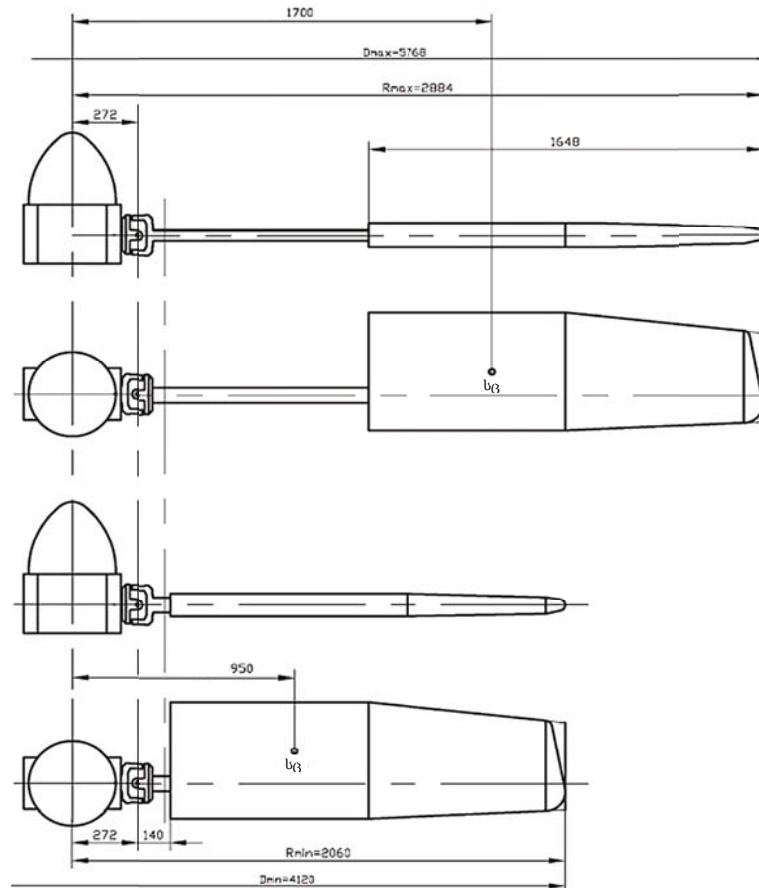
ფრთის საკონტროლო ნაწილის წრიული სიჩქარე, რადიუსზე $\bar{r}_{0.75}=0.75$

$$U = 2 \cdot \pi \cdot \bar{r}_{0.75} \cdot R_{max} \cdot n = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.75 \cdot 2.884 \cdot n = 13.58 \cdot 12.1 = 164 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

ბრუნვის სიბრტყეში საჰაერო ნაკადის სიჩქარე:

$$V_1 = \sqrt{\frac{T}{2 \cdot S_{\text{შვ}} \cdot \chi \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{T}{2 \cdot 25 \cdot 0.9 \cdot 1.23}} = 0.13 \sqrt{T} = 0.13 \sqrt{15000} = 16.4 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

სადაც T არის ხრახნის მიერ წარმოქმნილი ამწევი ძალა პირველ მიახლოებაში, χ - ფუძეში და ბოლოში დანაკარგების კოეფიციენტი, ρ - ჰაერის სიმკვრივე, $S_{\text{შვ}}$ - ხრახნის მიერ შემოწერილი ფართობი.



ეზი

$$S_{\text{შვ}} = 0.96 \cdot \pi \cdot R^2 = 0.96 \cdot 3.14 \cdot 2.884^2 = 25\text{მ}^2$$

ფრთის კვეთის ჯამური ფარდობითი სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_1 = \sqrt{u^2 + V_1^2} = \sqrt{164^2 + 16.4^2} = 164.8 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

პროფილის მოცემული შეტევის კუთხისთვის $\alpha=4^\circ$ და ფარდობითი სისქისთვის $\bar{C} = 0.2$, გრაფიკებიდან განვსაზღვრავთ ამწევი ძალის კოეფიციენტის მნიშვნელობას $C_y = 0.8$ და პროფილის აეროდინამიკულ ხარისხს $K=42$.

ვპოულობთ ფრთის ელემენტზე საჰაერო ნაკადის შემოდენის კუთხეს

$$\beta_1 = \arctg \frac{V_1}{u} = \arctg \frac{16.4}{164} = 6^\circ$$

ვპოულობთ ფრთის დაყენების კუთხეს $\varphi = \alpha + \beta_1 = 4 + 6 = 10^\circ$

შემდგომში განვსაზღვრავთ γ კუთხის სიდიდეს

$$\gamma = \beta_1 + \frac{57.3}{K} = \beta_1 + \frac{57.3}{42} = \beta_1 + 1.36$$

ფრთის საანგარიშო უბანზე აეროდინამიკული ძალის სიდიდე ტოლია:

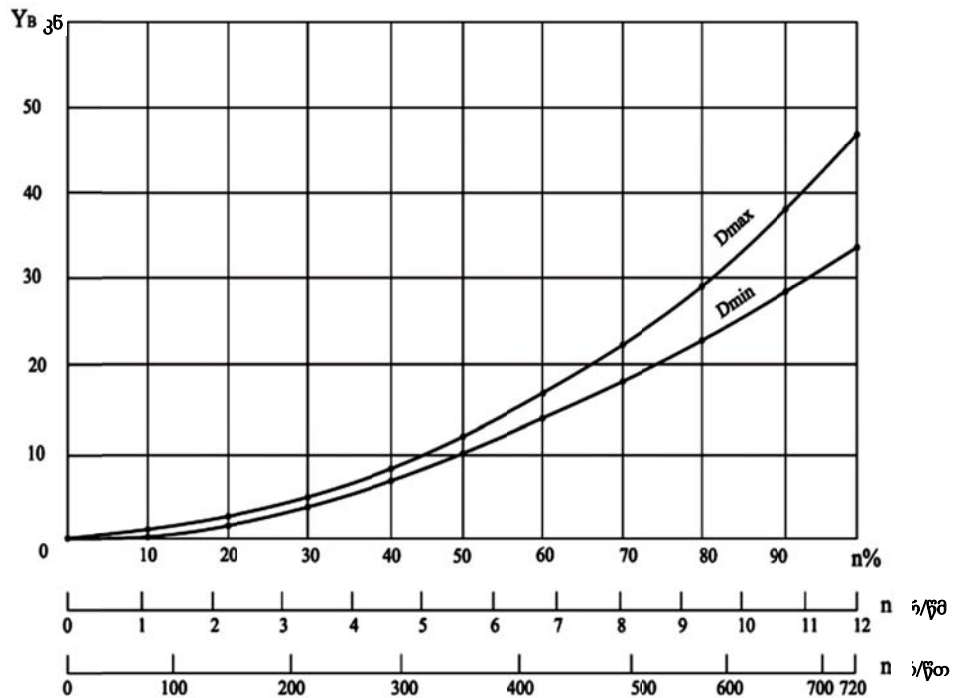
$$\Delta F = \frac{1}{2} \cdot C_y \cdot \rho \cdot W_1^2 \cdot \Delta S = \frac{1}{2} \cdot 0.8 \cdot 1.23 \cdot W_1^2 \cdot 0.144 = 0.07 \cdot W_1^2$$

ვპოულობთ ფრთის უბანზე აეროდინამიკულ ამწევ ძალას

$$\Delta Y = \Delta F \cdot \cos \gamma$$

ფრთაზე მოქმედი სრული აეროდინამიკული ძალა განისაზღვრება

ემპირიული ფორმულით: $Y = 5.435 \cdot \Delta Y$



ვიკო

ცხრილი 1.

	100%	80%	60%	40%	20%
ბრახნის ბრუნთა რიცხვი $n(\%), \left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right), \left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	12,1 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$	9,7 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$	7,3 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$	4,8 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$	2,4 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$
	726 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	581 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	436 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	290 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	145 $\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$
ფრთის გამოსაკვლევი მონაკვეთის წრიული სიჩქარე $u = 13.58 \cdot n \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$	164	132	99	65	32
ჰაერის ნაკადის სიჩქარე, ბრუნვის სიბრტყეში $V_1 \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$	16,4	14,2	9	7	4
კვეთის სიჩქარე $W_1 = \sqrt{u^2 + V_1^2} \left(\frac{\text{მ}}{\text{წმ}}\right)$	164,8	133	99	65	32
ფრთის ელემენტზე საჰაერო ნაკადის შემოდენის კუთხე $\beta_1 = \arctg \frac{V_1}{u}$	6°	6°	6°	6°	7°
ფრთის დაყენების კუთხე $\varphi = \alpha + \beta_1$	10°	10°	10°	10°	11°
კუთხის სიდიდე γ $\gamma = \beta_1 + 1.4$	7,4°	7,4°	7,4°	7,4°	8,4°
აეროდინამიკული ძალა $\Delta F = 0.07 \cdot W_1^2$ (ბ)	1901	1238	686	295	72
აეროდინამიკული ამწევი ძალა $\Delta Y = \Delta F \cdot \cos \gamma$ (ბ)	1882	1225	679	292	70
ფრთაზე მოქმედი სრული აეროდინამიკული ძალა $Y = 5.435 \cdot \Delta Y$ (ბ)	10229	6661	3691	1587	380
საჰაერო დატვირთვა ფრთაზე $Y = 4,5 \cdot \Delta Y$ (ბ)	46029	29975	16611	7142	1712

გამოთვლების შედეგები სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვისთვის წარმოდგენილია ცხრილ 1-ში.

ფრთის დიამეტრის გაზრდა და გრეხილობის შემცირება გამოიწვევს მასზე საჰაერო დატვირთვის დაახლოებით 1,4-ჯერ გაზრდას.

სურ.57-ზე ნაჩვენებია საჰაერო დატვირვის ცვლილება სხვა და სხვა ბრუნვის სიხშირეზე.

განვსაზღვროთ საჰაერო დატვირთვა ფრთის რადიუსის გასწვრივ, ნერვიურების განლაგების შესაბამის ადგილებზე. საჰაერო დატვირთვის ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$q_{Y_3} = \frac{Y_3}{R} \cdot \bar{F}$$

სადაც \bar{F} - ფრთის რადიუსის გასწვრივ გრძივი დატვირთვის განაწილების კოეფიციენტი. მართკუთხა ბრტყელი ფრთისთვის, რომელიც არჩეულია ერთი და იგივე აეროდინამიკული მახასიათებლების მქონე პროფილებიდან:

$$\bar{F} = 3 \cdot \bar{r}^2 = 3 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2, \text{ მაშინ გვექნება:}$$

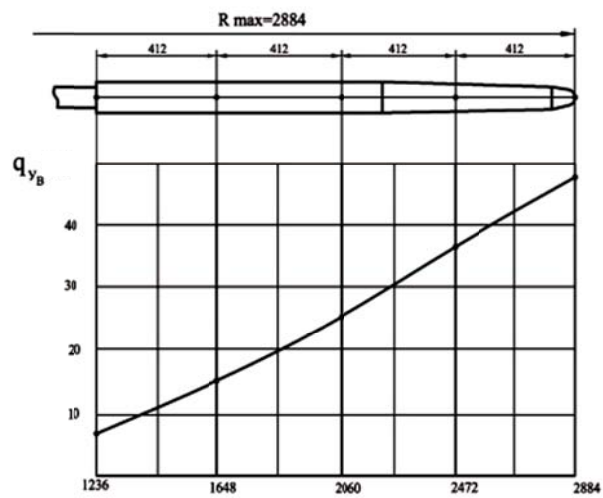
$$q_{Y_3} = \frac{Y_3}{R} \cdot \bar{F} = \frac{Y_3}{R} \cdot 3 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2 = 3 \cdot \frac{Y_3}{2.884^3} \cdot r^2 = 0.125 \cdot Y_3 \cdot r^2$$

გამოთვლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 2-ში.

ფრთის რადიუსის გასწვრივ საჰაერო ნაკადის განაწილება ნაჩვენებია სურ. 58-ზე.

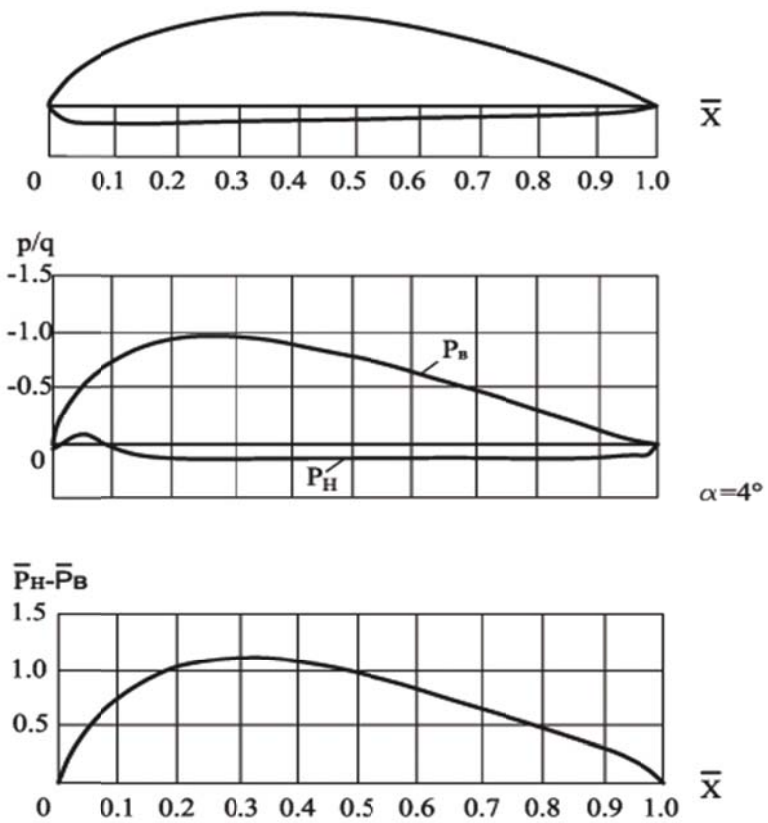
ცხრილი 2.

ფრთის კვეთის რადიუსი r (ა)	1,236	1,648	2,06	2,472	2,884
გრძივი საჰაერო დატვირთვა $q_{Y_3} = 57536 \cdot r^2 \left(\frac{6}{\theta}\right)$	8789,7	15626,2	24415,9	35159,0	47855,3



ფ

საჰაერო ნაკადის განაწილება პროფილის ჭორღის გასწვრივ



გრამა

საჰაერო ნაკადის პროფილის ქორდის გასწვრივ განაწილების კანონზომიერების განსაზღვრისთვის ვიხელმძღვანელოთ პროფილის გასწვრივ წნევების განაწილების დიაგრამით შეტევის კუთხითეზე $\alpha=4^\circ$ (სურ. 59). შევკრიბეთ პროფილის ზედა და ქვედა ზედაპირზე წნევის კოეფიციენტების სიდიდეები, ავაგეთ საჰაერო ნაკადის პროფილის ქორდის გასწვრივ განაწილების დიაგრამა. ქორდის უბნებზე საჰაერო დატვირთვის წილი პროპორციულად შეესაბამება ამ უბნებს შორის ფართობებს და საჰაერო ნაკადის განაწილების მრუდს.

ხრახნის ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალები

ხრახნის მოძრავ ნაწილზე ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით გამოწვეული დატვირთვები შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$N_G = f \cdot m_{გრ} \cdot \frac{V_{b,გ}^2}{r_{b,გ}}$$

სადაც $m_{გრ}$ - ფრთის მოძრავი ნაწილის მასაა $m_{გრ} = 32$ კგ

$V_{b,გ}$ - ფრთის სიმძიმის ცენტრის სიჩქარე

$r_{b,გ}$ - ფრთის სიმძიმის ცენტრის რადიუსი

ფრთის სიმძიმის ცენტრის სიჩქარის გამოსახულების გათვალისწინებით

$$V_{b,გ} = 2\pi \cdot r_{b,გ} \cdot n$$

გვექნება

$$N_{b,გ} = f \cdot m_{გრ} \cdot \frac{(2\pi \cdot r_{b,გ} \cdot n)^2}{r_{b,გ}} = f \cdot m_{გრ} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot r_{b,გ} \cdot n^2 = 1.5 \cdot 3.2 \cdot 4 \cdot 3.14^2 \cdot r_{b,გ} \cdot n^2 =$$

$$= 1893.04 \cdot r_{b,გ} \cdot n^2$$

მაქსიმალურ დიამეტრზე სიმძიმის ცენტრის რადიუსი ტოლია $r_{b,გ(D_{max})} = 1.7$ მ,

მინიმალურ დიამეტრზე $r_{b,გ(D_{min})} = 0.95$ მ, მაშინ ცენტრიდანული ძალის

განმსაზღვრელი გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$N_{b,გ(D_{max})} = 1893.04 \cdot 1.7 \cdot n^2 = 3218.2 \cdot n^2$$

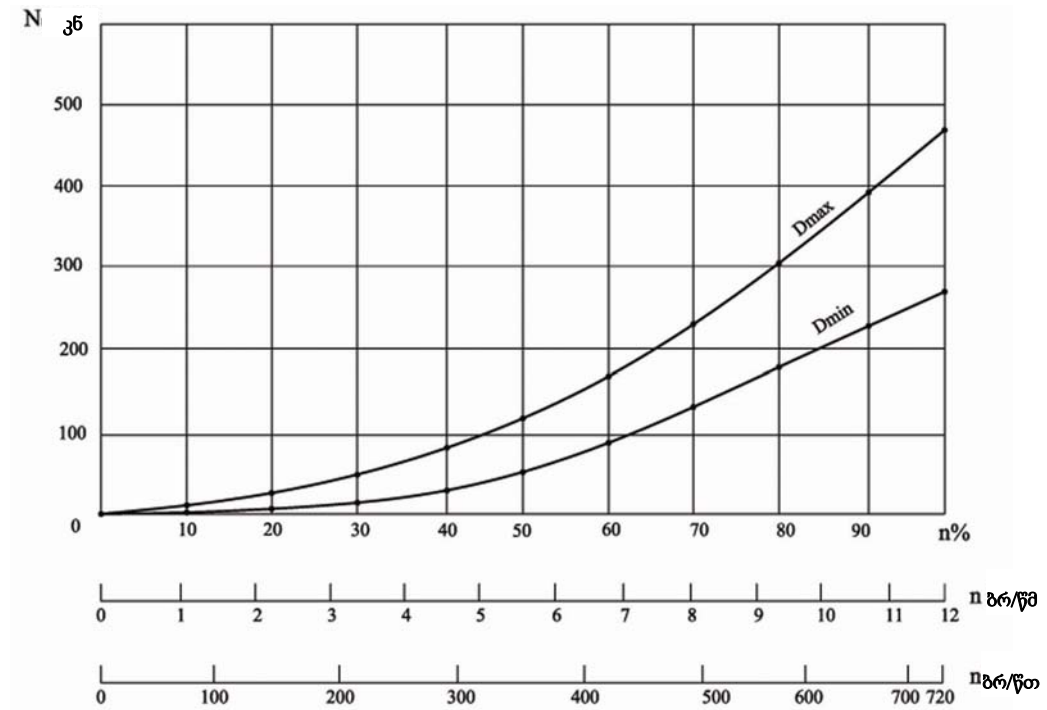
$$N_{\text{ს,ვ}(D_{\text{min}})} = 1893.04 \cdot 0.95 \cdot n^2 = 1798.4 \cdot n^2$$

გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 3-ში

ცხრილი 3.

ხრახნის ბრუნთა რიცხვი n	(%)	100	80	60	40	20
	$\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წმ}}\right)$		12,1	9,7	7,3	4,8
	$\left(\frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}\right)$	726	581,	436	290	145
ფრთის ცენტრიდანული ძალა ხრახნის მაქსიმალურ დიამეტრზე $N_{\text{ვ}(D_{\text{max}})} = 32182 \cdot n^2$ (H)		471176 (48 ტ)	302800,4 (31 ტ)	171497,9 (17,5 ტ)	74147,3 (7,5ტ)	18536,8 (1,9 ტ)
ფრთის ცენტრიდანული ძალა ხრახნის მინიმალურ დიამეტრზე $N_{\text{ვ}(D_{\text{min}})} = 17984 \cdot n^2$ (H)		263303,7 (26,8 ტ)	169211,4 (17,2 ტ)	95836,7 (9,8 ტ)	41435,1 (4,2 ტ)	10358,8 (1,0 ტ)

ფრთის მოძრავ ნაწილზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალის ცვლილების ხრახნის დიამეტრზე და ბრუნვის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკი მოცემულია სურ.60-ზე



სურ.60 ფრთის მოძრავი ნაწილის ცენტრიდანული ძალის ცვლილების ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულების გრაფიკი

2.5. ფრთის დეტალების დამზადებისა და აწყობის ტექნოლოგიური პროცესები

ფრთები შედგება ლონჟერონის, ნერვიურებისა და გარსაცმისაგან. რადგანაც ქვეყანაში არ არსებობს თანამედროვე CAD/CAM სისტემები და საწარმოო სახსრები, დეტალებისა და ტექნოლოგიური აღჭურვილობის დამზადებისა და პროექტირების დროს გამოყენებული იყო პლაზურ-შაბლონური შეკავშირების მეთოდი AUTOCAD და PRIMUS სისტემების გამოყენებით.

ზედაპირის მათემატიკური მოდელი შეიქმნა AUTOCAD სისტემაში, რომლითაც გამოითვალა ნერვიურების ჭრილი. მონაცემები PRIMUS სისტემაში იყო გადაყვანილი, რომლითაც გამოითვალა H33 პროცესორის მქონე დაზგების CNC მართვის პროგრამები. CNC დაზგებზე დამზადდა: ზედაპირის ეტალონი, შაბლონები, ფორმბლოკები და სტაპელის გადამრთველი.

შეკრებილი მოწყობილობა დამონტაჟებული იყო ეტალონის მიხედვით, რომელიც შემდგომში შაბლონად იყო გამოყენებული ფრთების გარსაცმის დამზადებისათვის.

შეკრების ტექნოლოგიის თვალსაზრისით, ფრთა პირობითად ოთხ ძირითად ნაწილად არის დაყოფილი: ლონჟერონი, დეფორმირებადი ნაწილი, არადეფორმირებადი ნაწილი და ტელესკოპური ნაწილი.

შეკრება შემდეგნაირად ხდება: ლონჟერონი, არადეფორმირებადი ნაწილი, დეფორმირებადი ნაწილი, ტელესკოპური ნაწილი (იხ. სურ.25). ლონჟერონის ელემენტები დამზადდა CNC დაზგებზე, ასევე უნივერსალურ დაზგებზე.

შედულებული ნაკერების კონტროლი ხორციელდებოდა რენტგენოგრაფიის, ულტრაბგერითი და მაგნიტური კონტროლის მეშვეობით. მასალის გეომეტრიული ზომებისა და მახასიათებლების კონტროლი უნივერსალური მეთოდებით ხდებოდა.

დეტალების დამზადებისა და ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის გამოცდის პროცესში გამოყენებული იყო შემდეგი ტექნოლოგიური პროცესები:

1. ბრუნვითი დეტალების შიდა ჩასმის ზედაპირების, საფინიშო დამუშავების ბაზირების ცნობილი მეთოდებია: დასამუშავებელი დეტალის მაღალსიზუსტიანი თვითმაცენტრებელ ვაზნებში ბაზირება, დაყვანილ მტკიცეშენადნობ ცენტრებზე და ბრონზის სადებებით.

თუმცა, 2-მკმ სიზუსტით დასამუშავებელი შიდა კონუსური ზედაპირის განივი კვეთის და 4-მკმ საზღვრებში რადიალური ცემის მიღწევა ზემოთქმული ბაზირების მეთოდებით, შეუძლებელი აღმოჩნდა. ეს კი აუცილებელი მოთხოვნაა ცენტრალური შპინდელის ნახაზის ტექ. პირობების თანახმად.

ამიტომაც, შემუშავდა და დამზადდა სამარჯვი (სურ. 61) შიდა სახეხი დაზგისთვის, პნევმატური საყრდენების გამოყენებით, სადაც შპინდელის გარე საბაზო ცილინდრიული ზედაპირი საჰაერო ბალიშებს ეყრდნობა, რომელიც შეიქმნა ჰაერის 5-ატმ. წნევით მიწოდებით. ბრუნვის დროს დასამუშავებელი დეტალი – შპინდელი ჰაერში დაკიდებულ მდგომარეობაში იმყოფება, რამაც მოგვცა საშუალება მიგველო ზუსტი მაჩვენებლები როგორც რადიალური ცემაზე, ასევე განივი კვეთაში.

2. ფრთების დისბალანსის მინიმუმზაციის მიზნით შემუშავდა და მომზადდა სპეციალური მოწყობილობა (სურ. 62) სტატიკური ბალანსირებისათვის ხრახნების ჩაჯდომის ზედაპირებზე ბაზირებით, სადაც გორვის ღერძი დევს ორი ნაწრთობი დანის პირებზე.

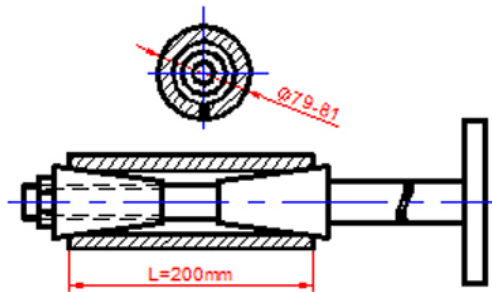
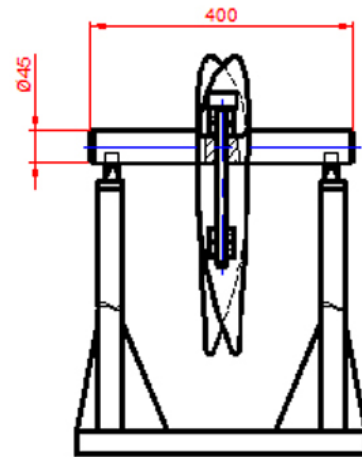
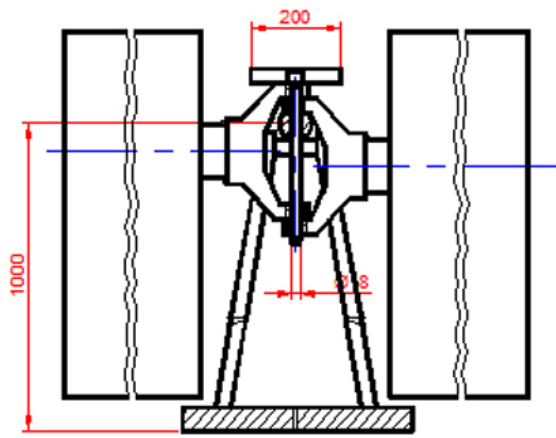
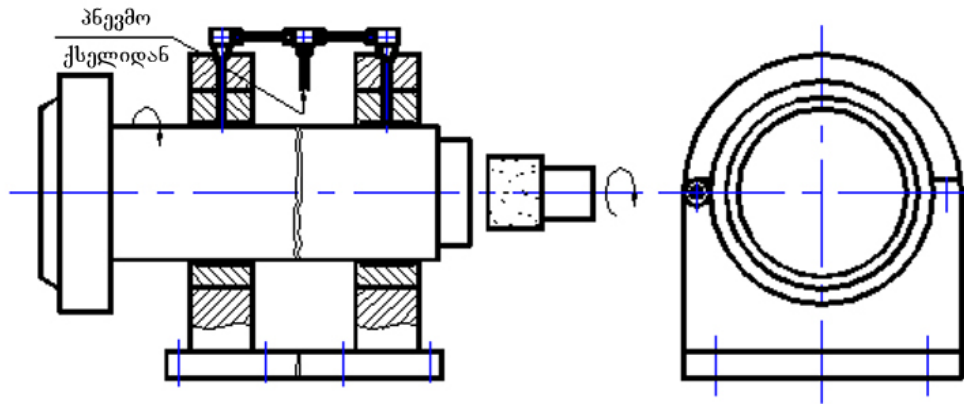
დაბალანსება ხდებოდა მაქსიმალურად გაშლილ ფრთებზე.

ბალანსირების დროს მიღებული შედეგები შეესაბამება:

ა) წონით მაჩვენებელს – 15გ.

ბ) დიამეტრულ განლაგებას – 5მმ (გორვის ღერძთან მიმართებაში).

დისბალანსის თავიდან აცილებისთვის გამოვიყენეთ სპეციალურად ამ მიზნისთვის მომზადებული ფირფიტები.



სული, სა სასკოლის დასუთავების სასაოჯკვი ჯისთს.

3. 30XTC ფოლადისაგანა დამზადებული სახსრული ქუროების სამუშაო ზედაპირების (მილისიდან ფრთებზე ბრუნვის გადამცემი ქუროები) თერმული დამუშავების შემდეგ, საბოლოო დამუშავების პროცესი განხორციელდა “SYP” ფირმის მაღალსიზუსტიან ჩარხზე რამაც განაპირობა სამუშაო ნახაზების ტექნიკური მოთხოვნების მიღწევა:

- ა) ზედაპირის სისუფთავე;
- ბ) ზედაპირების ურთიერთგანლაგება;
- გ) ზედაპირების გეომეტრიული ფორმა.

4. დემპერების დამზადების დროს გამხორციელდა ცილინდრებისა და სარკველების დაყვანა სპეციალურად რეგულირებადი (დიამეტრის მიხედვით) სახეხი იარაღებით (სურ. 63), შედეგად მივიღეთ სიმრგვალის მაღალი სიზუსტე (3-მკმ-დე ფარგლებში) და სარკისებრი ზედაპირი.

2.6. სტატიკური და დინამიკური კვლევების სტენდებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების მეთოდოლოგია

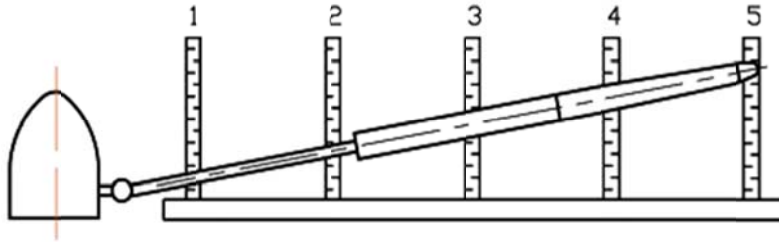
სტენდებზე ჩატარებული ექსპერიმენტებით ხდება სისტემის ფუნქციონალურობის შემოწმება, ხრახნის წვევის ძალის განსაზღვრა, მოწმდება მექანიზმების საიმედოობა სხვა და სხვა ბრუნთა რიცხვზე, ხდება ელმოწყობილობების, ელმაგნიტური ქუროების სტაბილური მუშაობის შემოწმება.

2.6.1. სტატიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები

სახაზავების მეშვეობით ხდება ფრთის ღუნვის და დეფორმაციების განსაზღვრა მოცემულ დატვირთვებზე და იგება ფრთის დრეკადობის წირი. სტენდზე აგრეთვე შესაძლებელია ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების

მექანიზმის მწყობრიდან გამოსვლის იმიტირება, ხდება ხრახნი-ქანჩის წყვილის საიმედოობის კვლევა.

ფრთის ღუნვის განსაზღვრის სქემა მოცემულია სურ.64-ზე.

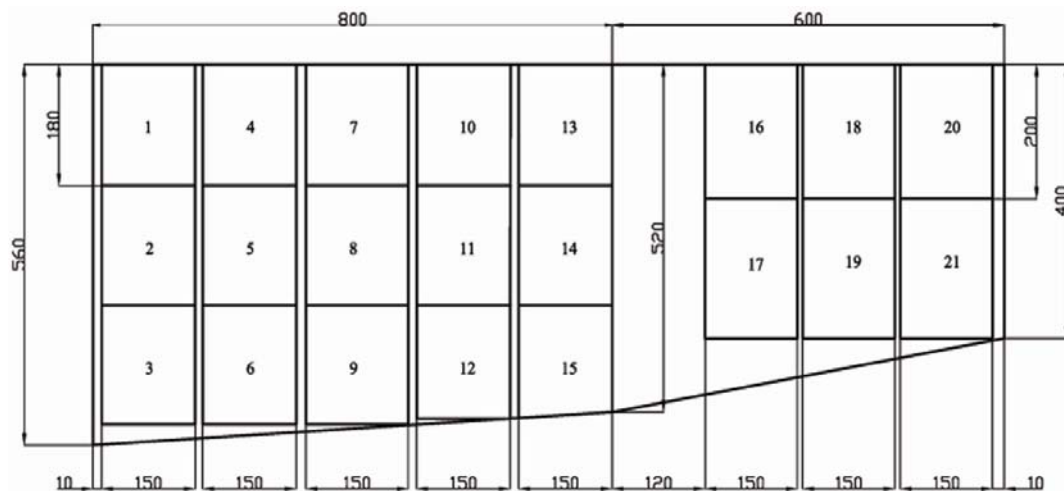


სურ.65 ნაჩვენებია სტატიკური გამოცდების სტენდი, ფრთის ღუნვის განსაზღვრის მოწყობილობებით.



ფრთაზე საჰაერო დატვირთვების იმიტირების ბერკეტული მექანიზმის კონსტრუქციულ-ძალური სქემა

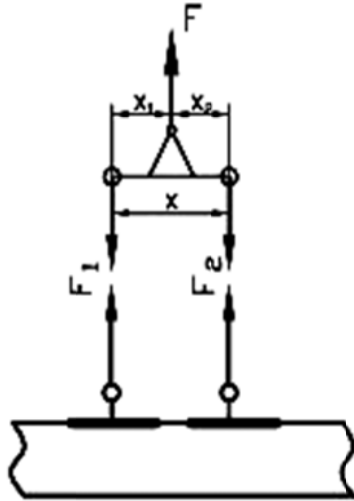
ხრახნის ფრთაზე იმიტირებული საჰაერო დატვირთვების ბერკეტული სისტემის კონსტრუქციული-ძალური სქემის შექმნისათვის, განვსაზღვროთ ფრთის ზედა ზედაპირზე მინაწებების ზომები და მდებარეობა (სურ. 66).



სურ. 66 ფრთის ზედაპირზე მინაწებების განთავსების სქემა

გამოცდით დადგინდა რომ მინაწები გაბარიტებით 200x150 მმ უძლებს 120 კგ-იან დატვირთვას.

წინასწარი დათვლებით გაანგარიშებულია ფრთის სიგრძის და სიგანის გასწვრივ მოსალოდნელი დატვირთვები, რის მიხედვითაც ყველაზე დიდი დატვირთვა მოდის #20 ნაწილზე, შესაბამისად აუცილებელია აიწყოს ბერკეტული სისტემა პროფილის გასწვრივ, რომელიც გადის მე-20-ე და 21-ე ნაწილზე, ისე, რომ მინაწებმა #20 გაუძლოს 120 კგ-იან დატვირთვას. ბერკეტული სისტემის მხრის განსაზღვრა მიმდინარეობს შემდეგი ზოგადი სქემის მიხედვით (სურ. 67).



$$F_1 \cdot x_1 = F_2 \cdot x_2$$

$$x_1 + x_2 = x$$

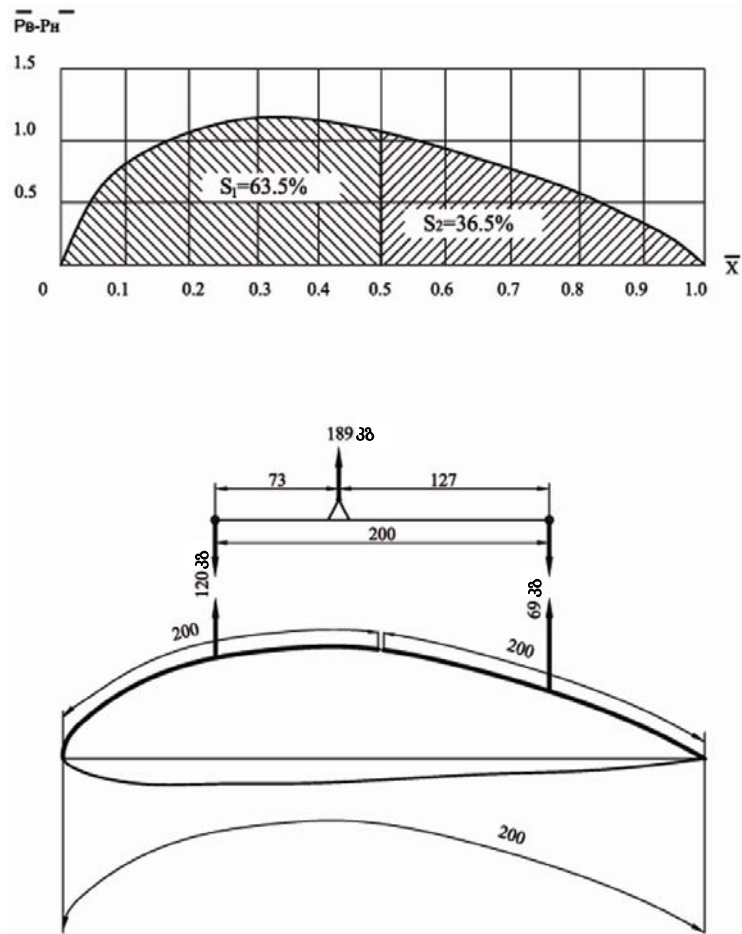
$$x_1 = x \frac{F_2}{F_1 + F_2}$$

$$x_2 = x - x_1$$

ბერკეტული სისტემის ასაწყობად პროფილის ქორდის გასწვრივ, ვისარგებლეთ მასზე საჰაერო დატვირთვის განაწილების წინასწარ აგებული დიაგრამით. შედგენილი ეპიურებიდან განისაზღვრა მხრის სიდიდის პროპორცია და დატვირთვა ბერკეტებზე. პროფილის გასწვრივ ფრთების ბოლო ნაწილზე (შესაბამისად #20 და #21 მინაწებებზე) ბერკეტული სისტემიდან მიღებული ძალური სქემა მოყვანილია სურ.68-ზე.

სურ.69-ზე ნაჩვენებია ფრთის ძირის ნაწილზე პროფილის გასწვრივ (შესაბამისად #1, #2 და #3 მინაწებებზე) მიღებული შედეგები.

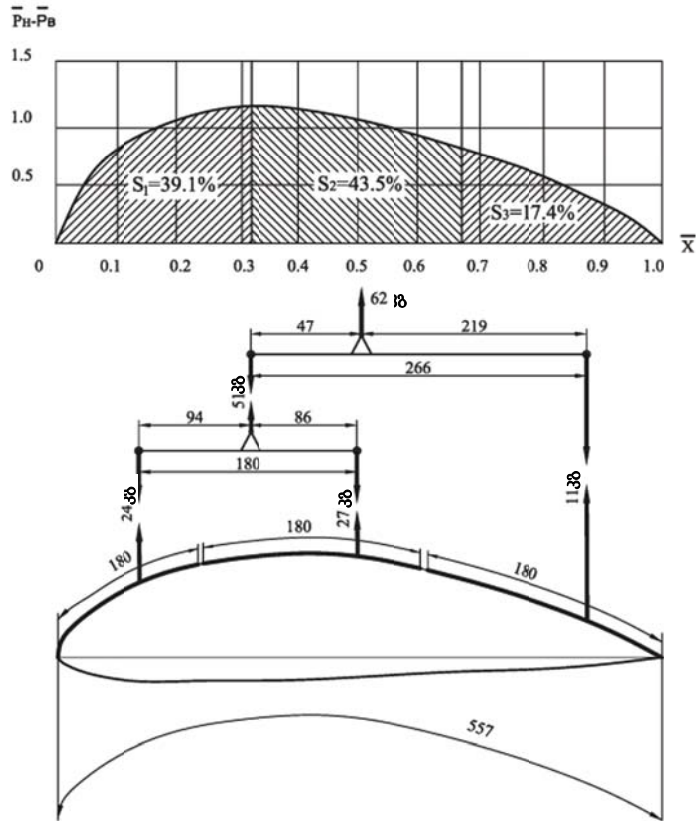
ფრთის პროფილის ქორდის გასწვრივ ბერკეტების პარამეტრების განსაზღვრის შემდეგ შეიქმნა ბერკეტების სისტემა (სურ.70). გამოყენებულ იქნა ფრთის სიგრძის გასწვრივ საჰაერო დატვირთვის განაწილების კანონზომიერება, რომელიც ნაჩვენებია სურ.58-ზე. დამზადებული ბერკეტული სისტემის კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახ. 71-ზე.



სურ.68 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქციულ ძალური სქემა ფრთის ბოლო ნაწილის პროფილზე.

ცგხ–ს ფრთის კონსტრუქციის საიმედოობის გამოკვლევის მიზნით მასზე ვდებთ დატვირთვას რომელიც შეესაბამება საჰაერო და ცენტრიდანულ ძალებს. ამისათვის ჯერ ვტვირთავთ ფრთას მაქსიმალური დატვირთვის 5%-ით. სპეციალურად დამაგრებული სახაზავების მეშვეობით ვზომავთ ფრთის წერტილების კოორდინატებს.

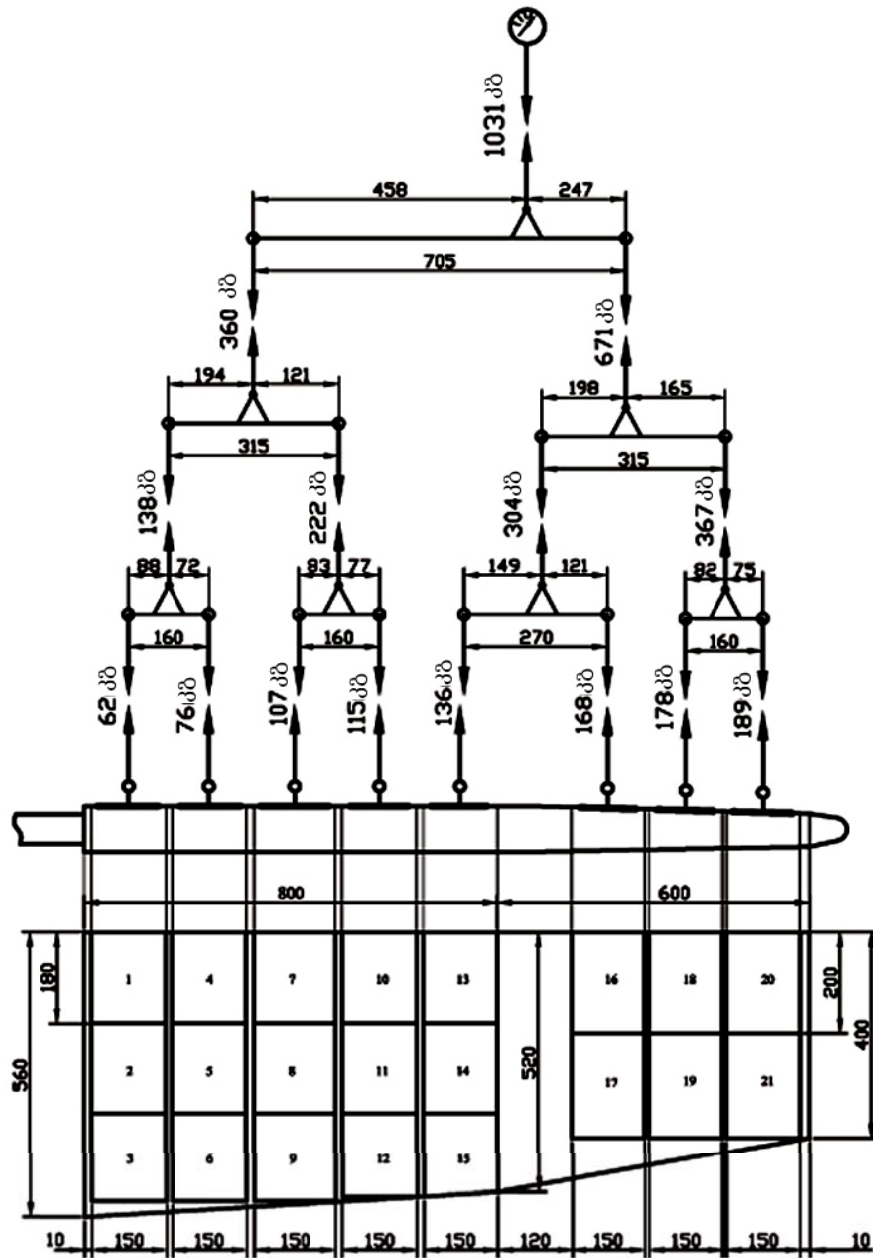
შემდეგ თანდათან ვზრდით დატვირთვას 5%-იანი ბიჯით და ვიმეორებთ პროცედურას დატვირთვის 30%-მდე.



ა ფრთის

ხრახნის სხვა და სხვა დიამეტრზე და დატვირთვაზე მისი მექანიზმების მუშაობისა და ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის სისტემის გამოკვლევის მიზნით ვატარებთ ექსპერიმენტებს, ვაფიქსირებთ ყველა გადახრას, ნეგატიურ მნიშვნელობას და სხვა არასასურველ შედეგს.

ხრახნის მექანიზმების საიმედოობის გამოკვლევის მიზნით, ვახორციელებთ ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის სისტემის მწყობრიდან გამოსვლის იმიტაციის შემთხვევას.



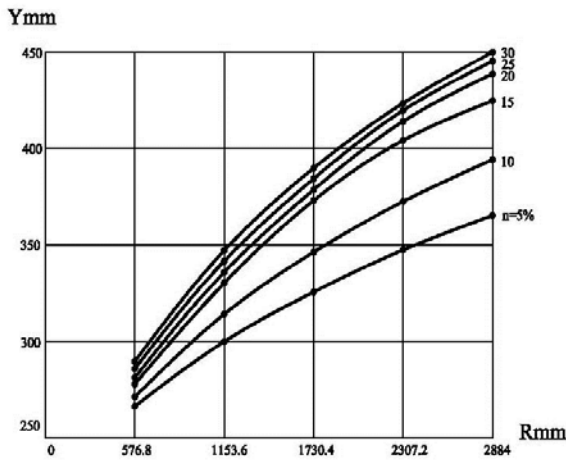
კართზე

გადახრის სიდიდეები განისაზღვრება ცენტრიდანული ძალების როგორც კომპენსაციით ასევე კომპენსაციის გარეშე. მაგალითის სახით სურ.72 ნაჩვენებია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის სიხისტის წირი ფრთის ნახევრად გაშლილი მდგომარეობისათვის ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის გარეშე, სურ.73 – კომპენსაციით.

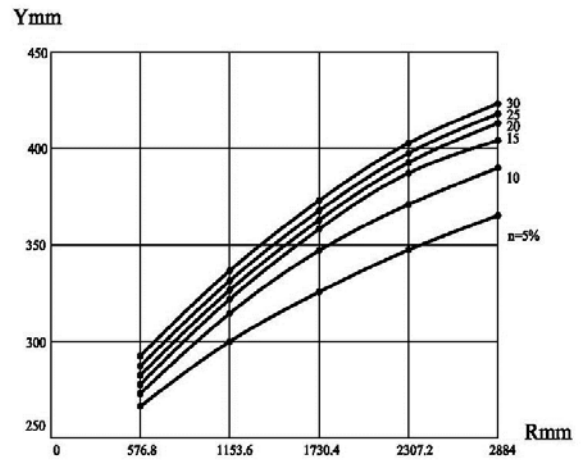


სურ.71 ბერკეტული სისტემის კონსტრუქცია, ფრთაზე აეროდინამიკური დატვირთვის იმიტირებისათვის.

სურ.72 და სურ.73-ს შედარებით ჩანს, ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის ეფექტურობა.



სურ.72 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხის-ტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



სურ.73 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხისტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით

როგორც ზემოთ ავლიშნეთ ხრახნის სიმტკიცის და სიხისტის გამოკვლევის მიზნით, სტატიკურ საგამოცდო სტენდზე მას ვტვირთავთ

ამწვევი და ცენტრიდანული ძალის 5%-იანი ბიჯით. დატვირთვების იმიტაციას ვახორციელებთ 5%-დან 30%-მდე.

თავიდან ვსაზღვრავთ ფრთის დრეკადობას დაკეცილ მდგომარეობაში, რაც შეესაბამება ხრახნის უმცირეს დიამეტრს. შემდეგ თანდათან ვშლით ფრთას ხრახნის მაქსიმალური დიამეტრის იმიტირებისთვის (ფრთა გაშლილია 770მმ).

დანართ 2-ში ნაჩვენებ გრაფიკებზე მოცემულია ფრთის დრეკადობის წირი სხვა და სხვა დიამეტრზე და დატვირთვაზე.

ცდების შედეგები

გრაფიკების (დანართი 2 სურ.1÷18) ანალიზმა გვაჩვენა ჰაერის ნაკადის მიერ გამოწვეული დატვირთვა ფრთებს წევს ზემოთ, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი ფრთის დრეკადობის ხაზს წევს ქვემოთ, რადგან მისი ფრთაზე დამაგრების წერტილი ფრთის ღერძის ქვემოთაა განთავსებული.

გრაფიკებიდან (დანართი 2 სურ.19÷24) გამომდინარეობს, რომ ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმი ხრახნი-ქანჩის წყვილზე მოქმედ დატვირთვებს ამცირებს.

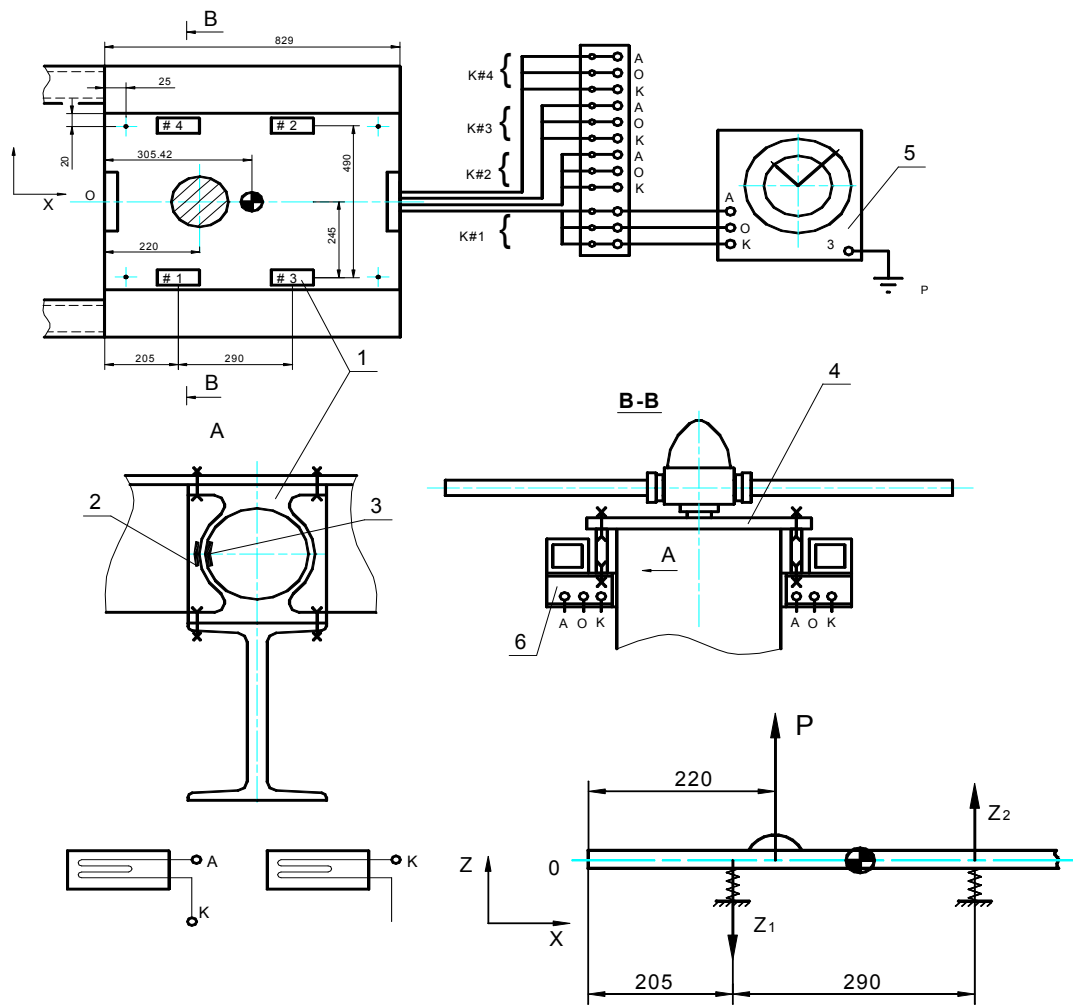
ფრთის მდგომარეობდა და მისი სიმტკიცე ყველა დატვირთვაზე იყო დამაკმაყოფილებელი. კომპენსირების სიტემა მუშაობდა სტაბილურად.

ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რომ ფრთის კონსტრუქციას აქვს საკმაო სიმტკიცე, ამაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ ფრთაზე მოსალოდნელი დატვირთვის ფარგლებში მისი გრეხილობის და დიამეტრის ცვლილების მექანიზმის მუშაობაში გაჭედვა და სხვა მნიშვნელოვანი პრობლემები არ შეინიშნა. მაშასადამე, მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოცემულ დატვირთვებზე, ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვანძების მუშაობა საიმედოა და შესაძლებელია დინამიური კვლევების სტენდებზე სამოდულო ექსპერიმენტების ჩატარება.

2.6.2. დინამიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები

ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილების გავლენა მის წევის ძალაზე

ხრახნის გეომეტრიული პარამეტრების ცვლილება მიმართულია მისი აეროდინამიკური მახასიათებლების გაუმჯობესებისკენ. ამიტომ დიდი ყურადღება დაეთმო მოდერნიზირებელი ხრახნის წევის ძალის გაზომვას და მიღებული შედეგების გაანალიზებას.



სურ. 74 ტენზომეტრიული მეთოდით ხრახნის წევის განსაზღვრის სქემა:

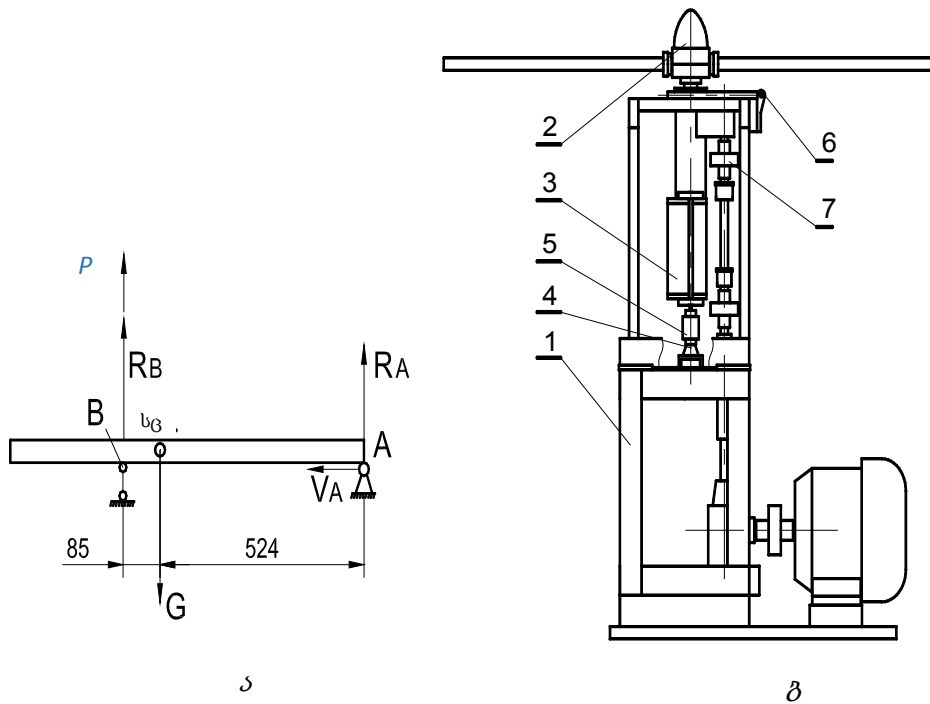
- 1-დრეკადი ტენზომეტრიული ელემენტი; 2-აქტიური ტენზორეზისტორი;
- 3-საკომპენსაციო ტენზისტორი; 4-ხრახნის ჯგუფი; 5-დეფორმაციების ელ.მზომი ЭИД -3;
- 6-კონსოლი.

წვევის გაზომვა მოხდა სამი მეთოდით: ტენზომეტრიული, დინამომეტრით და ანემომეტრებით.

ტენზისტორები განთავსებულია საყრდენების სახით სტენდის კორპუსისა და ასაწონ ნაწილს შორის. ხრახნის ბრუნვის დროს, ასაწონი ნაწილის დამსუბუქების გასზომვის შედეგებით ხდება მისი წვევის ძალის განსაზღვრა. ტენზისტორებით აგრეთვე ხდებოდა ხრახნის ბრუნვის დროს ვიბრაზიების გაზომა. ტენზორეზისტორების შეერთების სქემა მოყვანილია სურ.74-ზე

ხრახნის წვევის ძალის დინამომეტრით განსაზღვრავად, გამოსაცდელი სტენდის სქემა შესაბამისად იქნა მოდიფიცირებული (სურ.75).

ხრახნის მექანიზმი ვერტიკალურად ეყრდნობა დინამომეტრს 4 და დომკრატს 5, მის თავისუფალ გადაადგილებას ზღუდავს ანჯამა 6. ამიტომ მას აქვს საშუალება დაგაადგილდეს ანჯამის ღერძის რადიალურად. ამასთან დრეკად ქუროში 7 მავნე ხახუნი წარმოიქმნება მექანიზმის 1^0 -ი თ მობრუნებისას.



სურ. 75 ხრახნის წვევის ძალის გაზომვის მოწყობილობების მონტაჟის სქემა.
 ა) დატვირთვების განაწილების სქემა; ბ) 1-სტენდი; 2-ხრახნი; 3-მართვის მექანიზმი, 4-დომკრატი, 5-დინამომეტრი, 6-ანჯამა; 7-დრეკადი ქურო.

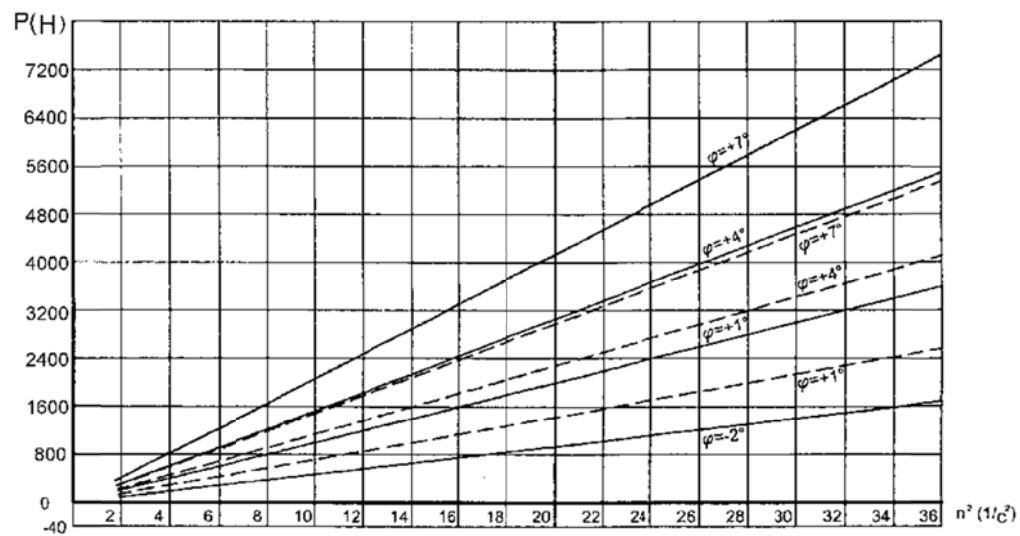
ხრახნის 1⁰-ით შემობრუნება B წერტილში, უტოლტება აქსიალურ გადაადგილებას 10,65მმ-ით.

$$609 \cdot \text{tg}1^\circ = 10,65 \text{ მმ.}$$

შესაბამისად ამ დიაპაზონში მავნე ხახუნის ძალები მოსალოდნელი არ არის (სურ.75).

ცდომილება ტენზომეტრულ და დინამომეტრულ გაზომვებს შორის მინიმალური იყო.

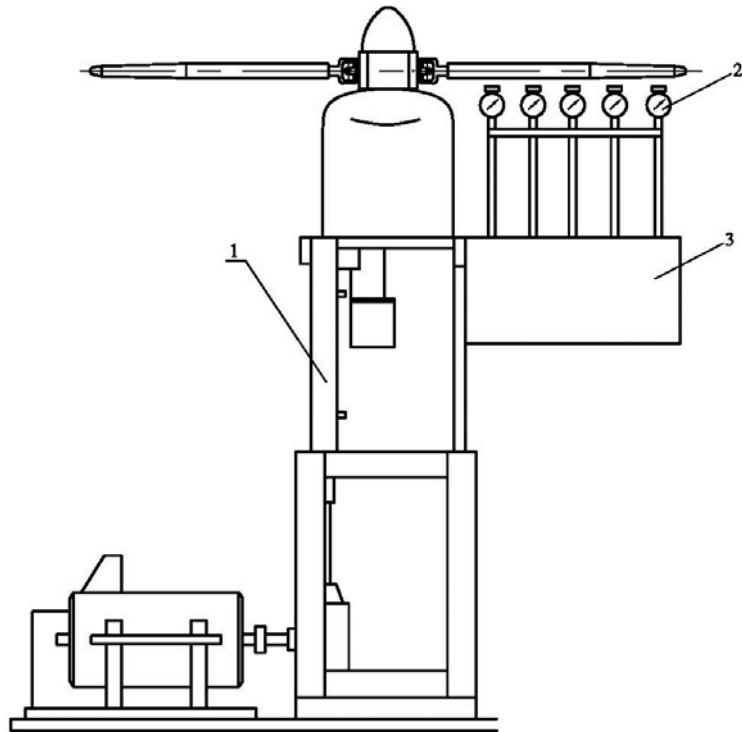
ცდების შედეგებზე დაყრდნობით აიგო ხრახნის წვეის ბრუნთა რიცხვზე და დაყენების კუთხეზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სურ.76). მაქსიმალურ წვეის ძალას ხრახნმა მიაღწია გაშლილი ფრთებით 7° დაყენების კუთხეზე და 400ბრ/წმ ბრუნთა რიცხვზე. ხრახნის დიამეტრის შემცირების შემდეგ წვეის ძალა იგივე ბრუნთა რიცხვზე 30%-ით შემცირდა.



კუთხეზე
ბოლიანი

ხრახნის წვეის ძალის განსასაზღვრად საკმაოდ მოსახერხებელი მეთოდია, ჰაერის ნაკადის სიჩქარის გაზომვა ანემომეტრით. ანემომეტრი გვაძლევს ჰაერის ნაკადის სიჩქარის საკმაოდ დიდი სიზუსტით გაზომვის საშუალებას.

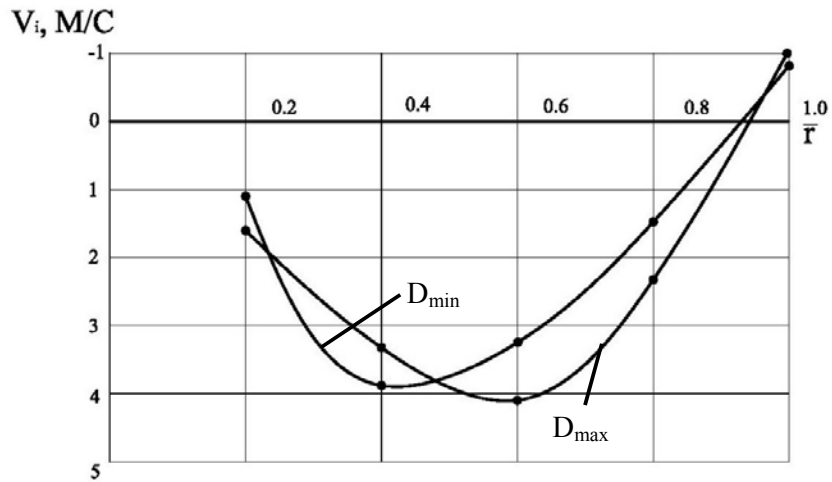
მათი დაყენების და მუაობის პრინციპი ნაჩვენებია სურათზე სურ.77



სურ. 77 ანემომეტრების საშუალებით ხრახნის წევის განსაზღვრის სქემა
1-სტენდი, 2-ანემომეტრები, 3-ანემომეტრების დამაგრების ჩარჩო

ანემომეტრები განლაგებულია ხრახნის ქვედა მხარეს, ფრთის გასწვრივ. ანემომეტრები დამაგრებულია ჩარჩოზე, მათი ჩართვა გამორთვა ხორციელდება ზონარის გამოკვრით.

ჰაერის ნაკადის სისწრაფის გაზომვა ხდება შემდეგნაირად. ერთდროულად ირვება ანემომეტრები და წამზომი. განისაზღვრება ერთი წამის განმავლობაში ანემომეტრში გამავალი ნაკადის ოდენობა და გრაფიკებიდან ხდება სიჩქარის განსაზღვრა.



სურ.78 ფრთის გასწვრივ ინდუქციური სიჩქარეების განაწილების გრაფიკი, ხრახნის მინიმალურ და მაქსიმალურ დიამეტრებზე. როტორის ბრუნთა რიცხვი - 150ბრ/წთ, შეტევის კუთხე $\varphi=5^\circ$.

ფრთის გასწვრივ ჰაერის ნაკადის სიჩქარეების განაწილების დამოკიდებულება ხრახნის მინიმალურ და მაქსიმალურ დიამეტრებზე ნაჩვენებია გრაფიკზე (სურ.78). მისი გაანალიზების შემდგომ ჩანს, რომ ხრახნის მინიმალურ დიამეტრზე მრუდის მინიმუმი უფრო ახლოა მილისასთან ანუ ბრუნვის ცენტრთან ვიდრე მის მაქსიმალურ დიამეტრზე.

დასკვნები

ჩატარებული სამუშაოებით მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთებულ იქნას შემდეგი დასკვნები:

1. შემუშავებულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნის კონცეფცია და დასაბუთებულია მისი უპირატესობები ფიქსირებული გეომეტრიის ხრახნთან შედარებით, კერძოდ, აფრენისას ხრახნის დიდი დიამეტრი და ფრთების მცირე გრეხილობა, ხოლო ჰორიზონტალურად ფრენის დროს დიამეტრის შემცირება და ფრთების გრეხილობის გაზრდა განაპირობებს საფრენი აპარატის გაზრდილ ტვირთამწეობას, ამცირებს დატვირთვას ხრახნის მიერ შემოწერილი ფართობის ერთეულზე, ამცირებს საწვავის ხარჯს, აუმჯობესებს ავტოროტაციის მახასიათებლებს, რაც საბოლოო ჯამში ფრენის ყველა რეჟიმში ზრდის მის მქკ-ს.
2. შექმნილია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კონსტრუქცია, რომელიც ანხორციელებს ერთდროულად როგორც მისი დიამეტრის ასევე ფრთების გრეხილობის ცვლილებას დინამიკაში, ხოლო მასში ჩადებული ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების საიმედო მექანიზმი, დიამეტრის შემცირების რთულ პროცესში უზრუნველყოფს კონსტრუქციის ყველაზე საპასუხისმგებლო კვანძის ხრახნი-ქანჩის განტვირთვას ცენტრიდანული ძალების მავნე ზემოქმედებისგან.
3. დაგეგმარებული და დამზადებულია აღნიშნული ტიპის ხრახნების დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა, სპეციალური მეთოდით, განხორციელდეს მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და აეროდინამიკული პარამეტრების კვლევა რეჟიმების ცვლილების ფართო დიაპაზონში, როგორც ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით ასევე მის გარეშე.

4. დინამიკაში კვლევების სტენდზე ექსპერიმენტების ჩატარებისას უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით შექმნილია სპეციალური სტენდი როტორის კვანძების წინასწარი სტატიკური გამოცდებისთვის. მასზე შეიძლება განხორციელდეს ფრთებზე მოქმედი, თეორიულად წინასწარ განსაზღვრული, მოსალოდნელი ამწევი და ცენტრიდანული ძალების იმიტირება სხვადასხვა დიამეტრებზე და ბრუნთა რიცხვებზე, რითაც მოწმდება მექანიზმების მუშაობის საიმედოობა ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით და მის გარეშე. დადებითი შედეგების მიღწევის შემდეგ გრძელდება ექსპერიმენტები დინამიკული კვლევების სტენდზე.
5. ჩატარებულია შექმნილი საჰაერო ხრახნის ყოველმხრივი გამოცდა დინამიკური კვლევების სტენდზე სპეციალურად შემუშავებული მეთოდიკით, რაც გულისხმობს მისი აეროდინამიკური მაჩვენებლების ცვლილების ხასიათის შესწავლას ისეთი პარამეტრების დიდ დიაპაზონში რეგულირებით, როგორებიცაა ხრახნის დიამეტრი, თითოეული ფრთის დაყენების კუთხე, მათი გრეხილობის სიდიდე და ბრუნთა რიცხვი.
6. ანემომეტრების და ტენზომეტრიული გაზომვების მეთოდებით განსაზღვრულია ამწევი ძალის მნიშვნელობები ხრახნის დიამეტრისა და მისი ბრუნთა რიცხვების დიდ დიაპაზონებში ცვლილების დროს. განსაზღვრულია აგრეთვე ამწევი ძალების განაწილების ხასიათი ფართის გრძივ კვეთში სხვადასხვა დატვირთვების დროს.
7. დადგენილია რომ ექსპერიმენტებისათვის შექმნილი ხრახნის მოდელის პარამეტრების შემთხვევაში (როდესაც $D_{max}=5,768\text{მ}$, $D_{min}=4,120\text{მ}$ ფრთების გრეხილობის ცვლილების დიაპაზონი $\alpha=6^{\circ}\div 18^{\circ}$), თუ იგი გამოყენებული იქნება ვერტიკალურად ამფრენ და მფრენ თვითმფრინავებზე, ტვირთამწეობა გაიზრდება დაახლოებით 1,6-ჯერ, ხოლო ფრენის სიჩქარე 1,4-ჯერ. შესაბამისად შემცირდება საწვავის ხარჯი ან გაიზრდება ფრენის დისტანცია.

8. წინასწარი თეორიული გათვლებით დასაბუთებულია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნების გამოყენების ეფექტურობა აგრეთვე ტექნიკის ისეთ აქტუალურ დარგებშიც, როგორებიცაა ქარის ენერგეტიკა, დიდი ტვირთამწეობის დირიჟაბლების მშენებლობა, ჰიდრო ენერგეტიკა, გემთმშენებლობა და სხვა.

ლიტერატურა :

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. М.: Машиностроение. Т.1. 1982. 729 с., Т.2. 1982. 584 с., Т.3. 1982. 576 с.
2. Алексеев Н.А. и др. Основы расчета и конструирования деталей и механизмов летательных аппаратов. М.: Машиностроение 1989. - 456 с.
3. Исследования трехлопастного поворотного винта для многоцелевого СВВП V-22 «ОСПРИ» // ЦАГИ. Новости зарубежной науки и техники. Серия: Авиационная и ракетная техника. ТИ. 1988, №24.
4. Курочкин Ф. П. Проектирование и конструирование самолетов с вертикальным взлетом и посадкой. М.: Машиностроение, 1977. - 223 с.
5. Курочкин В.Ф., Аэродинамические исследования винтов для самолета-вертолета на режиме висения // Сб. трудов МАИ, 1961, вып. №2, с. 5-24.
6. Крицкий Б.С., Кушнирук В.В., Смолянский Д.А. Нестационарные аэродинамические характеристики преобразуемого летательного аппарата на переходных режимах // IV-ый форум Российского вертолетного общества. Москва. 1999, с I-47...I-55.
7. Техническая информация. ЦАГИ. № 17-18. 1980. - 43 с.
8. Турманидзе Р.С., Хуцишвили Ш.Н., Санадзе Г.О. Улучшение летно-технических характеристик самолетов вертикального взлета и посадки путем трансформации лопасти воздушного винта // Труды Грузинского технического университета, 2002, №1(440), с. 34-37.
9. Миль М.Л. Как создать вертолет, нужный людям. М.: Машиностроение, 1999. - 110 с.
10. Бетанели А.И. О процедурной модели проектирования летательных аппаратов // Сообщения Академии наук Грузии, 1994, том 150, №2, с. 297 – 301.
11. Винты воздушные самолетные. Отраслевой стандарт. ОСТ 1 00894-90. Дата введения 01.01.91.-21с.
12. Бетанели А.И., Метревели Д.Г., Пхаладзе Н. В. Концепция системы аварийного спасения экипажей гиперзвуковых летательных аппаратов // Сообщения Академии наук Грузии, том 147, 1993, № 1, с. 126-131.
13. Пономарев А.Н. Ракетоносная авиация. М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1964. - 342 с.
14. Воскобойник М.С. и др. Конструкция и прочность самолетов и вертолетов.. М.: Транспорт, 1972 - 440 с.

15. Бухаринов Г.Н., Львович А.Ю., Сабанеев В.С. и др. Лабораторный практикум по теории колебаний. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1965 - 55 с.
16. Володко А.М. Основы летной эксплуатации вертолетов. Аэродинамика. М.: Транспорт. 1984 - 240 с.
17. Володко А.М. Основы летной эксплуатации вертолетов. Динамика полета. М.: Транспорт, 1986. - 263 с.
18. Бадягин А.А., Мухамедов Ф.А. Проектирование легких самолетов. М.: Машиностроение, 1978. - 208 с.
19. Быков В.П. Методика проектирования объектов новой техники. Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990. - 168 с.
20. Бетанели А.И., Сагинадзе Н.Р. О применении эвристических методов при проектировании самолетов // Труды Грузинского технического университета 1997, №3/414/, с. 342 – 345.
21. Бетанели А.И. О предпосылках развития методологии проектирования машин // Сообщения Академии наук Грузии, 1994, том 149, №3, с. 448 – 451.
22. Турманидзе Р.С., Хуцишвили Ш.Н., Санадзе Г.О. Конструкция воздушного винта изменяемой геометрии. Баку. Азербайджанский технический университет. Международная научно-техническая конференция: "Проблемы машиностроения XXI века, 2001. 25-26 октября, с. 21-22.
23. Р.С. Турманидзе, Л. Дадоне, Г.О. Санадзе. Повышение летно-технических характеристик летательных аппаратов путем применения винта изменяемой геометрии // Материалы V форума Российского вертолетного общества. Москва, 2002, 20-21 февраля, с. VI-41...VI-50.
24. Турманидзе Р.С., Хуцишвили Ш.Н., Санадзе Г.О. Применение винта изменяемой геометрии для повышения летных характеристик летательных аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой. Баку: Азербайджанский технический университет. Международная научно-техническая конференция: "Проблемы машиностроения XXI века. 2001, 25-26 октября, с. 10-11.
25. Турманидзе Р.С., Хуцишвили Ш.Н., Санадзе Г.О. Стенд для испытания воздушного винта изменяемой геометрии. Баку. Азербайджанский технический университет. Международная научно-техническая конференция: "Проблемы машиностроения XXI века, 2001, 25-26 октября, с. 22-24.
26. Турманидзе Р.С. Воздушный винт изменяемой геометрии и эффективные области его применения. Национальный технический

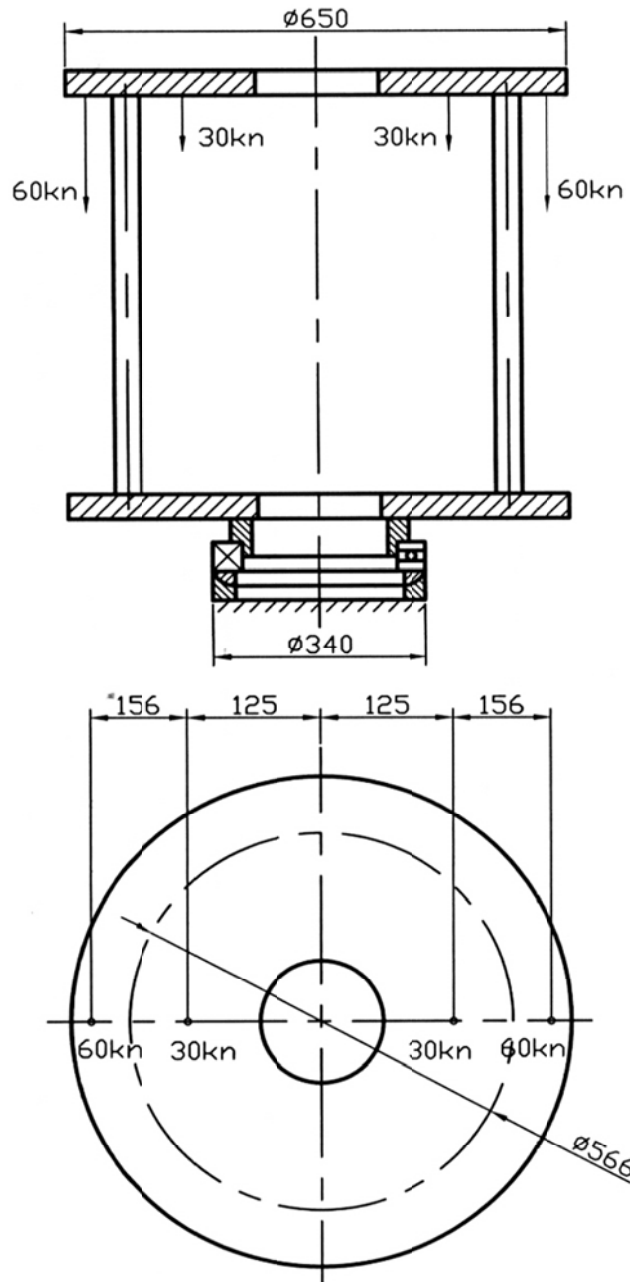
университет (Харьковский политехнический институт). "Высокие технологии машиностроения". Харьков, 2002, с. 391-400.

27. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам. М.: Машиностроение, 1987. - 560 с.
28. <http://www.modems-radio.ru/zapuskSat.htm>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 5.03.2013.
29. Справочное пособие «Расчет на прочность действий машин» под редакцией Биргера М., Машиностроение, 1966, с. 527-534.

დანართი 1

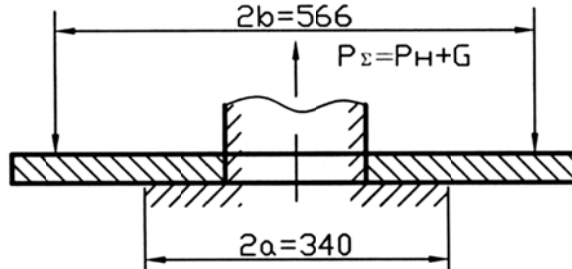
ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანიზმის საპასუხისმგებლო ელემენტების გაანგარიშება

მბრუნავი ფილების გაანგარიშება განხორციელდა წიგნის [29] მონაცემების მიხედვით.



ქვედა ფილის განგარიშება

ფილას განვიხილავთ როგორც რგოლის ფორმის ფირფიტას, რომელის რადიუსებია $a=17,0$ სმ; $b=28,3$ სმ.



ფილაზე ვერტიკალური საყრდენებით მოქმედებს ჯამური დატვირთვა $P_s = P_H + G = 180 + 10 = 190$ კნ, სადაც $P_H = 180$ კნ – ბაგირების ჯამური დატვირთვა ($60 + 30 + 30 + 60$), $G = 10$ კნ – სტენდის დეტალების ჯამური წონა, რომლებიც დამაგრებულია ზედა ფილაზე.

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{17}{28,3} = 0,6;$$

$$K'_\sigma = 0,044$$

$$K'_{\sigma(a)} = 0,546$$

$$K_{\sigma\theta(b)} = 0,076$$

ფილის კიდის ღუნვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\varpi_{\max} = K'_\sigma \cdot \frac{P_\varepsilon \cdot b^2}{Eh^3};$$

მაქსიმალური ძაბვა:

$$\sigma_{\max} = K'_\sigma \frac{P}{h^2};$$

$$\varpi_{\max} = 0,44 \frac{19000 \cdot 28,3^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 3,2^3} = 0,0327 \text{ სმ};$$

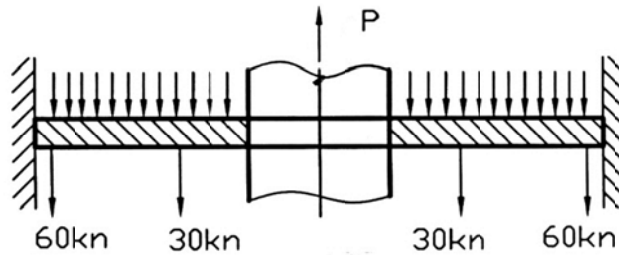
$$\sigma_{r(a)} = 0,546 \cdot \frac{19000}{3,2^2} = 10,13 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 1,013 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2};$$

$$\sigma_{\theta(b)} = 0,076 \cdot \frac{19000}{3,2^2} = 1,41 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 0,141 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2};$$

ზედა ფილის განგარიშება

ზედა ფილა განვიხილოთ როგორც რგოლი რადიუსებით $a=8,25$ სმ;
 $b=28,3$ სმ ;

ფილის შიდა კორპუსი ჩამაგრებულია, გარე კორპუსი ეყრდნობა
 საყრდენეს, ანუ გარე კორპუსიც ჩამაგრებულია.



ფილაზე მოქმედებს ბაგირების დაჭიმულობით გამოწვეული ძალა,
 რომლებიც მასზეა დამაგრებული დაგანაწილებულია მის ზედაპრზე, ასევე
 მასზე დამაგრებული დეტალების წონა q

$$q = \frac{G}{3,14(b^2 - a^2)} = \frac{10}{3,14(28,3^2 - 8,25^2)} = 0,435 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 0,0435 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2};$$

ფილა დატვირთულია სქემით 22 და 23 [1].

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{8,25}{28,3} = 0,292$$

ინტერპოლაციით ვსაზღვრავთ კოეფიციენტს, 22 შემთხვევისთვის:

$$\begin{aligned} K'_{\sigma} &= 0,0304 & K'_{\sigma\theta(a)} &= 0,253 \\ K'_{\sigma(a)} &= 0,844 & K'_{\sigma\theta(b)} &= 0,109 \\ K'_{\sigma(b)} &= 0,363 & & \end{aligned}$$

იგივე, შემთხვევისთვის 23:

$$K_{\sigma} = 0,152$$

$$K_{\sigma^{(a)}} = 0,966$$

$$K_{\sigma^{(b)}} = 0,4625$$

$$K_{\sigma\theta^{(a)}} = 0,5898$$

$$K_{\sigma\theta^{(b)}} = 0,13875$$

ღუნვებს და ძაბვებს ვსაძღვრავთ ფორმულებით:

$$\varpi_{\max} = K'_{\sigma} \cdot \frac{P \cdot b^2}{E \cdot h^3} + K_{\sigma} \frac{qb^4}{E \cdot h^3}$$

$$K_{\sigma \max} = K'_{\sigma} \cdot \frac{P}{h^2} + K_{\sigma} \frac{qb^2}{h^2}$$

$$\begin{aligned} \varpi_{\max} &= 0,0304 \cdot \frac{18000 \cdot 28,3^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 3,2^3} + 0,152 \frac{0,435 \cdot 28,3^4}{2 \cdot 10^6 \cdot 3,2^3} + \varpi_{\max H} = \\ &= 0,006687 + 0,00065 + 0,0327 = 0,04\text{სმ} \end{aligned}$$

$$\sigma_{r \max(a)} = 0,844 \frac{18000}{3,2^2} + 1,966 \frac{0,435 \cdot 28,3^2}{3,2^2} = 1550,5 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 155,05 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2}$$

$$\sigma_{r \max(b)} = 0,363 \frac{18000}{3,2^2} + 0,4625 \frac{0,435 \cdot 28,3^2}{3,2^2} = 653,8 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 65,48 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2}$$

$$\sigma_{\theta \max(a)} = 0,253 \frac{18000}{3,2^2} + 0,5895 \frac{0,435 \cdot 28,3^2}{3,2^2} = 464,8 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 46,48 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2}$$

$$\sigma_{\theta \max(b)} = 0,109 \frac{18000}{3,2^2} + 0,13875 \frac{0,435 \cdot 28,3^2}{3,2^2} = 196 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 19,6 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2}$$

დასკვნები:

ვილებზე მოქმედი ძაბვები არ აღემატებიან მასალის დენადობის

$$\text{ზღვარს } 2200 \div 2400 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 220 \div 240 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2},$$

ღერძების ანგარიში:

Ø 146 მმ-იანი ჭოჭონაქისთვის ღერძის დიამეტრს

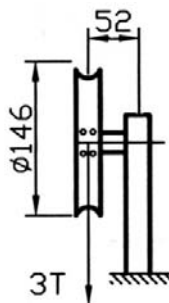
ვილებთ დ=40მმ;

ფოლადი 40X HRC 42...46;

$$\sigma_u = \frac{M_u}{w};$$

$$w = 0,1d^3 = 0,1 \cdot 4^3 = 10,24\text{სმ}^3$$

$$\sigma_u = \frac{3000 \cdot 5,2}{10,24} = 1523 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 152,3 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2} < [\sigma] = 3400 \frac{\text{კბ}}{\text{სმ}^2} = 340 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}^2};$$



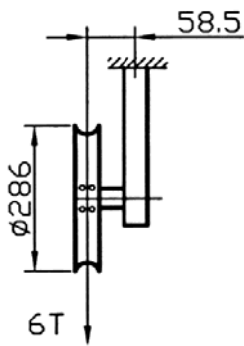
საყრდენებად ვილებთ 2 საკისარს №208

$$C=3200 \times 1,5=4800$$

Ø 286 მმ და Ø 308მმ-იანი ჭოჭონაქებისთვის

ღერძის დიამეტრს ვიღებთ $d=50$ მმ

ფოლადი 40X HRC 42...46;



$$w = 0,1d^3 = 0,1 \cdot 5^3 = 12,5 \text{ სმ}^3$$

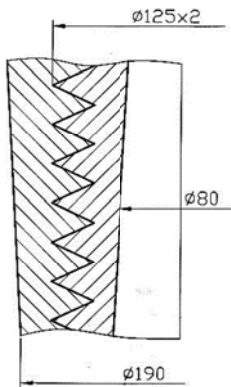
$$\sigma_u = \frac{6000 \cdot 5,85}{12,5} = 2808 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 280,8 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2} < [\sigma] = 3400 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 340 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2};$$

საყრდენებად ვიღებთ 2 საკისარს №310

$$C=6040 \times 1,5=49060;$$

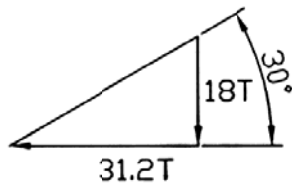
ცენტრალური ხრახნის ანგარიში:

შპინდელის ტანის გაჭიმვაზე ანგარიში:



$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{P}{F} = \frac{P}{(d_3^2 - 8^2) \cdot 0,8} = \frac{18000}{(12,25^2 - 8^2) \cdot 0,8} = \\ &= 261 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} < [\sigma_p] = 1400 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 140 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2} \\ d_3 &= 122,546 \text{ მმ.} \end{aligned}$$

ქანჩის ტანი გაჭიმვაზე:



$$P_1 = \frac{18000}{0,577} = 31200 \text{ კგ} = 31200 - 9,8 = 305760 \text{ გ} = 305,760 \text{ კგ.}$$

$$\sigma_p = \frac{P}{F} = \frac{31200}{(19^2 - 12,5^2) \cdot 0,8} = 190 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} < [\sigma_p] = 1400 \frac{\text{კგ}}{\text{სმ}^2} = 140 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2}$$

კრონშტეინის ანგარიში:

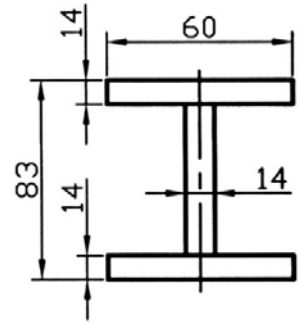
$$\sigma_u = \frac{p \cdot l}{w};$$

$$p = 3000 \text{ კგ} = 3000 - 9,8 = 29400 \text{ ნ} = 29,4 \text{ კნ}$$

$$l = 14,7 \text{ მ}$$

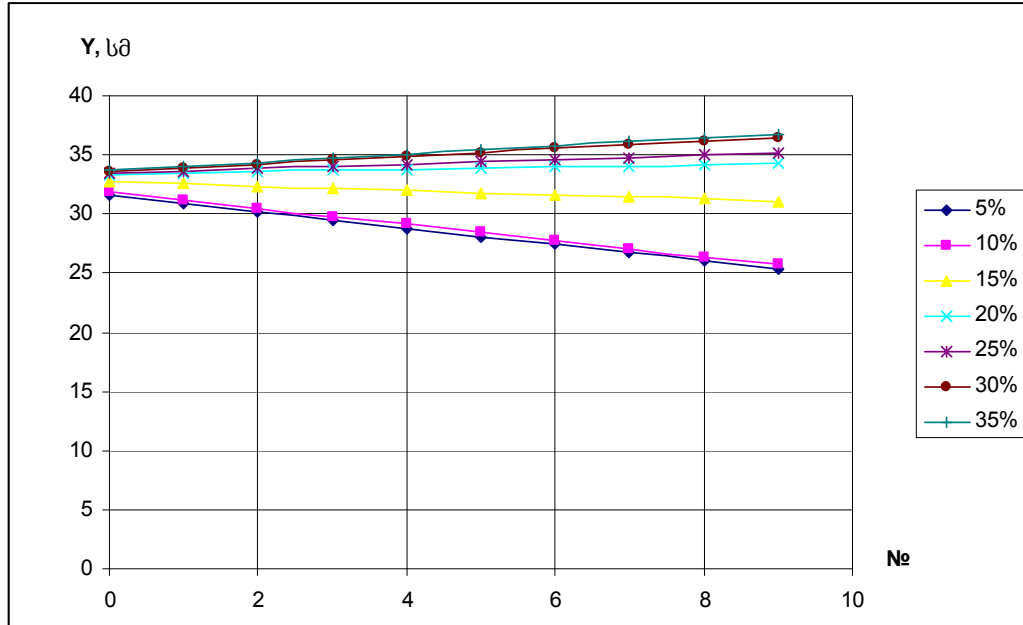
$$w = \frac{1}{6H} (BH^3 - bh^3) = \frac{1}{6 \cdot 8,3} (6 \cdot 8,3^3 - 4,6 \cdot 5,5^3) = 53,52 \text{ მ}^3$$

$$\sigma_u = \frac{3000 \cdot 14,7}{53,52} = 827 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2} = 82,7 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2} < [\sigma]_u = 1100 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^2} = 110 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^2};$$

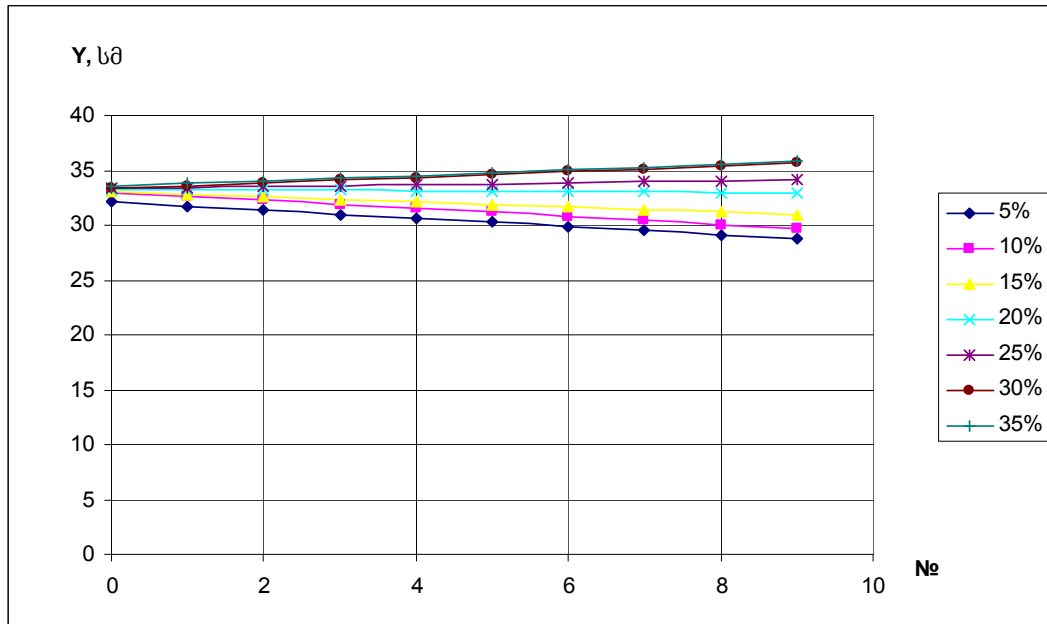


დანართი 2

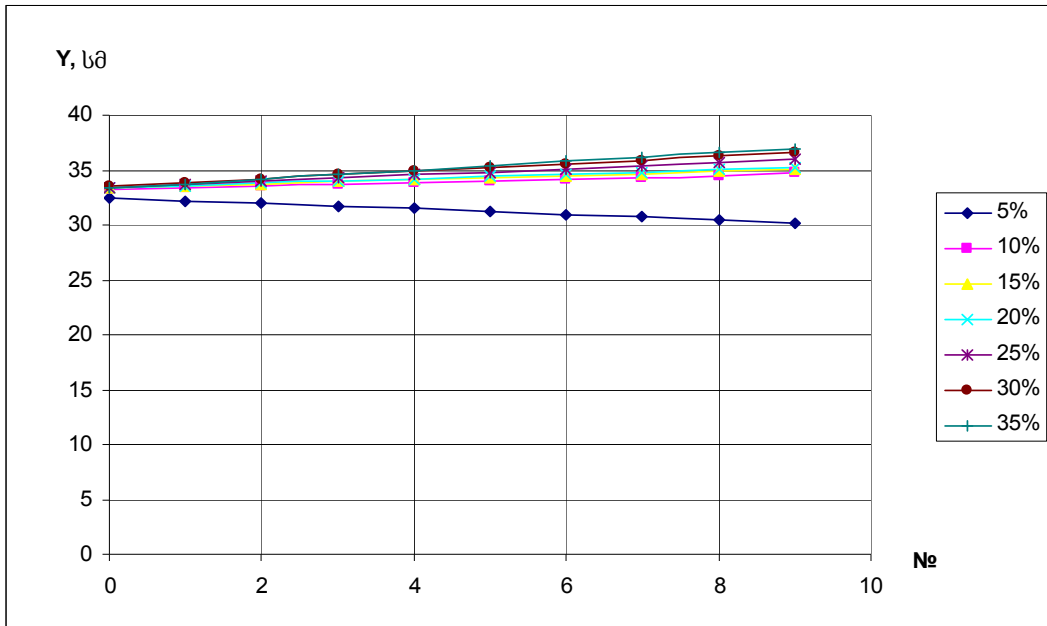
ქვემოთ ნაჩვენებ გრაფიკებზე მოცემულია ფრთის დრეკადობის წირი სხვა და სხვა დიამეტრზე და დატვირთვაზე.



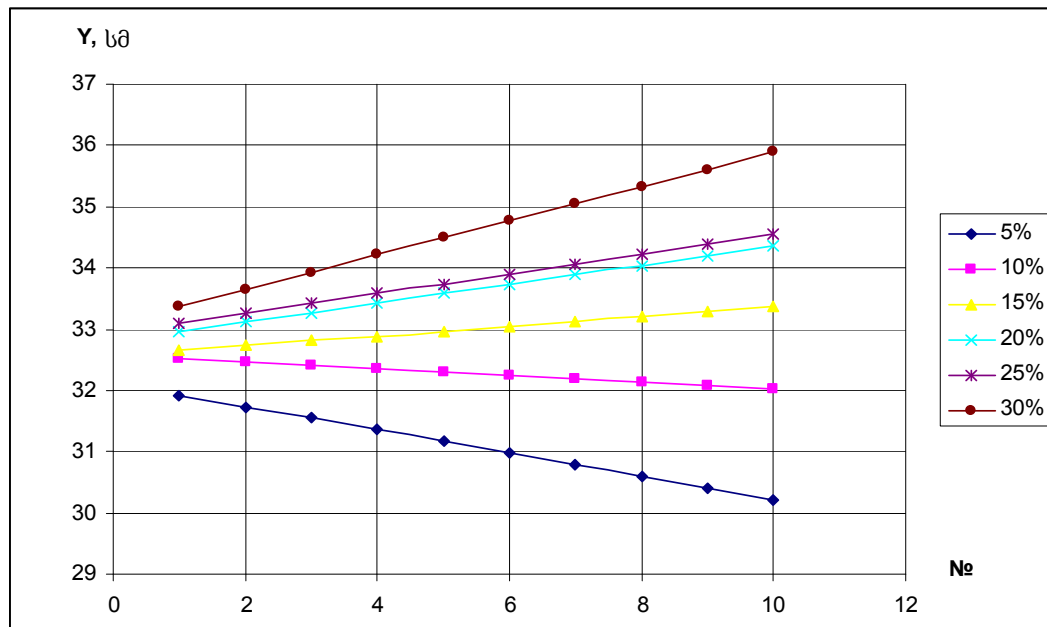
სურ. 1 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება დაკეცილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



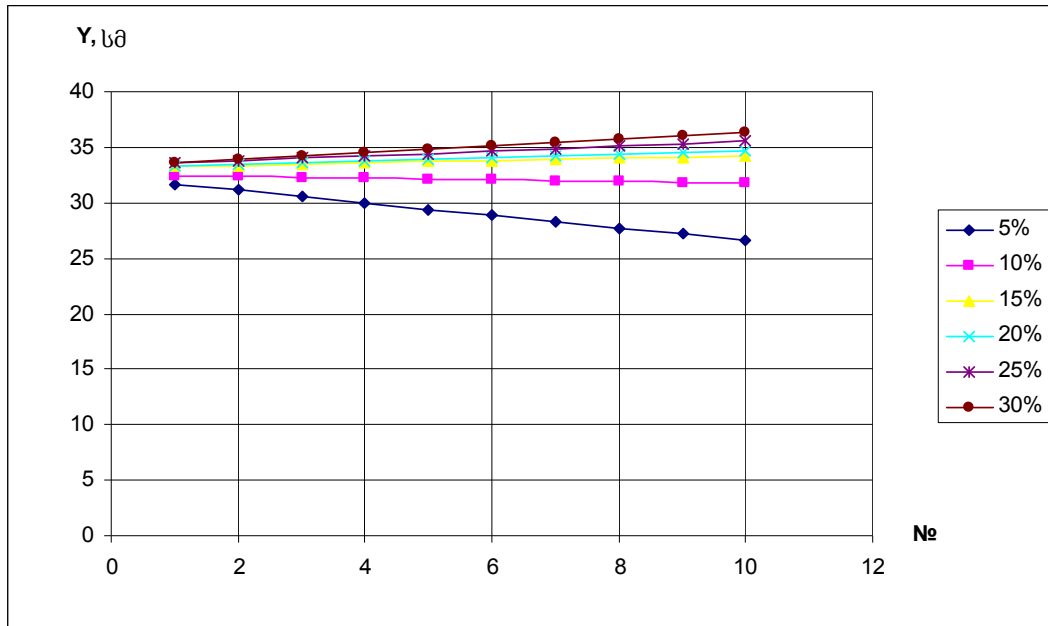
სურ. 2 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება დაკეცილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 240კგ.



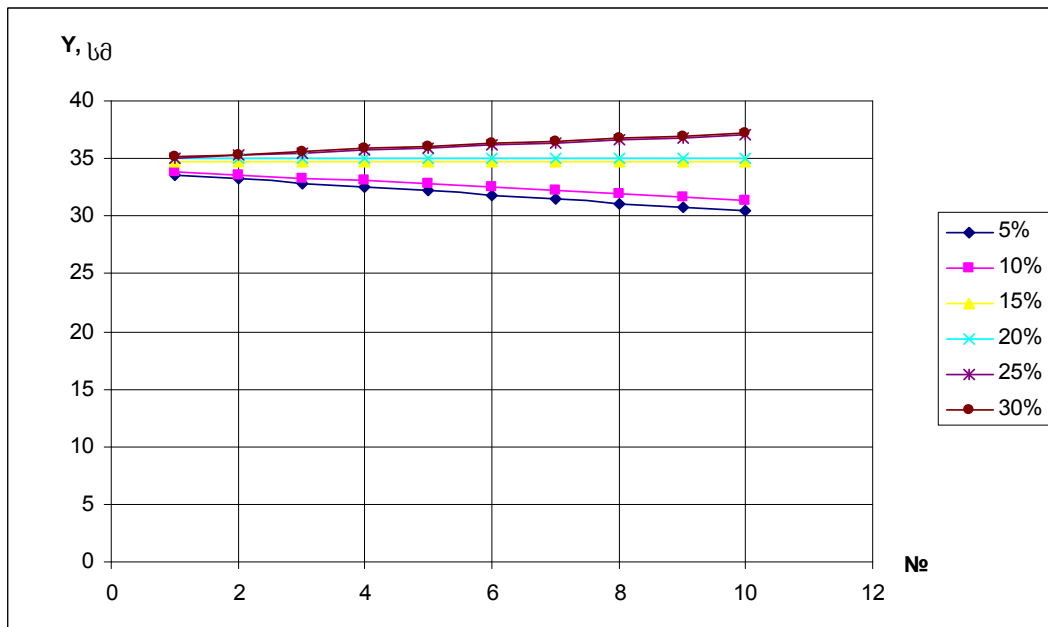
სურ. 3 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება დაკეცილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 950კგ.



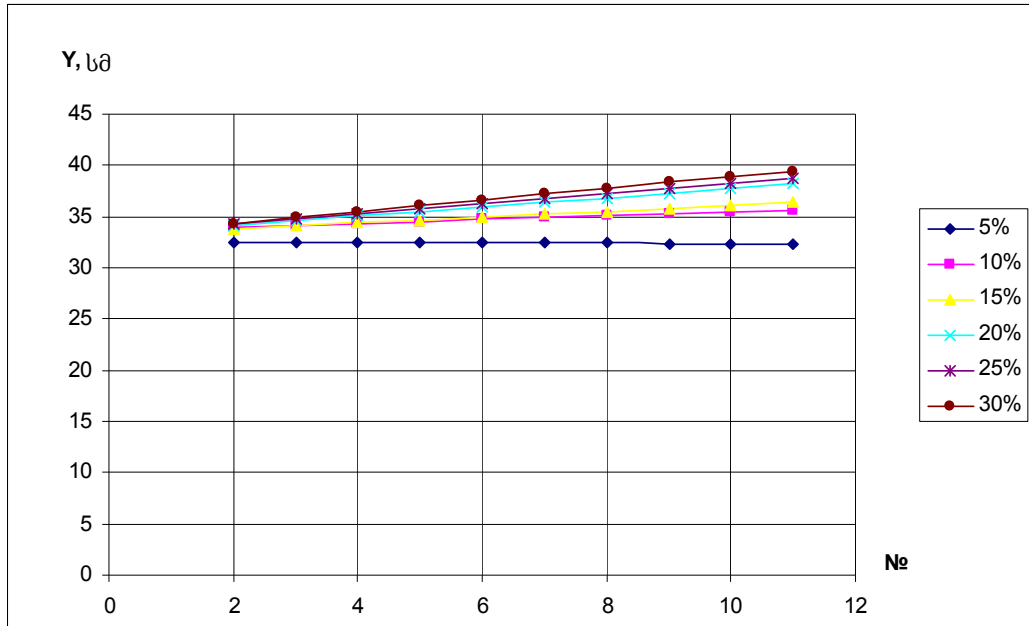
სურ. 4 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 160მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



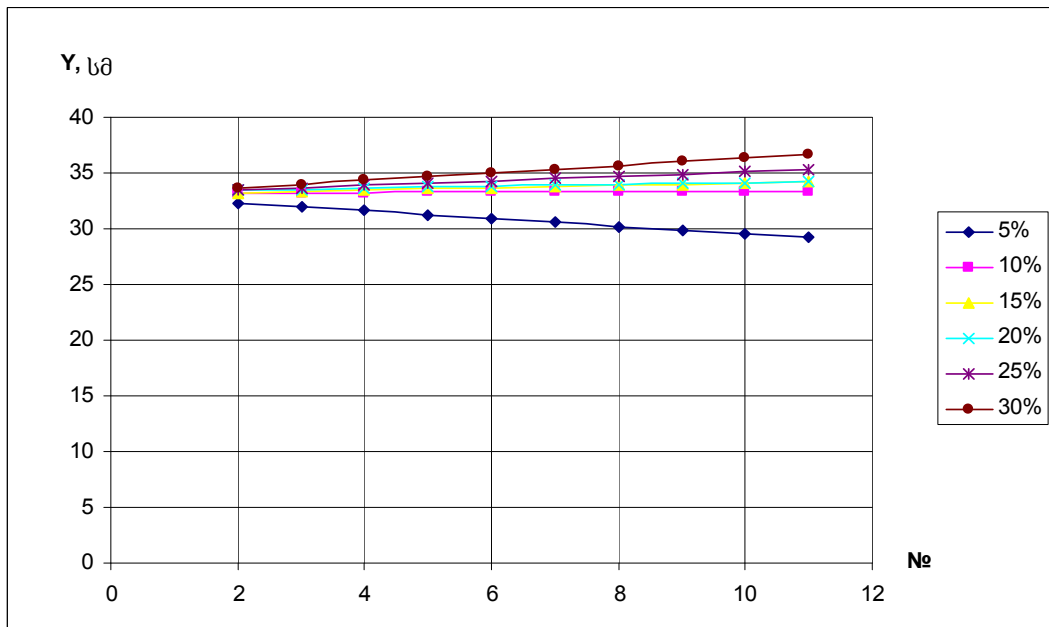
სურ. 5 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 160მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 350კგ.



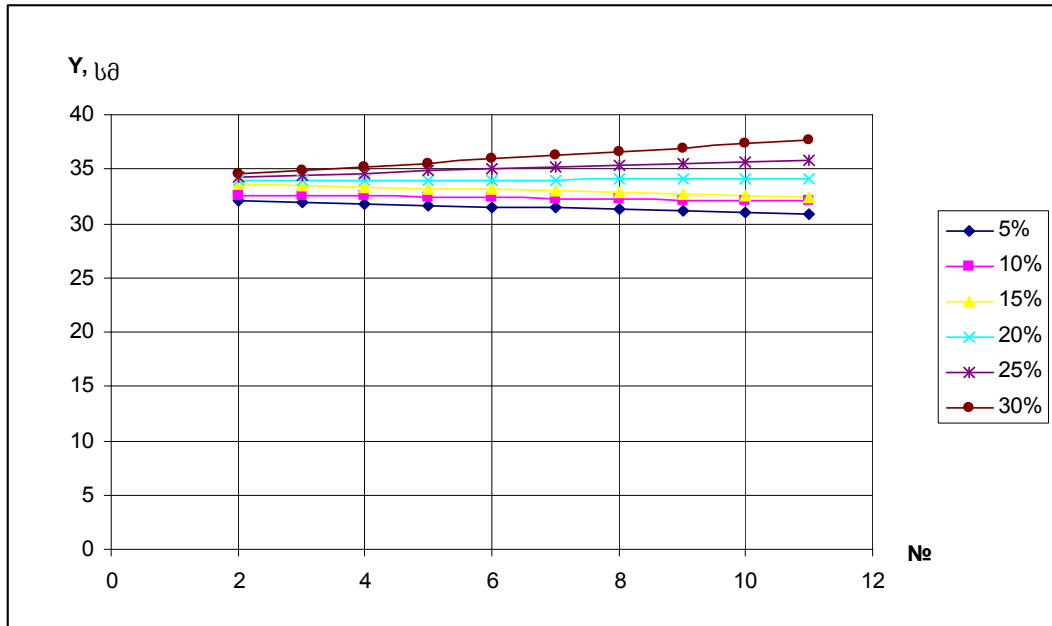
სურ. 6 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 160მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 1050კგ.



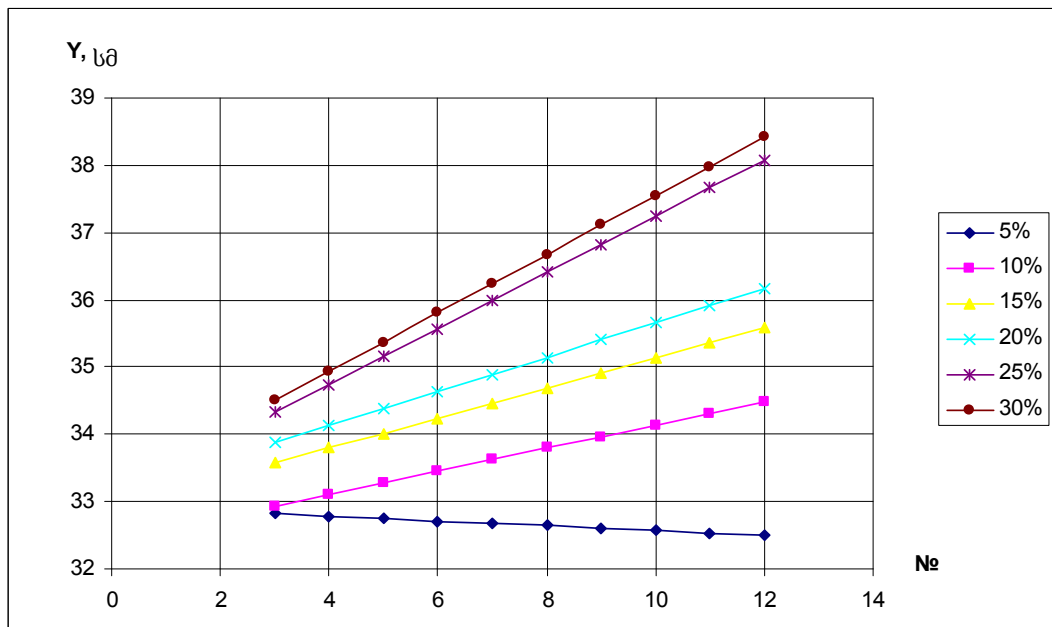
სურ. 7 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 320მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



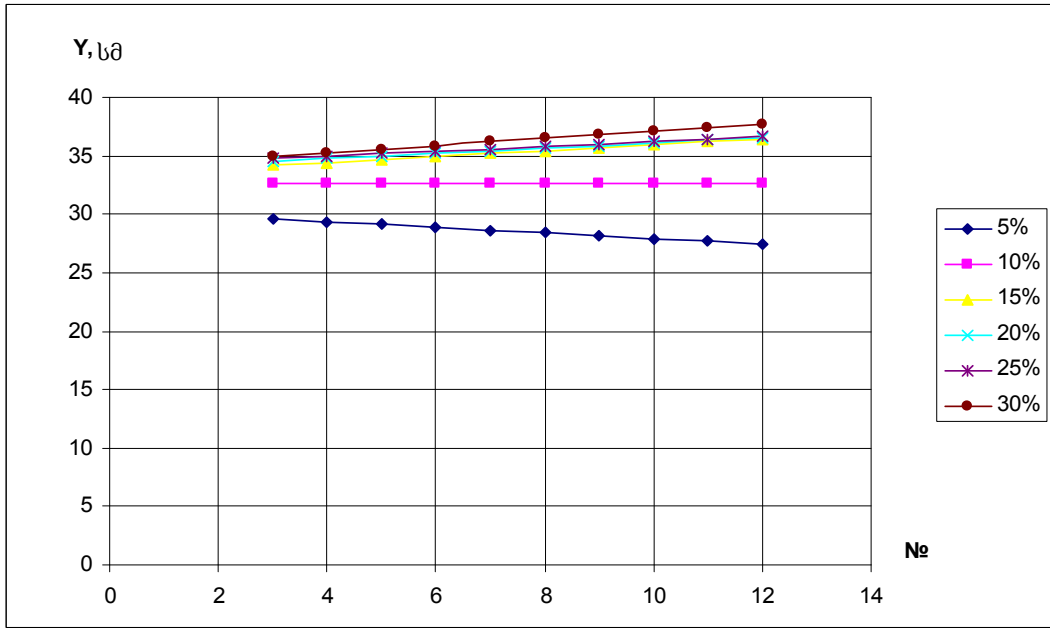
სურ. 8 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 320მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 400კგ.



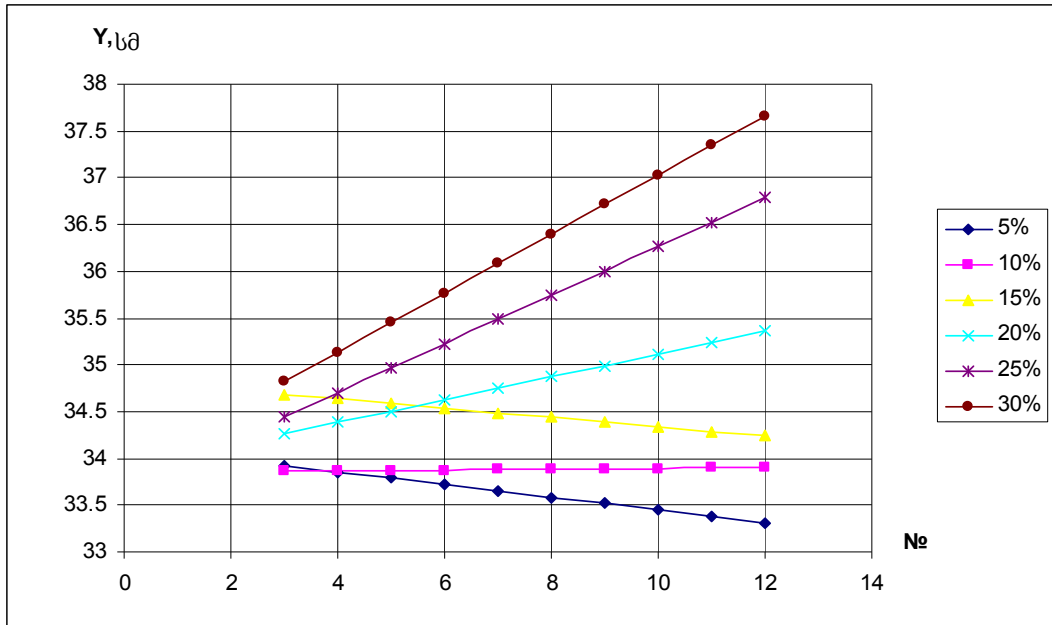
სურ. 9 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 320მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 1100კგ.



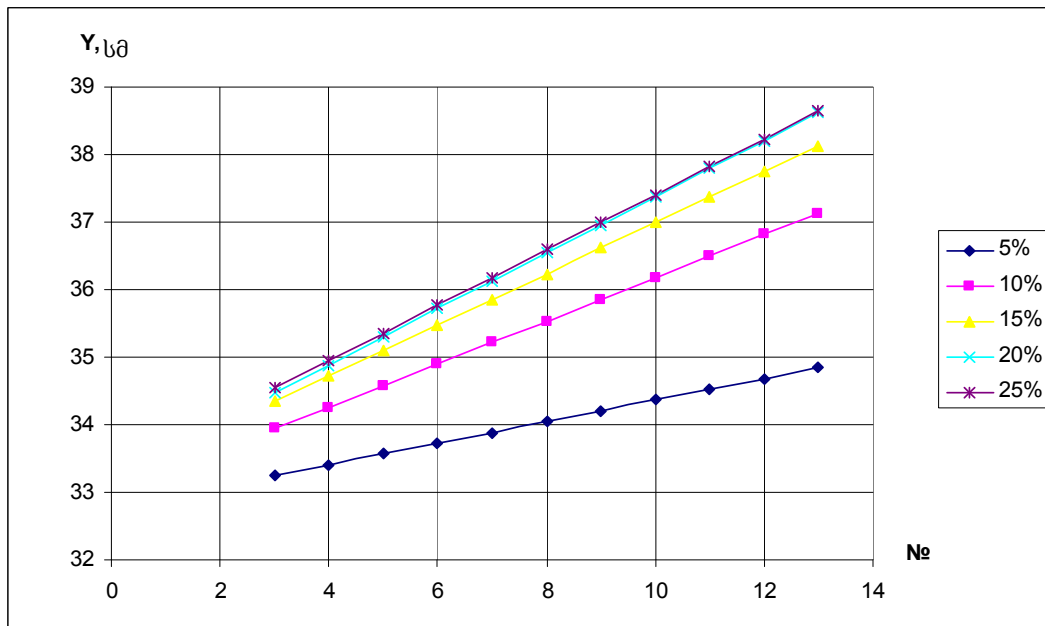
სურ. 10 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 480მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



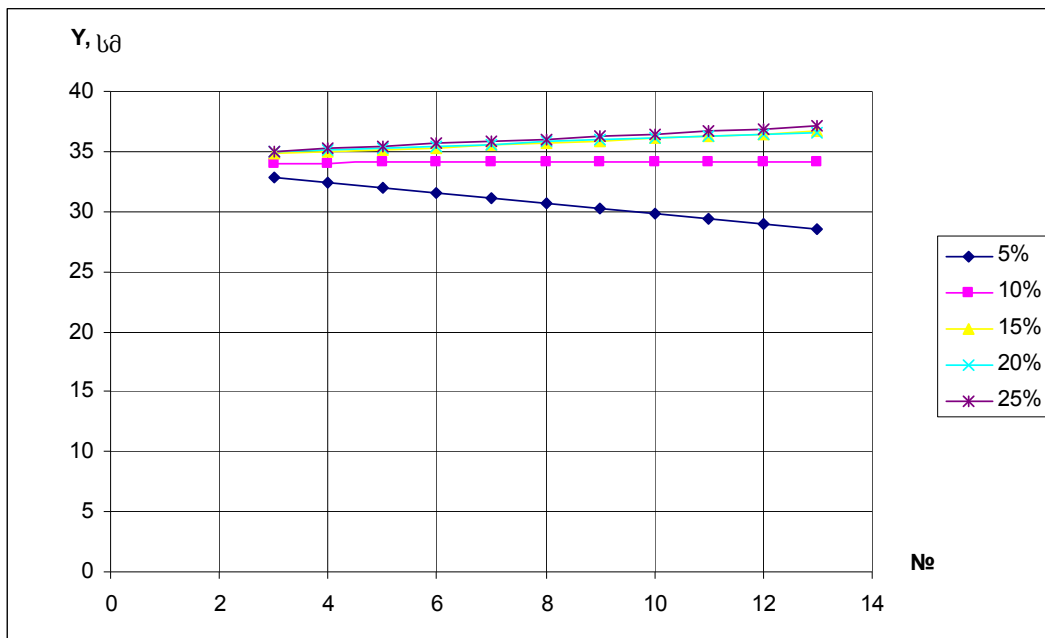
სურ. 11 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 480მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 440კგ.



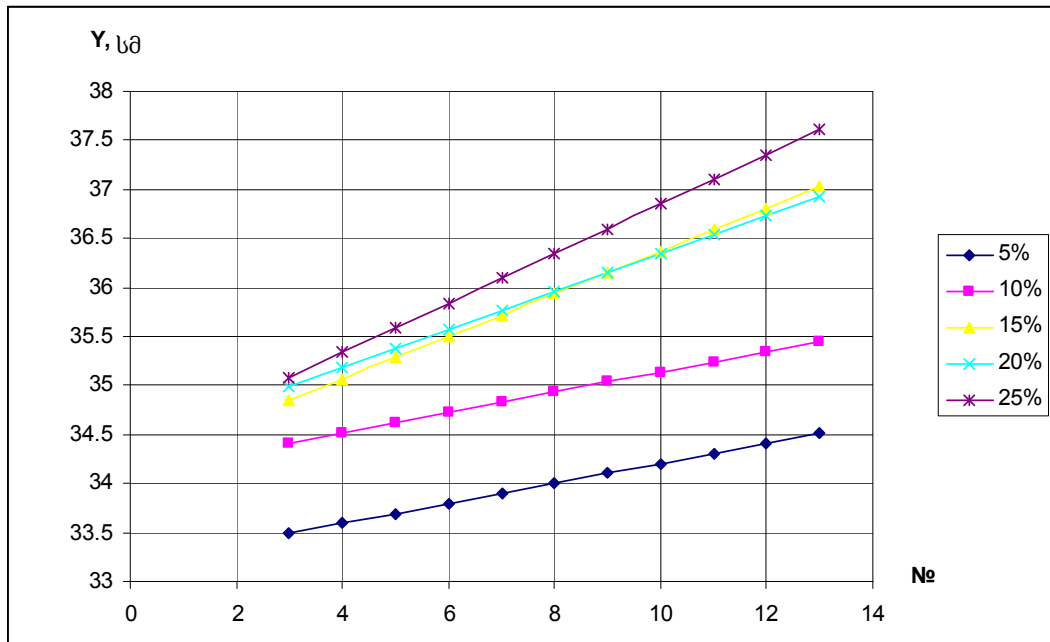
სურ. 12 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 480მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 1150კგ.



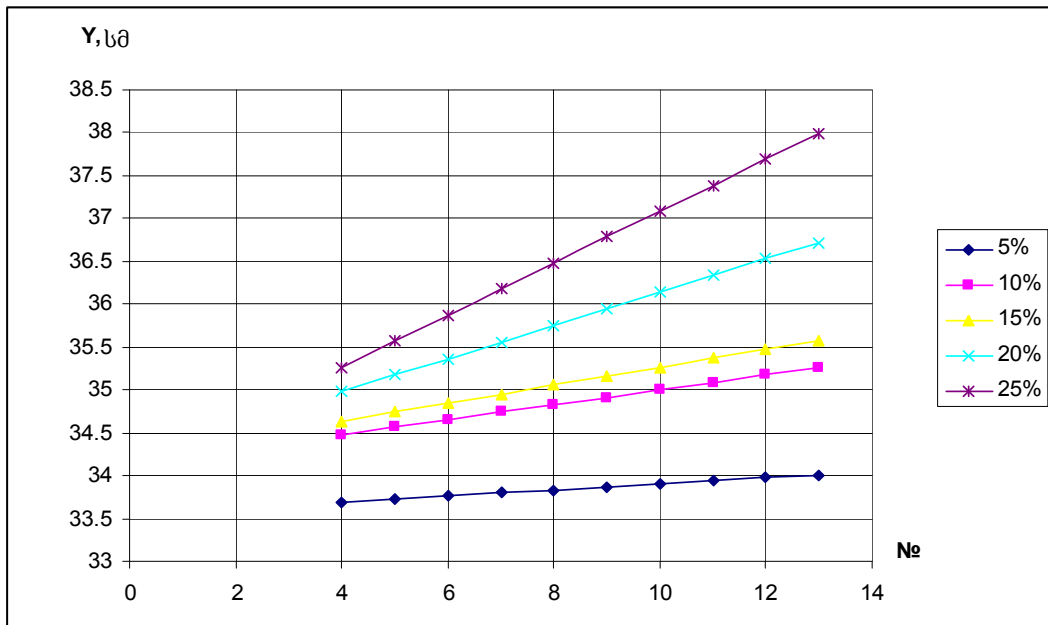
სურ. 13 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 640მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



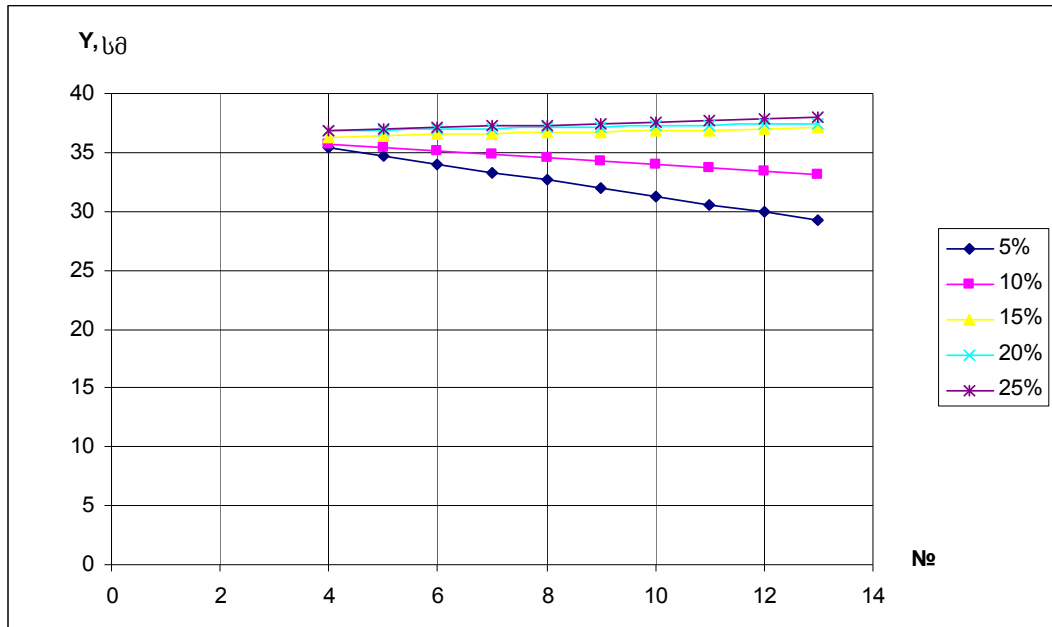
სურ. 14 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 640მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 600კგ.



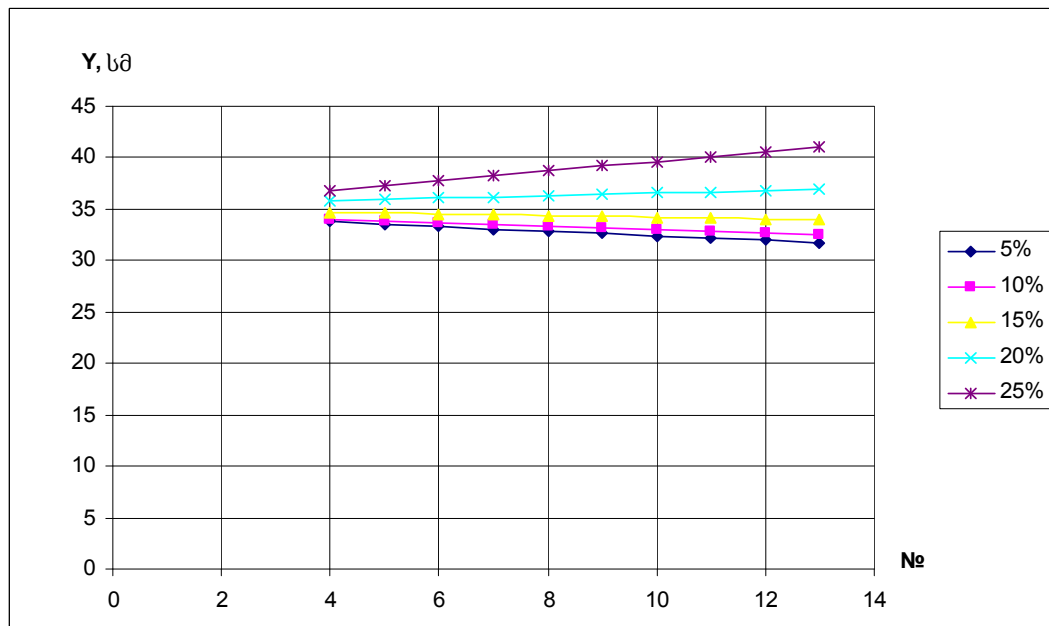
სურ. 15 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 640მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 1200კგ.



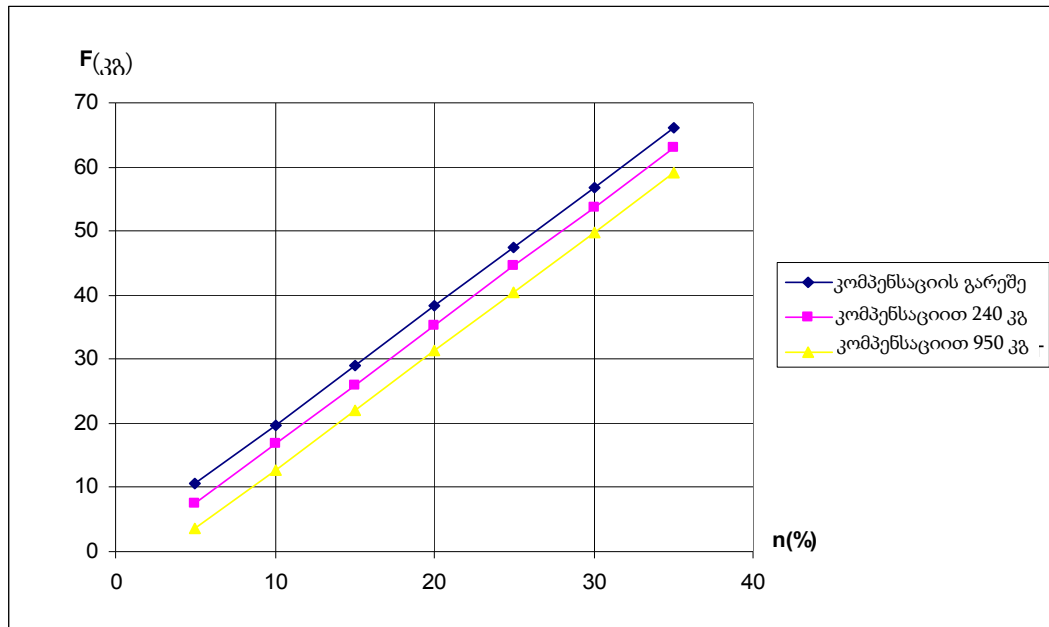
სურ. 16 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 770მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე



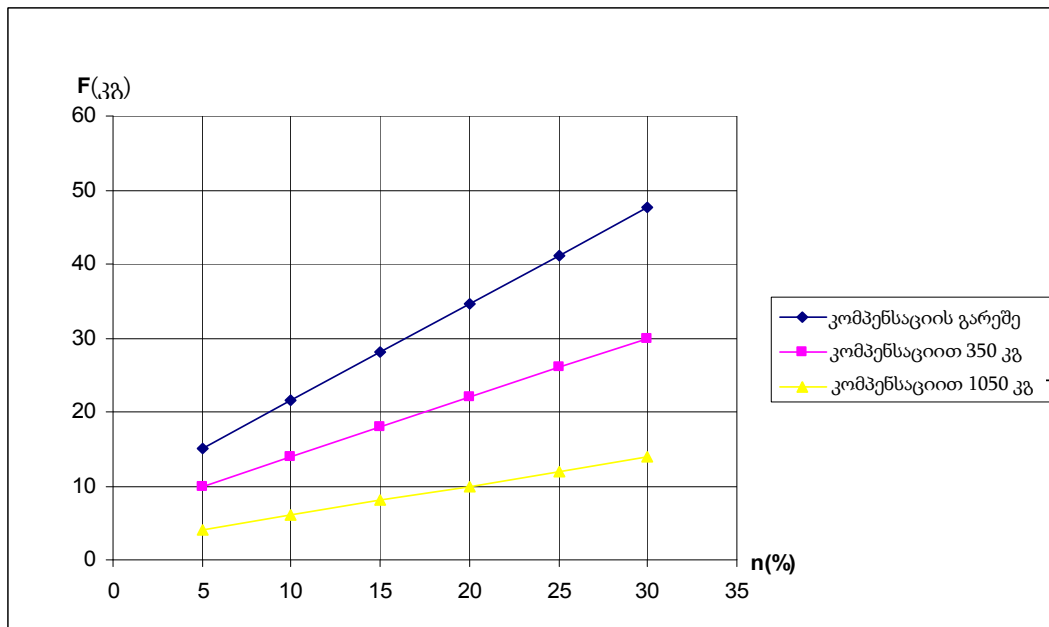
სურ. 17 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 770მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 760კგ.



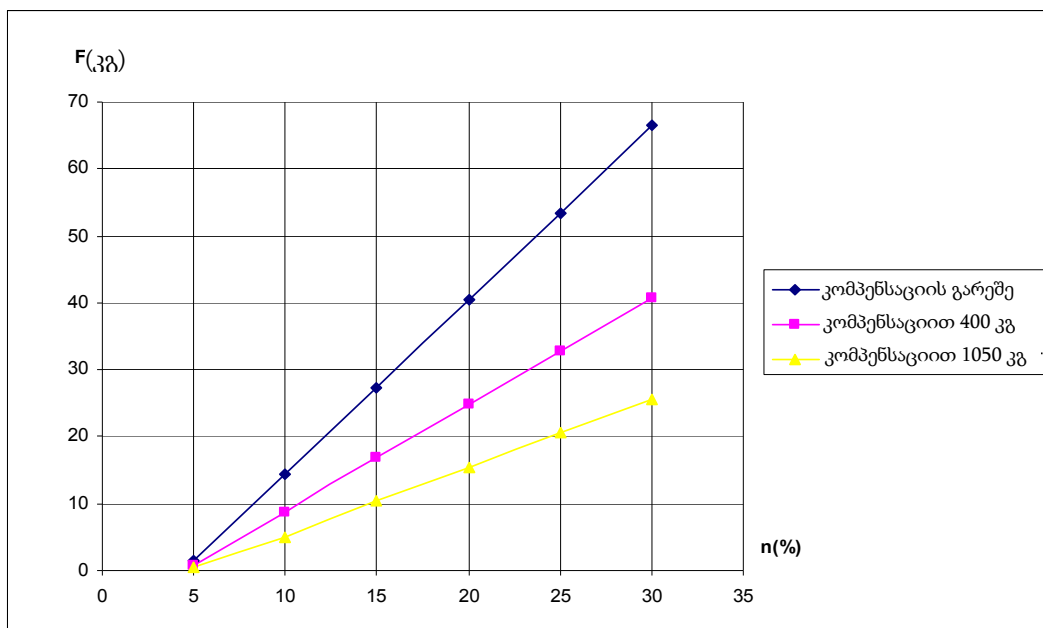
სურ. 18 ფრთის სიხისიტის წირის ცვლილება 770მმ-ით გაშლილ ფრთაზე, ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით 1300კგ.



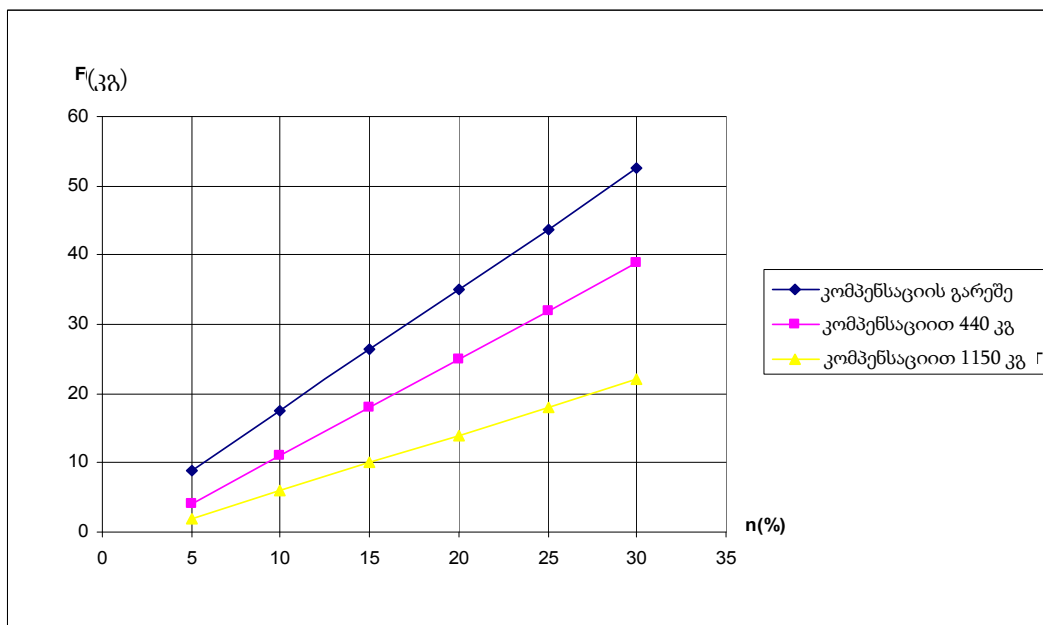
სურ. 19 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის დაკეცილ მდგომარეობაში



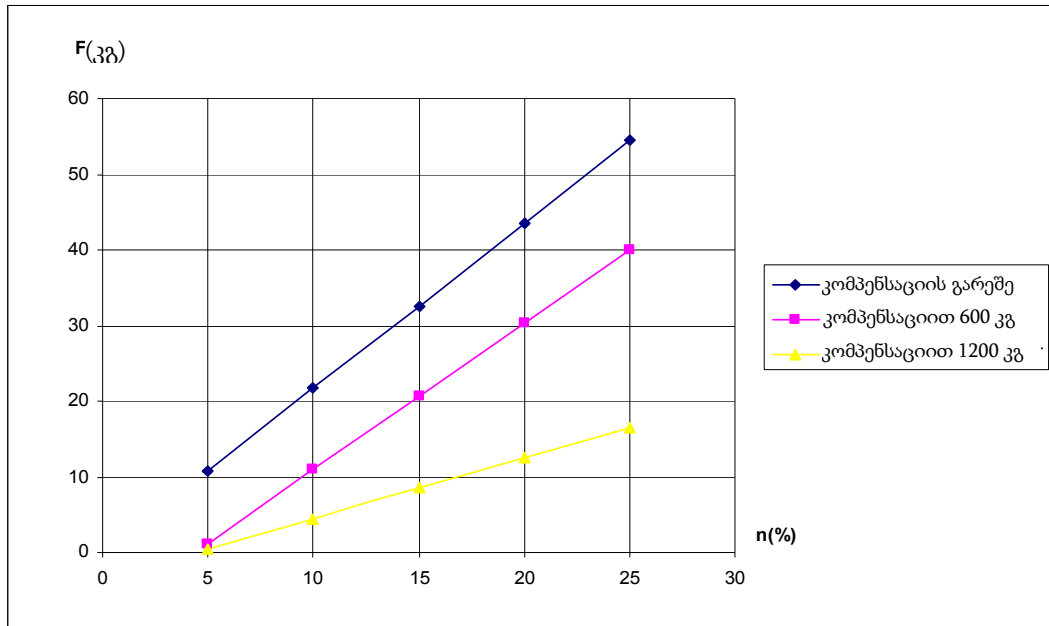
სურ. 20 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის 160მმ-ით გაშლილ მდგომარეობაში



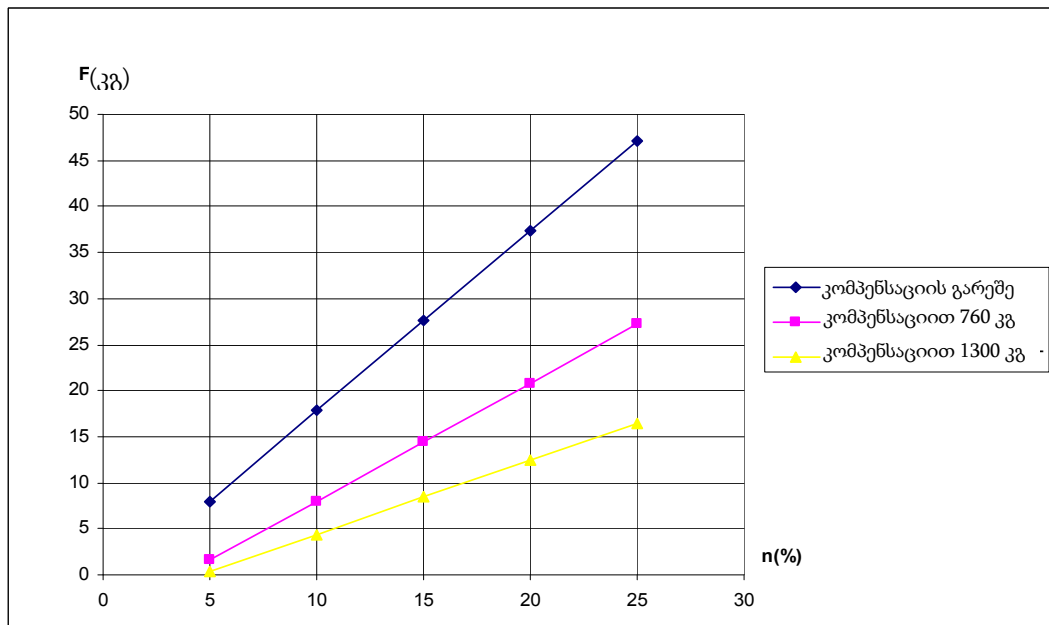
სურ. 21 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის 320მმ-ით გაშლილ მდგომარეობაში



სურ. 22 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის 480მმ-ით გაშლილ მდგომარეობაში



სურ. 23 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის 640მმ-ით გაშლილ მდგომარეობაში



სურ. 24 ბერკეტზე მოდებული ძალის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე, ფრთის 770მმ-ით გაშლილ მდგომარეობაში