



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

საინჟინრო ფაკულტეტი

სადოქტორო პროგრამის დასახელება:

საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაცია

სადოქტორო დისერტაციის ავტორეფერატი

თემაზე:

**კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია
დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების
სამომავლო პერსპექტივები**

დოქტორანტი : *ბადრი ნადარაია*

ხელმძღვანელი : *პროფესორი ვანო ზურაბიშვილი*

თბილისი
2020

სადისერტაციო ნაშრომი „კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების სამომავლო პერსპექტივები“ შესრულებულია საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტის საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციის პროგრამის გათვალისწინებით.

ავტორი:

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
საინჟინრო ფაკულტეტის დოქტორანტი

ბადრი ნადარაია

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

ვანო ზურაბიშვილი

რეცენზენტები:

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის

საინჟინრო ფაკულტეტის

ასოცირებული პროფესორი სიმონ ხოშტარია,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის

პროფესორი ფაიკ ზოგდანოვი,

პროფესორი ალბერტ ასანიძე,

დაცვა შედგება 2020 წლის ----- საათზე,
საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,
სსუ-ს I კორპუსი, საკონფერენციო დარბაზი.

მისამართი: 0103, თბილისი, ქეთევან წამებულის გამზ. 16

სადისერტაციო ნაშრომი ხელმისაწვდომია საქართველოს საავიაციო
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში

სამეცნიერო საბჭოს სწავლული

მდივანი, პროფესორი

ავთანდილ აფხაიძე

ნაშრომის მოცულობა და შემადგენლობა

სადოქტორო დისერტაცია მოიცავს: შესავალს, ორ სხვა და სხვა საკითხთან დაკავშირებულ, ერთ შემაჯამებელ თავსა და დასკვნით ნაწილს, მათ შორის 38 ნახაზს, 67 სურათსა და 22 ცხრილს. დანართის გათვალისწინებით გვერდების ჯამური რაოდენობაა 222 და გამოყენებულია 65 ლიტერატურული წყარო. პირველი და მეორე თავი შედგება მიმოხილვითი, კონცეპტუალური გადაწყვეტილებებისა და სამეცნიერო სიახლეებისაგან; მესამე - შემაჯამებელი სინთეზური თავისა და დადგენილი დასკვნითი ნაწილისაგან.

ლოგოპა მიზიჟვანთი A-ლან B-მღე,
წარმოსახვითი შთაზონება კი - ყველგან.

ალბერტ აინშტაინი

სადოქტორო დისერტაციის ავტორეფერატში თემაზე: „კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების სამომავლო პერსპექტივები“ წარმოდგენილია ნაშრომის ძირითადი ნაწილი, კერძოდ, კოსმოსურ-თანამგზავრული თანამედროვე ტექნოლოგიების ინტეგრაციისა და დაფრენის საავიაციო სისტემებში მათი გამოყენების აქტუალური საკითხები და სამომავლო პერსპექტივები. წარმოდგენილია მათი განვითარების კონცეფცია, მიმოხილულია თანამედროვე ტექნოლოგიები, განსაზღვრულია მიზანი, დამუშავებულია შედეგის მისაღებად მისასვლელი გზები და შეფასებულია ამჟამად არსებული თანამედროვე ტექნოლოგიების დადებითი და უარყოფითი მხარეები, გამიჯნულია კონცეპტუალური შემუშავების პერსპექტივები, რომელის გამოყენებაც მიზანშეწონილია დასახელებულ თემასთან მიმართებაში.

ნაშრომში აგრეთვე გამოკვეთილია ის ტექნიკური საკითხები, რომლებიც ხელსაყრელი, მიზანშეწონილი იქნება და დადებითად იმოქმედებს სამომავლო ინჟინერიის, სატრანსპორტო სფეროს, განვითარებადი ურბანისტიკის, კოსმოლოგიის და სახელმწიფოებრივი თავდაცვითი საკითხების დარგში.

შედეგის სახით დადებულია შემაჯამებელი დასკვნა.

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სადოქტორო დისერტაციის ძირითად ნაწილში წარმოდგენილია თანამედროვე კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაციისა და დაფრენის საავიაციო სისტემებში მათი სინთეზის, გამოყენების აქტუალური საკითხები და სამომავლო პერსპექტივები. ნაჩვენებია განვითარების კონცეფცია, მიმოხილულია თანამედროვე ტექნოლოგიები, განსაზღვრულია მიზანი, დამუშავებულია შედეგის მისაღებად მისასვლელი გზები და შეფასებულია ამჟამად არსებული თანამედროვე ტექნოლოგიების დადებითი და უარყოფითი მხარეები, გამიჯნულია კონცეპტუალური შემუშავების პერსპექტივები, რომელის გამოყენებაც მიზანშეწონილია დასახელებულ თემასთან მიმართებაში.

თანამედროვე, ექსპლუატირებადი ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემის კიდევ უფრო მეტად განვითარება-დახვეწის, სიზუსტის და უსაფრთხოების გაზრდის, საჰაერო სივრცის რაციონალური გამოყენებისა და გამტარუნარიანობის შესაძლებლობების გაზრდის, სანავიგაციო მომსახურების ტარიფების შემცირების, სუფთა ეკოლოგიური გარემოს შენარჩუნების მიზნით დამუშავებისა და კვლევა-ძიების საგნად აღებულია კოსმოსურ-თანამგზავრული გლობალური ნავიგაციის სისტემა, როგორც აქტუალური პასუხი გამოწვევისადმი.

ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენისა და კოსმოსურ-თანამგზავრული სისტემების სინთეზური კონცეფციის თანახმად შემუშავდა გლობალური საჰაერო სივრცის ვირტუალურ-კოორდინირებული ორიენტირებადი მოდელი, რომელიც აძლევს ნებისმიერი სახის საჰაერო ხომალდს და ზოგადად, სამომავლო ინჟინერიის ტრანსპორტს მის სისტემურ ქსელში ჩართვის შესაძლებლობას.

თანმხლები გარკვეული სახის სირთულეების აღმოფხვრისა და გადაწყვეტილებათა სერიის გზები მიკვლევულ იქნა სამეცნიერო სიახლეების, არატრადიციული ხედვისა და სიღრმისეული ანალიზის ფონზე.

ნაშრომში აგრეთვე გამოკვეთილია ის ტექნიკური საკითხები, რომლებიც ხელსაყრელი, მიზანშეწონილი იქნება და დადებითად იმოქმედებს სამომავლო

ინჟინერიის, სატრანსპორტო სფეროს, განვითარებადი ურბანისტიკის, კოსმოლოგიის და სახელმწიფოებრივი თავდაცვითი საკითხების დარგში.

ნაშრომის ძირითადი მიზანია საავიაციო სატრანსპორტო სფეროს განვითარებისათვის აუცილებელი საკითხების ახლებურად გააზრება, საავიაციო სატრანსპორტო სფეროსადმი არატრადიციული მიდგომები და შეხედულებები - გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემების, კერძოდ, კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი განვითარება. გლობალური, ერთიანი საჰაერო სივრცე, მორგებული და წინასწარ შემზადებული უნდა იყოს მომავლის კონცეპტუალურ შესაძლებლობებთან, რაც უზრუნველყოფს და ხელს შეუწყობს საინჟინრო მეცნიერებების სრულყოფასა და კაცობრიობის განვითარებას. დაცული ეკოლოგია, დაბალი ფინანსური საჭიროების მაჩვენებელი, მეტი ნავიგაციური შესაძლებლობა, გაზრდილი უსაფრთხოება, მაღალი ანტიტერორისტული და სახელმწიფოებრივი თავდაცვის ტექნოლოგია, სისტემური სიმარტივე და ადაპტირებადობა სხვა მესამე კლასის მოდულებთან.

სადისერტაციო ნაშრომის თემის აქტუალურობა განაპირობებულია თანამედროვე პირობებში და ასევე მომავალში, როგორც საჰაერო სივრცეში, ასევე დედამიწაზე არსებული, ნებისმიერი ობიექტის ადგილმდებარეობის მაღალი სიზუსტით დადგენა-განსაზღვრისათვის უახლესი და განვითარებადი ტექნოლოგიების გამოყენების აუცილებლობით. ეს შესაძლებელია ნებისმიერ ობიექტზე მიმაგრებული ან ინტეგრირებული თანამგზავრული სიგნალების მიმღები გადამწოდით. ეს შეძლება იყოს თანამედროვე მობილური კავშირგაბმულობის ტელეფონი, საჰაერო თუ საზღვაო ტრანსპორტი, ავტომობილი და ა.შ. აგრეთვე ამ სისტემის საშუალებით შეისწავლიან დედამიწის გეოდეზიურ ნაწილს და მილიმეტრული სიზუსტის დაცვით აკვირდებიან ტექტონიკური ქანების გადაადგილების პროცესს. თანამგზავრული სისტემების გამოყენებამ წარმატებით იჩინა თავი თანამედროვე ტელეკომუნიკაციის, მაღალსიჩქარიანი

ინტერნეტკავშირგაბმულობისა და ჯერ კიდევ განვითარებად სატრანსპორტო, განსაკუთრებით - საავიაციო ინდუსტრიის დარგში.

გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის გამოყენება თანამედროვე საავიაციო დაფრენის სისტემებთან ინტეგრაციის გზით მეტად აქტუალურია იმდენად, რამდენადაც მარტივდება საავიაციო უსაფრთხოების, საჰაერო სივრცის კონტროლი, იზრდება აეროდრომების გამტარუნარიანობა და რაციონალურად ნაწილდება საჰაერო სივრცის გადატვირთულობა, აგრეთვე მცირდება ახალი აეროდრომების მშენებლობისას რადიოლოკაციურ მოწყობილობებზე განკუთვნილი ფინანსური ბიუჯეტი, ვინაიდან ახალი კონცეფციის თანახმად აეროდრომს საერთოდ არ დასჭირდება ძვირადღირებული და რთული საავიაციო სახმელეთო დანადგარები ან მხოლოდ მინიმალური მოთხოვნილებებიდან გამომდინარე. ამავდროულად აეროპორტების მშენებლობა არ იქნება დამოკიდებული რთულ ლანდშაფტურ პირობებზე, განსაკუთრებით ისეთ ქვეყნებში რომლებიც გამოირჩევიან რთული, არაერთგვაროვანი რელიეფით. მაგალითად, საქართველოს პირობებში, ისეთები, როგორც გვხვდება ქალაქ ბათუმსა და დაბა მესტიაში. სამომავლო პერსპექტივებში კი განიხილება აღნიშნული სისტემის გამოყენება ინდივიდუალური საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციისას, განსაზღვრული საჰაერო სივრცეების შეზღუდვისათვის არასანქცირებული უპილოტო აპარატებით ფრენების განხორციელებისაგან. ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება აღინიშნოს სისტემის მრავალფუნქციონალურობა და მისი შესაძლო ადაპტაციის უნარი მეცნიერების და ტექნიკის სხვა სფეროებში.

საჰაერო საფრენი აპარატების სხვადასხვა პირობებში უსაფრთხო ფრენის ან დაფრენა-აფრენის ამოცანების გადაწყვეტისათვის გამოიყენება თანამედროვე ტექნოლოგიებსა და ახალ უსაფრთხო ინოვაციებზე დამყარებული მეთოდოლოგია. საჰაერო საფრენი აპარატების რაოდენობისა და მათი უსაფრთხო ფრენების უზრუნველყოფის მოთხოვნების ზრდასთან ერთად, დროთა განმავლობაში უმჯობესდება და ვითარდება ტექნიკური საშუალებები და მეთოდები, ინერგება ინოვაციური ტექნოლოგიები. მაგალითად, ცუდ მეტეო

პირობებში და დღე-ღამის ბნელ პერიოდში ფრენების შესრულებისათვის საჭირო გახდა ადზ-ს აღმნიშვნელი ორიენტირები და ე.წ. ბრმად დაფრენის ხელსაწყოები, რაც დღევანდელ ავიაციაში ცნობილია შუქსანათი სისტემებისა და ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის სახით. შორ მანძილებზე ფრენების შესასრულებლად ჩამოყალიბდა და დაიხვეწა ნავიგაციის, ავიონიკის კავშირგაბმულობის სისტემები და შესაბამისად ამაღლდა აეროდინამიკული ეფექტურობის მაჩვენებელიც. საყურადღებოა, რომ ინოვაციების დანერგვამ მკვეთრად გააუმჯობესა საავიაციო ინდუსტრია, და რომ არა თანამედროვე ტექნოლოგიები, იგი ვერ მიაღწევდა დღევანდელ მაჩვენებლებს. ცხადია, ეს არ არის საავიაციო ინდუსტრიის განვითარების შესაძლებლობების მწვერვალი, უკეთესი შედეგების მისაღწევად აუცილებელია ამ მიმართულებით კვლევების გაგრძელება და ტექნოლოგიური პროგრესის ინტეგრაცია აღნიშნულ სექტორში. საავიაციო სფეროს გამოჩენის პერიოდიდან მოყოლებული დღემდე, შედეგად, საავიაციო სატრანსპორტო სექტორი ჯერ კიდევ განიცდის ევოლუციას, ანუ ვითარდება სწრაფი ტემპებით და არ ჩამორჩება კაცობრიობის ტექნოლოგიურ პროგრესს. აუცილებელი ხდება მოთხოვნების, ტექნიკური შესაძლებლობებისა და სამომავლო კონცეფციების სწორი რაკურსით დანახვა და შესაბამისი მიმართულებით დახვეწა-განვითარება და მოდიფიკაცია.

სისტემის დამუშავება, განვითარება და სრულყოფაში მოყვანა თანამედროვე ინჟინერიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი გამოწვევაა, რომლის უგულვებელყოფა გამოიწვევს ავიაკოსმოსური ინდუსტრიის ჩამორჩენას და შემდგომში კი - რეგრესს.

წარსული ინჟინერიის გამოცდილებაზე დაყრდნობით შეიქმნა როგორც ავიაციის, ასევე სხვა სფეროებში თანამედროვე, განვითარებადი და მომავალზე ორიენტირებული მართვის ოპტიმალური სისტემები.

ნაშრომის მიზანში გამოკვეთილია თანამედროვე ავიაციის განვითარებადი ინჟინერიის პერსპექტიული ხედვა, როგორც ავიაკოსმოსურ, ისე სატრანსპორტო დარგში. აქედან გამომდინარე დანერგილი კონცეფციის თანახმად მიიღება შემდეგი შედეგები:

- პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობა მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის გათვალისწინებით;
- გაიზარდოს საჰაერო ტრანსპორტის ფრენების შესრულების უსაფრთხოებისა და საიმედოობის მაჩვენებელი;
- შემცირდეს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ჯამური ფონი არსებული რადიოლოკაციური სადგურების შემცირების ან მოდერნიზაციის გზით;
- დაიზოგოს ფინანსური ხარჯები ახალი აეროდრომების მშენებლობისას ლანდშაფტურ-რელიეფური ფაქტორებისა და სანავიგაციო დანადგარებით აღჭურვის გათვალისწინებით;
- შემუშავდეს ერთიანი, გლობალური აეროკოსმოსური ვირტუალურ-კოორდინირებული სანავიგაციო სივრცე, რომელიც მორგებული იქნება კომერციული ავიაციისათვის და ადაპტირებადი სამომავლო უპილოტო თუ პილოტირებადი ინდივიდუალური ტრანსპორტისათვის;
- გამარტივებულ იქნას თანამედროვე დაფრენის სისტემის საიმედოობა/უსაფრთხოება საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობისა და ასაფრენ-დასაფრენი სიზუსტის გაზრდის გათვალისწინებით.

კვლევის მეთოდოლოგია

სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების გადაწყვეტის პროცესში შესრულებული სამეცნიერო კვლევები და გადაწყვეტილებები დამყარებულია მეთოდოლოგიაზე, რომელიც შეიცავს თეორიულ, ლიტერატურულ ანალიზს, კერძოდ უცხოელი და ქართველი მეცნიერების თეორიულ ნაშრომებს, მეთოდებსა და პრაქტიკულ გადაწყვეტილებებს საჰაერო ტრანსპორტის ფრენების შესრულების უსაფრთხოების დარგში და ასევე ნაშრომში აეროდრომის მიმდებარე საჰაერო სივრცის მოდელირების შემუშავებისა და კვლევების მიმართულებით გამოყენებულია მათემატიკური მოდელირების მეთოდოლოგია და განხილულია გრაფების თეორიის ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდების გამოყენების საკითხები საჰაერო ტრანსპორტის ფრენების უსაფრთხოების დარგში. საჰაერო სივრცის ზონებად წარმოდგენის, მათი რადიუსების განსაზღვრისა და კვლევისათვის

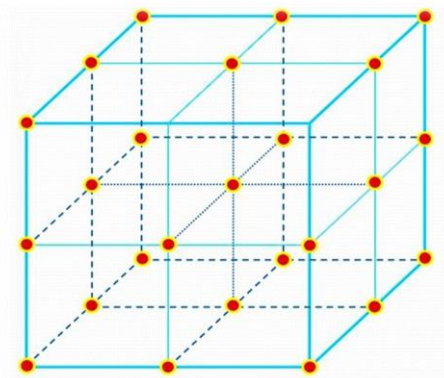
გამოყენებულია რადიოტალღების გავრცელების თეორიის ზოგიერთი ამოცანის გადაწყვეტის მეთოდოლოგია, მაგალითად ფრენელის ზონების გამოთვლისა და რადიოდაფარვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რაც წარმოადგენს საჰაერო სივრცის მოდელირების - ზონებად დაყოფის არატრადიციულ, ორიგინალურ გადაწყვეტას. ნაშრომში გამოყენებულია კვლევები გლობალური ნავიგაციური თანამგზავრული სისტემების GNSS მიმართულებით, გამოყენებულია პოზიციონირების სიზუსტის შეფასებისა და მასთან დაკავშირებული GPS სისტემების ოპტიმალური გამოყენების მეთოდოლოგია.

მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს საჰაერო სივრცის მოდელის გზით წარმოდგენაში, რომელშიც ნებისმიერი შემთხვევით აღებული ყოველი ფიქტიური წერტილი ღებულობს გარკვეული სახის მნიშვნელობებს სამგანზომილებიანი სივრცულ-ვირტუალური კოორდინატის სახით. ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცე შეკრულია გრაფებად, რომელთა წიბოების თანაკვეთა წარმოადგენს კოორდინატების მნიშვნელობას. საჰაერო ხომალდზე აღებული კონკრეტული წერტილის მისწრაფება ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცის კოორდინატთან გვამღევს უკიდურესად გაზრდილ სიზუსტეს მართვისა და საჰაერო სივრცის გამოყენების თვალსაზრისით.

კლასიკურ ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის განვითარების კონცეფციის თანახმად შემოთავაზებულია მოდიფიცირებული სისტემა, რომელიც ითვალისწინებს არსებულ, ექსპლუატაციაში მყოფ კლასიკურ ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის გაუმჯობესებას არა მარტო კომერციული ავიაციის დარგში, არამედ ინდივიდუალური მოხმარების სექტორშიც. მოდიფიკაცია ითვალისწინებს იმ საინჟინრო სიახლეებს, რომელთა დანერგვა დახვეწავს, განავითარებს და სრულყოფაში მოიყვანს თანამედროვე ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემას და სამომავლოდ შეამზადებს საავიაციო სატრანსპორტო ინდუსტრიას. ნაშრომის სამეცნირო სიახლე მდგომარეობს საჰაერო სატრანსპორტო სივრცის მოდელირების ამოცანის გადაწყვეტის თანამედროვე არატრადიციულ მიდგომაში, რომლის მიხედვითაც საფრენი საჰაერო სივრცის

მოდელირებისათვის გამოყენებულია ორიგინალური მეთოდოლოგია. საფრენი საჰაერო სივრცის მოდელი წარმოდგენილია ცალკეული ზონების სიმრავლით, რომელიც ჰქმნის სივრცულ-საკოორდინაციო ველს. მაგალითად, დადგენილ საზღვრებში მოცემული სივრცის (მაგალითად, აეროდრომის საჰაერო სივრცე) მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც განსაზღვრული მახასიათებლებისა და თვისებების მქონე ზონების სიმრავლე: $Z=\{z_1,z_2,z_3,\dots,z_n\}, (i=1,2,3,\dots,n)$. სადაც, ნებისმიერ $z_i \in Z$ ზონას გააჩნია წინასწარ განსაზღვრული ზომები, ადგილმდებარეობა, თვისებები და მახასიათებლები.

ამ ზონების ზომების გამოთვლისათვის გამოყენებულია არატრადიციული, ორიგინალური მეთოდები - საჰაერო სივრცის ზონური მოდელირება და ზონების გამოთვლის მეთოდების მოდიფიკაცია და ახლებური მიდგომები. საჰაერო ზონების სიმრავლე წარმოდგენილია $G(Z) = \{g(z)_1, g(z)_2, g(z)_3, \dots, g(z)_i, \dots, g(z)_n\}$ $i = (1,2,3,\dots,n)$ გრაფის, სადაც n საჰაერო სივრცის ზონების რაოდენობაა და შეესაბამება გრაფის $g(z)_{i \in G(Z)}$ მწვერვალების სახით და საფრენი აპარატების ოპტიმალური მარშრუტების დასადგენად შესაძლებელია გამოყენებული იქნას გრაფების თეორიის ამოცანები. აქედან გამომდინარე სივრცულ-საკოორდინაციო ველი (იხ. ნახ. 1) იქმნება გლობალური პოზიციონირების სისტემაში ჩართული



ნახ.1. სივრცული, ვირტუალურ კოორდინირებული გრაფები

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური სიგნალების გამოყენებით. გერმანელი მეცნიერ-ფიზიკოსის მაქს პლანკის დროს თეორიის გამოყენების საფუძვლად შეგვიძლია აღვნიშნოთ,

რომ რაც მცირეა წარმოდგენილი გრაფი, მით უფრო ზუსტია სისტემა. ამრიგად წარმოდგენილი სისტემა მიისწრაფის სრულყოფილებისადმი.

წარმოდგენილი საკითხების შესწავლისა და კვლევის პროცესში გამოვლინდა გარკვეული სახის ხარვეზები, რომლებიც საბოლოო ჯამში აფერხებდნენ სისტემის თეორიულ კონცეპტუალურ შემუშავება-გამოყენებას საავიაციო დარგში. გამოიკვეთა მიზეზები და მოიძებნა უმარტივესი გადაწყვეტილების გზები.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება ითვალისწინებს, რომ XXI საუკუნეში სწრაფი ტემპებით ვითარდება გლობალური მეცნიერება და ინჟინერიის სხვა და სხვა დარგი, შესაბამისად არც ავია ინდუსტრია ჩამორჩება პროგრესს. ავია სტატისტიკაზე დაკვირვებით ანალიზის შედეგად ცხადი ხდება, რომ აღნიშნული სფერო მეტად მზარდი ტემპებით ვითარდება და სცდება როგორც ადგილობრივ, რეგიონალურ, ასევე კონტინენტალურ მასშტაბებსაც კი. აქედან გამომდინარე ავიაცია მიისწრაფის ჩამოყალიბდეს როგორც ერთიანი, სრულყოფილი და გლობალური მასშტაბის სისტემა. ამ სფეროს თანამედროვეობა ვერ ითავსებს სწრაფი ტემპებით განვითარებას და აუცილებელი ხდება გარკვეული ღონისძიებების ჩატარება მეცნიერულ და ტექნო-ინჟინრულ დარგსა თუ ხედვაში.

იზრდება მოთხოვნა საავიაციო სფეროსადმი, ვითარდება ე.წ. ინდუსტრია და მოთხოვნების დაკმაყოფილება თავისთავად გულისხმობს ავია მიმოსვლების რაოდენობრივ ზრდას, შესაბამისად მთლიანობაში ვლებულობთ საჰაერო ხომალდების მაღალ კონცენტრაციას საჰაერო სივრცის მოქმედ დერეფნებში, აეროდრომებსა თუ თავისუფალი მიმოსვლის უბნებში.

პირველი რამ, რაც უნდა აღინიშნოს, ეს არის თანამედროვე საავიაციო სისტემის ტექნიკური შესაძლებლობები. იმისათვის, რომ დაკმაყოფილდეს მოთხოვნა გაზრდილ ავია მიმოსვლებზე, საჭიროა არსებული საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის მაჩვენებლის გაუმჯობესება და საჰაერო სივრცეში ხომალდების სიმჭიდროვის განეიტრალება, რითიც გაიზრდება უსაფრთხოების ხარისხი.

ზემოაღნიშნული ვითარებიდან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომი დაეთმო არსებული პრობლემის შესწავლას, გამოსავალი გზების ძიებას და სამეცნიერო ტექნოლოგიური კონცეფციების შემუშავებას დარგისა და კაცობრიობის სამომავლო განვითარების შენარჩუნების მიზნით. სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას წარმოადგენს რადიკალურად განსხვავებული ხედვა მომავლის ავია დარგის მიმართ, რომელშიც წარმოდგენილია არა მარტო ტრადიციული საჰაერო ხომალდები, არამედ პილოტირებადი და უპილოტო ინდივიდუალური დანიშნულების საჰაერო ტრანსპორტი. ნაშრომისა და კონცეფციის შემუშავება დაიწყო სწორედ ამ აღნიშნული სექტორის დამუშავებით. ნაშრომში აღწერილი კონცეფციის თანახმად, კვლევა-ძიებისა და თანამედროვე საინჟინრო შესაძლებლობებზე დაყრდნობით აღმოჩნდა, რომ ავია ინდუსტრიას აქვს უკიდევანო შესაძლებლობები და განვითარების უზომოდ დიდი პოტენციალი. ე.ი. საჭიროა თანამედროვე ავია მოთხოვნების დაკმაყოფილება ისე, რომ აღნიშნული სფერო წინასწარ შევამზადოთ, საფუძველი ჩავუყაროთ სამომავლო მოთხოვნების, ტენდენციების და განვითარებადი კაცობრიობისათვის. ამისათვის შემუშავდა კონცეფცია, რომელიც პასუხობს და აკმაყოფილებს როგორც თანამედროვეობის, ასევე მომავლის მოთხოვნებს. კერძოდ კი შემოღებულ იქნა ცნება ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცული ბადე და საჰაერო სივრცის მოდელირება. აღმოჩნდა, რომ ე.წ. ვირტუალური კოორდინატები და საჰაერო სივრცის მოდელი შესაძლებელია წარმოდგენილ იქნას აწ უკვე პრაქტიკაში და ავიაციაში გამოყენებად დედამიწის ორბიტალურ გლობალურ თანამგზავრულ ტექნოლოგიაზე დაყრდნობით. თანამგზავრული ტექნოლოგიის მეშვეობით შესაძლებელია აღიწეროს პლანეტარული სივრცის ნებისმიერი ვირტუალური კოორდინატი. აქედან გამომდინარე საჰაერო მფრინავ ობიექტს უჩნდება შესაძლებლობა გადაადგილდეს არა ტრადიციული მეთოდებით, არამედ სივრცულ კოორდინატებზე დაყრდნობით. ასეთი სახით მიდგომა საავიაციო სანავიგაციო სფეროსადმი გვაძლევს შესაძლებლობას გავანეიტრალოთ საჰაერო ტრანსპორტის კონცენტრაცია კრიტიკულ უბნებზე, რაც თავისთავად გაზრდის

საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობას, ეს უკანასკნელი კი დადებითი მაჩვენებლის სახით აისახება ავია უსაფრთხოების დარგზე. ამავდროულად ჩნდება უამრავი სხვა ახალი შესაძლებლობა, მაგალითად, ისეთი როგორცაა გარკვეული საჰაერო ზონების დაცვა არასანქცირებული უპილოტო საფრენი აპარატებისაგან, კონკრეტული საჰაერო ხომალდისათვის ინდივიდუალური ე.წ. მწვანე დერეფნების შემუშავება და სხვა. ყოველივე ეს ზემოხსენებული წარმოადგენს აწმყო და სამომავლო განვითარების დედაბოძს, მყარ საფუძველს, რომელიც გვევლინება ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულების სახით.

ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავისა და შემაჯამებელი დასკვნისაგან.

- ❖ *პირველ თავში აღწერილია კლასიკური, ექსპლუატაციაში გამოყენებადი ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა. განხილულია სხვა და სხვა მოდიფიკაციები, გაანალიზებულია სისტემის შესაძლებლობები, სამომავლო განვითარების პერსპექტივები, უსაფრთხოების, გამტარუნარიანობისა და მინიმალური დასაშვები ზღვრების კრიტერიუმები. კრიტიკულადაა განხილული ის შესაძლო ტექნიკური უარყოფითი მახასიათებლები, რომლებიც ექვემდებარებიან სამომავლო განვითარებას და აღნიშნულია მოწინავე პროგრესირებადი ტექნოლოგიებით ჩანაცვლების კონცეფცია.*
- ❖ *მეორე თავში აღწერილია და განხილულია კოსმოსურ-თანამგზავრული სანავიგაციო სისტემა. შეფასებულია მისი შესაძლებლობები საავიაციო სისტემებთან მიმართებაში, გამოვლენილია პრაქტიკული ექსპლუატაციისათვის ხელისშემშლელი ტექნიკური ასპექტები. კენცეპტუალურ დონეზე მორგებულია თანამედროვე საავიაციო სისტემებთან და გაანალიზებულია თავსებადობის კრიტერიუმები სამომავლო პერსპექტიულობის თვალსაზრისით.*
- ❖ *მესამე თავი წარმოადგენს პირველი და მეორე თავების სინთეზურ კომბინაციას. აღნიშნული თავი განკუთვნილია არსებული თანამედროვე ტექნიკურ-ტექნოლოგიური შესაძლებლობების მქონე კონცეპტუალური სისტემის შემუშავებასა და პრაქტიკულ ექსპლუატაციაში მოყვანისათვის.*

განსაზღვრულია პირველ-მეორე თავში წამოჭრილი საკვანძო თუ პრობლემური საკითხები, შემუშავებულია მათი გადაჭრის ინჟინრულ-ტექნოლოგიური გზები, ამავდროულად გამოვლენილია თეორიულ-კვლევითი სიახლეები და ნაჩვენებია კონცეპტუალური სისტემის სამომავლო განვითარების შესაძლებლობები, საექსპლუატაციო მახასიათებლები და დარგობრივი განვითარების პერსპექტივები.

- ❖ შემაჯამებელი დასკვნა დადებულია ჩამოთვლილი პუნქტების სახით.

თავების ძირითადი ნაწილი, ზოგადი მოცემულობა და თითოეული თავის შეფასება, შედეგი და დასკვნა მოყვანილია ქვემოთ:

I თავი.

საჰარო ხომალდების დაფრენის სისტემა

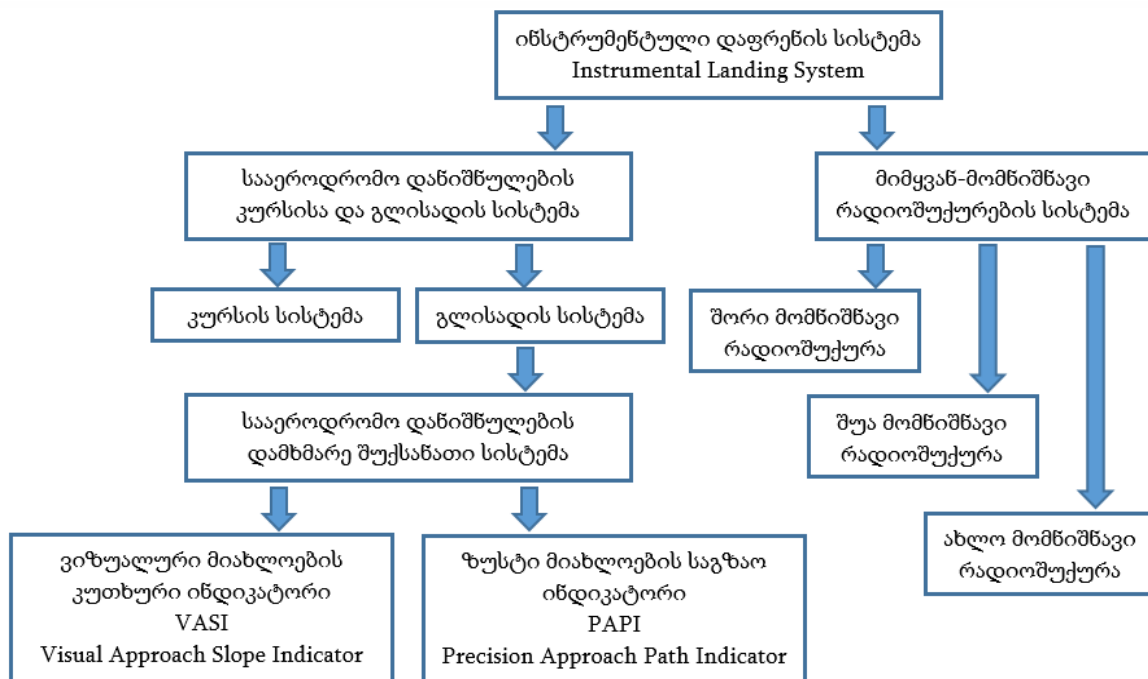
პირველ თავში აღწერილია თანამედროვე კლასიკური ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა (ILS), რომელიც გამოიყენება, როგორც სახმელეთო დანიშნულების რადიოტექნიკური სისტემის მოდული, საჰარო ხომალდების უსაფრთხო დაფრენა-აფრენისათვის და ამავდროულად ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე ზუსტი მიყვანისათვის. განხილულია სისტემის მოქმედების პრინციპი, შეფასებულია ტექნიკური შესაძლებლობები და ვიზუალური მეტეომინიმუმებისას სისტემის გამოყენების საზღვრები. აგრეთვე კრიტიკულადაა დასმული საკითხი ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის სამომავლო პერსპექტივებთან, ეკონომიკურ მაჩვენებელთან და სხვა სანავიგაციო სისტემებთან ადაპტირებადობასთან დაკავშირებით. მოყვანილია შედარებითი ანალიზი სხვა ალტერნატიულ, გაცილებით მარტივ და მეტი დადებითი მახასიათებლების მქონე სისტემასთან მიმართებაში. მკაფიოდაა წარმოდგენილი კლასიკური სისტემის უარყოფითი მხარე მოწინავე კონცეპტუალურ ტექნოლოგიასთან შედარებით.

საკურსო და გლისადის სისტემის ზოგადი აღწერილობა

სააეროდრომო დანიშნულების ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა მოიცავს საკურსო და გლისადის ინდიკაციის სისტემებს, მიმყვან-მომნიშნავ, ანუ მარკერული რადიოშუქურების სისტემას, რომელიც თავის მხრივ აეროდრომის კატეგორიის მიხედვით შეიძლება შედგებოდეს ორი ან სამი რადიოშუქურისაგან, თუმცა სისტემა ითვალისწინებს შორ, შუა და ახლო მომნიშნავ მარკერულ რადიოშუქურებს. გლისადის სისტემას, გარდა რადიოტექნიკური მეთოდით ფუნქციონირებისა, შეიძლება მივაკუთვნოთ შუქსანათი სისტემების მოდულები, ისეთები როგორცაა ვიზუალური მიახლოების კუთხური ინდიკატორი (VASI –

Visual Approach Slope Indicator) და ზუსტი მიახლოების საგზაო ინდიკატორი (*PAPI – Precision Approach Path Indicator*).

კურსისა და გლისადის სისტემის დანიშნულებაა სააეროდრომო ადზ-ს ხილვადობის არარსებობის პირობებში (და არა მხოლოდ) გრძივი ღერძისა და გლისადის ხაზის ინსტრუმენტულ-ვირტუალური წარმოჩენა საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟისათვის დაფრენის პროცედურების შესასრულებლად დაფრენის ეტაპზე გადასული ხომალდისათვის. ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის ზოგადი სტრუქტურა/შემადგენლობა იხილეთ ნახ.2.

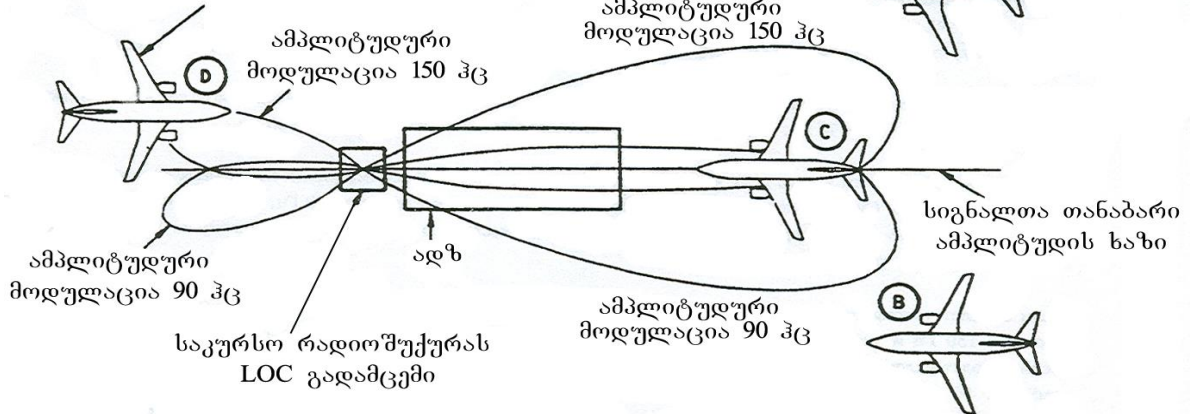


ნახ. 2. ILS-ის ზოგადი სტრუქტურა და შემადგენლობა

ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის რეჟიმში (რეჟიმი ILS) სისტემა უზრუნველყოფს (ადზ-სთან მისვლისას) ფრენის მოცემული მიმართულების დაცვას ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში სისტემა ინფორმაციას გასცემს გლისადის (G/S) ხაზიდან და დაფრენის საკურსო რადიომუქურას (LOC) თანაბარსიგნალიანი ზოლიდან გადახრის სიგნალების სახით.

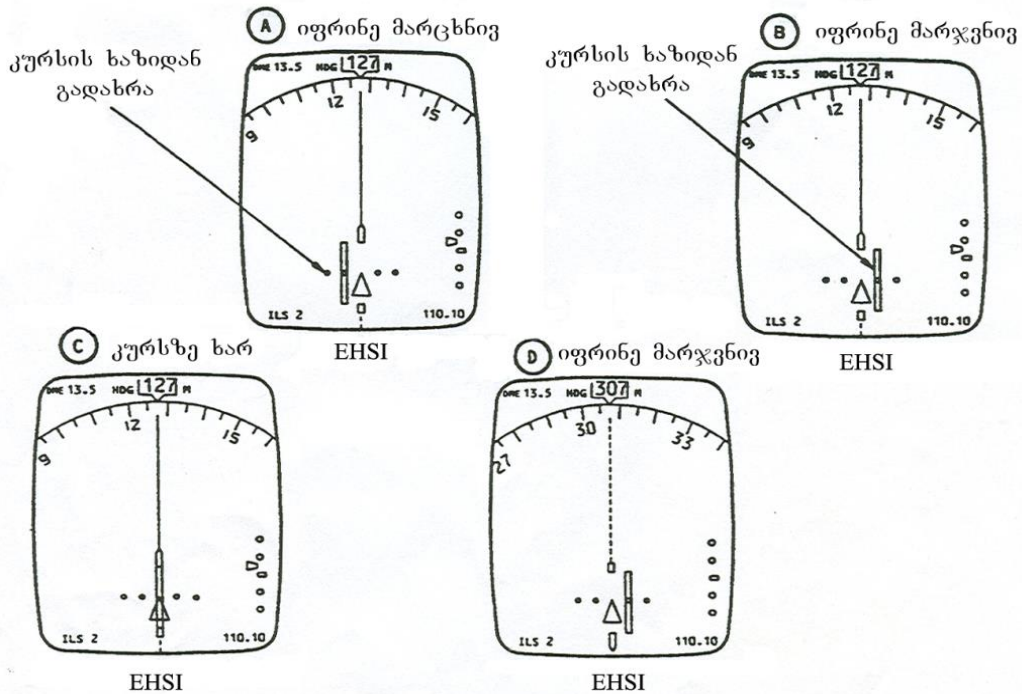
ნახ.3.- ზე ნაჩვენებია საკურსო რადიომუქურას გამოსხივების მიმართულებათა დიაგრამები და თვითმფრინავის განლაგების სხვადასხვა შემთხვევა ადზ-ს მიმართ.

თვითმფრინავი იმყოფება უკანა სხივის ზონაში (თვითმფრინავის კურსი დაყენებულია წინა სხივზე)



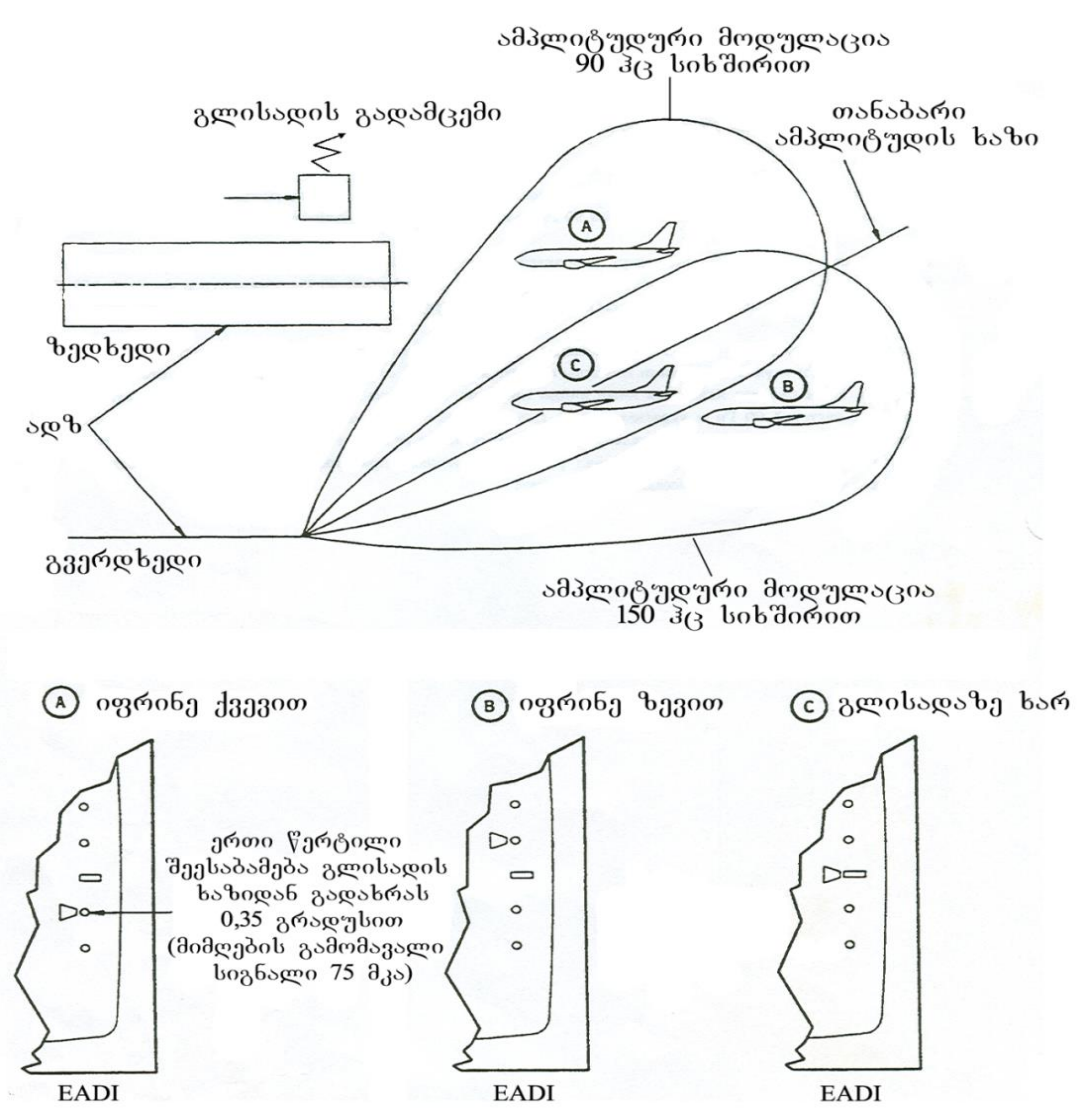
ნახ. 3. რადიოსანავიგაციო სისტემის რეჟიმში ILS მუშაობის პრინციპი

ნახატზე 1.3.7. აღნიშნულია თვითმფრინავის სხვადასხვა მდებარეობა საკურსო რადიოსუქურას მიმართ; აღნიშნული ნახატიდან გამომდინარე მფრინავი კაბინაში ხელსაწყოების ინდიკატორზე ხედავს ხომალდის საკურსო ხაზიდან გადახრის მნიშვნელობებს, რომელიც გრაფიკულად და რიცხვითი მნიშვნელობების მისადაგებით აისახება. იხ. ნახ. 1.3.8.



ნახ. 3. მფრინავის კაბინაში არსებული ხელსაწყოები და თვითმფრინავის მდებარეობის ვიზუალური ასახვა საკურსო ხაზის მიმართ

გლისადის რადიოშუქურას არხის მუშაობის საფუძველში დევს ორი გამოსხივებული სიგნალის (მიმართულების დიაგრამის) ამპლიტუდების შედარება: ერთის, რომელც მოდულირებულია 90 ჰც სიხშირის ძაბვით, და მეორის, რომელიც მოდულირებულია 150 ჰც სიხშირის ძაბვით. გლისადის ხაზი წარმოადგენს ხაზს, რომელზეც ორივე ამ სიგნალს ერთნაირი ამპლიტუდა აქვს. თუ თვითმფრინავი გლისადის ხაზის ზემოთ იმყოფება, მაშინ 90 ჰც-იანი სიგნალის ამპლიტუდა აღემატება 150 ჰც-იანი სიხშირის სიგნალის ამპლიტუდას და გლისადის ხაზის მაჩვენებელი წაინაცვლებს გადახრის სკალაზე ქვევით, მიუთითებს რა, რომ გლისადის ხაზი დევს თვითმფრინავის ქვემოთ. იხ. ნახ. 4.



ნახ. 4. გლისადის რადიოშუქურას არხის მუშაობის პრინციპი და თვითმფრინავის მდებარეობის ასახვა გლისადის ხელსაწყოებზე

გლისადის დახრის კუთხე შეიძლება იცვლებოდეს აეროდრომის ადგილმდებარეობისა და გარშემო რელიეფიდან გამომდინარე. სტანდარტულად მიღებულია, რომ გლისადის დახრის კუთხე ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან მიმართებაში შეადგენს 3⁰-სს. რაც უფრო ნაკლებია გლისადის დახრის კუთხე, მით უფრო მოხერხებულია თვითმფრინავის დასმა ადზ-ზე, იმდენად რამდენადაც მცირდება თვითმფრინავის დაშვების ვერტიკალური სიჩქარე. ისეთ აეროდრომებზე, რომლებზეც რელიეფი არ უშლის ხელს დაფრენას გლისადის დახრის კუთხე შეადგენს 2,4⁰-სს, ხოლო ქალაქისა და რთული რელიეფის პირობებში გლისადის დახრის კუთხე შეიძლება შეადგენდეს 3,4⁰-სს.

I თავის შეფასება, შედეგი და დასკვნა

სადისერტაციო ნაშრომის პირველი თავი ეთმობა არსებულ კლასიკურ და გამოყენებაში მყოფ თანამედროვე ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის აღწერილობა-მიმოხილვასა. აგრეთვე განხილულია მსგავსი ტიპის სისტემები, მიკროტალღური დაფრენის სისტემა (MLS) და ავრომატური დამოკიდებული სამეთვალყურეო მაუწყებლობა (ADS-B), რომელიც მიეკუთვნება არაზუსტ დამხმარე დაფრენის ქვესისტემას.

პირველი თავიდან გამომდინარე მიღებული შედეგი გვამცნობს, რომ არსებული და ამჟამად ექსპლუატაციაში მყოფი საავიაციო დანიშნულების დაფრენის სისტემები მეტად სანდოა თავიანთი ფუნქციონირებიდან გამომდინარე. ILS ტიპის სისტემის სიზუსტე განისაზღვრება მეტრულ დიაპაზონში, რაც აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს. MLS უფრო ზუსტია და იძლევა ადზ-ზე დაფრენისას მისვლის შედარებით მეტ შესაძლებლობას, ეს კი, გარკვეულწილ ზრდის აეროდრომის გამტარუნარიანობას, თუმცა უდიდეს დატვირთვას მატებს საჰაერო მაომრაობის მართვის სადისპეჩერო სამსახურს, რომელშიც არავითრ შემთხვევაში არ უნდა გამოგვრჩეს ადამიანური ფაქტორის გათვალისწინება. ხოლო რაც ეხება ADS-B ქვესისტემას, ის წარმოადგენს თანამგავრული მოდულის ე.წ. მიმართულებას და წარმატებით გამოიყენება ტრანსკონტინენტალური ფრენების შესრულებისას და დაფრენის ეტაპზე გარკვეული სირთულეების გამოვლინების დროს სიზუსტის

გაზრდის მიზნით. ეს ყოველივე საკმარისობის ზღვარზეა დღევანდელი დღის საავიაციო ბაზრის მოთხოვნებიდან გამომდინარე (პირველად ავიაციის ისტორიაში 2001 წლის 11 სექტემბერს აშშ-ს საავიაციო სატრანსპორტო დეპარტამენტის მიერ გაიცა განკარგულება საჰაერო სივრცეში ნებისმიერი საჰაერო ხომალდის მყისიერი და სავალდებულო დაფრენის შესახებ უახლოვეს აეროდრომზე. 4000-ზე მეტი სამგზავრო ხომალდი აღმოჩნდა იმ მომენტისათვის აშშ-ს საჰაერო სივრცეში. დღეს ეს მაჩვენებელი პრაქტიკულად გასამმაგებელია). აუცილებელია უკვე დღევანდელ დღეს მომავალთან დაკავშირებით ფიქრი და ახალი საავიაციო ინჟინერიის შესაძლებლობების განვითარება. ILS და MLS პრიმიტიულია რომ ვთქვათ, კარგია, თუმცა მომავლისათვის რეალურად არასაკმარისია თავიანთი შესაძლებლობების შეზღუდვების გამო. უარყოფითი მაჩვენებლები გამოვლენილია ქვემო ჩამონათვალში:

- სისტემის სტაციონარულობა;
- რელიეფსა და ლანდშაფტზე დამოკიდებულება;
- ინდივიდუალიზაცია, სადაც იგულისხმება სისტემის მხოლოდ და მხოლოდ საავიაციო სფეროში დანიშნულების მიხედვით გამოყენება;
- ადაპტირებადობის სირთულე სხვა სანავიგაციო სისტემებთან;
- მაღალი ფინანსური სიძვირე;
- გამტარუნარიანობის და მოქმედების არეალის შეზღუდულობა;
- კონცენტრირებული და მაღალი ელექტრომაგნიტური გამოსხივება აეროდრომების მიმდებარე ტერიტორიებზე;
- არასაკმარისი სიზუსტე მხედველობით მეტეომინიმუმებთან დაკავშირებით გარკვეული ამინდის პირობებისას.
- ელექტრომაგნიტური ეკოლოგიის ფაქტორი.

ყოველივე აღნიშნული მეტად სერიოზული და არასასურველი ფაქტორია სწრაფი ტემპებით განვითარებადი სფეროსათვის. შესაბამისად, აუცილებელია მათი გამოვლენა, სწორად მოაზრება-გათვიცნობიერება, იმასთან დაკავშირებით თუ როგორ შედეგამდე მივა ე.წ. საავიაციო ინდუსტრია აღნიშნული სისტემის გრძელვადიანი ექსპლუატაციისას, ისეთის, როგორიც არის დღეს.

შესაძლებელია არსებული ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის მოდიფიცირება, თუმცა მისი სამომავლო გამოყენების რესურსი და პოტენციალი გარკვეულწილ ჩამორჩემა თანამგზავრულ სისტემებთან მიამრთებაში.

მოდიფიკაცია:

ბრტყელ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განთავსებული საკურსო რადიომუქურის ანტენა სივრცეში ქმნის შემდეგ სიგნალებს: ვიწრო არხის გადამტანი სიხშირე გვერდითი სიხშირეებით - $U_{csf}(\varphi, t)$;

$$U_{csf}(\varphi, t) = x(\varphi, t) \cos(\omega_{cf} t + \psi_{cf});$$

სადაც:

$x(\varphi, t) = F_{csf}(\varphi) * [1 + m \cos(\Omega_1 t) + m \cos(\Omega_2 t)]$, φ - აზიმუტის კუთხე, $F_{csf}(\varphi)$ - ანტენის მიმართულობის დიაგრამა აზიმუტის გასწვრივ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ω_{cf} - გადამტანი სიგნალის კუთხური სიხშირე, ψ_{cf} - გადამტანი სიხშირის საწყისი ფაზა, m - მოდულაციის სიღრმე; $\Omega_1 = 2\pi f_1$; $\Omega_2 = 2\pi f_2$.

ვიწრო არხის სიგნალი „გვერდითი სიხშირე“ - $U_{sf}(\varphi, t)$

$$U_{sf}(\varphi, t) = y(\varphi, t) \cos(\omega_{sf} t + \psi_{sf});$$

სადაც:

$x(\varphi, t) = a_s F_{sf}(\varphi) * [1 + m \cos(\Omega_1 t) - m \cos(\Omega_2 t)]$, a_s - მოდულაციის $\Omega_1 = 2\pi f_1$ და $\Omega_2 = 2\pi f_2$ კუთხური სიხშირეებით შექმნილი სიგნალების ამპლიტუდების თანაფარდობის კოეფიციენტი.

ფართო არხის სიგნალი - „გადამტანი სიხშირე პლიუს გვერდითი სიხშირეები“ :

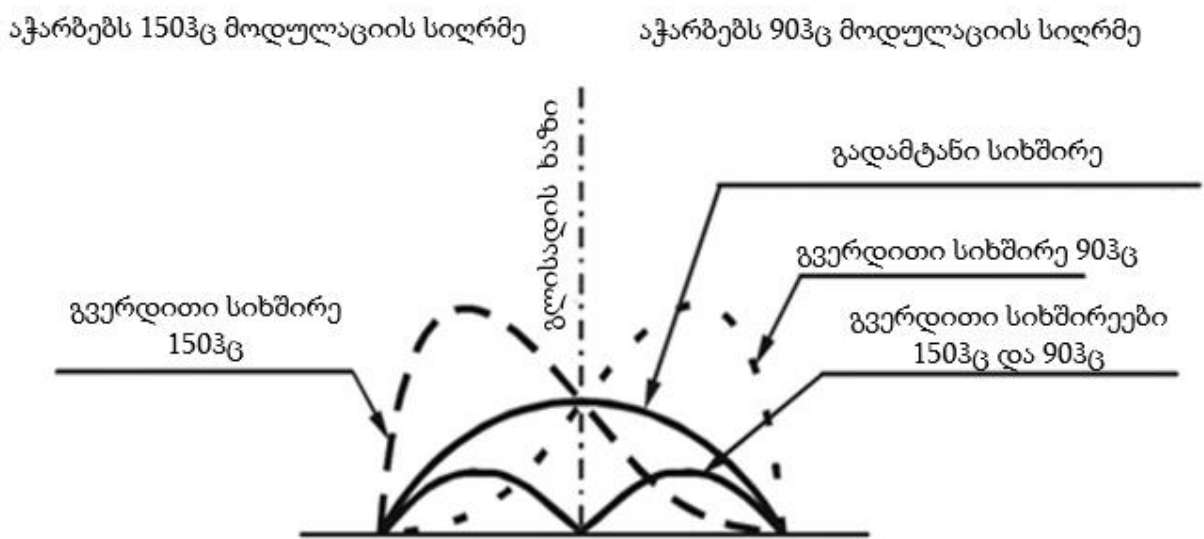
$$U_{sf}^{wch}(\varphi, t) = v(\varphi, t) \cos(\omega^{wch} + \psi^{wch});$$

სადაც:

$v(\varphi, t) = b F^{wch}(\varphi) * [1 + m \cos(\Omega_1 t) + m \cos(\Omega_2 t)]$, b - კოეფიციენტი, რომელიც ფართო არხის გვერდითი სიხშირის ამპლიტუდის ვიწრო არხის გვერდითი სიხშირის ამპლიტუდასთან ფარდობის ტოლია.

რადიომუქურა თავისი მოქმედების არეალში ქმნის ელექტრომაგნიტურ ველს, რომლის ინფორმაციულ პარამეტრს წარმოადგენს მოდულაციის სიღრმის

სხვაობის სიბრტყე (მსს) (*The difference of modulation depth - DMD*), რომელიც ნულის ტოლია. ამ სიბრტყის კურსთან გადაკვეთის შემთხვევაში ქმნის გლისადის ხაზს. რადიოშუქურას მიმართულობის დიაგრამა შედგება ორი დიაგრამის ჯამისგან - ქვედა გვერდული სიხშირე და გვერდული სიხშირე. ამ ორი სიგნალის შეჯამებისას სივრცეში წარმოიქმნება გადამტანი სიხშირის ველი, რომლის 90 და 150 ჰც სიხშირით მოდულაციის სიღრმე იცვლება მოქმედების ზონაში. გლისადის ხაზის აჭარბებს ზემოთ 90 ჰც მოდულაციის სიღრმე, ხოლო გლისადის ხაზის ქვემოთ - 150 ჰც მოდულაციის სიღრმე. გლისადის ხაზის გასწვრივ მოდულაციის სიღრმე ნულის ტოლია და თუ გლისადის ხაზიდან მოცილების შემთხვევაში მოდულაციის სიღრმის სხვაობა იცვლება, იხ. ნახ.5



ნახ.5. საგლისადო სისტემის შუქურას სიგნალების გამოსხივების დიაგრამა

შემოვიტანოთ გარკვეული სიახლე და ახლებურად მივუდგეთ საკურსო რადიოშუქურას მოქმედების პრინციპებს. მიმართულობის ნორმირებული დიაგრამის სახე.

განვიხილოთ ახლებური მიდგომა საკურსო რადიოშუქურას მუშაობის პრინციპების მიმართულებით. ამისთვის გამოვიყენოთ გადამცემი ანტენის მიმართულობის ნორმირებული დიაგრამა, რომლის გაძლიერების კოეფიციენტი (ანტენის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტი) ან ანტენით გამოსხივებული

სიმძლავრე გამოსხივების ყველა მიმართულებით ნორმირებულია მისი მაქსიმალური მნიშვნელობის მიმართ.

როგორც ვიცით ანტენის მიმართულობის დიაგრამა ასახავს ელექტრომაგნიტური ველის განაწილებას შორეულ ზონაში და მთლიანად განისაზღვრება \bar{f} ვექტორული ფუნქციით, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ დაკვირვების წერტილის სფერულ კუთხურ (α, φ) კოეფიციენტებზე.

$$\bar{f} = \bar{f}(\alpha, \varphi) = \bar{f}_\alpha(\alpha, \varphi) \cdot \bar{1}\bar{\alpha} + \bar{f}_\varphi(\alpha, \varphi) \cdot \bar{1}\bar{\varphi},$$

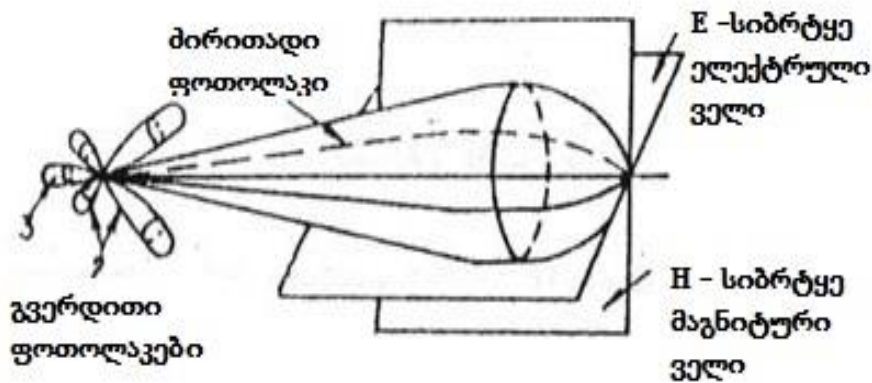
სადაც: $\bar{1}\bar{\alpha}$ და $\bar{1}\bar{\varphi}$ -- კოორდინატთა სფერული სისტემის ორტებია.

შორეული ზონა ჩვეულებრივ განისაზღვრება პირობებით:

$$\text{მკვეთრად მიმართული ანტენებისათვის} - r \geq 2 \frac{L^2}{\lambda};$$

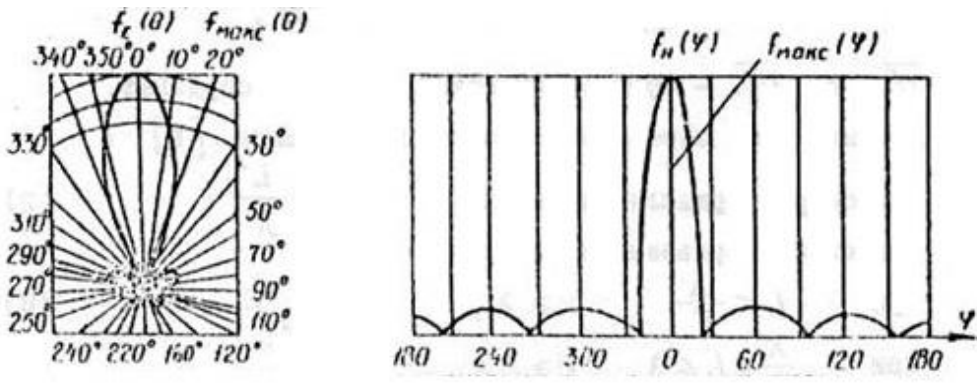
სუსტად მიმართული ანტენებისათვის - $r \geq \lambda$, როდესაც ანტენის მაქსიმალური ზომა $L < \frac{\lambda}{2}$, და $r \geq 2\lambda$, როდესაც ანტენის მაქსიმალური ზომა - $\frac{\lambda}{2} < L \leq \lambda$.

ანტენის ელექტრომაგნიტური ველის სივრცული მიმართულობის დიაგრამის ქვეშ იგულისხმება \bar{f}_α და \bar{f}_φ ფუნქციათა მოდულის ცვლილება დამოკიდებულია ჰორიზონტალურ - α და ვერტიკალურ - φ კუთხურ კოორდინატებზე და შესაბამისად იცვლება ველის დონეებიც.



ნორმირებული დიაგრამის კუთხური ფუნქციები ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში:

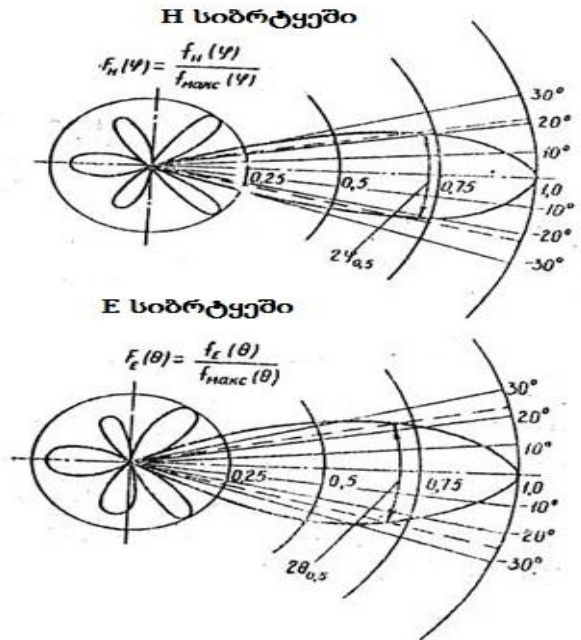
$$f_E(\alpha) = |f(\alpha, \varphi_0)|; \quad f_H(\varphi) = |f(\alpha_0, \varphi)|$$



ანტენის მიმართულობის დიაგრამა

კოორდინატა
პოლარული
სისტემა

კოორდინატა
მართკუთხა
სისტემა



ანტენის მიმართულობის ნორმირებული დიაგრამა პოლარულ კოორდინატებში

შეასაბამისად, ანტენის მიმართულობის ნორმირებული დიაგრამა შემდეგნაირად აისახება:

$$F(\alpha, \varphi) = \frac{f(\alpha, \varphi)}{f_{maks}(\alpha, \varphi)}$$

ანტენის მიმართული ქმედება უმეტესად ფასდება დიაგრამის სიგანით, ანუ მთავარი ფოთოლაკის გახსნის კუთხით. ეს არის იმ მიმართულებებს შორის კუთხე, რომელთა გასწვრივ ველის დამაბულობა მცირდება $\sqrt{2}$ -ჯერ

მაქსიმალური გასხივების მიმართულებით არსებულ ველის დამაბულობასთან შედარებით და ველის ნაკადი მცირდება ორჯერ.

ველის ელექტრული დამაბულობა E_0 და ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივე Π განისაზღვრება ფორმულით (ვედენსკის ფორმულა):

$$E_0 = \frac{(\sqrt{30 \cdot P_a \cdot G_a}) \cdot K \cdot f(\alpha) \cdot f(\varphi)}{r_m} \text{ ვ/მ}; \quad (1)$$

$$\Pi = \frac{E_0^2}{3,77} \text{ მკვტ/სმ}^2. \quad (2)$$

სადაც: φ - გამოსხივების ძირითად მიმართულებასა და დაკვირვების წერტილის შემაერთებელი სხივის ვერტიკალურ სიბრტყეში დახრის კუთხეა, α - გამოსხივების ძირითად მიმართულებასა და დაკვირვების წერტილის შემაერთებელი სხივის ჰორიზონტში გაშლის კუთხეა, $f(\varphi)$ - კუთხური ფუნქციაა ვერტიკალურ სიბრტყეში, $f(\alpha)$ - კუთხური ფუნქციაა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში სიბრტყეში; კუთხური ფუნქციები განისაზღვრება შესაბამისი ანტენის ნორმირებული დიაგრამის ცხრილიდან.

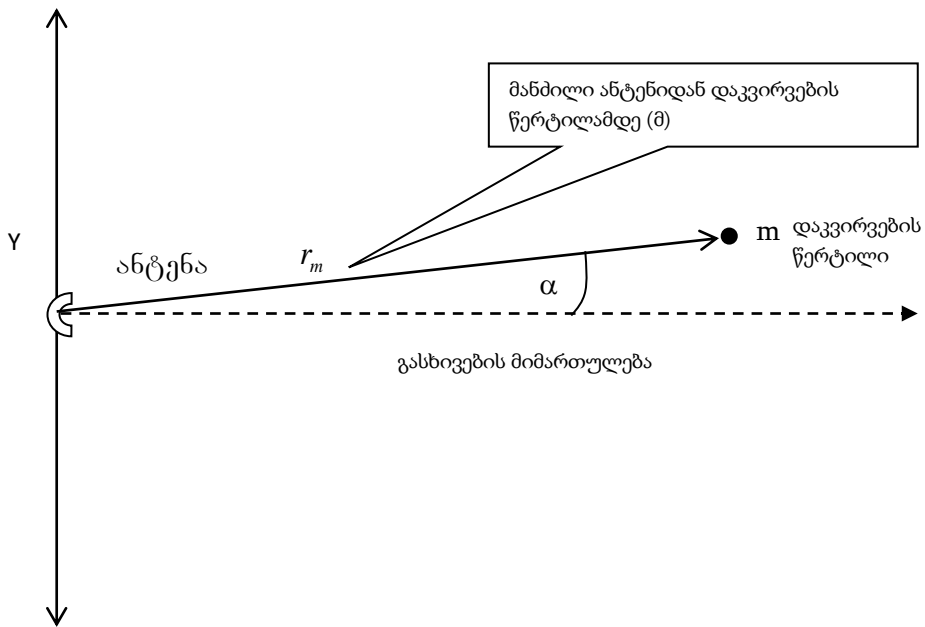
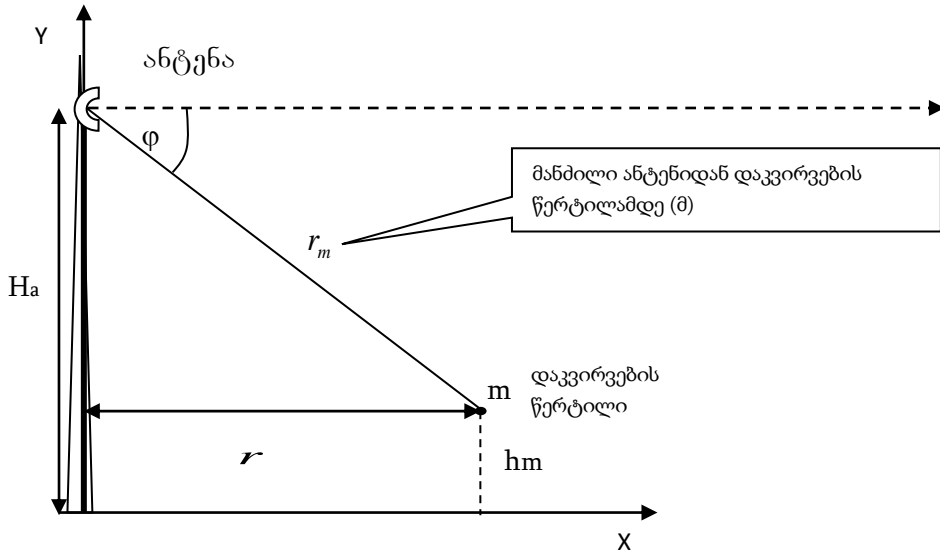
P_a - რადიოგადამცემიდან ანტენაზე მიწოდებულის იმპლავრეაცტ-ში;

G_a - ანტენის გამლიერების კოეფიციენტი;

$K \approx 1.15 \div 1.3$ -- მილევის მამრავლი, რომელიც ასახავს ინტერფერენციის და რეფრაქციის მოვლენებს;

$f(\alpha)$ და $f(\varphi)$ - მიმართულობის დიაგრამის კუთხური ფუნქციაა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

ვერტიკალურ სიბრტყეში დახრის φ კუთხე და ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გაშლის α კუთხე განისაზღვრება დაკვირვების ობიექტის (წერტილის) ადგილმდებარეობით (იხ ნახ. 6)



ნახ.6 φ და α განსაზღვრის კუთხე ობიექტის ადგილმდებარეობაზე დამოკიდებულებით

სადაც:

ha და hm შესაბამისად ანტენისა და დაკვირვების წერტილის სიმაღლეებია ზღვის დონიდან ან მიწის სფეროდაპირიდან.

თვითმფრინავის დაფრენის კურსის განსაზღვრისათვის საკურსო რადიომუქურას მოქმედებისათვის გამოვიყენოთ ანტენის ნორმირებული დიაგრამის ჰორიზონტალურ სიბრტყეში კუთხური ფუნქციების განსაზღვრის პრინციპი.

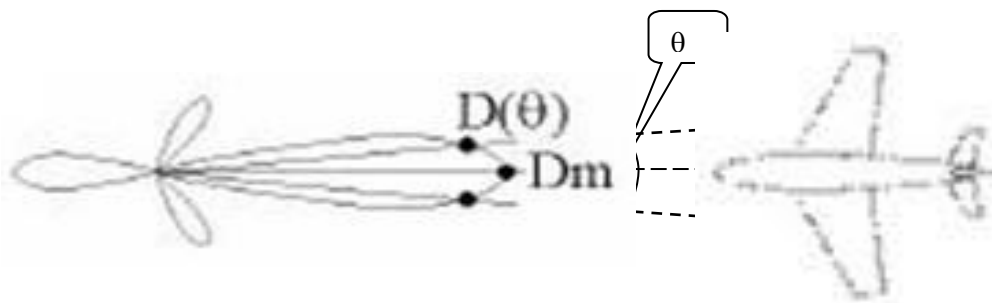
დავუშვათ, მფრინავი ობიექტის ცენტრში განთავსებულია ერთი მიმღები მოწყობილობა, რომელიც იღებს და აფიქსირებს რადიოშუქურიდან გამოსხივებულ ელექტრომაგნიტურ ენერგიას.

აშკარაა, თუ რადიოშუქურას მიმართულობის დიაგრამა ემთხვევა დაფრენის კურსს $\alpha = 0$, მაშინ ელექტრული ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა E_{0maks} (ვ/მ) მაქსიმალურია და კუთხური ფუნქცია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში $f(\alpha) = 1$. დროის მოცემულ t_i ინტერვალში ჰორიზონტალურ სიბრტყეში კურსიდან გადახრის შემთხვევაში $\alpha > 0$ და ელექტრული ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა $E_{\alpha > 0}(t_i) < E_{0maks}$ და შესაბამისად $f(\alpha) < 1$ (იხ ნახ.).

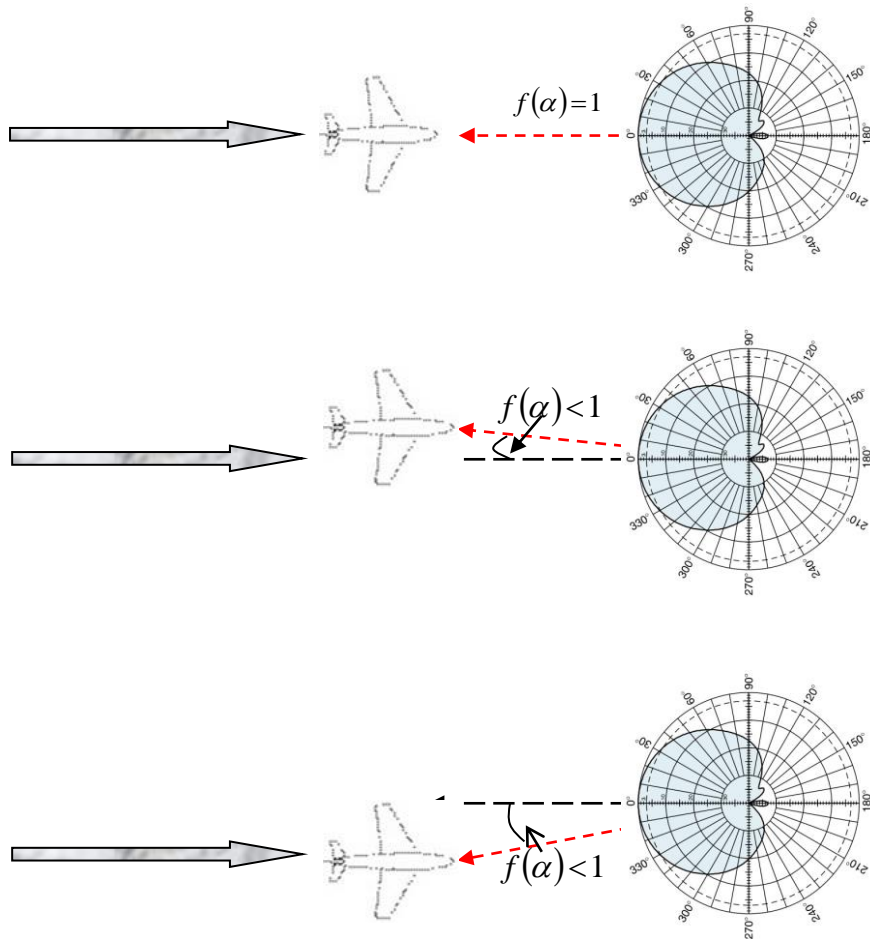
კუთხური ფუნქცია შეიძლება განისაზღვროს (1) ფორმულიდან:

$$f(\alpha) = \frac{E_0 \cdot r_m}{(\sqrt{30 \cdot P_a \cdot G_a}) \cdot K \cdot f(\varphi)}; \quad (3)$$

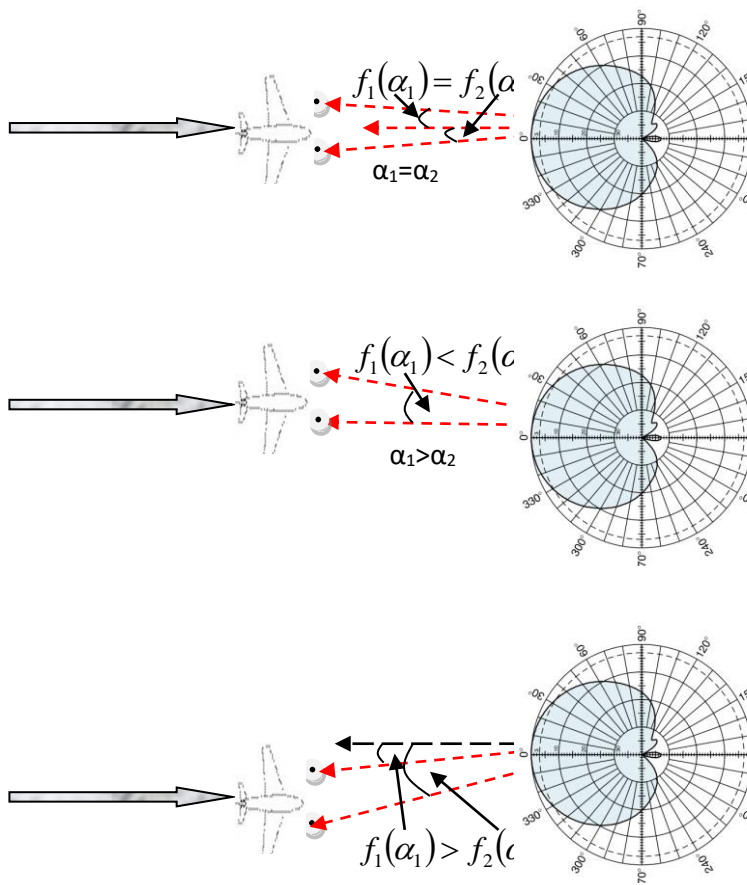
საკურსო რადიოშუქურას მოქმედების ასეთი პრინციპის ძირითადი ნაკლია კურსიდან გადახრის (კურსის მარცხნივ თუ მარჯვნივ გადახრა) ადგილმდებარეობის განსაზღვა. ეს განპირობებულია ბორტზე მხოლოდ ერთი მიმღების არსებობით. მაგალითად, კურსიდან ერთნაირი კუთხით მარცხნივ ან მარჯვნივ გადახრისას კუთხური ფუნქციები ტოლი იქნება და შედეგად გაძნელება სწორი კურსის შერჩევა. ამ შემთხვევაში გამოყენებული უნდა იყოს GPS სისტემები. ამ ნაკლის გამოსწორების შესაძლებლობას იძლევა თვითმფრინავის ბორტზე ორი სიმეტრიულად განთავსებული მიმღებების გამოყენება რომელთა ადგილმდებარეობა განისაზღვრება მთავარი ფოთოლაკის გახსნის θ კუთხით - (იხ. ნახ. 7).



ნახ.7. მთავარი ფოთოლაკის გაშლის კუთხე მიმღებების ადგილმდებარეობასთან მიმართებაში



ნახ.8 დაფრენის კურსიდან გადახრის შესაბამისი კუთხური ფუნქციები - ერთ მიმღებზე



ნახ.9 დაფრენის კურსიდან გადახრის შესაბამისი კუთხური ფუნქციები - ორ მიმღებზე

II თავი.

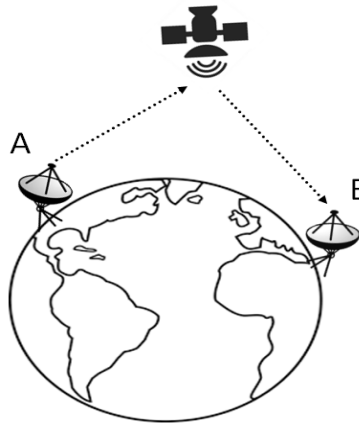
კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგია და დედამიწის

პლანეტარული თვისებები

მეორე თავში აღწერილია ექსპლუატაციაში მყოფი გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა, მისი ფუნქციონირების პრინციპები, ქმედითუნარიანობის შესაძლებლობები, მახასიათებლები, გამოყენების სექტორები, და სამომავლო პერსპექტივები სადისერტაციო თემის დასახელების საკითხებიდან გამომდინარე. სირღმისეულადაა გაანალიზებული გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა და აღმოჩენილია მისი დღემდე გამოუყენებელი შესაძლებლობები საავიაციო დაფრენის სისტემის ადაპტირებადობასთან მიმართებაში. ჩამოყალიბებულია კონცეფცია და კრიტიკულადაა მიმოხილული მისი ახალი შესაძლებლობები, ვარგისიანობა, პერსპექტიულობა და სამომავლო გამოყენების არეალი, როგორც თანამედროვე ავიაციის განვითარებისათვის, ასევე სამომავლო სატრანსპორტო ინჟინერინგის დარგში. ამავდროულად მიმოხილება დედამიწის, როგორც კოსმოსური სხეულის თვისებები გლობალურ ორბიტალურ თანამგზავრულ სისტემასთან მიმართებაში. აღმოჩენილია გარკვეული სახის სიახლეები, რომლის გათვალისწინებით ექსპლუატაციაში მყოფი თანამგზავრული სისტემის ქმედითუნარიანობა ბევრად იზრდება. ამავდროულად იკვეთება კონცეპტუალური სისტემის სამომავლო პერსპექტივები უცხოპლანეტარული მისიების შესრულებისას. დედამიწის პლანეტარული თვისებებიდან გამომდინარე დამუშავებულია გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის შესაძლებლობები, გამოკვეთილია ნიუანსები და მათი გათვალისწინებით შემუშავებულია სიახლეები, რომლებიც გვაძლევენ ექსპლუატაციაში მყოფი საავიაციო დაფრენის სისტემის ჩანაცვლების შესაძლებლობებს უფრო იაფი, მარტივი და ფართო, გლობალური არეალის მომცველი სისტემით, პრაქტიკულად უკიდევანო სამომავლო განვითარების შესაძლებლობებითა და პერსპექტივებით.

II თავის შეფასება, შედეგი და დასკვნა

ხელოვნური თანამგზავრის უპირველეს და უმნიშვნელოვანეს დანიშნულებას წარმოადგენდა კავშირგაბმულობის დამყარება ორ ან რამოდენიმე ობიექტს შორის მათი არაპირდაპირი ხედვის დროს რადიოკავშირის მეშვეობით. სამოქალაქო მიზნით დბთ-ს გამოყენების ერთერთი პირველი მცდელობა იყო შორი რადიოკავშირის განხორციელება, რომელშიც თანამგზავრი წარმოადგენდა კავშირგაბმულობის სისტემის რეტრანსლაციურ ელემენტს, ე.წ. ინფორმაციის მიმღებსა და შემდომ გადამმისამართებელს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, დედამიწის ორბიტაზე არსებული თანამგზავრი წარმოადგენდა დედამიწიდან კოსმოსურ სივრცეში გასხივებული სიგნალის ერთგვარ რეფლექტორს, ამრეკლს (იხ.ნახ.10.).



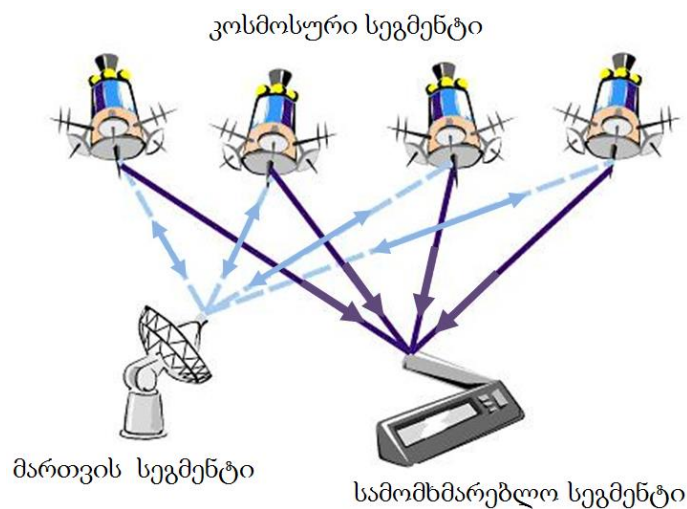
ნახ.10. კომუნიკაცია არაპირდაპირი ხედვისას ორ ობიექტს შორის თანამგზავრის გამოყენებით

ვინაიდან დედამიწის ორბიტაზე არსებული თანამგზავრიდან გასხივებული სიგნალი მოიცავს, ფარავს გაცილებით უფრო მეტ ფართობს ვიდრე ხმელეთზე არსებული ანტენა, აღნიშნული მეთოდი სულ უფრო და უფრო განვითარდა. განვითარებამ მიაღწია განსაზღვრულ დონეს და მეთოდი იმდენად წარმატებული და მოთხოვნადი აღმოჩნდა, რომ ცხადი და აუცილებელი ხდებოდა მისი გამოყენება ყოველდღიური სამოქალაქო მიზნებისათვისაც.

GNSS (Global Navigation Satellite System) - გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა; მისი დანიშნულებაა ობიექტის კოორდინატების განსაზღვრა (გეოგრაფიული ადგილმდებარეობის დადგენა) საჰაერო, საზღვაო თუ სახმელეთო სივრცეში ობიექტის ყოფნისას. თანამგზავრული ნავიგაციის სისტემა იძლევა შესაძლებლობას განსაზღვრულიქნას, მოძრავი ობიექტის შემთხვევაში,

მისი მიმართულება და გადაადგილების სიჩქარე. ცხადია ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია, ობიექტი აღჭურვილიქნას თანამგზავრული სიგნალების მიმღები მოწყობილობით, რომელიც გადაადგილდება საძიებელ ობიექტთან ერთად. სისტემის მონაცემები გამოიყენება დედამიწის ზედაპირზე და მის მიმდებარე სივრცეში ე.წ. კოორდინატულ-დროითი ველის შესაქმნელად. გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემების მეშვეობით შესაძლებელია ადგილმდებარეობის განსაზღვრა დედამიწის ნებისმიერ წერტილში.

გლობალური ნავიგაციური თანამგზავრული სისტემები მოიცავენ: კოსმოსურ აპარატებს, ანუ ხელოვნურ თანამგზავრებს (კოსმოსური სეგმენტი), კონტროლის და მართვის სახმელეთო სისტემურ დანადგარებს (მართვის სეგმენტი), უშუალოდ სამომხმარებლო ნავიგაციურ მოწყობილობებს, ანუ თანამგზავრული სიგნალების სტაციონარულ თუ პორტაბელურ რეცივერებს (სამომხმარებლო სეგმენტი). თანამგზავრული სისტემის სეგმენტთაშორისი მოქმედების პრინციპი იხ.ნახ.11.



ნახ.11. თანამგზავრული სისტემის სეგმენტთაშორისი ზოგადი მოქმედების პრინციპი

მეორე თავში მოყვანილი მასალების ანალიზის საფუძველად შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ თანამგზავრული სისტემის უპირველესი დადებითი მახასიათებელია მისი გამოყენების შესაძლებლობა გლობალური მასშტაბით კონკრეტული ობიექტების ხილვადობის არეალში არ ყოფნის დროს. ამავდროულად მყისიერი სივრცული კოორდინატების დადგენა დედამიწის ნებისმიერ წერტილში ყოფნისას.

ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის სწორი მიმართულებით და სწრაფი ტემპებით განვითარებიდან და მისი მოქმედების პრინციპიდან გამომდინარე, იკვეთება ამ სისტემის მუშაობის პროცესში წარმოქმნილი ხელისშემშლელი პრობლემების გადაწყვეტის აუცილებელი ამოცანები. აქედან გამომდინარე, თანამედროვე პირობებში მეტად აქტუალურია ამ ხელისშემშლელი პრობლემების აღმოფხვრისა და სისტემის გამართული მუშაობის მეთოდოლოგიის შემუშავების ამოცანა.

განვიხილოთ გამოვლენილი პრობლემატური საკითხები და საკვანძო მომენტები გლობალური პოზიცირების სისტემის მოქმედების მაგალითის საფუძველზე დედამიწის პლანეტარულ სივრცესთან მიმართებაში:

კოსმოსური თანამგზავრი ასხივებს შემუშავებული ალგორითმისა და დროის მიხედვით ზუსტად განსაზღვრულ სიგნალებს, რომლებიც მიიღება მომხმარებლების, მონიტორინგის სადგურებისა და მართვის სადგურების მიერ. მონიტორინგის სადგურები, რომელთა გეოდეზიური კოორდინატები დიდი სიზუსტითაა დადგენილი, განლაგებულია დედამიწის ეკვატორულ არეალში და მათ მიერ თანამგზავრული სიგნალების ფიქსაცია განსხვავებული დროის მიხედვით განსაზღვრავს თანამგზავრის კოსმოსურ სივრცეში ადგილმდებარეობას, ადგენს ცდომილების და მის კანონზომიერებას. ეს ინფორმაცია ეგზავნება მართვის სადგურს, სადაც ხდება ე.წ. მაკორექტირებელი ბრძანებების შემუშავება. სამომხმარებლო სფეროში სამომხმარებლო მოწყობილობა თავად გამოთვლის თავის ადგილმდებარეობას მის ხედვის არეალში არსებული თანამგზავრებიდან ერთდროულად გამოგზავნილი, მაგრამ სხვადასხვა დროს მიღებული სიგნალების საფუძველზე.

მოქმედების პრინციპიდან გამომდინარე, კოსმოსური თანამგზავრი თავისი ადგილმდებარეობის გასაკონტროლებლად სივრცეში, თავის ადგილმდებარეობას ადარებს სახმელეთო სადგურების ადგილმდებარეობას.

დედამიწა წარმოადგენს გეოიდს, ანუ არაერთგვაროვნად ამოხნეჟილ შეკრულ ზედაპირს. ცხადია, გეოიდს არ აქვს მარტივი გეომეტრიული აღწერილობა.

დედამიწის გეოიდური ფორმისა და მიზიდულების ძალების გამო კოსმოსური თანამგზავრი განიცდის არაერთგვაროვან აჩქარება-შენელებას, რაც იწვევს ცდომილებას ალგორითმით განსახლვრულ კოორდინატებში. ე.ი. მომხმარებელი მიიღებს მცდარ კოორდინატებს. ამავდროულად ატმოსფეროს შრეებში სიგნალის გავლა დაკავშირებულია რეფრაქციასთან. რაც უფრო მეტჯერ გაივლის სიგნალი ამ შრეებს, თუმცა კორექციის მიზნით, მით უფრო მაღალი იქნება სასარგებლო სიგნალების გარდატეხის მაჩვენებელი.

გამოვკვეთოთ რამდენიმე მიზეზი, რომელიც ხელს გვიშლის თანამგზავრული სიგნალების კორექტირებასა და მათი ხარვეზების გარეშე მიღებაში:

- ატმოსფერული რეფრაქცია;
- მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება;
- დედამიწის გეოიდური, არაერთგვაროვანი რელიეფი;
- პლანეტის არაერთგვაროვანი გეომაგნიტური ველი;

დედამიწის თვისებების კოსმოსურ-თანამგზავრულ სისტემასთან მიმართებაში განხილვისას მეორე თავში გამოვკვეთეთ ჩვენთვის არასასურველი ხარვეზები, რომლებიც ხელს გვიშლიდნენ კონცეპტუალური სისტემის მორგებაში თანამედროვე და სამომავლო საავიაციო სატრანსპორტო სექტორის განვითარებაში. ე.ი. მიზნის მისაღწევად საჭიროა პრობლემურ საკითხებზე მუშაობა უმარტივესი, იაფი და ხელმისაწვდომი მეთოდების გამოყენებით, რაც კონცეფციის სრულყოფის სახით დამუშავებულია მესამე თავში.

III. თავი

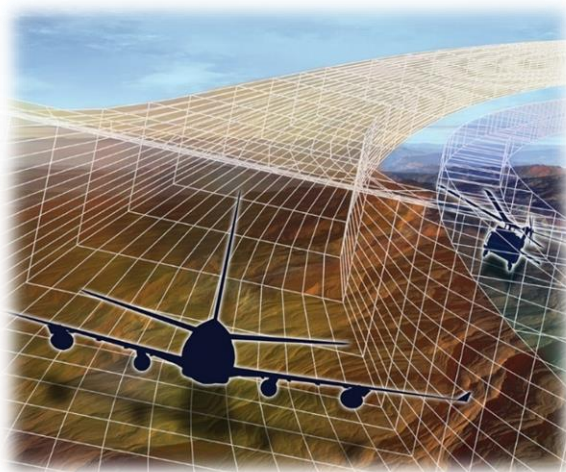
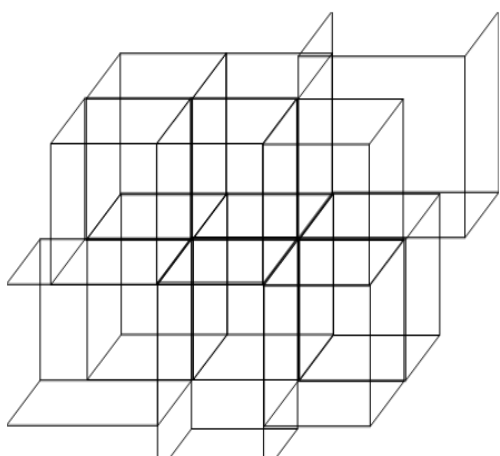
საჰაერო ხომალდების თანამედროვე დაფრენის სისტემისა და თანამგზავრული ტექნოლოგიების სინთეზური კონცეფცია

მესამე თავი გვამღევეს საშუალებას, გამოვკვეთოთ პირველ და მეორე თავში განხილული საკითხებიდან გამოვლენილი პრობლემატური კვანძები, რომლებიც ხელისშემშლელია საბოლოო შედეგის, კონცეპტუალური სისტემის ჩამოსაყალიბებლად. მესამე თავში ერთგვარ შეჯამებულია, ერთმანეთშია ინტეგრირებული თანამედროვე კლასიკური საავიაციო ინსტრუმენტული დაფრენის და გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემები. თუმცა, საკითხის დამუშავებისას გამოიკვეთა, რომ საჰაერო ნავიგაციის გადაყვანა გლობალურ პოზიცირების სისტემაში ინტეგრაციის გზით მოითხოვს დამატებითი სისტემური მექანიზმების შემუშავებასა და არსებულის სრულყოფას, რაც კონცეფციის სახით გვაქვს წარმოდგენილი საჰაერო სივრცის მოდელირებისა და ანალიზის გზით. გამოკვეთილია სასურველ მიზნამდე მისვლის შემაფერხებელი კვანძები და გამონახულია უმარტივესი, რაციონალური გადაწყვეტილებების და სისტემური შემუშავებების სერია-კონცეფცია, როგორც საავიაციო დაფრენის, თანამგზავრული სისტემის, ასევე დედამიწის თვისებიდან გამომდინარე.

შემოთავაზებულია საფრენი საჰაერო სივრცის, და უპირველესად აეროდრომის მიმდებარე (ასაფრენ-დასაფრენი) საჰაერო სივრცის მოდელირების მოდიფიცირებული მეთოდოლოგია. ეს მეთოდოლოგია ითვალისწინებს თვითმრინავის ფრენის სიჩქარეს, სიმაღლეს დედამიწის ზედაპირიდან, აეროდრომიდან დაშორების მანძილს, დაშვების სიჩქარეს, აეროდრომის მიმდებარე რელიეფს. საჰაერო ხომალდების ფრენის პროცესში ხელისშემშლელი მიზეზების განეიტრალებისათვის შემოთავაზებულია საფრენი სივრცის *შეფასების* მეთოდოლოგია მოცემული საჰაერო სივრცეების მეტეოროლოგიური და საფრენი ობიექტებით გადატვირთვის მიმართულებით. ყველა ამ პარამეტრის ზუსტად განსაზღვრის შესაძლებლობას იძლევიან გლობალური პოზიცირების თანამედროვე სისტემები.

ზონებად დაყოფის მეთოდოლოგია:

საჰაერო სივრცის გარკვეული, ჩვენთვის ხელსაყრელი, ფიგურების თუ ე.წ. დაყოფილი სექტორების ანუ ზონების სახით წარმოდგენა შესაძლებელია სივრითი მოდელის შემოტანის გზით, რომლის ნებისმიერი წერტილი განსაზღვრული იქნება მათემატიკური მნიშვნელობით. ასეთი სახის „მექანიზმის“ არსებობა განპირობებული იქნება ორბიტალური თანამგზავრებითან გამოსხივებული სიგნალების სივრცეში გასხივებით, რომლებიც თავისმხრივ წარმოწიან წსელურ სისტემას და სივრცული მოდელი ყებულობს გლობალურ სახეს. მამასადამე სიგნალების თანაკვეთა გვამღევს ერთგვარ, დროსა და სივრცეში, მოძრავ-მოდელირებად დერეფნების ქსელს (იხ.ნახ.12.)



ნახ.12. საჰაერო სივრცის მოდელირება კოორდინირებული გრაფების სახით, ვირტუალურ-კოორდინირებული დერეფნები

ზონების შეფასების კრიტერიუმები:

შევაფასოთ ზონები მათში შექმნილი დაბრკოლებების კუთხით. დაბრკოლებები შეიძლება შეიქმნქს მეტეოროლოგიური პირობების ზეგავლენით: ღრუბლები, ნისლი, ჭექა-ქუხილი, ქარი და სხვა. ეს კრიტერიუმები განსაკუთრებით აუცილებელია დასაშვები ზონის შეფასებისათვის. ამ მიზნით შემოვიტანოთ ხილვადობის, გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის, ქარის სიჩქარის კრიტერიუმები ცალკეული კატეგორიების მიხედვით. კერძოდ, ცნობილია თვითმრინავის ტიპების მიხედვით რამოდენიმე კატეგორია,

რომლებშიც განსაზღვრულია ხედვის სიშორის ის მინიმალური მანძილი და გადაწყვეტილების მიღების მინიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც დასაშვებია დაფრენა. მაგალითად, I კატეგორიისათვის დასაშვები ხილვადობის სიშორე 550 მეტრია, ხოლო გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლე 60 მეტრი. სხვადასხვა კატეგორიებისთვის ეს სიდიდეები სხვადასხვაა და განისაზღვრება თვითმფრინავების ტიპებით და მათი ტექნიკური აღჭურვილობით.

ზოგადად, შემოვიტანოთ შემდეგი კრიტერიუმები: ხილვადობის წონითი კოეფიციენტი $\chi(Z_{ij}) = \frac{L_m(Z_{ij})}{L(Z_{ij})}$, ნისლის ან ღრუბლების ქვედა ზღვარის სიმაღლის

(დაფრენაზე გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის) წონითი კოეფიციენტი

$$\delta(Z_{ij}) = \frac{H_m(Z_{ij})}{H(Z_{ij})} \text{ და ქარის სიჩქარის წონითი კოეფიციენტი } \vartheta(Z_{ij}) = \frac{V_m^w(Z_{ij})}{V_m^w(Z_{ij})}$$

სადაც, $L_m(Z_{ij})$ - მოცემულ კატეგორიაში ხილვადობის სიშორის მინიმალური ზღვარია; $L(Z_{ij})$ - მოცემულ დროის ერთეულში ხილვადობის სიშორეა; $V_m(Z_{ij})$ - ქარის დასაშვები სიჩქარის ზღვარი, $V_m^w(Z_{ij})$, $V_m^w(Z_{ij})$ - დროის მოცემულ მომენტში ქარის სიჩქარე.

თითოეული კოეფიციენტი უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$\chi(Z_{ij}) \leq 1; \delta(Z_{ij}) \leq 1; \vartheta(Z_{ij}) \leq 1;$$

აქედან:

$$\chi(Z_{ij}) + \delta(Z_{ij}) + \vartheta(Z_{ij}) \leq K;$$

სადაც K - მოცემული Z_{ij} ზონის კრიტერიუმების რაოდენობაა.

ზონების შეფასებისათვის დროის მოცემულ მომენტში ერთ-ერთი კრიტერიუმია ამ ზონაში სხვა მფრინავი ობიექტის არსებობის ალბათობა, რაც დაბრკოლებას შეუქმნის კონკრეტული თვითმფრინავის ფრენას. აქედან გამომდინარე, უნდა განისაზღვროს პარალელურად მფრინავი ობიექტების დაშორების კრიტიკული ზღვარი - S_F , (მაგალითად, პარალელურად მფრინავი ორი თვითმფრინავის ცენტრებს შორის დასაშვები ზღვრული მანძილი მერყეობს $S_F \approx 800-1000$ მ-ის შუალედში. შესაბამისად, ამ კუთხით მოცემული ზონის შესაფასებლად შემგვაქვს

კრიტერიუმი - ზონის დატვირთვის წონითი კოეფიციენტი - $\eta(Z_{ij}) = \frac{S'_F}{S_F}$. ზონის

დატვირთვის წონითი კოეფიციენტისათვის უნდა სრულდებოდეს პირობა:

$\eta(Z_{ij}) = \frac{S'_F}{S_F} \leq 1$; სხვა შემთხვევაში, როდესაც $\eta(Z_{ij}) > 1$, ამ ზონაში კონკრეტულ

თვითმფრინავს ექმნება დაბრკოლება. ასეთ შემთხვევაში კონკრეტული თვითმფრინავისთვის უნდა განისაზღვროს ალტერნატიული მარშრუტი, რომელიც გამოითვლება სპეციალური ალგორითმით. ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ გრაფების თეორია და მათემატიკური პროგრამირების მეთოდები (მაგალითად, იტერაციული ალგორითმი, ტალღური ალგორითმი და სხვა). ალტერნატიული მარშრუტის განსაზღვრის ამოცანა დაიყვანება სატრანსპორტო ამოცანამდე და ამ ამოცანის ამოხსნის ალგორითმამდე.

შემუშავებული ალგორითმებისა და რადიოლოკაციისა თანამგზავრული ტექნოლოგიების გამოყენების გზით საჰაერო საფრენოსნო სივრცე შეიძლება აისახოს სივრცითი ზონების სიმრავლით და ამ სიმრავლის მოდელი შეიძლება წარმოვადგინოთ გრაფების თეორიის გამოყენებით, რაც გულისხმობს კანონზომიერად დაყოფილ სივრცულ საგზაო დერეფნებსა და ვირტუალურად წარმოდგენილ გრაფებს. საჰაერო სივრცის მოდელირების საკითხების გათვალისწინებით ვღებულობთ უზომოდ დიდ პოტენციალს და ტექნოლოგიურ რესურსს სამომავლო საჰაერო ინდივიდუალური ტრანსპორტის განვითარების დარგში.

III თავის შეფასება, შედეგი და დასკვნა

დედამიწის თვისებებიდან გამომდინარე ხელისშემშლელი მიზეზების განეიტრალების ე.წ. უნივერსალური მეთოდი მდგომარეობს დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე ლაზერული მანძილსაზომის დამონტაჟებაში. ყოველი თანამგზავრი ზომავს მანძილს ერთმანეთის მიმართ ლაზერული მანძილსაზომით, ანუ შეიქმნება ერთგვარი დედამიწის გარშემომყოფი ლაზერული სხივებით და თანამგზავრებით შეკრული ბადე. სტანდარტული პოზიციონირების მეთოდი რჩება უცვლელი, მაგრამ მას ემატება ლაზერული

კორექციის პრინციპი. თანამგზავრებს ერთმანეთთან კავშირი აქვთ არა მარტო ელექტრო მაგნიტური ტალღების მეშვეობით, არამედ ამას დაემატება ოპტიკური კავშირგაბმულობის საშუალებები; ამით კი იზრდება თითოეული თანამგზავრის გამოყენების დიაპაზონი.

სახმელეთო და თანამგზავრული ანტენების დუპლექსური კავშირებისას აღარ იქნება საჭირო თითოეული თანამგზავრის ინდივიდუალური კორექცია სახმელეთო პოზიციების ანტენებთან, ვინაიდან ისინი კოსმოსურ სივრცეშივე მოახდენენ დროის რეალურ რეჟიმში ერთმანეთის მიმართ კორექციას, ხოლო კოსმოსურ, პირობითად ერთგვაროვან გარემოში რეფრაქციის მაჩვენებელი შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნეს სიმცირის გამო ან განისაზღვროს მისი გარდატეხის სტაბილური კოეფიციენტი. ამავდროულად მოიხსნება დედამიწის გეოიდურ, არაერთგვაროვან ზედაპირთან და პლანეტის არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველის განაწილებასთან დაკავშირებული პრობლემები. ამიერიდან თანამგზავრების გადაადგილება პროგრამულად კოორდინირებული წერტილებიდან, აჩქარება ან შენელება გაიზომება ლაზერულ-ოპტიკური დანადგარით, რომლის მეშვეობითაც მივიღებთ სამომავლო კორექციის კოეფიციენტებს. მოიხსნება მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზეგავლენა კოსმოსურ-თანამგზავრულ სისტემაზე თანამგზავრების ერთმანეთთან რადიოკავშირის გათვალისწინებით. ამიერიდან თანამგზავრები ერთმანეთის მიმართ მანძილს განსაზღვრავენ არა რადიოტექნიკური, არამედ ოპტიკური მეთოდის მეშვეობით. შესაბამისად აღარ იქნება სასარგებლო სიგნალების დახშობა და გადაფარვები.

რეფრაქცია ვლინდება ყოველთვის, როდესაც ელექტრომაგნიტური ტალღა გაივლის ერთმანეთისაგან განსხვავებულ არაერთგვაროვან გარემოს. აქედან გამომდინარე დედამიწის კოსმოსურ ორბიტაზე არსებული თანამგზავრების ადგილმდებარეობის ზუსტ განსაზღვრაში არის გარკვეული სახის ცდომილება. ცდომილებას იწვევს დედამიწის გეოიდური სახის რელიეფური ზედაპირი, ე.ი. არაერთგვაროვანი გრავიტაციული ველი, რომელიც არღვევს თანამგზავრების ალგორითმით განსაზღვრული მოძრაობის სიჩქარეს. ამას ემატება კოსმოსური და

მზის გამოსხივება, რაც ზრდის თანამგზავრული სიგნალების დესტაბილიზაციის ალბათობას, შედეგად კი მცირდება სანავიგაციო ობიექტების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტე.

ხელისშემშლელი მიზეზების განეიტრალებისათვის შემოთავაზებულია დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე ლაზერული მანძილსაზომის დამონტაჟება. ამ შემთხვევაში თანამგზავრული სისტემა ერთგვარ ლაზერულ ბადეში მოქცევა, რომლის წიბოების სახით წარმოდგება ლაზერული სხივი. ასეთი მეთოდი გვაძლევს საშუალებას, განვსაზღვროთ თანამგზავრების ერთმანეთთან და შესაბამისად, დედამიწის ზედაპირთან მიმართებაში დაძვრა-გადახრის სხვაობითი ცვლილები. გარდა ამისა ლაზერული სხივი მეტად ზუსტია მანძილის დადგენის თვალსაზრისით. კოსმოსურ სივრცეში კი, მისი რეფრაქციული კოეფიციენტი იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად შესაძლებელია მისი უგულვებელყოფა. გარდა ამისა, ლაზერული სხივი მდგრადია მზის რადიაციისა და კოსმოსური გამოსხივებების მიმართ. აქედან გამომდინარე ზემოაღნიშნული კონცეფციის გათვალისწინება თანამგზავრულ და ზუსტი პოზიცირების სისტემებთან მიმართებაში შეიძლება ჩაითვალოს აქტუალურად და მიზანშეწონილად.

კოსმოსური სეგმენტისაგან განსხვავებით დიდი ცვლილებები შემუშავდა ე.წ. საჰაერო სატრანსპორტო სივრცესთან დაკავშირებით არსებულ დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრული სისტემის ბაზაზე. შემუშავდა ერთიანი, გლობალური საჰაერო სივრცის კონცეფცია და განისაზღვრა საკოორდინაციო ვირტუალური არეალის გამოყენებით. ჩამოყალიბდა თეორიული კონცეფცია გლობალური პოზიცირების სისტემის საორიენტაციო ვირტუალური კოორდინატების გამოყენების საფუძველზე. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი გენერირებს და ასხივებს დროში სინქრონიზირებულ ელექტრომაგნიტურ სიგნალებს, რომლის მიღებითაც სამომხმარებლო სეგმენტში ჩართული დანადგარი განსაზღვრავს თავის ადგილმდებარეობას. მოყვანილი კონცეფციის თანახმად გამოიყენება იგივე, მაგრამ ე.წ. უკუსვლითი პროცესი. თუ კი ცნობილია კონკრეტული კოორდინატი, მასზე დაყრდნობით შეიძლება განისაზღვროს სხვა, მესამე კლასის უცნობი კოორდინატის სივრცული ადგილმდებარეობა. ერთგვარ იქმნება

სივრცულ-ვირტუალური კოორდინირებული ველი ჩვენთვის სასურველი და ცნობილი მახასიათებლებით. ნებისმიერი სახის, ტიპისა თუ კლასის თვითმფრინავის გეომეტრიული ზომები უდიდესი სიზუსტითაა დაცული; თუ კი საჰაერო ხომალდის ფრენის მართვის კომპიუტერს მივუთითებთ, რომ მან დროის განსაზღვრულ მომენტში გაატაროს თვითმფრინავზე არსებული საკონტროლო წერტილები საჰაერო სივრცის საორიენტაციო კოორდინირებულ წერტილებზე, შედეგად მივიღებთ თვითმფრინავის მართვას ერთიან გლობალურ საჰაერო სანავიგაციო სივრცეში. აღნიშნული შემუშავება გვამღებს საშუალებას გამოვიყენოთ არატრადიციული, მოწინავე და სამომავლო ინჟინერიის მიდგომები კლასიკურ სისტემებთან; ცხადია აღნიშნულ კონცეფციაზე დაყრდნობით მარტივდება აეროდრომების მშენებლობა, ნარჩუნდება დედამიწის ეკოლოგიური სეგმენტი, შესაძლებელი ხდება რთული რელიეფური პირობების უგულვებელყოფა, ერთი სისტემა ღებულობს გლობალურ მასშტაბს და აღარ არის აუცილებელი სტაციონარული, ძვირადღირებული სააეროდრომო დანადგარების გამოყენება, დგება საკითხი საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურის არააუცილებელი პირობის არსებობის შესახებ, სისტემა ღებულობს ყოვლად ადაპტირებადი სისტემის კლასს, რომელშიც დაცული იქნება ყოველი ცალკეული მომხმარებლის ინტერესები სამომავლო საჰაერო ინდივიდუალური ტრანსპორტის გამოყენებასთან დაკავშირებით, ამავდროულად გაიზრდება სახელმწიფო უსაფრთხოების მაჩვენებლები უპილოტო ავტომატური და არასანქცირებული საჰრენი აპარატების გამოყენების მაჩვენებლის თვალსაზრისით.

*** შედეგი და დასკვნა ***

დასახული მიზნის, დასმული ამოცანისა და საინჟინრო კონცეპტუალური გადაწყვეტილებების შემდგომ დგება შედეგი, რომლის გათვალისწინებით კეთდება დასკვნა. სადისერტაციო თემის დასახელების მომცველი საკითხებიდან გამომდინარე დასმულ ამოცანაზე შემუშავდა გარკვეული სახის სხვა და სხვა მნიშვნელოვანი სიახლე:

1. საფუძვლიანად შესწავლილ იქნა ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემა, შესაბამისად, შეფასდა მისი სამომავლო განვითარების პოტენციალი და ექსპლუატაციის პერსპექტივები მ.ქ.კ.-ის, ეკონომიკური მაჩვენებლის, ეკოლოგიურად სუფთა აეროდრომების მშენებლობის თუ ინდივიდუალური დანიშნულების ტრანსპორტის, სამომავლო განვითარებადი ინჟინერიის სისტემურ რეზერვებთან მიმართებაში.
2. ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემის კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე გამოვლინდა ქმედითუნარიანობის გარკვეული სახის შეზღუდვები და ეჭვის ქვეშ დადგა მისი სამომავლო ექსპლუატაციის აქტუალობის საკითხები.
3. მოძიებულ იქნა ხელსაწყოებით დაფრენის სისტემის ფუნქციების და შესაძლებლობების შემათავსებელი ალტერნატიული საშუალება კოსმოსურ-თანამგზავრული სისტემური მოდულის სახით, რომელთან დაკავშირებითაც ჩატარებულმა კვლევებმა ცხადყო ფუნქციურ-მოქმედებითი მაჩვენებლის მკვეთრი გაუმჯობესება, არამც თუ სტაციონარული, არამედ გლობალური მასშტაბის სახით.
4. შემუშავდა ვირტუალურ-კოორდინირებული პლანეტარული მასშტაბით გამოყენების პოტენციალის მქონე საჰაერო სივრცე, რომლის კუთვნილი ნებისმიერი წერტილი წარმოადგენს გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის ზუსტ კოორდინატს; ეს უკანასკნელი უზრუნველყოფს ნებისმიერი კატეგორიის საფრენი აპარატის მოძრაობის სიზუსტის დაცვის მაჩვენებლის მკვეთრ გაუმჯობესებას, რაც პირდაპირ აისახება საჰაერო მოძრაობის მართვასა და მის უსაფრთხოებაზე,

ელექტრომაგნიტური ეკოლოგიისა და ფრენების დროის ოპტიმიზაციაზე, სახელმწიფოებრივი თავდაცვის საკითხებზე ავიაციის დარგში, გამტარუნარიანობის მაჩვენებლის ზრდაზე ჰორიზონტალური ფრენისა და აფრენა-დაფრენის ეტაპებზე.

- დედამიწის ორბიტალური ხელოვნური თანამგზავრების სიგნალები განიცდიან ატმოსფეროს შრეებში რეფრაქციას, რაც იწვევს სიგნალის დროში დაყოვნებას და შედეგად - მცდარ კოორდინირებას, რაზეც გამოყენებულიქნა სახმელეთო ანტენის მეშვეობით სიგნალების კორექციის მეთოდი;
- კოორდინაციული ცდომილება გამოვლინდა დედამიწის გეოიდური რელიეფის გამო, რაც იწვევდა ორბიტალური თანამგზავრების მოძრაობის კანონზომიერებიდან გადახრას, შესაბამისად თანამგზავრის საკონტროლო და რეალური ადგილმდებარეობა არ მოდიოდა თანხვედრაში. საკითხი მარტივად გადაიჭრა თანამგზავრებზე ერთმანეთის მიმართ პოზიცირების სიზუსტის დაცვისათვის ლაზერული მანძილსაზომის განლაგებით. მეთოდი მეტად სარგებლიანია, იმდენად რამდენადაც სინათლის სპექტრის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღა მდგრადია მზის ქარის, კოსმოსური რადიაციის, დედამიწის გრავიტაციული ველის მიმართ;
- მოხდა სივრცულ-კოორდინაციული ველის შემუშავება, მოდელირება და საავიაციო სექტორზე დანიშნულებისამებრ მორგება;
- ერთმანეთს გამოეყო საჰაერო სივრცის სხვა და სხვა ფენა, განისაზღვრა საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობა ვირტუალური საჰაერო დერეფნების მოდელირების გზით;
- შემუშავდა საჰაერო ხომალდებისა და გრაფებად დაყოფილი სივრცის კომბინაციური მოდელი;
- შეფასდა სისტემის ფუნქციონირებისა და ტექნიკური შესაძლებლობების აქტუალურობა სამომავლო პერსპექტივების გათვალისწინებით;

- განხილულიქნა ეკონომიკური მაჩვენებელი, სახელმწიფოებრივი უსაფრთხოება, გლობალურობის ეფექტურობა;

მიზნიდან გამომდინარე შემუშავდა საინჟინრო კონცეფცია და ტექნიკურ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებებისა და სამეცნიერო ინოვაციების გამოყენების გზით მიღწეულიქნა თანამედროვეობისათვის დამაკმაყოფილებელი, ხოლო სამომავლო პერსპექტივების დიდი პოტენციალის მქონე შედეგი.