

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თეიმურაზ მოსაშვილი

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

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

მექანიკის ინჟინერიის საწარმოო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: რაულ თურმანიძე

რეცენზენტები: მიხეილ ჯანიკაშვილი

არჩილ ბეთანელი

დაცვა შედგება 2013 წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის

სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი ----- დ. ბუცხრიკიძე

სადოქტორო ნაშრომის მოკლე დახასიათება

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. ამავ მიზეზით 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.

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. 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 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.

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.

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: კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი. შეიქმნა მისი 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:

შემუშავებულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე საჰაერო ხრახნის კონცეფცია.

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.

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.

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, ალუშტა, 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.
4. მიღებულია საქართველოს პატენტი „ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნი“. 2009წ. №11151/01

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ: ნაშრომი შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგები და მათი განსჯის, დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურისა და

დანართისაგან. მისი საერთო მოცულობაა XXX გვერდი, იგი შეიცავს XX ცხრილს და XX ნახაზს.

შესავალ ნაწილში მოკლედ აღწერილია დისერტაციაში დასმული პრობლემის მეცნიერული სიახლე, აქტუალობა და პრაქტიკული შედეგები.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. ქვეთავში განხილულია საჰაერო ხრახნებისადმი წაყენებული ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნები. მოკლედაა გადმოცემული მისი შექმნისა და განვითარების ისტორია. ახსნილია თვითმფრინავისა და ვერტმფრენის ხრახნის მუშაობის თავისებურებანი და მათ მიმართ წაყენებული მოთხოვნები.

1.2. ქვეთავში აღწერილია საჰაერო ხრახნების გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა საფრენოსნო მონაცემებზე. კერძოდ მომგებიანია მზიდ ხრახნებს ქონდეს დიდი დიამეტრი, რადგანაც ამის გამო მკვეთრად მატულობს მათი მარგი ქმედების კოეფიციენტი, ფრთების გარსგარს-შემოწერილი ფართობის გაზრდის და ამ ფართობის ყოველ კვადრატულ მეტრზე დატვირთვის შემცირების ხარჯზე.

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. ქვეთავში განხილულია მზიდი საჰაერო ხრახნების კონსტრუქციების ძირითადი თავისებურებანი. მზიდი ხრახნი ვერტმფრენის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია. მზიდი ხრახნის ძირითადი დანიშნულებაა შექმნას ამწევი ძალა და უზრუნველყოს ვერტმფრენის ჰორიზონტალური

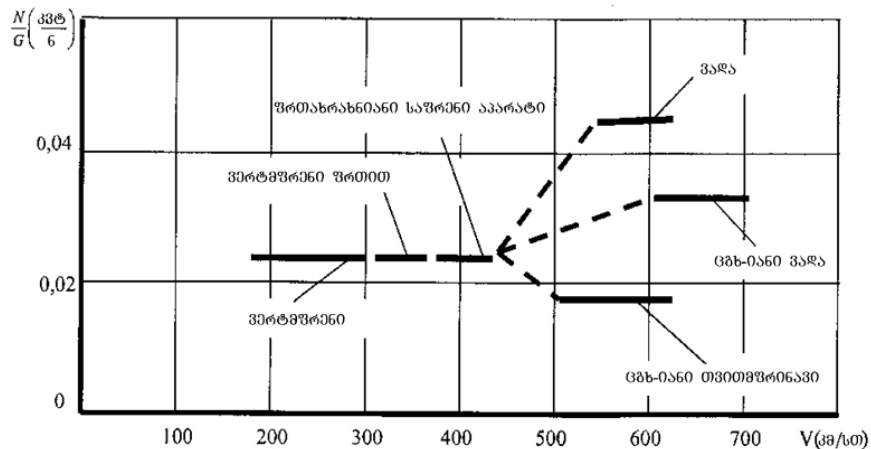
გადაადგილება. ამას გარდა მზიდი ხრახნი უზრუნველყოფს ვერტმფრენის მდგრადობას და გამოიყენება მისი მართვისათვის.

1.4. ქვეთავში აღწერილია ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენი თვით-მფრინავის 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.

ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის ხრახნის ამძრავი ძირითადად შედგება რედუქტორისა და მილისისაგან. ბიჯის ცვლა ხმორციელდება მექანიკურად მილისიდან ჭიხრახნული გადაცემით. უსაფრთხოების თვალსაზრისით ხდება მექანიზმების დუბლირება.

1.5. ქვეთავში განხილულია ცვალეზადი გეომეტრიის ხრახნის უპირატესობანი. ხრახნული ავიაციის მიმართულებაში კომპლექსულ პრობლემას წარმოადგენს საფრენი აპარატების ფრენის ოპტიმიზირება. ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა ოპტიმალური საჭაერო ხრახნის შექმნა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად განხილულია ცვალეზადი გეომეტრიის ხრახნის კონცეფცია.



სურ. 1 საფრენი აპარატების მოხმარებული სიმძლავრის დამოკიდებულება ფრენის სიჩქარეზე

ვერიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენ აპარატებს 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 გზარდა 350კმ/სთ-მდე. საფრენ აპარატზე მზიდ ხრახნთან ერთად სამარშო ხრახნების დამატებამ ფრენის სიჩქარე 400-450კმ/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.1). ამის მთავარი მიზეზი ისაა რომ მისი ხრახნი წარმოადგენს მზიდ ხრახნსა და სამარშო ხრახნს შორის კომპრომისს. შესაბამისად მას არ გააჩნია ოპტიმალური მახასიათებლები არც დაკიდების რეჟიმშიც და არც ჰორიზონტალურ ფრენის რეჟიმში.

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.

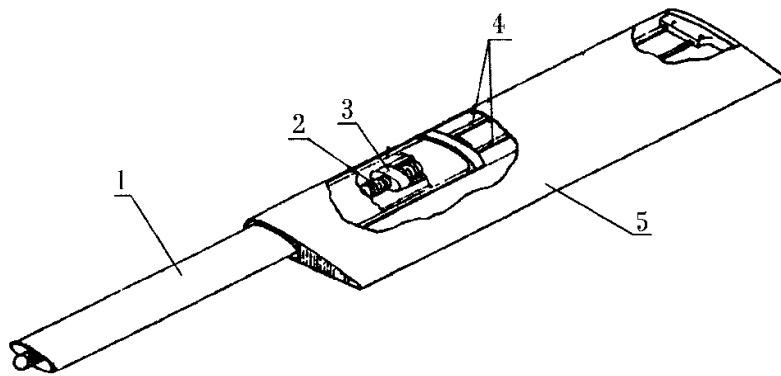
ზემოთქმულიდან გამომდინარე ვერტიკალურად ამფრენ-დამფრენ საფრენი აპარატის მთავარ უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი საჰაერო ხრახნის არასრული ტრანსფორმაცია. შესაბამისად მისი საფრენ-ტექნიკური მონაცემების გასაუმჯობესებლად კარგი იქნებოდა მასზე ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დაყენება.

2.6. ქვეთავში განხილულია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნებზე ჩატარებული კვლევები. ხრახნიანი ავიაციის საფრენოსნო მახასიათებლების გასაუმჯობესებლად მუდმივად მიმდინარეობს მათი ახალი კონსტრუქციების დამუშავება.

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.2).

მეტად საინტერესო შედეგები იქნა მიღებული კორპორაციაში Sicorsky, შემუშავებული იქნა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების პროგრამა საჰაერო ხრახნის მახასიათებლების განსასაზღვრად. ეს იყო ცვალებადი დიამეტრის ხრახნი ტელესკოპური ფრთებით, უნიკალური კონსტრუქცია 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.

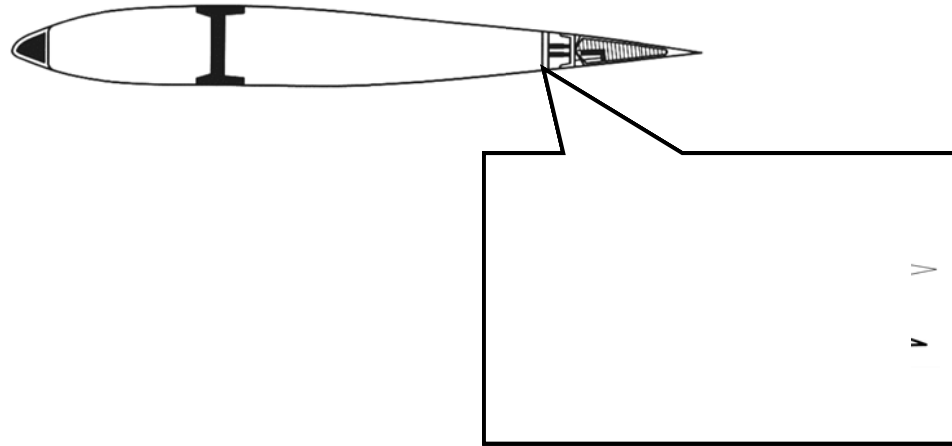


სურ. 2 ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის ფრთა. Sicorsky Aircraft Corporation, NASA:
1-ტელესკოპური ნაწილი, 2-ხრახნი, 3-ქანჩი, 4-ლონჟერონი, 5-ფრთა

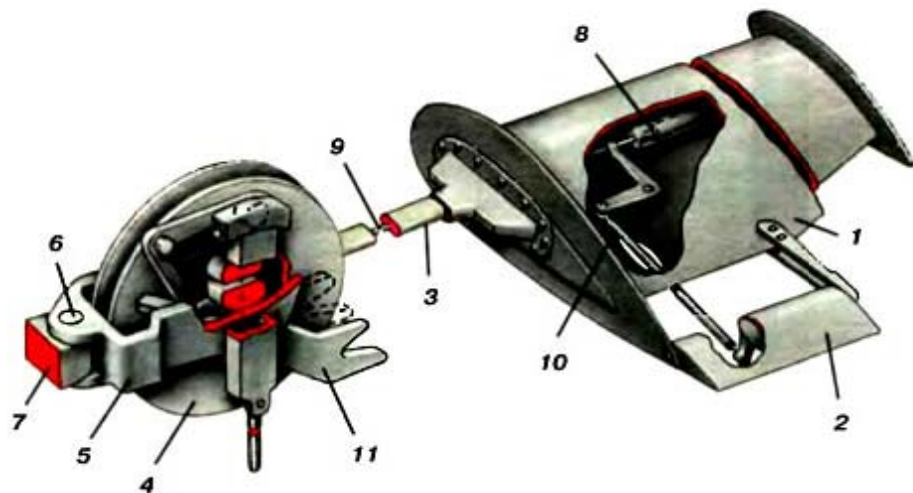
Boeing კომპანია მუშაობდა ფრთების გრეხილობის ცვლილების პრობლემაზე. ამ სფეროში მნიშვნელოვანი სამეცნიერო გამოკვლევები ჩაატარეს მეცნიერებმა: ე. ფრედენზურგი, რ. სეგელი, დ. მატუსკა, დ. დეივისი, რ. მოფეტი, დ. უენგი, კ. ჯოუნსი (Sicorsky Aircraft Corporation), მ. ნიქსონი, კ. სნუდებიკერი (NASA), ტ. კუეკენბუმი,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

Continuum Dynamics-ის მიერ თვითმფრინავ V-22 "Osprey"-სთვის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ფრენის რეჟიმის ოპტიმიზაციისთვის, დამუშავდა ცვალებადი გრეხილობის საჰაერო ხრახნის ფრთის

კონსტრუქცია. გამოგონებას საფუძვლად უდევს ფრთის პროფილის ბოლო ბაწილის მობრუნების შესაძლებლობა ე.წ. მეხსიერებიანი შენეადნობის საშუალებით. (სურ.3)



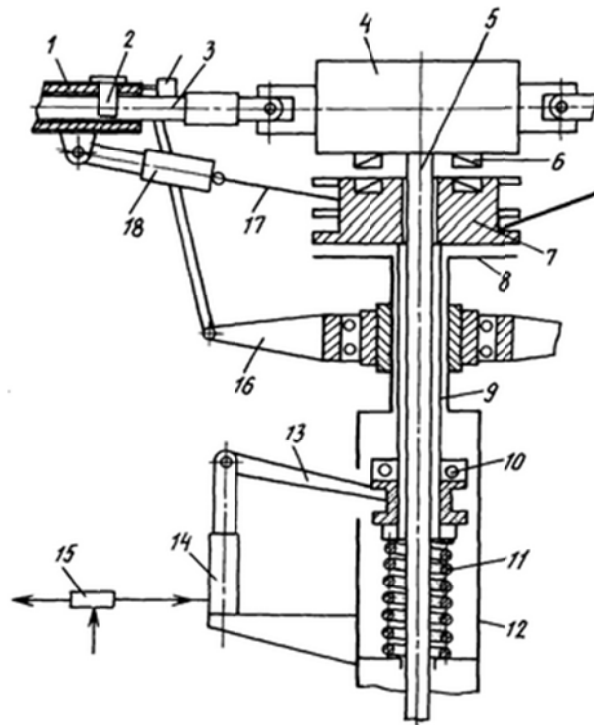
ცვალებადი დიამეტრის მზიდი ხრახნი დამუშავდა მოსკოვის საავიაციო ინსტიტუტში 1993 – 1995 წლებში. მზიდი ხრახნს ჰქონდა 3 მ დიამეტრი ფრთების გაშლილ მდგომარეობაში.



რთავდი
 — კავი;
 ჯანული

ამ კონსტრუქციაში მზიდი ხრახნის ბრუნვის დროს ფრთის მასით გამოწვეული ცენტრიდანული ძალის მოქმედებით ხდება ბაგირის ფორმის მოქნილი ლონჟერონის და შესაბამისად ფრთის გაშლა, ხოლო დაკეცვა მიმდინარეობს დოლზე დახვევით, გახსნა-დაკეცვის მექანიზმის საშუალებით (სურ.4).

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



მით

პატენტ №2003124905/11/026412/-ში გამოგონების ამოცანაა გაიზარდოს კონვერტოპლანის ჰორიზონტალური ფრენის სიჩქარე ცვალებადი დიამეტრის ხრახნის გამოყენებით. სურ.5-ზე გამოსახულია მზიდი ხრახნის საყრდენი კვანძი მისი დიამეტრის ცვლილების მექანიზმით.

თანამედროვე ავიაციაში მრავლად ვხვდებით ფრენისას საფრენი აპარატების კონსტრუქციის გეომეტრიის ცვლილებებს, ასეთებია: შასის

შეკვეცვა, შესაკვეცი ფრთაუკანების გამოყენება, ფრთების ისრისებურობის შეცვლა. ვერტმფრენის მზიდ ხრახნს ფრენის პროცესში შეუძლია თავისი სიბრტყის დახრის კუთხის ცვლილება, ამის გამო ფრთების დაყენების კუთხე იცვლება 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 საჰაერო ხრახნი არ არის გამონაკლისი და დღეს-დღეობით მიმდინარეობს მისი დახვეწა-დამუშავება.

2.7. ქვეთავში აღწერილია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შექმნილი გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კონსტრუქცია. სტუ-ს მეცნიერთა ჯგუფმა შეიმუშავა გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვალებადობის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის რამოდენიმე კონსტრუქცია, რომელიც იძლევა ფრენის პროცესში ხრახნის დიამეტრის, გრეხილობის და ამავედროულად ფრთების შეტევის კუთხის შეცვლის შესაძლებლობას.

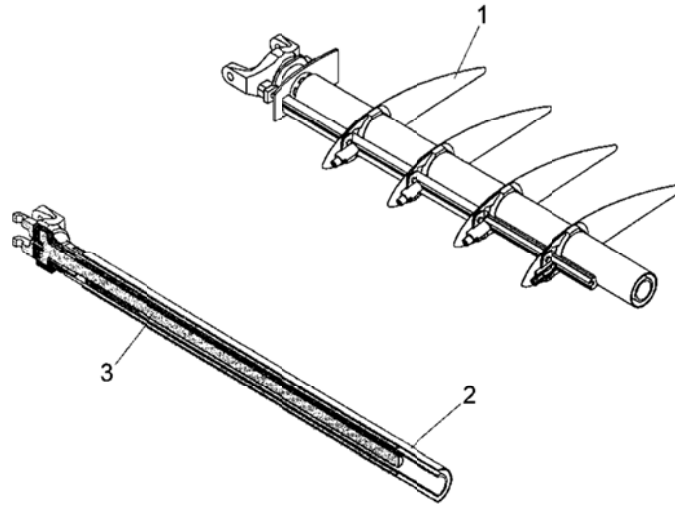
ეკონომიკური თვალსაზრისით შერჩეულია ორ-ფრთიანი ხრახნი მაქსიმალური დიამეტრით $D_{max}=5,768$ მ, მინიმალური დიამეტრის სიდიდით $D_{min}=4,120$ მ, მაქსიმალური და მინიმალური დიამეტრების შეფარდებით $D_{max}/D_{min}\approx 1.4$. საშუალო ქორდის სიგრძეა ≈ 0.5 მ.

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

ფრთის უძრავი ნაწილი შედგება მილისებული ლონჟერონისგან, შიდა უძრავ ლონჟერონზე შლიცური შეერთებით დასმულია გარე მოძრავი ლონჟერონი (სურ.6). მოძრავი ლონჟერონის ერთი ბოლო დამაგრებულია ფრთის ხისტ ნაწილზე (სურ.7), რომელზეც თავის მხრივ ქანჩია დამაგრებული. უძრავ ლონჟერონის შიგნით განთავსებულია ხრახნი, რომელიც დაკავშირებულია ფრთის მოძრავ ნაწილზე დამაგრებულ ქანჩთან.

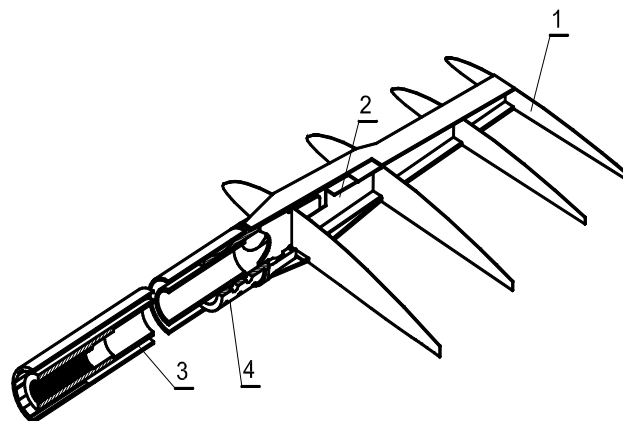
ლონჟერონის მოძრავი ნაწილის უძრავ ნაწილზე გადაადგილება ხდება შლიცზე, ხრახნი-ქანჩის წყვილის (დომკრატის) დახმარებით.

სურ.7-ზე ნაჩვენებია ფრთის ბოლო ხისტი ნაწილი. იგი შედგება კედელისგან 2, ხისტად დამაგრებული ნერვიურებისგან 1, მოძრავი ლონჟერონისგან და ქანჩისგან 4.



რონი.

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

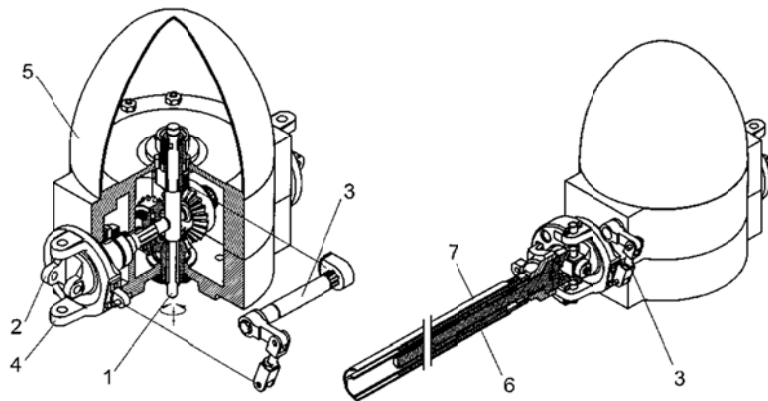


ფრთის გარსაცმი მისი გრეხვადობის გასაუმჯობესებლად პროფილის ბოლოში არის გაჭრილი. ფრთის ბოლოზე ხისტი შემონაკერი დამაგრებულია ნერვიურებზე. როგორც ცდების შედეგებიდან გახდა ცნობილი მოცემული კონსტრუქცია 18-20°გრეხვაზე კარგად მუშაობს, მაგრამ მომავალში ახალი შემონაკერის კონსტრუქციის დამუშავებით, შესაძლებელია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

მართვის ძირითად მექანიზმს წარმოადგენს დიფერენციალური გადაცემა, რომელიც მდებარეობს მილისაში.

ხრახნული დომკრატი დიფერენციალთან ერთად უზრუნველყოფს ცვალებადი გომეტრიის ხრახნის ფრთების სინქრონულ მუშაობას ხრუტუნა მექანიზმის, საკეტელასა და სინქრონიზაციის მექანიზმების გარეშე.

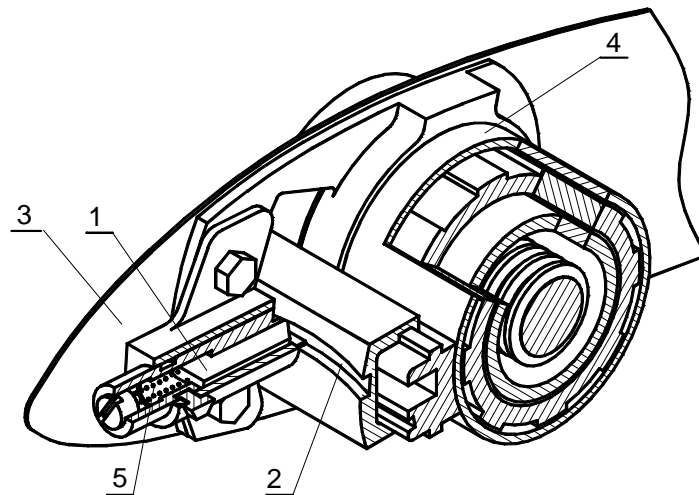
სურ.8-ზე მოცემულია ხრახნის გომეტრიის ცვლის მექანიზმი. ლილვის 1 გააჩნია ბრუნვითი და გრძივი მოძრაობები. ლილვის ბრუნვა კონუსური კბილანური გადაცემით გადაეცემა ჩანგალს 2. ლილვის გრძივი მოძრაობა კბილა ლარტყას საშუალებით გადაეცემა ბერკელ მექანიზმს 3, რომელიც სახსრული შეერთებით გადასცემს ბრუნვით მოძრაობას ჩანგალს 4.



ხრახნის დიამეტრის ცვლა ხდება შემდეგნაირად (სურ.8), 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.

ფრთის გრეხვის შეცვლის მიზნით ფრთის დრეკად ნაწილში გათვალისწინებულია სპეციალური თითები 1 (სურ. 9), 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.

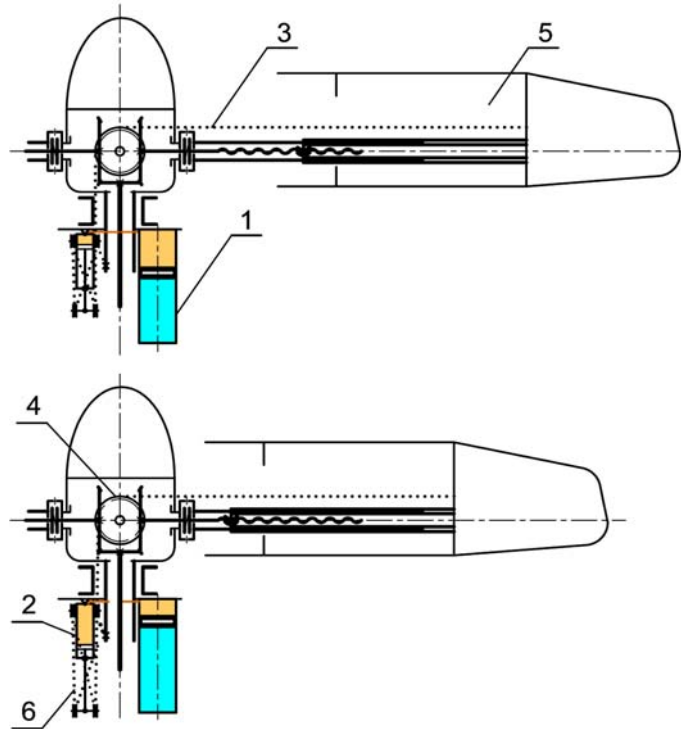
ხრახნის მოდელის მართვის სტენდის კინემატიკური სქემა მოცემულია სურ.11-ზე.



სურ. 9 ნერვიურის თითისა და სპირალური ღარის ურთიერთქმედება
1-ნერვიურის თითი, 2-სპირალური მიმმართველი ღარი, 3-ნერვიურა,
4-ლონჟერონი, 5-ზამბარა.

1.8. ქვეთავში მოცემულია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთაზე მოქმედი ცენტრიდანული ძალების, ფრთის დატვირთულ ელემენტებზე მოქმედების შემცირების შესაძლო გზები. მაღალ ბრუნთა რიცხვზე ხრახნის

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



სურ. 10 ჰიდროცილინდრისა და ჰიდროაკუმლიატორის მილისის ქვემოთ დამაგრების სქემა.
 1-ჰიდროპნევმო აკუმლიატორი, 2-ჰიდროცილინდრი, 3-ბაგირი, 4-შკივი, 5-ფრთა,
 6-პოლისპასტი.

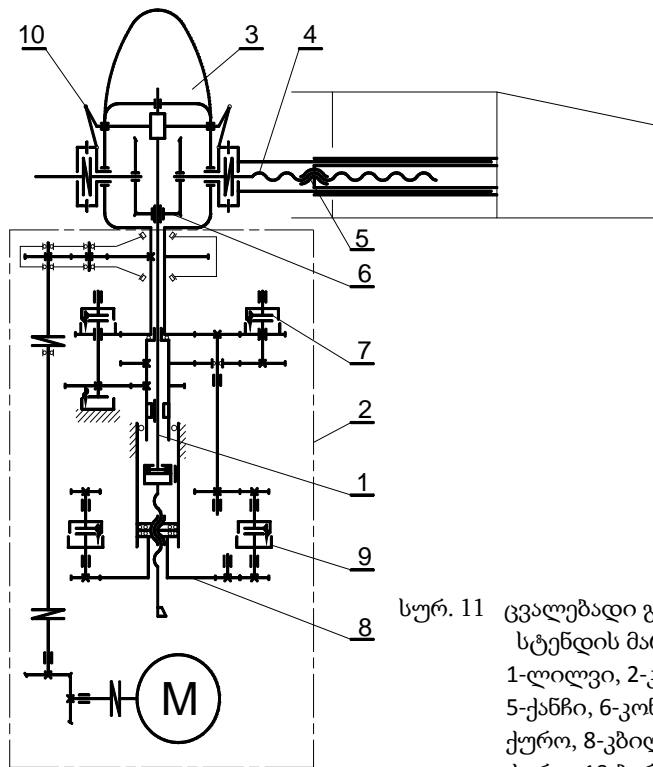
ვარიანტების დეტალური განხილვის შემდეგ გადაწყდა დამზადებულიყო ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების ისეთი კონსტრუქცია, რომელსაც ექნებოდა ჰიდროპნევმატური აკუმულიატორები 1 და ჰიდრო ცილინდრები 2, რომელიც ხრახნის მილისის ქვემოთაა დამაგრებული. სურ.10-ზე მოცემულია ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმის სქემა. 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 პნევმოჰიდრაულური 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 ჰირხნის 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.

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ქვეთავში მოცემულია ინფორმაცია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კვლევის დინამიკური სტენდის შესახებ. დაგეგმარებული და დამზადებულია აღნიშნული ტიპის ხრახნების დინამიკაში კვლევების სპეციალური სტენდი, რომელიც შესაძლებლობას იძლევა განხორციელდეს მექანიზმების მუშაობის შემოწმება და აეროდინამიკული პარამეტრების კვლევა სპეციალური მეთოდით რეჟიმების ცვლილების ფართო დიაპაზონში, როგორც ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმით, ასევე მის გარეშე.

2.2. ქვეთავში აღწერილია დინამიკური ცდების სტენდის კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტები და მოქმედების პრინციპი. ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის დინამიკაში კვლევის სტენდს (სურ. 11) გააჩნია შემდეგი მუშაობის პრინციპი: ძრავიდან ბრუნვადი მოძრაობა მიეწოდება ღერძს 1, რომელიც აბრუნებს ცენტრალურ კონუსურ კბილანას 6 და მილისას 3. კბილანების გადაცემის სიდიდე რედუქტორში 2 ისეთნაირადაა შერჩეული, რომ

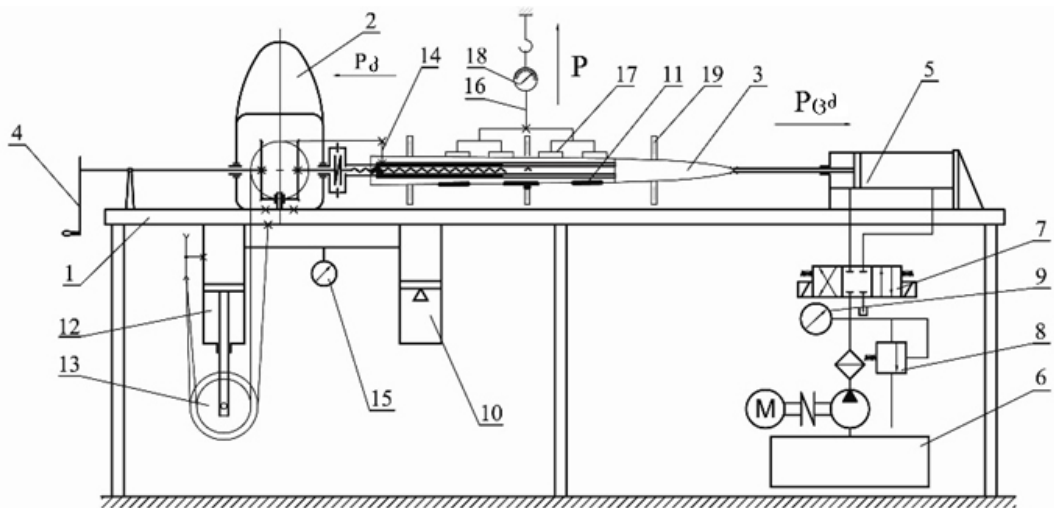


სურ. 11 ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის მოდელის სტენდის მართვის კინემატიკური სქემა
1-ლილვი, 2-კორპუსი, 3-მილისა, 4-ხრახნი, 5-ქანჩი, 6-კონუსური კბილანა, 7-ელ.მაგნიტური ქურო, 8-კბილათვალი, 9-ელ.მაგნიტური ქურო, 10-ბერკეტული მექანიზმი.

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, 9 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.

2.2.1 ქვეთავში ნაჩვენებია მოდერნიზირებული, ცენტრიდანული ძალების კმპენსირების მექანიზმით აღჭურვილი დინამიკური კვლევის სტენდი.

2.3 ქვეთავში დასაბუთებულია სტატიკური კვლევის სტენდის საჭიროება და მოცემულია მისი აღწერა. იმისათვის, რომ დამუშავებული ხრახნის მექანიზმების გამოცდა მოხდეს დინამიკაში, ჯერ საჭირო იყო დავრწმუნება მისი კონსტრუქციის სიმტკიცეში და საიმედოობაში. შემოწმდა მთავარი კვანძების, ხრახნის დიამეტრის და გრეხილობის მექანიზმების შრომისუნარიანობა, ცენტრიდანული ძალის კომპენსირების ჰიდრო-პნევმო სისტემის გამართულობა. ასევე განისაზღვრა ფრთის კონსტრუქციის სიხისტის მრუდი წირი სხვა და სხვა ბრუნებთა რიცხვზე, მასზე შესაძლო დატვირთვების იმიტირებით.



სურ. 12 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 - ლონჟერონი,
- 12 - ჰიდროცილინდრი, 13 - პოლისპასტი, 14 - კრონშტეინი,
- 15- მანომეტრი, 16 - ღერძი, 17 - მინაწებები, 18 - დინამომეტრი,
- 19-სახაზავი

სურ.12-ზე მოცემულია სტატიკური გამოცდების სტენდის სქემა. ჩარჩოზე 1 მარცხნივ დამაგრებულია სახელური 4, რომელიც ატრიალებს მილისის 2 დიფერენციალს ფრთის 3 გაშლისა და დაკეცვის დროს.

მარჯვნიდან ფრთა 3 დაკავშირებულია ჰიდროცილინდრთან 5, რომელიც ცენტრიდანული ძალის მოქმედებას იმიტირებს. ჰიდროცილინდრის 5 კვება ხორციელდება ჰიდროსადგურიდან 6 და იმართება ჰიდროგადამანაწილებლის საშუალებით 7. ცენტრიდანული ძალის $P_{c,d}$ სიდიდე რეგულირდება სარქველია 8 და იზომება მანომეტრით 9.

მაკომპენსირებელი ძალა P_k იქმნება ჰიდროაკუმულატორით 10 და გადაეცემა ჰიდროცილინდრზე 12, რომელზეც დამაგრებულია პოლის-პატის ჭოჭონაქები 13, ბაგირი დამაგრებულია ფრთის ლონჟერონზე 3 კრონ-შტეინის 14 მეშვეობით. კომპენსირების ძალა იზომება მანომეტრით 15.

P ამწევი ძალა გადაეცემა ფრთას სპეციალური მცირებიჯიანი გაჭიმვის დანადგარიდან ბრეზენტის ჩანართების მქონე 17 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 ქვეთავში ნაჩვენებია სტატიკური კვლევის სტენდის გაანგარიშება.

2.3.2 ქვეთავში მოცემულია ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის მექანი-ზმის საპასუხისმგებლო ელემენტების გაანგარიშება.

2.3.3 ქვეთავში ნაჩვენებია სტატიკური კვლევების სტენდის დამზადების ტექნოლოგია.

2.4 ქვეთავში მოცემულია გეომეტრიული პარამეტრების დინამიკაში ცვლის შესაძლებლობის მქონე ხრახნის კვანძების ქმედითუნარიანობის კვლევა. მთავარი ყურადღება მიექცა ხრახნის დიამეტრის და გრეხილობის მექანიზმების საიმედოობის შემოწმებას, ასევე ცენტრიდანული ძალის კომპენსირების ჰიდრო-პნევმო სისტემის შრომისუნარიანობას.

თეორიულად წინასწარ გაანგარიშდა ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის ფრთის გასწვრივ საჰაერო დატვირთვების განაწილება, ასევე გაანგარიშდა

საკაერო ნაკადის განაწილება პროფილის ქორდის გასწვრივ. აიგო ფრთაზე დატვირთვების დიაგრამები, რის მიხედვითაც შემდგომში სტენდზე განხორციელდა ამ დატვირთვების იმიტირება.

2.5 ქვეთავში აღწერილია ფრთის დეტალების დამზადებისა და აწყობის ტექნოლოგიური პროცესები.

2.6. ქვეთავში გადმოცემულია სტატიკური და დინამიკური კვლევების სტენდებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების მეთოდიკა. სტენდებზე ჩატარებული ექსპერიმენტებით ხდება სისტემის ფუნქციონალურობის შემოწმება, ხრახნის წვეის ძალის განსაზღვრა, მოწმდება მექანიზმების საიმედოობა სხვა და სხვა ბრუნთა რიცხვზე, ხდება ელმოწყობილობების, ელმაგნიტური ქუროების სტაბილური მუშაობის შემოწმება.

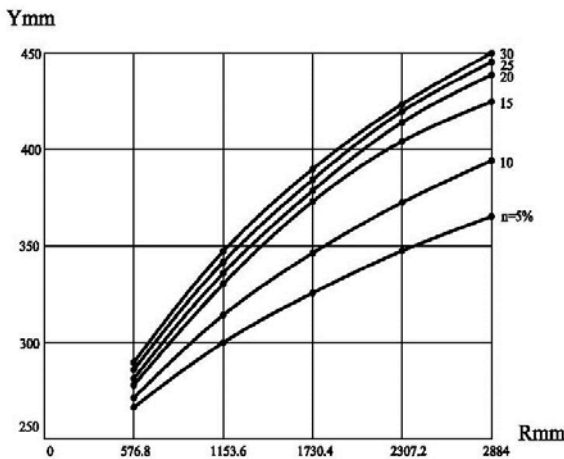
2.6.1 ქვეთავში აღწერილია სტატიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები. ფრთის გასწვრივ დამაგრეველი სახაზავების მეშვეობით მოხდა ფრთის ღუნვის და დეფორმაციების განსაზღვრა მოცემულ



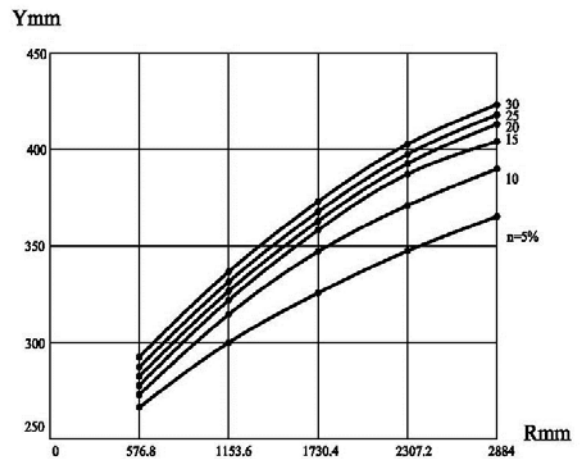
სურ. 13 ფრთის ღუნვის გაზომვის პროცესი სტენდზე

დატვირთვებზე და აიგო ფრთის დრეკადობის წირი. სტენდზე აგრეთვე ჩატარდა ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების მექანიზმის მწყობრიდან გამოსვლის იმიტირებით ხრახნი-ქანჩის წყვილის საიმედოობის კვლევა.

ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რომ ფრთის კონსტრუქცია საიმედოა. ამაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ ფრთაზე მოსალოდნელი დატვირთვის ფარგლებში მისი გრეხილობის და დიამეტრის ცვლილების მექანიზმის მუშაობაში გაჭედვა და სხვა მნიშვნელოვანი პრობლემები არ შეინიშნა. მაშასადამე, ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის კვანძების მუშაობა საიმედოა და შესაძლებელია დინამიური კვლევების სტენდებზე სამოდულო ექსპერიმენტების ჩატარება.



სურ. 14 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხისტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირების გარეშე

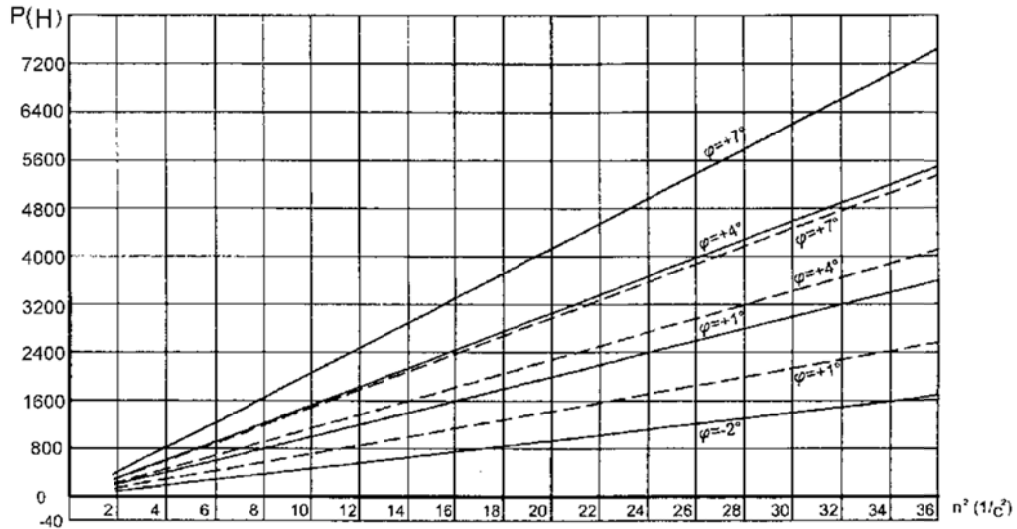


სურ. 15 ნახევრადგაშლილი ფრთის სიხისტის გრაფიკი ცენტრიდანული ძალების კომპენსირებით

განისაზღვრა ფრთის ღუნვის სიდიდეები როგორც ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციით ასევე კომპენსაციის გარეშე, ხრახნის 5-დან 30%-მდე დატვირთვებზე, მაგალითის სახით სურ.14 ნაჩვენებია ცვალებადი გეომეტრიის ხრახნის სიხისტის წირი ფრთის ნახევრად გაშლილი მდგომარეობისათვის ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის გარეშე, სურ.15 – კომპენსაციით. სურ.14 და სურ.15-ს შედარებით ჩანს, ცენტრიდანული ძალების კომპენსაციის ეფექტურობა.

2.6.2 ქვეთავში გადმოცემულია დინამიკურ კვლევების სტენდზე ჩატარებული ექსპერიმენტები. ანემომეტრების, დინამომეტრის და ტენზომეტრიული გაზომვების მეთოდებით განსაზღვრულია ამწევი ძალის

მნიშვნელობები ხრახნის დიამეტრისა და მისი ბრუნთა რიცხვების დიდ დიაპაზონებში ცვლილების დროს. განსაზღვრულია აგრეთვე ამწევი ძალების განაწილების ხასიათი ფრთის გრძივ კვეთში სხვადასხვა დატვირთვების დროს.



კუთხეზე
მთლიანი

ცდების შედეგებზე დაყრდნობით აიგო ხრახნის წვევის ბრუნთა რიცხვზე და დაყენების კუთხეზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სურ.16). მაქსიმალურ წვევის ძალას ხრახნმა მიაღწია გამლილი ფრთებით 7° დაყენების კუთხეზე და 400ბრ/წმ ბრუნთა რიცხვზე. ხრახნის დიამეტრის შემცირების შემდეგ წვევის ძალა იგივე ბრუნთა რიცხვზე 30%-ით შემცირდა.

ძირითადი დასკვნები

ატარებული 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 გრძილობა, ხოლო ჰორიზონტალურად ფრენის დროს დიამეტრის შემცირება და ფრთების გრძილობის 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 გრძილობის 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 $D_{max}=5,768მ$, $D_{min}=4,120მ$ ფრთების გრეხილობის ცვლილების დიაპაზონი $\varphi=6^{\circ}\div 18^{\circ}$), 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 გომეტრიის ხრახნების გამოყენების ეფექტურობა აგრეთვე ტექნიკის ისეთ აქტუალურ დარგებშიც, როგორებიცაა ქარის ენერგეტიკა, დიდი ტვირთამწეობის დირიჟაბლების მშენებლობა, ჰიდრო ენერგეტიკა, გემთმშენებლობა და სხვა.

პუბლიკაციები სამეცნიერო ნაშრომის შესახებ გამოქვეყნებულია:

1. Турманидзе Р.С, Амиридзе М.Н., Бидзинашвили Р.Н., Мосашвили Т.Т., Воздушный винт с изменяемыми геометрическими параметрами с повышенным диапазоном крутки лопастей и упрощенным механизмом изменения диаметра. Сборник трудов XV междуна-родной научно-технич. конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк-Севастополь, 15-20 сентября 2008 г. Стр. 225-232;
2. Турманидзе Р.С., Мосашвили Т.Т., Анализ существующих винтов с изменяемыми геометрическими параметрами и некоторые принципиальные особенности новых конструкции. Материалы восьмого форума Российского вертолетного общества. Москва, 19-20 марта 2008 г.
3. Turmanidze R., Mosashvili T., Analysis of new design of rotors with variable geometry parameters and results of their tests. The 66th International Congress of Precision Machining ICPM 2011. Liverpool John Moores University, 13th–15th September 2011. Day 1. Liverpool. ISS N 1013-9826, ISBN-13:978-3-03785-297-2. <http://www.scientific.net>; pg.98-103;
4. Turmanidze R., Mosashvili T., Analysis of new design of rotors with variable geometry parameters and results of their tests. “Les Problemes Contempo-ra-ins de la technosphere et de la Formation des Cadres D’ingenieurs». Recueil des exposes des participants de V conference internationale scientifique et methodique. Tabarka, Tunisie. 6-15 octobre 2011, pg.75-79.
5. Турманидзе Р.С., Мосашвили Т.Т., Анализ новых конструкций воздушных винтов с изменяемыми геометрическими параметрами и результаты их испытания. Сборник научных трудов «Высокие технологии в машинооборудовании», 1(21) 2011. Национальный Технический Университет «Харьковский Политехнический Институт», 2011 г. 288 стр. ББК 34.63, УДК 621.91.

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.