



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ს ა ი ნ უ ი ნ რ ო ფ ა კ უ ლ ტ ე ტ ი

სადოქტორო პროგრამის დასახელება:

საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაცია

დისერტაცია თემაზე:

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

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

დოქტორანტი : ბადრი ნადარაია

ხელმძღვანელი : პროფესორი ვანო ზურაბიშვილი

თბილისი
2020

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

საინჟინრო ფაკულტეტი

ავტორი: ბადრი ნადარაია

თემის დასახელება: „კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების სამომავლო პერსპექტივები.“

სადოქტორო პროგრამა: „საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაცია“

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი
ვანო ზურაბიშვილი

ჩვენ, ქვემოთ ხელმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ბადრი ნადარაიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს, დასახელებით: „კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია დაფრენის საავიაციო სისტემებში და მათი გამოყენების სამომავლო პერსპექტივები“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სადისერტაციო საბჭოზე მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

რეცენზენტები:

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის

საინჟინრო ფაკულტეტის

ასოცირებული პროფესორი სიმონ ხოშტარია,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის

პროფესორი ფაიკ ბოგდანოვი,

პროფესორი ალბერტ ასანიძე.

2020 წელი

მადლიერება

დიდი მადლობა საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებლებს, რომლებმაც დიდი წვლილი შეიტანეს ჩემს ცოდნა-განათლებლასა და კვალიფიკაციის ამაღლებაში, პროფესიულ წინსვლასა და განვითარებაში, აკადემიურ მიღწევებსა და დისციპლინის ჩამოყალიბებაში. აგრეთვე, მადლობა მინდა მოვახსენო საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის ადმინისტრაციული განყოფილების თანამშრომლებსა და აკადემიური ნაწილის ყველა წევრს.

განსაკუთრებული მადლობა მინდა მოვახსენო:

ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის ხელმძღვანელს, პროფესორ ვანო ზურაბიშვილს,

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის რექტორს, ბ/ნ სერგო ტეფნაძეს,

საინჟინრო ფაკულტეტის დეკანს,

ბ/ნ გიორგი ცირეკიძეს,

პროფესორებსა და მასწავლებლებს:

ბ/ნ რობერტ ებრალიძეს,

ბ/ნ სიმონ ხოშტარას,

ბ/ნ დემურ ვეფხვაძეს,

ბ/ნ თემურ მაზიაშვილს,

ბ/ნ ავთანდილ აფხაიძეს,

ბ/ნ ფელიქს კოგანს,

ბ/ნ ვიქტორ პაპუნაშვილს,

ბ/ნ გელა ყიფიანს,

ბ/ნ ვალერი მიქელაძეს,

ნათელ ხსოვნაში მყოფ: ბ/ნ გურამ ნიკოლაიშვილს,

ბ/ნ ალბერტ რურუას.

რეზიუმე

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, რომლის 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.

Abstract

The main part of the doctoral dissertation presents a synthesis of modern satellite and aircraft landing systems, issues of current applications in the future. The concept of development is shown, modern technologies are considered, goals and ways of achieving results are defined, the positive and negative aspects of the modern system are evaluated, and the developed concept is highlighted in accordance with the title of this topic.

In accordance with the improvement of the modern operated instrument landing system in the sector of increasing the capacity, accuracy, and safety of air traffic, reducing tariffs for navigation services, maintaining a clean environment, the basis was taken as a satellite system of global positioning as an actual response to a certain challenge.

In accordance with the conceptual synthesis of instrument landing and global positioning systems, a world-wide spatial virtual-coordinated oriented model has been developed, which allows you to combine and include modern air transport in the network taking into account all further engineering developments.

The present difficulties and problems of a certain nature were solved against the background of an unconventional approach to innovative engineering solutions and technologies, as well as a result of the deepest analysis.

The works of the doctoral dissertation also identify those technical issues that are positively characterized in the development of engineering, cosmology, transport, developing urbanism and self-defense of the world's peaceful countries.

Резюме

В основной части докторской диссертации представлен синтез современных спутниковых и самолета посадочных систем, вопросы актуальных применений в будущей перспективе. Показана концепция развития, рассмотрены современные технологии, определены цели и пути достижения результатов, оценены положительные и отрицательные стороны современной системы, а также выделена разработанная концепция в соответствии с названием данной темы.

В соответствии улучшения современной эксплуатируемой системы инструментальной посадки в секторе повышения пропускной способности, точности, безопасности авиадвижения, уменьшение тарифов за услуги навигации, сохранения чистой экологической среде, за основу была взята спутниковая система глобального позиционирования как актуальный ответ на определенный вызов.

В соответствии концептуального синтеза систем инструментальной посадки и глобального позиционирования разработана всемирное пространственная виртуально-координированная ориентируемая модель, которая позволяет объединять и включать в сеть современный транспорт воздушного назначения с учетом всех дальнейших инженерных развитей.

Присутствующие сложности и проблемы определенного характера были решены на фоне нетрадиционного подхода к инновационным инженерным решениям и технологиям, а также в следствии глубочайшего анализа.

В трудах докторской диссертации также выявлены те технические вопросы, которые положительно характеризуются в сфере развития инженерии, космологии, транспорта, развивающейся урбанистике и самообороне мирно ориентированных стран планеты.

სარჩევი

შესავალი.....	8
I. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემა.....	17
1.1. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის ეტაპობრივი პროგრესის მიმოხილვა და ანალიზი.....	17
1.2. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის აუცილებლობის განმარტებითი არსი.....	29
1.3. საჰაერო ხომალდების თანამედროვე ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის პრინციპული საფუძვლები; ILS და MLS.....	35
II. კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგია და დედამიწის პლანეტარული თვისებები.....	78
2.1. დედამიწის საკოორდინაციო ორიენტირები და კოსმოლოგიური აღწერილობა.....	78
2.2. გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა და მოქმედების პრინციპი.....	84
2.3. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტები და მათი კლასიფიკაცია.....	96
2.4. თანამგზავრული ნავიგაციური სისტემის სეგმენტაცია და სიგნალების აგებულება.....	108
2.5. დედამიწის ატმოსფერო უცხო კოსმოსურ სხეულებთან მიმართებაში და ატმოსფერული შრეების აგებულება, ატმოსფერული რეფრაქციის ზეგავლენა თანამგზავრულ სიგნალებზე.....	115
2.6. დიფერენციალური გლობალური პოზიცირების სისტემა (DGPS).....	123
2.7. დიფერენციალური გლობალური პოზიცირების სისტემის ფუნქციონირების პრინციპები და ქმედითუნარიანობის ანალიზის GBAS და SBAS დაფარვის არეალის მაგალითზე.....	131
III. საჰაერო ხომალდების თანამედროვე დაფრენის სისტემისა და თანამგზავრული ტექნოლოგიების სინთეზური კონცეფცია.....	140
3.1. თანამგზავრული სიგნალებით შექმნილი ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცე.....	140
3.2. აეროპორტებისა და მათი მიმდებარე საჰაერო სივრცის მოდელირება ვირტუალური კოორდინატებით შექმნილი მარშრუტებისა და ასაფრენ-დასაფრენი ემელონების ეფექტურობის ანალიზის გზით.....	155
3.3. ელექტრომაგნიტური ველები და მათი თავსებადობის ანალიზი.....	174
3.4. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრული სისტემის გარე ფაქტორებით გამოწვეული ხელშეშლებისაგან დაცვისა და ოპტიმალური ფუნქციონირების ანალიტიკური საკითხები.....	181
3.5. მეტეოროლოგიური პირობების შეფასება და მათი ანალიზი.....	187
3.6. გაზრდილი სიზუსტის, ერგონომიულობის და შემცირებული რისკფაქტორის ანალიზი სისტემის ფუნქციური მოდელირების თეორიული მაგალითის საფუძველზე.....	195
IV. ძირითადი დასკვნები.....	202
დანართი 1. საავიაციო დანიშნულების საჰაერო სივრცე და სივრცეთა დანიშნულებისამებრ გამოყენების კლასიფიკაცია.....	204

შესავალი

„არაფერი მოიძებნება მსოფლიოში იმაზე უფრო მეტად მძლავრი, ვიდრე გონების გარდაქმნა. უამრავი რამ ექვემდებარება ცვლილებას, მაგრამ მსოფლმხედველობისა და აზროვნების გარდაქმნის გარეშე მოვლენა იწყებს საკუთარი თვის დუბლირებას, ეს უკანასკნელი კი, პროგრესის შემაფერხებელია.“

პლანეტის მასშტაბით ექსპლუატირებადი გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა (GNSS) ითვალისწინებს პოზიციონირების სიზუსტის დადგენას დედამიწის ნებისმიერ წერტილში არსებობისას და ამავდროულად გვამღვეს შესაძლებლობას ახალი მიზნების განვითარება-ჩამოყალიბებაში, ისეთის როგორცაა საჰაერო ხომალდის აფრენა-დაფრენა, სატრასო სივრცის რაციონალური და უსაფრთხო გამოყენება და კიდევ რამოდენიმე დადებითი თანმხლები ფაქტორი.

საავიაციო სფეროს განვითარებასთან ერთად საჭირო გახდა გაცილებით უფრო მეტი სიზუსტის დადგენა საჰაერო ხომალდის სივრცეში ორიენტაციასთან დაკავშირებით. საჭიროებიდან გამომდინარე შემუშავებულიქნა სანავიგაციო სისტემა რადიოკომპასებისა და მიმყვანი რადიომუქურების გამოყენებით. რადიოტექნიკის განვითარებასთან ერთად დაიწყეს საჰაერო ხომალდების ადზ-ზე დასმა რადიოტექნიკური მეთოდების გამოყენებით. საჭირო დანადგარების სირთულე, სიძვირე და ტექნიკური ექსპლუატაცია წარმოადგენდა შემაფერხებელ ფაქტორს, რითაც ავიაციის ეს ნაწილი ერთგვარ ჩამორჩებოდა სხვა დანარჩენს. ყურადსაღებია ის, რომ სააეროდრომო დანიშნულების დაფრენის ინსტრუმენტული სისტემის დანადგარები გამოიყენებოდა მხოლოდ სტაციონარული მიზნებისა თუ ამოცანებისათვის.

ბუნებრივია, დრო არ ჩერდება და შესაბამისად აწარსებული საჰაერო ხომალდების დაფრენისა თუ სივრცეში ორიენტაციის სისტემები და მათი მუშაობის პრინციპები თანდათან ჩამორჩებიან აუცილებელ მოთხოვნებს. საჭიროა ახალი მიდგომების და კონცეპტუალური საინჟინრო იდეების დახვეწა, ჩამოყალიბება არა მარტო საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემებთან მიმართებაში, არამედ სივრცეში ორიენტირების შესაძლებლობების განვითარებასთან დაკავშირებითაც. ცხადია, დღესდღეობით

ექსპლუატაციაში არსებული სტაციონარული დაფრენის სისტემები გამოირჩევიან თავიანთი საიმედოობით, ვინაიდან ისინი უკვე დიდი ხნის განმავლობაში იხვეწებიან და ვითარდებიან, თუმცა მათი მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე არსებობს გარკვეული სახის შეზღუდვები, რასაც აღნიშნული ILS ტიპის სისტემები ვერ აკმაყოფილებენ. იზრდება მოთხოვნა, კაცობრიობა მოითხოვს პროგრესს და მარტივ მრავალფუნქციურ სისტემებს. არ შეიძლება საინჟინრო პროგრესზე უარის თქმა მხოლოდ იმიტომ, რომ კარგად ვართ მიჩვეულები ძველ ტექნოლოგიას;

ნავიგაციის განვითარების შემდგომი ეტაპი სრულიად განსხვავებულია და ითვალისწინებს ხელოვნური კოსმოსური თანამგზავრებიდან სიგნალების მიღებით ობიექტის სივრცეში ორიენტაციასა და ადგილმდებარეობის დადგენას დედამიწის ნებისმიერ წერტილში. ამ სისტემის გამოყენება პერსპექტიულია როგორც ავიაციის დარგში, ისევე სამოქალაქო სექტორში მოღვაწე ყოველი ფიზიკური პირისათვის; საჭიროა მხოლოდ და მხოლოდ თანამგზავრული სიგნალების მიმღები. თუმცაღა დედამიწის გეოფიზიკური პირობებიდან გამომდინარე ვაწყდებით სიგნალების უზუსტობებსა და ხარვეზებს. ეს ყოველივე გამოსწორებადია ამა თუ იმ კონკრეტული ცდომილების გათვალისწინებით, ამაში დაგვეხმარება თანამგზავრული სიგნალების დიფერენციალური კორექციის მეთოდი, რაშიც იგულისხმება მისი ინტეგრაცია ავიაციაში, შესაბამისად არსებული ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის შეცვლა და უშუალოდ დაფრენის სისტემის კონცეპტუალური მოდერნიზაცია.

კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების ინტეგრაცია ავიაციაში მიზნად ისახავს არსებული, ექსპლუატაციაში მყოფი სისტემის შეფასებას მისი შესაძლებლობებიდან გამომდინარე. აკმაყოფილებს თუ არა ის თანამედროვე მოთხოვნებს და არის თუ არა მზად სამომავლო გამოწვევებისათვის? აუცილებელია პლანეტის სირღმისეული გეოკოსმოლოგიური ანალიზი, თანამგზავრული სანავიგაციო სისტემების მოქმედების პრინციპების შეფასება და მათი ვარგისიანობის დადგენა ავიაციაში გამოყენების მიზნით.

საავიაციო და კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგიების სინთეზს მივყავართ ახალ კონცეპტუალურ ხედვამდე აღნიშნულ სფეროში, რომლის შედეგადაც ვღებულობთ ვირტუალურ-კოორდინირებულ საჰაერო სივრცეს, სადაც ნებისმიერი

აღებული წერტილი ღებულობს გარკვეული სახის მნიშვნელობას, ანუ წარმოადგენს ორიენტირს. ამიერიდან საჰაერო სივრცეში მყოფი ხომალდი ხვდება n რაოდენობის ორიენტირების გარემოცვაში, რომლებისგანაც აიგება ნებისმიერი ვირტუალური, მაღალგამტარუნარიანი ეშელონები, დერეფნები. ცხადია აღნიშნული კონცეფცია ითვალისწინებს როგორც საავიაციო დანიშნულებით ფუნქციონირებას, ასევე ზოგადი სატრანსპორტო მნიშვნელობით გამოყენებას და გააჩნია სამომავლო ექსპლუატაციის დიდი ტექნიკური რეზერვი.

სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობა განპირობებულია 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 შეიძლება იყოს თანამედროვე მობილური კავშირგაბმულობის ტელეფონი, საჰაერო თუ საზღვაო ტრანსპორტი, ავტომობილი და ა.შ. აგრეთვე, აღნიშნული თემის აქტუალობა გამომდინარეობს მსგავსი კატეგორიის სისტემის საშუალებით დედამიწის გეოდეზიური ნაწილის და ტექტონიკური ქანების გადაადგილების პროცესის შესწავლა-დაკვირვების შესაძლებლობიდან. თანამგზავრული სისტემების გამოყენებამ წარმატებით იჩინა თავი თანამედროვე ტელეკომუნიკაციის, მაღალსიჩქარიანი ინტერნეტ კავშირგაბმულობისა 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. აღნიშნული თემის აქტუალობას მოწმობს შემუშავებულ კონცეფციაში უკვე დანერგილი და ექსპლუატაციაში გაშვებული პროექტი “StarLink” და “SpaceX”.

ნაშრომის ძირითადი მიზანია არსებული, ხელსაწყოების მეშვეობით დაფრენის სისტემის ექსპლუატაციიდან ამოღება და მისი ჩანაცვლება არა სტაციონარული სააეროდრომო დანიშნულების, არამედ გაცილებით უფრო ზუსტი და მულტიფუნქციური გლობალური მასშტაბის, მეტი ტექნიკური შესაძლებლობისა და მომავლის ტექნოლოგიების დიდი სარეზერვო პოტენციალის მქონე სისტემით, რომელიც ამავდროულად უზრუნველყოფს არსებულ სატრანსპორტო ქსელში გაერთიანებული ცალკეული მოდულების მარტივი ადაპტაციის შესაძლებლობას კონცეპტუალურ შემუშავებასთან, გააუმჯობესებს და გაამარტივებს საჰაერო ხომალდების, ინდივიდუალური მოხმარების საჰაერო დანიშნულების აპარატების მართვას სატრანსპორტო უსაფრთხოების გაზრდილი მაჩვენებლის დაკმაყოფილებით.

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 ინჟინერიის მეცნიერებათა სრულყოფასა და კაცობრიობის განვითარებას.

დაცული ეკოლოგია, დაბალი ფინანსური საჭიროების მაჩვენებელი, მეტი ნავიგაციური შესაძლებლობა, გაზრდილი უსაფრთხოება, მაღალი ანტიტერორისტული და სახელმწიფოებრივი თავდაცვის ტექნოლოგია, სისტემური სიმარტივე და ადაპტაციის მარტივი შესაძლებლობა სხვა, მესამე კლასის მოდულებთან. ახალი კონცეფციის შემუშავება და დანერგვა სააეროდრომო დანიშნულების დაფრენის სისტემებში, მეტი სიზუსტის, ნაკლები ფინანსური აუცილებლობისა და გაზრდილი გამტარუნარიანობის შესაძლებლობით, აეროპორტების აეროდრომების მშენებლობის და შემდგომი ექსპლუატაციისას გარემო ლანდშაფტისადმი დამოუკიდებლობა. 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.

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. 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 ვლდებულობთ 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.

მეცნიერული სიახლე მიდგომარეობს 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.

ნაშრომის რეალიზაცია და პრაქტიკული ღირებულება ვლინდება შემუშავებული კონცეფციის ექსპლუატაციაში გაშვებისთანავე. რეალიზაცია გულისხმობს ავიაციაში არსებული ხელსაწყოების მეშვეობით დაფრენის სისტემის თან და თან ამოღებას, გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის ქსელში ავიაციის ინტენსიურ ჩართულობას, ქვეყნის მასშტაბით მაკორექტირებელი სასიგნალო ანძების განთავსებას, არსებული საავიაციო დანიშნულების მოდულების ადაპტაციას შემუშავებულ სისტემასთან და პროგრამული უზრუნველყოფის გაწერას დანიშნულებისამებრ. ყოველივე ზემოხსენებული წარმოადგენს ნაშრომის რეალიზაციის პრაქტიკულ ღირებულებას.

კვლევის მეთოდოლოგია მოიცავს სადისერტაციო ნაშრომში დასმული ამოცანების და განსახორციელებელი მიზნების 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 ფრენების ზონების გამოთვლისა და რადიო დაფარვის გაანგარიშების მეთოდოლოგია, რაც წარმოადგენს საჰაერო სივრცის მოდელირების - ზონებად დაყოფის არატრადიციულ, ორიგინალურ გადაწყვეტას. ნაშრომში გამოყენებულია კვლევები გლობალური ნავიგაციური თანამგზავრული სისტემების GNSS

მიმართულებით, გამოყენებულია პოზიცირების სიზუსტის შეფასებისა და მასთან დაკავშირებული GPS სისტემების ოპტიმალური გამოყენების მეთოდოლოგია.

მიღებული სამეცნიერო შედეგები და მათი უტყუარობა განპირობებულია ზუსტი პოზიცირების სისტემების პრაქტიკული ექსპლუატაციის დამოწმების გზით, რომელიც გამოიყენება გლობალური მასშტაბით და შემუშავებულია სამეცნიერო-საინჟინრო მეთოდებზე დაყრდნობით მსოფლიოს უმსხვილესი ავიაკოსმოსური სააგენტო-საწარმოების მიერ, ისეთების როგორცაა NASA (აერონავტიკისა და კოსმოსური სივრცის ეროვნული ადმინისტრაცია), ESA (ევროპული კოსმოსური სააგენტო) და უახლესი SpaceX. რაც უფრო მეტია კოორდინირებულ-ორიენტირებადი ფიქტიური წერტილების რაოდენობა სივრცეში, მით უფრო ზუსტი იქნება ობიექტის სივრცეში განლაგება.

ნაშრომის აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომში შემავალი ძირითადი საკითხები და მიღებული შედეგები წარმოდგენილია:

- საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-11 საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკურ კონფერენციაზე. (თბილისი, 2017წ)
- საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის მომავლის ინჟინერიის საკითხებთან დაკავშირებულ კონფერენციაზე. (თბილისი, 2017წ)
- საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-13 საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკურ კონფერენციაზე. (თბილისი, 2019წ)

გამოქვეყნდა ორი პუბლიკაცია სახელწოდებით: „აეროდრომების საჰაერო სივრცის მოდელირება“ და „დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების მოდიფიცირების თეორიული კონცეფცია ხარვეზების გამომწვევი ფაქტორებისაგან დაცვის მიზნით“ საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის ჟურნალ „საჰაერო ტრანსპორტში“ თანდართული მოხსენებითი თეზისებით.

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს: რეზიუმეს, შესავალს, ორ სხვა და სხვა საკითხთან დაკავშირებულ, ერთ შემაჯამებელ თავსა და დასკვნით ნაწილს, გამოყენებულ ლიტერატურათა ნუსხას და დანართს. სრული სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 222 გვერდისაგან.

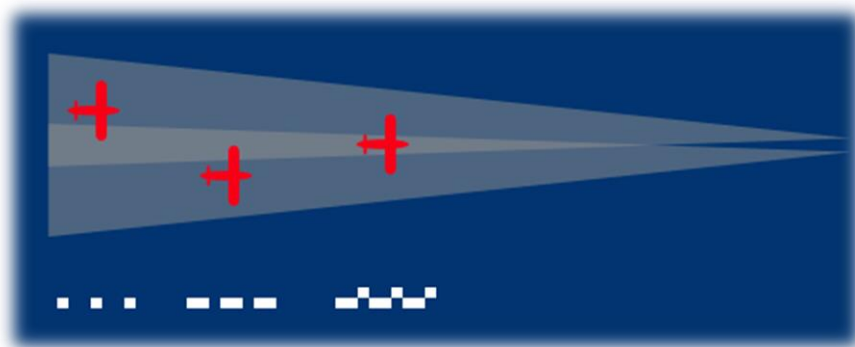
I. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემა

1.1. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის ეტაპობრივი პროგრესის მიმოხილვა და ანალიზი.

1929 წელს ამერიკის შეერთებულ შტატებში დაიწყო ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის (*ILS – Instrumental Landing System*) შემუშავება და ტესტირება. სისტემის ძირითადი მოქმედი ნაწილი ექსპლუატაციაში მიღებულ იქნა 1932 წელს გერმანიის ქალაქ ბერლინში, ტემპელხოფის აეროპორტში LLF - ის სახელწოდებით და მოიხსენიებოდა როგორც „ლორენცოს სხივი“ მისი მწარმოებლის სახელობის „C. Lorenz AG“ კომპანიის დასახელებიდან გამომდინარე.

„ლორენცოს სხივი“ წარმოადგენდა რადიოსანავიგაციო საშუალებას, რომელიც განკუთვნილი იყო თვითმფრინავის ბრმად დაფრენის პირობებში გამოყენებისათვის. მწარმოებლები მოიხსენიებდნენ როგორც Ultrakurzwellen-Landefunkfeuer (გერ. დაფრენის ულტრა მოკლე ტალღოვანი გადამცემი), ანუ LFF. ბრიტანეთში კი, აღნიშნულმა სისტემამ სახელი გაითქვა როგორც SBA (*Standard Beam Approach*), ანუ მიახლოების სტანდარტული სხივი.

„ლორენცო“ იყენებდა ერთ 33,33 მგჰც სიხშირის გადამცემს და ადზ-ის (*ასაფრენ-დასაფრენი ზოლი*) ბოლოში გრძივი ღერძის მართობულ ხაზზე განლაგებულ სამ ანტენას, რომელთაგან ცენტრალური ყოველთვის იმყოფებოდა ჩართულ მდგომარეობაში, მაშინ, როდესაც კიდურა ორი ანტენა პერიოდულად ირთვებოდა მექანიკური მბრუნავი ელექტრო ძრავას მეშვეობით (იხ.ნახ.1.1.1).



ნახ.1.1.1. ლორენცოს სხივის მოქმედების პრინციპი

შედეგად მიველეთ მიმართულების დიაგრამა, რომელიც ცენტრდებოდა რომელიმე კიდურა ანტენის გამოსხივებაზე, იმის მიხედვით თუ რომელი კიდურა ანტენა იყო მოყვანილი მოქმედებაში. ანტენა შორისი გადამრთველი ერთერთი ანტენის ჩართვისას შესაძლებელს ხდიდა ოპერატორისათვის მორზეს ანბანის ტირეების მიღებას, მეორეთი კი - წერტილების. სიგნალების აღმოჩენა შესაძლებელი იყო 30კმ-ის მანძილზე. ლორენცოს შეეძლო უფრო მეტად მიმართული სხივის მიღება ანტენური მესერის გამოყენების გზით. ადზ-თან მიახლოებისას ხომალდის ეკიპაჟი მომართავდა თავის რადიომიმღებს საჭირო სიხშირეზე და ისმენდა ეთერს. წერტილების ნაკადის მოსმენით მფრინავი ხვდებოდა, რომ ის იმყოფებოდა არა ცენტრალური, გრძივი ღერძის მიმართ, არამედ მარცხნივ, ე.წ. წერტილოვან სექტორში და შესაბამისად, უნდა ეფრინა მარჯვნივ ცენტრალურ ღერძზე მოხვედრისათვის. მარჯვენა მხარეს მოხვედრისას, მფრინავი მიიღებდა მორზეს ანბანის ტირეების ნაკადს, რაც მიანიშნებდა იმაზე, რომ თვითმფრინავი იმყოფებოდა ე.წ. ტირეების სექტორში და მფრინავს უნდა ეფრინა მარცხნივ. ადზ-ს გრძივ ღერძზე მოხვედრისათვის მფრინავს უნდა მიეღო ტონალური სიგნალი, ასეთის მიღება კი შესაძლებელი იყო მხოლოდ და მხოლოდ იმ არეალში მოხვედრისას, რომელზეც იკვეთებოდა ტირეებისა და წერტილების სექტორები, რომელიც თავის მხრივ თანხვედრილი უნდა ყოფილიყო ადზ-ს გრძივი ღერძისა. ერთი სიგნალის წერტილების ნაკადი ავსებდა მეორე სიგნალის ტირეების ნაკადს და მიიღებოდა მკვეთრი ერთგვაროვანი ტონალური სიგნალი, რომლის მიყოლებითაც ხომალდი მოხვდებოდა აეროდრომის ადზ-ზე. ამავდროულად გამოიყენებოდა ორი მცირე მომნიშნავი ანუ მარკერული სახმელეთო რადიოგადამცემი, რომლებიც განლაგებულები იყვნენ ადზ-ს გრძივ ღერძზე ადზ-დან 300მ-ის მანძილზე ე.წ. HEZ (Haupteinflugzeichen) და 30კმ-ის მანძილზე ე.წ. VEZ (Voreinflugzeichen). ორივე რადიოშუქურა მუშაობდა 38მგჰც სიხშირეზე და მოდულირდებოდა შესაბამისად 1700ჰც და 700ჰც სიგნალებით. ეს სიგნალები ვრცელდებოდა რადიოშუქურებიდან ზემოთ, ვერტიკალური მიმართულებით და მათი მიღება შესაძლებელი იყო მაშინ, როდესაც თვითმფრინავი გადაუფრენდა ამ მომნიშნავ მარკერებს. ადზ-თან მიახლოებისათვის მფრინავს უნდა შეენარჩუნებინა განსაზღვრული ცნობილი

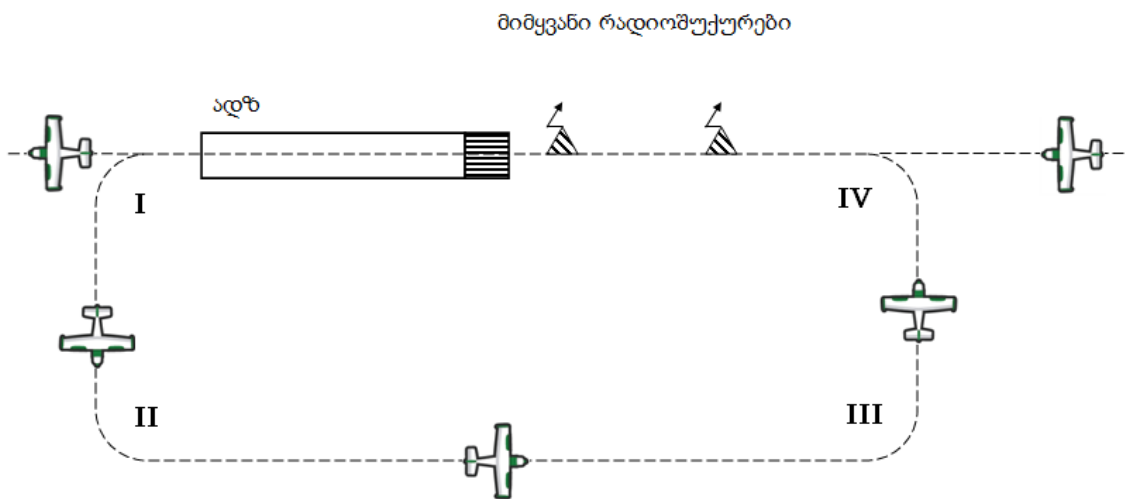
სიმაღლე და მიჰყოლოდა მიღებულ კორექტულ სიგნალებს. ამ მეთოდით შესაძლებელი იყო აეროდრომის ადზ-ზე მოხვედრა მიუხედავად იმისა ხედავდა თუ არა მფრინავი დასაფრენ ტერიტორიას. მაშასადამე, ე.წ. ლორენცის მეთოდის გამოყენებისას, მფრინავს შეეძლო მოემართა თვითმფრინავი ქვემოთ მიმართული, დახრილი ხაზის (გლისადის) გასწვრივ ისე, რომ ხომალდიდან ვიზუალურად გამოჩნდებოდა ადზ და შესაძლებელი გახდებოდა დაფრენის შესრულება, გარდა მეტისმეტად რთული მეტეო პირობების არსებობისა. ეს ყოველივე მოითხოვდა მფრინავის მიერ რადიოს მუდმივ და დაკვირვებულ მოსმენას, გარდა ამისა აუცილებელი იყო ავია მეთვალყურესთან კავშირზე გასვლა. მფრინავზე ზემომქმედი გადატვირთულობის განსამუხტავად ლორენცომ მოგვიანებით შეიმუშავა საბორტო დანიშნულების ინდიკატორი, რომელიც ღებულობდა სიგნალებს და თამასების მეშვეობით მიუთითებდა ადზ-ს ცენტრალურ ღერძს, რის მიხედვითაც მფრინავი განსაზღვრავდა მარჯვნივ მოემართა თვითმფრინავი თუ მარცხნივ. აღნიშნული ხელსაწყო აღჭურვილი იყო ორი ნეონური ნათების ნათურით, რომელიც ირთვებოდა მარკერულ რადიომუქურებზე გადაფრენისას. ეს ზემოაღწერილი ლორენცოს სისტემა მსგავსი იყო იმ რადიონავიგაციური სისტემისა, რომელიც შემუშავდა აშშ-ს სტანდარტების ბიუროს დაკვეთით 1930 სელს კომპანიაში “Diamond-Dunmore Equi-Signal.”

სწორ ხაზზე ფრენის მეთოდიკა გამოიყენეს ორი მიმყვანი რადიოსადგურის მეშვეობით დაფრენის სისტემის შემუშავებისას. აზრი მარტივია: ადზ - ს გრძივი სიმეტრიის ხაზზე დაყენებულია ორი მიმყვანი რადიოსადგური - შორი და ახლო. მფრინავი უნდა ეშვებოდეს დასაფრენი კურსის მიხედვით, ამავდროულად მიუყვებოდეს ადზ-ს გრძივ ღერძს, გადაუფრინოს შორ მიმყვან რადიომუქურას, შემდგომ გადაუფრენს ახლო მიმყვან რადიომუქურას, რის შემდეგაც ვიზუალურად უნდა გამოჩნდეს ადზ-ს მომნიშნავი განათება და საფრენი ბილიკის საწყისი.

ამისთვის ახლო მიმყვანი რადიოსადგური საკმარისად ახლოს უნდა განლაგდეს ადზ-სთან; საჭიროა მის თავზე გადაფრენა დაბალ სიმაღლეზე; ამავდროულად მიზანშეწონილია როგორც ჰორიზონტალური მიმართულების, სიჩქარისა და ვერტიკალური დაშვების სიჩქარის შენარჩუნება.

პრაქტიკულ მეთოდებზე დაყრდნობილმა გამოცდილებამ დროთა განმავლობაში შემდეგნაირად ჩამოაყალიბა აღნიშნული სისტემისადმი გარკვეული პარამეტრები, რომლებიც აეროდრომებიდან გამომდინარე დაახლოებით ასეთი სახე მიიღო: შორი მიმყვანი რადიოსადგური იმყოფება ადზ-დან 4 კმ-ის მოშორებით; ახლო კი - 1000 მ-ს მოშორებით; შორი მიმყვანი რადიოსადგურის გადაფრენისას თვითმფრინავი უნდა იმყოფებოდეს 200 მ-ს სიმაღლეზე, ხოლო ახლო რადიოსადგურზე გადაფრენისას კი - 60 მ-ის სიმაღლეზე.

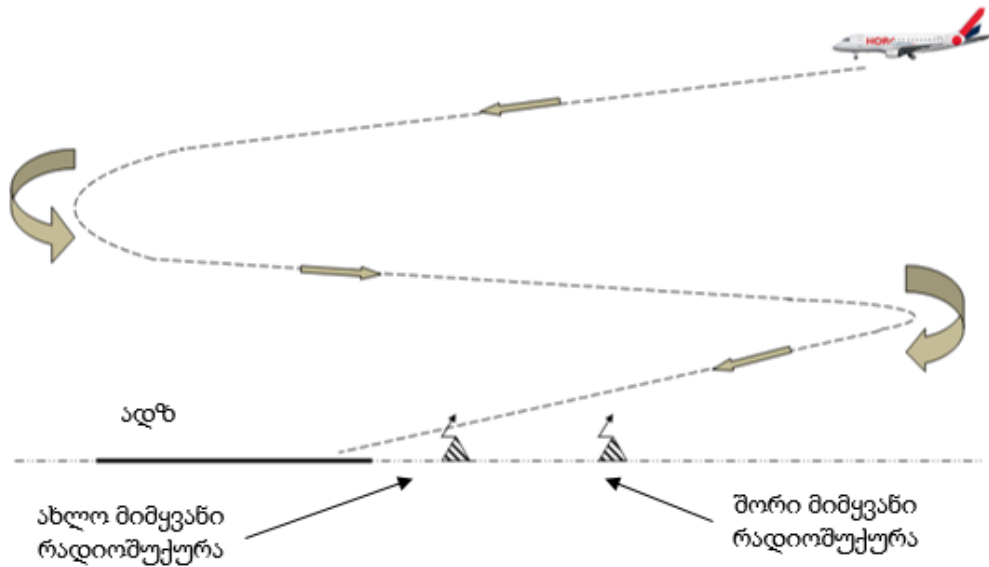
ჩნდება კითხვა: რომელი განსაზღვრული წერტილიდან უნდა მოხდეს დაშვება შესაბამისი დაშვების კურსისთვის? ან საერთოდ, როგორ მოხდეს მისი აღმოჩენა? ყოველი კონკრეტული აეროდრომისათვის არსებობს საკუთარი სქემა, რომლის მიხედვითაც საჰაერო ხომალდი ახორციელებს დაფრენას. ხშირ შემთხვევაში ის წარმოადგენს ე.წ. მართკუთხა მარშრუტს. როდესაც მიმყვანი რადიოსადგურები განაპირობებენ ადზ-სთან მისვლას, საჭიროა აღნიშნული მართკუთხა დაფრენის სქემის მიხედვით ფრენა. იხ.ნახ.1.1.2



ნახ. 1.1.2. აეროდრომისათვის მითითებული დასაფრენი სქემის ზედხედი

თვითმფრინავი აფრინდება რა ადზ-დან ის მიუყვება ე.წ. მართკუთხა სქემას. შესაბამისი პროპორციების დაცვითა და ოთხი მარჯვენა ან მარცხენა 90°-იანი შემობრუნების შემდეგ ხომალდი ხომალდი იმყოფება საფრენი ბილიკის გრძივ ღერძზე. ე.ი ხომალდი მეორე 90°-იანი შემობრუნების შემდეგ იფრინა აფრენის საწინააღმდეგო, ანუ შებრუნებული კურსით. ეს კი იგივეა რაც დაფრენის კურსი.

გაუსწორდება რა ხომალდი მიმყვანი რადიოსადგურებისა და ადზ-ს გრძივ ღერძთა ხაზს, ეს იმის მანიშნებელია რომ ხომალდი იმყოფება გლისადაზე გასვლის წერტილზე და სადღაც ამ ინტერვალში უნდა დაიწყოს დაშვება. (აგრეთვე იხ. ნახ.1.1.3.)



ნახ. 1.1.3. აეროდრომისათვის მითითებული დასაფრენი სქემის გვერდხედი

დაშვება ხორციელდება განსაზღვრულ ვერტიკალურ მცირე სიჩქარეზე, დახრილი ხაზის მიხედვით, ანუ გლისადით. გლისადა - (ფრანგულად Glissade – „სრიალი“) - საფრენი აპარატის ფრენის ტრაექტორიის ვერტიკალური პროექცია, რომლის მიხედვითაც ს.ხ ეშვება უშუალოდ დაფრენის წინ. გლისადის მიხედვით ფრენის შედეგად ხომალდი ხვდება ადზ-ს არეში. ე.წ პარაპლანირიზმში გლისადად იწოდება პირდაპირი მიმართულება დაფრენის წინ. იმ შემთხვევაში თუ კი გამოთვლები სწორია 200 მ სიმაღლეზე უნდა შემობრუნდეს უკუმიმართულებით შორს მიმყვან რადიოშუქურაზე მანიშნებელი ერთ-ერთი ისარი. ამის შემდეგ შესაძლებელია დაშვების გაგრძელება ახლო რადიოსადგურის მიხედვით. იმ შემთხვევაში თუ კი არ ფიქსირდება გადაფრენა შორი მიმყვანი რადიოსადგურის თავზე, მანამ სანამ არ დადასტურდება გადაფრენა და მხოლოდ ამის შემდეგ გაგრძელდება დაშვება.

უშუალოს ახლო მიმყვან რადიოსადგურთან 100 მ-ით მიახლოებისას შეიძლება ადზ-ს ვიზუალური დათვალიერება.

ე.ი. შესაძლებელია გლისადაზე გასვლის წერტილის გამოთვლა. ამისათვის საჭიროა მკაცრად მივუყვებოდეთ კურსს და განსაკუთრებული ყურადღება მივაქციოთ რადიოკომპასის ისრებს. ნებისმიერი სახის მანევრი დასაფრენ სქემაზე ხორციელდება შორ მიმყვან რადიოსადგურზე დაყრდნობით, ის კი 4 კმ-ის მოშორებით ყენდება ადზ-დან და შეიძლება ითქვას რომ რაღაც მხრივ მთავარია თავისი ფუნქციური მნიშვნელობიდან გამომდინარე.

მაშინ როდესაც ს.ხ. ადზ-დან აფრენის შემდეგ შეასრულებს ორ 90⁰-იან შემობრუნებას მარჯვნივ ან მარცხნივ, ის აღმოჩნდება საფრენი ბილიკის მარჯვენა და მარცხენა გრძივი ღერძის ჰორიზონტალურად პარალელურ მიმართულებაზე. ამ რეჟიმით ფრენისას ფრენისას შორი მიმყვანი რადიოსადგურის ისარი დაიწყებს თანდათანობით შემობრუნებას და როდესაც მიაღწევს 90⁰-იან ნიშნულს ეს იმის მანიშნებელი იქნება რომ ხომალდი იმყოფება შორი მიმყვანი შუქურის გასწვრივ.

როგორც კი ხომალდი აღმოჩნდებოდა შორი მიმყვანი შუქურის გასწვრივ მფრინავი რთავდა წამზომს იმისათვის, რომ ზუსტად გამოეთვალა საფრენი მანძილი თავისი სიჩქარისა და დასაფრენი სქემიდან გამომდინარე. ჩვენს შემთხვევაში ფრენის ხანგრძლივობა 15 წმ-ს შეადგენს. წამების განსაზღვრის შემდეგ ვასრულებთ მესამე 90⁰-იან შემობრუნებას.

მესამე შემობრუნების შემდეგ ხომალდი მიემართება მეოთხე შემობრუნების უბნისაკენ. მეოთხე შემობრუნების დაწყების წინ რადიოკომპასის ისარი უნდა აჩვენებდეს 90⁰-ზე ოდნავ ნაკლებს შემობრუნების მიმართულებით. შემობრუნების დროულად და სწორად შესრულებისას ხომალდზე აღმოჩნდება დაფრენის ზუსტკურსზე ანუ ადზ-ს გრძივ ღერძსა მიყვანი რადიოსადგურების ერთ ღერძზე; რადიოკომპასის ორივე ისარი გვიჩვენებს პირდაპირ მიმართულებას; საჭირო ხდება ზემოაღნიშნული დროითი მნიშვნელობის შენარჩუნება საგლისადო წერტილში გასვლისათვის. ეს წერტილი კი იმყოფება ადზ-დან მკაცრად განსაზღვრულ მანძილზე, როგორც წესი 8600მ.

ფრენის სქემა ყოველთვის მკაცრადაა განსაზღვრული და უცვლელად ფიქსირებულია ყოველი აეროდრომისათვის. ე.ი შეიძლება ამ სქემის გეომეტრიულ პარამეტრებზე დაყრდნობით მოხდეს საჭირო დროითი ინტერვალებისა და სიჩქარის განსაზღვრა. ისეთი მეთოდით სქემის შესაბამისად დაფრენას მოითხოვს მანძილისა და სიჩქარის, დროის მიხედვით განსაზღვრისას.

მაშ როგორ მოვიქცეთ ქარის არსებობის შემთხვევაში? საჭირო იქნება ქარის მიერ გამოწვეული წანაცვლების კომპენსირება; შეიძლება საჭირო გახდეს თვითმფრინავის ცხვირა ნაწილის შემობრუნება ქარის მიმართულებით, ანუ დრეიფის კუთხის არსებობა სავსებით დასაშვები გამოდის. ეს კი იმას ნიშნავს რომ რადიოკომპასის ისრები აღარ გვიჩვენებენ და აღარ დაემთხვევიან ადზ-სა და მიმყვანი რადიოსადგურების მიმართულების. გასათვალისწინებელი იქნება ქარის მიმართულება და ხომალდის დრეიფის კუთხე ანუ კუთხე თვითმფრინავის საგზაო მიმართულებასა და მის გრძივ გრძივ ღერძს შორის. საჭიროა თუ არა დაფრენისას აღნიშნული დიდი რაოდენობის გამოთვლითი ინფორმაციით გონების ზედმეტი გადატვირთვა?

-დიახ საჭიროა, და არა მხოლოდ აღნიშნული ინფორმაციით. ქარი მოქმედებს არა მხოლოდ პირდაპირი დაფრენის არამედ ე.წ. მართკუთხა სქემით მოძრაობის დროსაც აქვს ზეგავლენა. აქვე აღსანიშნავია, რომ მართკუთხა სქემის მიხედვით მოძრაობის დროს ქარი სხვადასხვანაირად მოქმედებს ხომალდზე მართკუთხედის ყოველი გვერდის გავლისას. გათვალისწინების გარეშე დასაფრენმა მართკუთხა სქემამ შეიძლება პარალელოგრამის ფორმა მიიღოს. ე.ი. ყოველი გამოთვლითი სიდიდე კარგავს სიზუსტეს და შესაბამისად აზრსაც.

უნდა აღინიშნოს, რომ ქარი ზემოქმედებს მართკუთხა ე.წ. სქემის ყოველ გვერდზე თავისებურად. მაგალითად: შემხვედრი ქარი შეიძლება არმოჩნდეს ისე, რომ საჰაერო ხომალდი სულაც არ გადაადგილდებოდეს ადზ-ს მიმართ.

სრულად დასაშვებია, რომ მართკუთხა სქემის გავლის დრო სხვადასხვა უბანზე იქნება უფრო მეტი ან ნაკლები გამოთვლებთან მიმართებაში.

ასე რომ მფრინავი იძულებულია დროის რეალურ რეჟიმში შემოიტანოს კორექტივები ჰარის სიჩქარის და მიმართულების, თვითმფრინავის დრეიფისა და სრიალის კუთხის და ა.შ. მაჩვენებლების გათვალისწინებით.

სწორედ ამაში მდგომარეობს ე.წ. მართკუთხედის არსი. გასათვალისწინებელია კურსი ყოველი უბნისათვის, სიჩქარე და დრო შემდეგ შემობრუნებამდე.

გლისადაზე გასვლის შემდეგ მფრინავმა უნდა იცოდეს მიახლოებითი სავარაუდო დრო თუ როდის გადაუფრენს შორ მიმყვან რადიოსადგურს. გარდა ამისა, შემხვედრი ქარისას მფრინავმა უნდა გამოთვალოს დაშვების ვერტიკალური სიჩქარე ქარის სიჩქარესთან მიმართებაში. შტილის დროს 400 მ-ით დაშვებისას 100 წმ-ის განმავლობაში გლისადაზე გასვლის წერტილიდან ადზ-მდე შესაძლებელია 4 მ/წმ-ის სიჩქარის შენარჩუნებით. უფრო მეტი სიჩქარით დაშვებისას ხომალდი დაეცემა ხმელეთს არ მისული ადზ-მდე, ხოლო უფრო მცირე ვერტიკალური სიჩქარით დაშვებისას ხომალდი შეიძლება აღმოჩნდეს ადზ-ს შუაში ან სულაც გადაუფრინოს მას. ფრენის სიჩქარესთან მიმართებაში ძლიერი ან მეტისმეტად ძლიერი შემხვედრი ქარისას ხომალდი შეიძლება უძრავი აღმოჩნდეს, ე.ი. დაშვება დაუშვებელია. გამოდის, რომ რაც უფრო მძლავრია შემხვედრი ქარი, მით უფრო ნაკლები ვერტიკალური დაფრენის სიჩქარეა საჭირო და შესაბამისად ხომალდით უფრო მეტ ხანს აღმოჩნდება ადზ-ს გრძივი ღერძის საგლისადო პროექციაზე. ხოლო თუ კი ქარი შემხვედრია, დაფრენის ვერტიკალური სიჩქარეც ოდნავ მეტი უნდა იყოს შტილის პირობებთან მიმართებაში. წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი ექნება ე.წ. გადაფრენას.

მფრინავები მიეჩვივნენ ე.წ. მართკუთხედის ელემენტების გამოანგარიშებასა და საჭირო მნიშვნელობების შენარჩუნებას. აღმოჩნდა, რომ დაფრენისათვის, ყველაზე მკაცრ ამინდის პირობებშიც კი, საკმარისია ორი მიმყვანი რადიოსადგური, კომპასი და წამზომი: ღირებულების ქვედა ზღვარი დაახლოებით 60 მ-ია, მხედველობა კი - 800 მ. ცხადია ადგილი ქონდა მფრინარების გონების გადატვირთულ მუშაობას: საჭირო იყო არსებული მნიშვნელობების ადგილზე კორექცია, სწორი გამოთვლების წარმოება, კურსებისა და სიჩქარეთა გათვალისწინება დასაფრენი სქემის მიხედვით, ამავდროულად თვითმფრინავის დასმა ადზ-ზე. ეს ყოველივე კი გარკვეულწილ მოითხოვს ე.წ. საფრენოსნო ოსტატობის გამოცდილებას.

რა თქმა უნდა რადიოკომპასი, ისევე როგორც სხვა სახის რადიომიმღები სუსტი და მგრძობიარეა ხელშემშლელი დაბრკოლებების მიმართ. რადიოკომპასის ისარი ხშირად იხრება სხვადასხვა მიმართულებით: ხან აჩვენებს ელვისა და ჭექაქუხილის მიმართულებას, ან გადახტება მძლავრი სიგნალის მქონე რადიოსადგურისაკენ, ხან კი სულაც ზემოქმედებას მასზე არეკლილი სიგნალი და ა.შ. თუმცაღა ძირითად მიმართულების რადიოკომპასის ისარი ყოველთვის სწორად აჩვენებს, რამოდენიმე ორი ან სამი გრადუსის ცდომილებით, ეს კი სავსებით საკმარისია მსუბუქი თვითმფრინავით დაფრენისათვის.

დროთა განმავლობაში გაიზარდა საჰაერო ხომალდის გაბარიტები, გაიზარდა მათი მასა და შესაბამისად ინერციაც, შესაბამისად სულ უფრო რთულდებოდა სხ-ის დაფრენა მიმყვანი რადიოსადგურების მიხედვით. საავიაციო ინჟინრებმა დროთა განმავლობაში შეიმუშავეს დაფრენის ახალი რად. ტექნიკური საშუალება უფრო გაბარიტული ხომალდებისათვის, რომელიც არ მოითხოვდა განსაკუთრებული გამოთვლების წარმოებას დაფრენისას. მიუხედავად ამისა, კურსისა და გლისადის სისტემებით დაფრენისას გამოცდილი ეკიპაჟი ყოველთვის აკონტროლებს თავის ქმედებებს ძველ მეთოდებზე დაყრდნობით: რადიოკომპასის გამოყენებით.

მეორე მსოფლიო ომის დაწყებამდე გერმანელებმა განათავსეს სისტემა თავიანთ სამხედრო დანიშნულების აეროდრომებზე და აღჭურვეს ბომბდამშენები შესაბამისი რადიომიმღები მოწყობილობებით. ე.წ. სხივური ნავიგაცია მოქმედებს სივრცეში არსებული ერთი წერტილისათვის, რაც მას გამოსადეგარს ხდის დაფრენების შესრულებისათვის, მაგრამ გამოუსადეგარს - სანავიგაციო დავალებებისათვის. შედეგად შემუშავდა ე.წ. მბრუნავი სანავიგაციო დანადგარები, რომელიც ცნობილი გახდა “Elektra”-ს სახელწოდებით. შემდგომი მოდიფიკაციის “Elektra-Sonnen” შემუშავების გზით შესაძლებელი გახდა ასობით და ათასობით კილომეტრის სიგნალებით გადაფარვა, რასაც იყენებდნენ საჰაერო ხომალდები და წყალქვეშა ნავებიც კი. მეორე მსოფლიო ომის შემდგომი პერიოდიდან აღნიშნული ტიპის სისტემა კიდევ უფრო განვითარდა; დაერთო გაუმჯობესებული საპილოტაჟო ხელსაწყოები, რომლებიც უზრუნველყოფდნენ თვითმფრინავის როგორც ჰორიზონტალურ (LFF),

ასევე ვერტიკალურ პოზიცირებას სივრცეში. ამ სისტემა-დანადგარების ქმედითუნარიანობა იმდენად ეფექტური იყო, რომ გამოიყენებოდა 1960 წლამდე.

სამოქალაქო ავიაციის ადმინისტრაციამ (*CAA – Civil Aeronautics Administration*) 1941 წლიდან გასცა ნებართვა სისტემის დამონტაჟებასა და გამოყენებაზე, ისიც მხოლოდ ექვს აეროპორტში. პირველი გეგმარებითი დაფრენა ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის გამოყენებით შესრულდა 1938 წლის 26 იანვარს “Pennsylvania Central Airlines”-ის კუთვნილი Boeing 247D (იხ.სურ.1.1.4.) ტიპის სამგზავრო თვითმფრინავით, რომელიც გამოფრინდა აშშ-ის კოლუმბიის ოლქის ქალაქ ვაშინგტონიდან პენსილვანიის შტატის ქალაქ პიტსბურგის მიმართულებით.



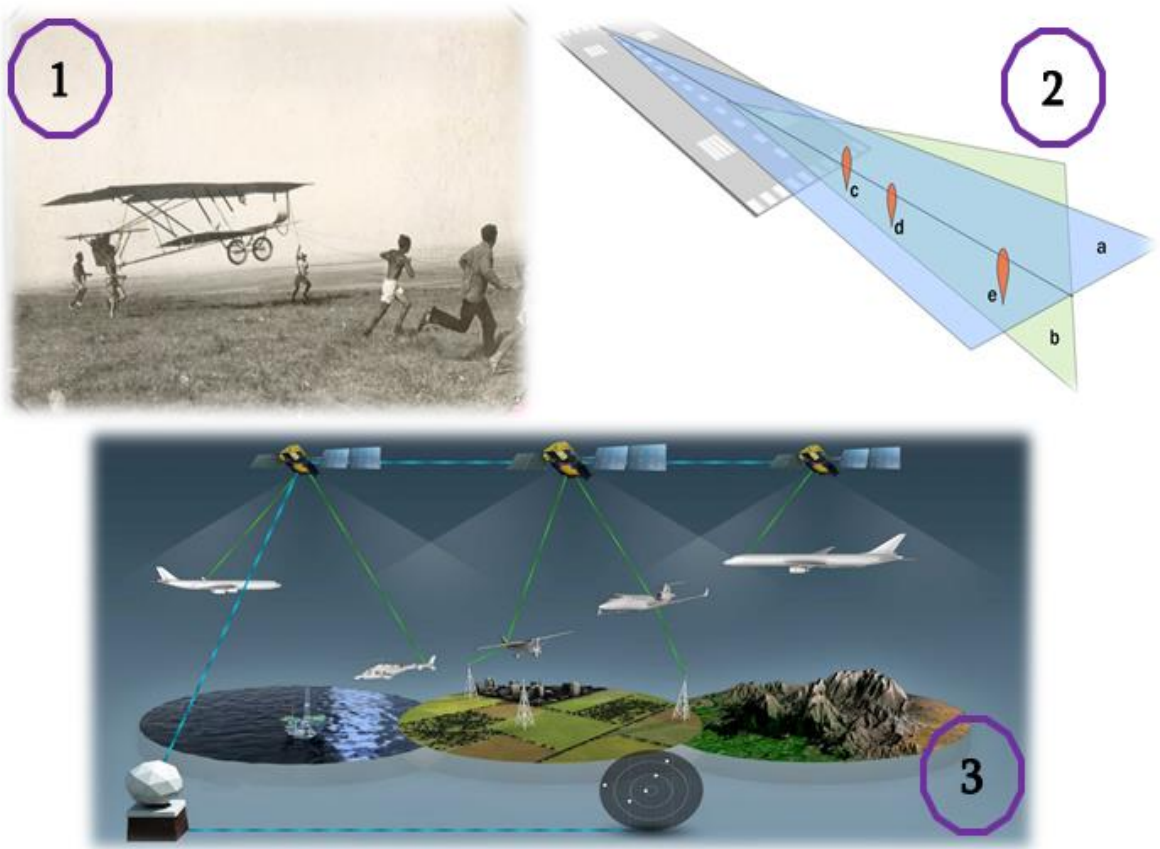
სურ. 1.1.4. 1938 წლის Boeing 247D

ყურადსაღებია, რომ ხომალდის ეკიპაჟმა დაფრენა შეასრულა ხილვადობის არქონისა და ზამთრის ქარბუქის ცუდ მეტეო პირობებში მხოლოდ და მხოლოდ ინსტრუმენტული სისტემის გამოყენების გზით. პირველი, სრულიად ავტომატური დაფრენა ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის გამოყენებით განხორციელდა 1964 წლის მარტში, ბრიტანეთის ქალაქ ბედფორდის აეროპორტში.

ყურადღება გასამახვილებელია იმაზე, რომ თუ კი კაცობრიობამ, ადამიანის გონების ევოლუციის გზითა და ტექნოლოგიურ-ინჟინრული ინოვაციების საფუძველზე მივიდა საფრენი აპარატები მშენობლობისა და მათი ეფექტურად გამოყენების ეტაპამდე, აუცილებლად გასათვალისწინებელ, სრულყოფამდე მისაყვანია აღნიშნული სფეროს სხვა დანარჩენი სექტორები, იმდენად რამდენადაც დღევანდელი ავიაცია არ არის მხოლოდ და მხოლოდ ძმებ რაიტების მიერ კონსტრუირებული საფრენი აპარატი. იმდროინდელმა კლასიკურმა ავიაციამ განვლო ევოლუციის გარკვეული ეტაპები და დღეისათვის ჩამოყალიბდა ე.წ. საავიაციო

ინდუსტრიად, რომელმაც თავის მხრივ ამ დარგში გააერთიანა რამდენიმე ცალკეული სფერო - ნავიგაცია, კოსმონავტიკა, რადიოტექნიკა, აეროპოტების მშენებლობა და მწვანე ტექნოლოგიები და ა.შ.

თავდაპირველად იყო მხოლოდ და მხოლოდ ადამიანის ოცნება ფრენებთან დაკავშირებით, შემდგომ გაჩნდა სურვილი, რასაც დაერთო ტექნოლოგიური მიღწევები. შემდგომ იყვნენ ძმები რაიტები. ცხადია, ნებისმიერი რამ, რაც დედამიწის ზედაპირიდან აფრინდება, აუცილებლად ჩამოვარდება. ე.ი. აუცილებელი გახდა ფიქრი არა მარტო ფრენებზე, არამედ საჰაერო საფრენი აპარატების დაფრენის მეთოდოლოგიაზე, ტექნოლოგიებსა და ახალ უსაფრთხო ინოვაციებზე. დასაფრენი მინდვრებიდან გადავედით აეროდრომებზე, რომლებშიც გამოიყენებოდა ასაფრენ-დასაფრენი ზოლები. 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 ჩამოყალიბება-დაიხვეწა განიცადა ნავიგაციამ, ავიონიკამ, კავშირგაბმულობამ და აეროდინამიკული ეფექტურობის მაჩვენებელმაც. ყურადსაღებია ის ფაქტი, რომ არა ასეთი მონდომებული მუშაობა და ინოვაციების შემოღება, საავიაციო ინდუსტრია ვერ მიაღწევდა დღევანდელ მაჩვენებელს. ცხადია, ეს არ არის შესაძლებლობების მწვერვალი, უკეთესი შედეგების მისაღწევად აუცილებელია კვლევა-ძიება და ტექნოლოგიური პროგრესის ინტეგრაცია აღნიშნულ სექტორში. საავიაციო სფეროს გამოჩენის პერიოდიდან მოყოლებული დღემდე, დავდივართ იმ შედეგამდე, რომ 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 განხრით დახვეწა-განვითარება. საავიაციო ტექნიკური განვითარების ქრონოლოგია იხილეთ ნახატზე 1.1.5.



ნახ. 1.1.5. ავიაციის განვითარების ქრონოლოგია

1.2. საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის აუცილებლობის განმარტებითი არსი

საჭიროა თუ არა ე.წ. დაფრენის სისტემები? რა ფუნქციას ასრულებენ ისინი და რა არის მათი დანიშნულება? შესაძლებელია თუ არა უარი ვთქვათ დაფრენის სისტემებზე და დავეყრდნოთ მხოლოდ და მხოლოდ ადამიანის, მფრინავის პირადინდივიდუალურ შეხედულებასა და ვითარების შეფასებას? ან და საერთოდ რა დამოკიდებულებაა დაფრენის სისტემებს, საჰაერო ხომალდებს, მფრინავ ეკიპაჟს, საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურებსა და აეროდრომების ადრ-ს შორის? საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის აუცილებლობაზე საუბრისას საჭიროა რაციონალურად ავწონ-დავწონოთ და შევაფასოთ ყველა ის ასპექტი, რომელთანაც პირდაპირ ან თუნდაც ირიბ კავშირშია ჩვენს მიერ ხსენებული დაფრენის სისტემა. განვიხილოთ ავიაციის ევოლუცია მისივე განვითარების ეტაპებთან მიმართებაში. თავდაპირველად იყო პრიმიტიული საჰაერო საფრენი აპარატი. ცხადია, აფრენის შემდგომ აუცილებელი იყო მისი დაფრენა. იმ დროიდან მოყოლებული დღემდე, ითვლება, რომ ყველაზე უფრო მეტად პრობლემატურია თვითმფრინავის დაფრენის ეტაპი. ამაზე მეტყველებს საავიაციო შემთხვევების სტატისტიკური ანალიზი, რომელიც იწარმოება არა ერთი სახელმწიფოსა და სატრანსპორტო უსაფრთხოების მოძრაობის პასუხისმგებლობის მქონე ორგანიზაციის მიერ.

პირველადი თვითმფრინავების წარმოებიდან მოყოლებული, აუცილებელი იყო სპეციალური ტერიტორიის განსაზღვრა, რომლის ამოცნობას მფრინავი ახერხებდა მხოლოდ და მხოლოდ ვიზუალური ორიენტირების გამოყენებით. ე.ი. პირველადი ხელსაწყო, უმარტივესი სისტემა, შედგებოდა აეროდრომების სახმელეთო ვიზუალური განმსაზღვრელებისა და მფრინავი ეკიპაჟის გამოცდილებისაგან. ფრენების შესრულებისას პილოტი იძულებული იყო მოეხდინა ვიზუალური დაფრენა, წინასწარ განსაზღვრულ ადგილას, რომელიც ხშირ შემთხვევაში გამოირჩეოდა გარემო ლანდაფტისაგან. ცხადია ამ შემთხვევაში ჯერ კიდევ ბოლომდე არ იყო სრულად მოაზრებული ისეთი ცნებები როგორცაა კურსი, გლისადა, დაშვების ვერტიკალური სიჩქარე და ა.შ. შედეგები მიიღწეოდა ე.წ. „მოსინჯვისა და შეცდომების“ მეთოდით. ცხადია, ასეთი მცდელობების ეფექტურობა იყო

უკიდურესად დაბალი, იმდენადაც რამდენად მსხვერპლის მაჩვენებელი, ტექნიკური შედეგების მიღწევები ვერ ამართლებდა მოლოდინებს. დიდი იყო ზარალიც, რადგან იმ დროისათვის არსებული ტექნოლოგიები არ იძლეოდა საჭიერო ხომალდების წარმოების დაბალი ფასის ფიქსაციას. იხ.ნახ.1.2.1



ნახ.1.2.1. წარუმატებელი ვიზუალური დაფრენა ერთ-ერთ აეროდრომზე

აუცილებლად უნდა აღინიშნოს, რომ დაფრენის ერთ-ერთ სახმელეთო ვიზუალურ ხელსაწყოს გარკვეულ პირობებში წარმოადგენდა ცეცხლწაკიდებული ჩირაღდანი; როგორც წესი, მათი განლაგება ხდებოდა ადზ-ს გრძივი კიდეების გასწვრივ, იმისათვის, რომ მფრინავს დღე-ღამის ბნელ დროს დაენახა დასაფრენი სივრცე. ცალსახაა, რომ ასეთი სისტემა მეტად პრიმიტიულია, თუმცა მეტად ნათელია მისი აუცილებლობა. ღამის პირობებში ფრენების შესრულება პრაქტიკულად შეუძლებელია, თუ არ გავითვალისწინებთ გარკვეული მეთოდებით მონიშნულ ადზ-ს. დღისით მფრინავი იყენებდა ვიზუალურ სახმელეთო ორიენტირებს, რომლის ფუფუნებაც მას არ ჰქონდა დღე-ღამის ბნელ დროს.

მეორე მსოფლიო ომის და განსაკუთრებით მის შემდგომ პერიოდში მიდგომა სრულფასოვან დაფრენის სისტემასთან მიმართებაში მკვეთრად შეიცვალა. აუცილებელი იყო ისეთ კატეგორიის სისტემები, რომლებიც ნებისმიერი მეტეო პირობებისა და დღე-ღამის ნებისმიერ დროს უზრუნველყოფდნენ თვითმფრინავის ზუსტ მიყვანას ადზ-მდე კურსისა და გლისადის გათვალისწინებით, ცხადია ეს ყოველივე დადებით მახასიათებლებად ჩაითვლებოდა თუ კი მფრინავი მხოლოდ და მხოლოდ საჭირო ხელსაწყოების მიხედვით მოახდენდა საჭიერო ხომალდის დაფრენას ადზ-ზე. ასეთი ტიპის სისტემების კონცეფციაზე მუშაობა დაიწყო გასული

საუკუნის 20-იან წლებში, ხოლო 30-იან წლებში კი - ამოქმედდა ექსპერიმენტულ, დამხმარე რეჟიმში. ფართო გამოყენება შეინიშნება 40-იანი წლებიდან მოყოლებული. 60-იან - 70-იან წლებში კი ჩამოყალიბდა, როგორც საერთაშორისო საჰაერო მოძრაობის სტანდარტის სახით და მიენიჭა აუცილებლობის პირობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ავიაციასა და საავიაციო სისტემებს დიდი ბიძგი მიეცა განვითარების თვალსაზრისით მეორე მსოფლიო და მის შემდგომ ე.წ. ცივი ომის პირობებში. მისწრაფება უკეთესობისა და დახვეწილობისადმი გამოწვეული იყო ერთგვარი კონკურენციით, რომელიც ხშირ შემთხვევაში სიკვდილ-სიცოცხლის საკითხების გადაწყვეტის მნიშვნელობას ატარებდა ერთმანეთთან კონფლიქტში მყოფი სახელმწიფოებისათვის. იმდროინდელმა მისწრაფებამ უკეთესი და მოწინავე ტექნოლოგიების გამოყენებისადმი მიგვიყვანა იქამდე, სადაც დღეს ვართ. თუმცა ამით საკითხი არ ამოწურულა. ტექნოლოგიურმა პროგრესმა იმდროინდელ სამხედრო სექტორიდან გადმოინაცვლა დღევანდელ თავისუფალ კომერციულ-კაპიტალისტურ სექტორში, რომელშიც მეტი ფინანსური შემოსავალი, მოგება გაცილებით უფრო ძლევა მოსილია ვიდრე არაჰუმანური სამხედრო მსოფლმხედველობა.

საჰაერო ხომალდების დაფრენის სისტემის აუცილებლობა გამომდინარეობს ადამიანის გონებრივი ანალიზის შესაძლებლობიდან, უფრო კონკრეტულად კი - მათემატიკური ანალიტიკიდან. დავუბრუნდეთ ავიაციის განვითარების პირველად პერიოდს, როდესაც საჰაერო ტრანსპორტის რაოდენობა მკვეთრად იზრდება საავიაციო გადაზიდვების მატების პარალელურად. ნებისმიერი იმდროინდელი თვითმფრინავი იმართებოდა ადამიანის, ინდივიდუალური გადაწყვეტილების და გონების ანალიზის შესაძლებლობის მქონე პირის მიერ. ე.ი. საავიაციო ტრანსპორტის მიმოსვლების მატებასთან ერთად იზრდებოდა ქაოსურ ვითარებამდე მისვლის ალბათობაც. საჰაერო მოძრაობაში კანონზომიერების დაცვის გარეშე რაიმე ქმედების შესრულება ყოველმხრივ დაუშვებელია, იმდენად რამდენადაც იზრდება კატასტროფისა და საავიაციო შემთხვევის შესაძლებლობის ალბათობა, რაც წესისამებრ უარყოფითი, არასასურველი შედეგებით სრულდება. პირველ რიგში აუცილებელია უსაფრთხოების სტანდარტების დაცვა ტექნოლოგიური მიზნების,

ეკონომიკური მაჩვენებლის, მოთხოვნებისა და სასურველი შედეგების მიღების გათვალისწინებით.

თანამედროვე კლასიკური ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა უზრუნველყოფს თვითმფრინავის ზუსტ მიყვანას ადზ-ის შეხების წერტილამდე კურსის, გლისადის და დარჩენილი საფრენი მანძილის გათვალისწინებით. საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურის ავია მეთვალყურე აძლევს მითითებებს საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟს სწორი, უსაფრთხო მანევრების შესასრულებლად და უზრუნველყოფს დაფრენის ნებართვის გაცემას, თვითმფრინავის დაფრენის სწორ პოზიციაზე მომართვას ეკიპაჟის მოთხოვნიდან გამომდინარე. სირთულის ილუსტრირებისა და ცხადყოფის მიზნით გავითვალისწინოთ, რომ აეროპორტი JFK (*John Fitzgerald Kennedy, NY, USA*) უზრუნველყოფს ერთი და იგივე ადზ-ს გამოყენებით თვითმფრინავების მიღება - გაცილებას ორ წუთიანი ინტერვალის დაშვებით. ცხადია ასეთ შემთხვევაში აეროპორტთან მისასვლელი საჰაერო სივრცე უკიდურესად გადატვირთულია (იხ.ნახ.1.2.2.), შესაბამისად უმაღლეს მწვერვალებს აღწევს საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურის ავია მეთვალყურის პასუხისმგებლობის და საჰაერო ხომალდების შესაბამის სექტორში მომსახურება-უსაფრთხოების საკითხები.



ნახ.1.2.2. აეროპორტი JFK, გადატვირთული საჰაერო სივრცე

საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურის ავია მეთვალყურე აკონტროლებს და აძლევს გარკვეულ სახის მითითებებს საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟებს უსაფრთხოების

სტანდარტების გათვალისწინებით. ცხადია ამ შემთხვევაში ყოველად დაუშვებელი და ქაოსის გამომწვევი იქნებოდა ინდივიდუალური პილოტის მიერ მიღებული ცალკეული გადაწყვეტილება, იმდენად რამდენადაც რაც მეტია დროის ერთეულ მომენტში საჰაერო სივრცის გარკვეულ სექტორში საჰაერო ხომალდების რაოდენობა, მით უფრო მეტია ალბათობა იმისა, რომ ყოველი მფრინავის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება არ იქნება ერთმანეთთან თანხვედრაში. ე.ი. აუცილებელია ერთი მაკონტროლებელი ორგანო, რომელიც მიიღებს ყველანაირ ინფორმაციას და მისი ანალიტიკური დამუშავების შედეგად გასცემს რაციონალური გადაწყვეტილების მქონე შესაბამის პასუხს მის დაქვემდებარებაში მყოფი ყოველი საჰაერო ხომალდისათვის. შესაბამისად, უკვე ამ აღნიშნული მომენტიდან მფრინავის თავისუფალი ქმედება შეზღუდულია გარკვეული სახის კანონზომიერებით, მას არ შეუძლია სურვილისამებრ დისპეტჩერის გარეშე მიიღოს თავისუფალი გადაწყვეტილება, მფრინავის ნებისმიერი სასურველი ქმედება აუცილებლად უნდა იყოს შეთანხმებული ავია მეთვალყურესთან, რათა მან გააანალიზოს შემდგომი ვითარება, დაიცვას უსაფრთხოების ნორმები და თავიდან აირიდოს რისკის გამომწვევი ფაქტორები. ზემოთ მოყვანილი ნახადიდან ჩანს, რომ ავია მეთვალყურეს ხშირად უწევს რამდენიმე ეკიპაჟთან ერთდროული კომუნიკაცია, ეს კი შემაფერხებელი ელემენტია. აქედან გამომდინარე ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის არსებობა მფრინავისა და ავია მეთვალყურისაგან დამოუკიდებლად იძლევა კანონზომიერ სქემას, რომლის გათვალისწინებითაც ვერ მოხდება კატასტროფის შემცველი მომენტ-ფაქტორები. ამავდროულად ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემა უზრუნველყოფს ამინდის მეტეო პირობების გათვალისწინებას, რაც უმარტივეს საქმეს ეკიპაჟის წევრებსა და საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურს. სახმელეთო სააეროდრომო დანიშნულების შუქ სანათი სისტემის არსებობა წარმოადგენს ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის ერთ-ერთ მოდულს, რომლის ფუნქცია მდგომარეობს ადზ-ს სრულფასოვან ან გაუმჯობესებულ ვიზუალიზაციაში ამინდის მეტეო პირობების პირობითი გათვალისწინებით.

სახმელეთო დანიშნულების ინსტრუმენტულ დაფრენის სისტემას გააჩნია შეზღუდვები და უარყოფითი ტექნიკური თუ ეკონომიკური მახასიათებლები.

საკურსო-გლისადის სისტემა იმდენივეა საჭირო, რამდენ ადრ-ც მოიცავს აეროდრომი. მათი მუშაობის სიხშირული დიაპაზონი შეიძლება უარყოფითად მოქმედებდეს რადიოშუქურების რადენობაზე. მთიანი ლანდშაფტი კი იწვევს მეორად გამოსხივებას [22],[51].

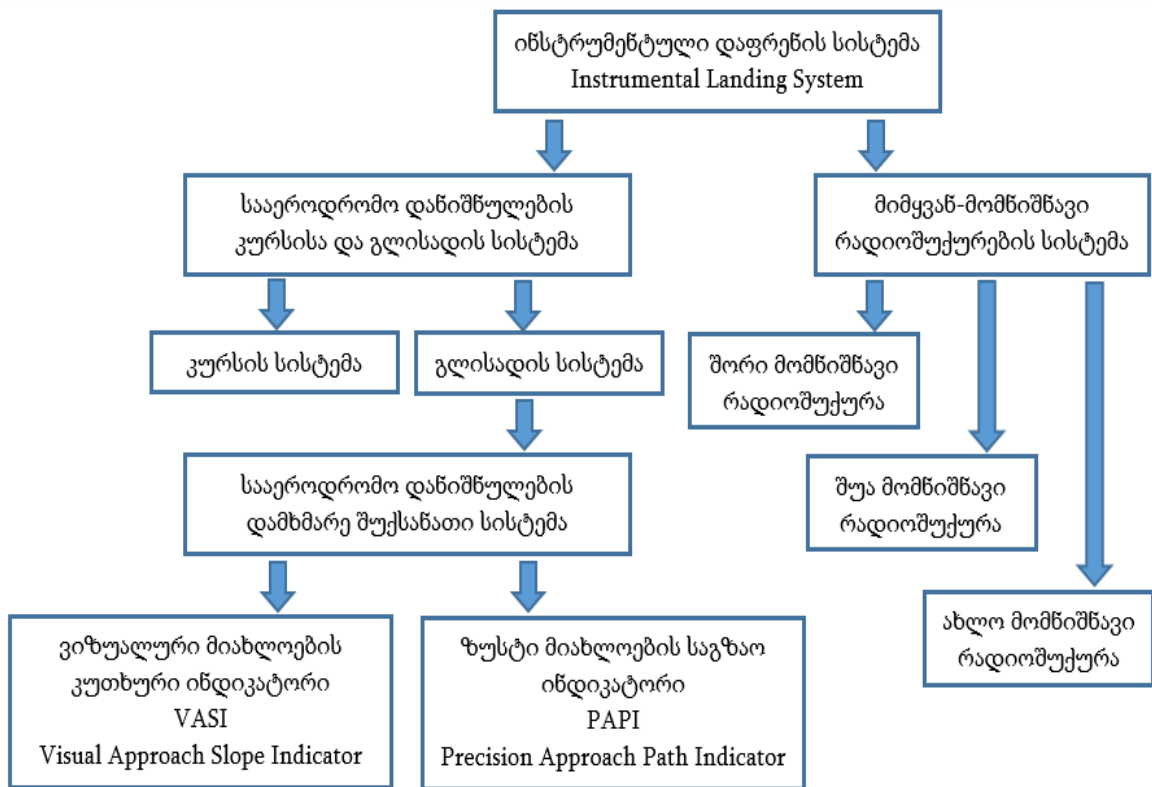
1.3. საჰაერო ხომალდების თანამედროვე ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის პრინციპული საფუძვლები; ILS და MLS

1929 წელს დაიწყო იმ დროისათვის კონცეპტუალური რადიონავიგაციური სისტემების ტესტირება, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელი გახდებოდა საჰაერო ხომალდით დაფრენა ადრ-ზე ვიზუალური კონტაქტის დამყარების გარეშე. 1950 წელს კი აღნიშნული სისტემის გამოყენება ნებადართული იყო აშშ-ს ექვს აეროდრომზე ამავე ქვეყნის საავიაციო ადმინისტრაციის განკარგულებით.

განვიხილოთ, თუ რას წარმოადგენს ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა და რა არის მისი დანიშნულება, მოქმედების პრინციპი, შეზღუდვები და დადებითი მახასიათებლები.

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*).

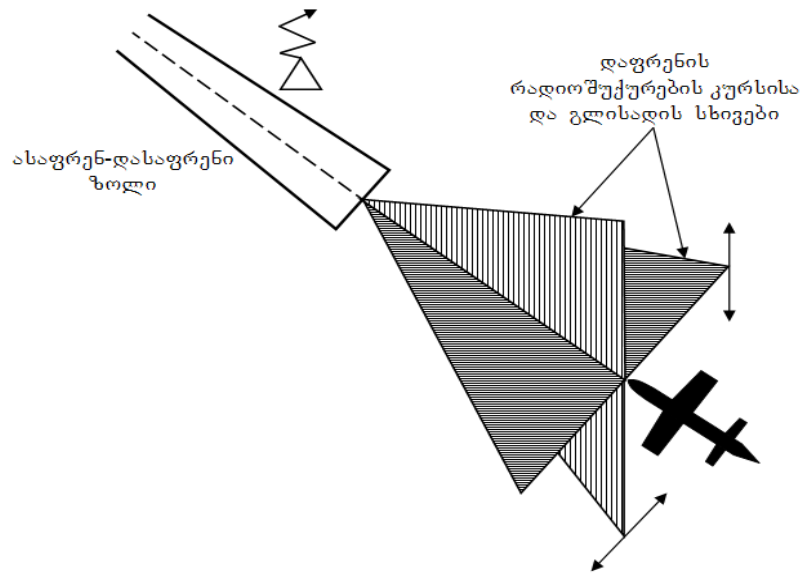
კურსისა და გლისადის სისტემის დანიშნულებაა სააეროდრომო ადრ-ს ხილვადობის არარსებობის პირობებში (და არა მხოლოდ) გრძივი ღერძისა და გლისადის ხაზის ინსტრუმენტულ-ვირტუალური წარმოჩენა საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟისათვის დაფრენის პროცედურების შესასრულებლად დაფრენის ეტაპზე გადასული ხომალდისათვის. ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის ზოგადი სტრუქტურა/შემადგენლობა იხილეთ ნახ.1.3.1.



ნახ. 1.3.1. ILS-ის ზოგადი სტრუქტურა და შმადგენლობა

ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემა, ანუ ILS (ინგ. Instrumental Landing System) მოიცავს ორი სააეროდრომო დანიშნულების ნაწილს: საკურსო (Localizer) და გლისადის (Glideslope) რადიოშუქურებს.

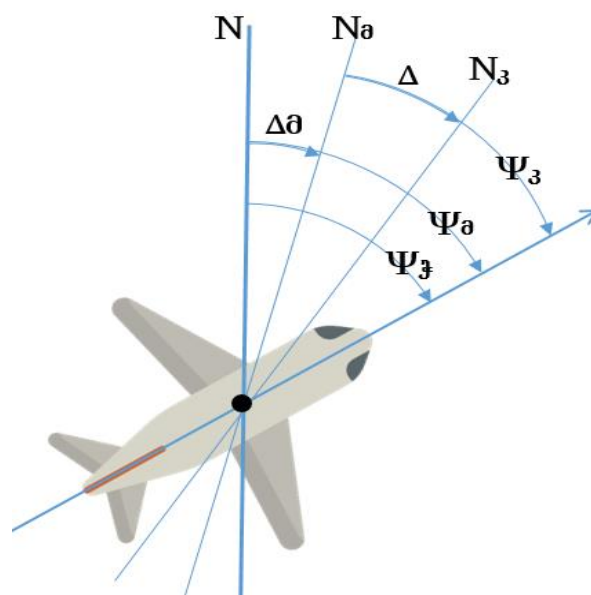
ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის რეჟიმში (რეჟიმი ILS) სისტემა უზრუნველყოფს (ადრ-სთან მისვლისას) ფრენის მოცემული მიმართულების დაცვას ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში (იხ. ნახ. 1.3.2). სისტემა ინფორმაციას გასცემს გლისადის (G/S) ხაზიდან და დაფრენის საკურსო რადიოშუქურას (LOC) თანაბარსიგნალიანი ზოლიდან გადახრის სიგნალების სახით.



ნახ.1.3.2. G/S და LOC რადიოშუქურების სასოგნალო სიბრტყეების კვეთა

საკურსო რადიოშუქურა, დასახელებიდან გამომდინარე, უზრუნველყოფს თვითმფრინავის საკურსო მიმართულების შენარჩუნების მდგრადობას.

კურსი - კუთხე, ჭეშმარიტ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, თვითმფრინავის გრძივ ღერძსა და ჩრდილოეთ მიმართულებას შორის. საკურსო კუთხე იზომება გრადუსებში და აითვლება საათის ისრის თანხვედრილი მიმართულებით. განარჩევენ აგრეთვე მაგნიტურ კურსს, პელენგსა და აზიმუტს. იხ.ნახ.1.3.3.



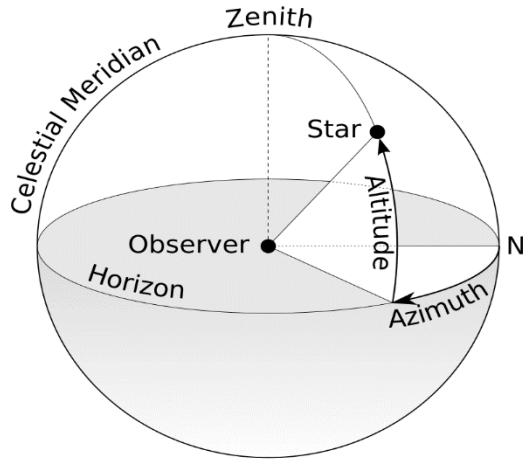
ნახ.1.3.3.. თვითმფრინავის კურსი

კურსი არის კუთხე, რომელიც აითვლება საათის ისრის მიმართულებით ადგილის მერიდიანის ჩრდილოეთ მიმართულებასა და თვითმფრინავის გრძივი ღერძის ჰორიზონტის სიბრტყეზე პროექციას შორის. გეოგრაფიული მერიდიანიდან ათვლილ კურსს ჭეშმარიტს უწოდებენ, მაგნიტური მერიდიანიდან ათვლილს - მაგნიტურს, კომპასური მიმართულებიდან ათვლილს - კომპასურს. მაგნიტური კურსი - კუთხე ჩრდილო-მაგნიტურ პოლუსზე გამავალ მერიდიანს, თვითმფრინავსა და თვითმფრინავის მიმართულებას შორის.

მაგნიტური კურსი Ψ_m ჭეშმარიტი კურსისაგან Ψ_k განსხვავდება მაგნიტური გადახრის სიდიდით ΔM , ხოლო კომპასური კურსი Ψ_k მაგნიტური კურსისაგან განსხვავდება მაგნიტური დევიაციის სიდიდით. დევიაცია - მნიშვნელობების ნორმიდან გადახრა. კუთხეს ჭეშმარიტ კურსსა და კომპასურ კურსს შორის ვარიაცია Δ ეწოდება. თუ კურსი იზომება ორთოდრომიის მიმართ, მას ორთოდრომული კურსი ეწოდება. ორთოდრომია არის წრის რკალი - უმოკლესი მანძილი ორ წერტილს შორის დედამიწის სფეროზე.

პელენგი ნავიგაციაში - კუთხე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ჩრდილოეთ მერიდიანის მიმართულებასა და დასაკვირვებელ ობიექტიდან მიმართულებას შორის. იზომება გრადუსებში საათის ისრის თანხვედრილი მიმართულებით 0° -დან 360° -მდე. პელენგის განსასაზღვრისათვის აუცილებელია ორი წერტილი - დამკვირვებელი და ობიექტი.

აზიმუტი - (არაბული სიტყვაა და ნიშნავს მიმართულებას) კუთხე, რომელიც იქმნება ჩრდილოეთის მიმართულებას, დამკვირვებელსა და დასაკვირვებელ საგანს შორის. (იხ.ნახ.1.3.4.). მას ჩრდილოეთის მიმართულებიდან საათის ისრის თანხვედრილი მოძრაობის მიხედვით ითვლიან 0° -დან 360° -მდე.



სურ. 1.3.4. აზიმუტის განმსაზღვრავი სქემა

Observer - დამკვირვებელი; Horizon - ჰორიზონტი;

Zenith - საზენიტო წერტილი; N - ჩრდილოეთ მიმართულება;

Azimuth - აზიმუტი; Altitude - სიმაღლე;

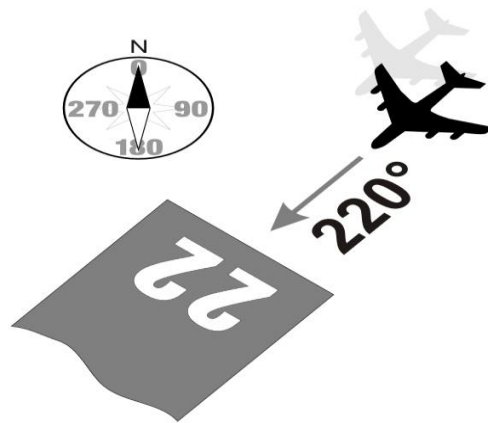
ნებისმიერ ასაფრენ-დასაფრენ ზოლს გააჩნია განსაზღვრული ე.წ. დაფრენის მაგნიტური საგზაო კუთხე. ის განსაზღვრება მაგნიტური კურსით, რომელიც მიესადაგენა ადზ-ს. ადზ-ს კურსის რიცხვით ნიშნულს ამრგვალებენ ათეულის ფარგლებში, ხოლო ნულოვანი კურსი შეცვლილია 360⁰-ით.

მაგალითად ერთერთი აეროდრომის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის მაგნიტური კურსია 72⁰, მაშინ მისი მარკერული ნიშნული იქნება - ადზ 07. ცხადია, ნებისმიერი ადზ ერთდროულად მიმართულია ორ მხარეს, რომელთა საკურსო სხვაობა იქნება 180-ის ტოლი. ე.ი. თუ კი ადზ-ს მაგნიტური კურსია 72⁰, მეორე შემოსასვლელი კურსი იქნება 252⁰. შესაბამისად, აღნიშნული აეროდრომის ადზ-ს მარკერული საკურსო ნიშნული იქნება 07/25.

ხშირ შემთხვევაში აეროდრომს გააჩნია რამოდენიმე ადზ, რომელიც განლაგებულია ერთმანეთის პარალელურად, ანუ გააჩნია ერთი და იგივე კურსი, მიმართულება. ასეთ შემთხვევაში საკურსო ტიცხვით მნიშვნელობას უმატებენ აღნიშვნას L(მარცხენა), C(ცენტრალური) ან R(მარჯვენა).

მაგალითისათვის, ჩიკაგოს მიდვეის აეროპორტს გააჩნია სამი ერთსა და იმავე კურსზე $136^{\circ}/316^{\circ}$ განლაგებული ადზ, შესაბამისად მათი მარკერული აღნიშვნა იქნება: ადზ13L/31R, ადზ13C/31C და ადზ13R/31L.

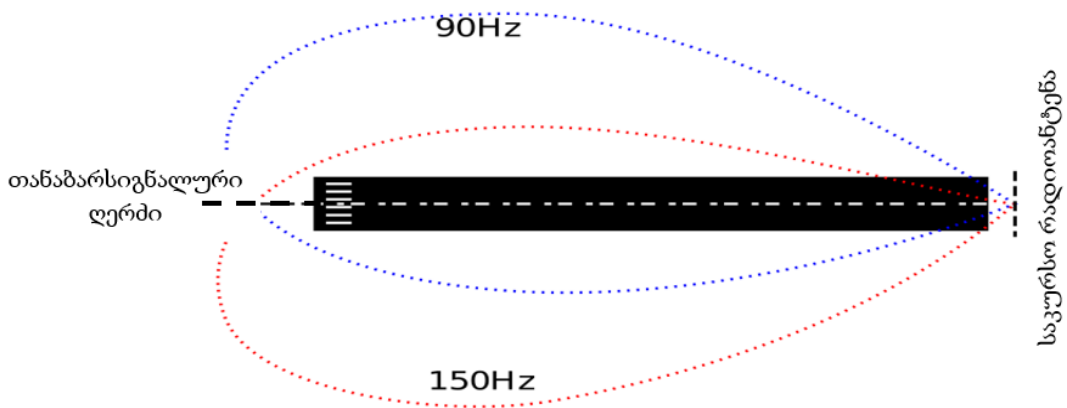
პარიზის შარლ და გოლის სახელობის აეროპორტს გააჩნია ოთხი ერთი და იგივე კურსის ადზ, შეცდომებისა და გაუგებრობების თავიდან აცილების მიზნით მათი საკურსო მარკირებაა: ადზ08R/26L, ადზ08L/26R, ადზ09L/27R და ადზ09R/27L. მაგალითისათვის იხ.ნახ.1.3.5.



ნახ.1.3.5. თვითმფრინავის კურსი და ადზ-ს საკურსო მარკერული ნიშნული

საკურსო რადიომუქურა განლაგებულია ადზ-ს ბოლოში, გრძივი ღერძის სიმეტრიის დაცვის გათვალისწინებით. საკურსო რადიომუქურული სისტემა შედგება მიმართული, რამდენიმე ჰორიზონტალური პოლარიზაციის გამოსხივების მქონე ერთ რიგში ჩამწკრივებული მეტრული დიაპაზონის გამოსხივების მქონე ანტენებისაგან.. რადიომუქურის სამუშაო სექტორის $\pm 35^{\circ}$ -მდე გაზრდის მიზნით ხშირად გამოიყენება დამატებითი ანტენური გისოსი. საკურსო რადიომუქურას მუშა სიხშირეთა დიაპაზონი მოთავსებულია 108-დან 112მგჰც-მდე (გამოიყენება 40 არხიანი სიხშირეთა ბადე, სადაც საკურსო რადიომუქურის ყოველ სიხშირეს მიესადაგება გლისადის რადიომუქურას შესაბამისი სიხშირე). საკურსო რადიომუქურა განლაგებულია ადზ-ს ბოლოში, მისივე გრძივი ღერძის მართობულ-სიმეტრიულად. საკურსო საანტენო სისტემა სივრცეში ერთდროულად აფორმირებს ორ ჰორიზონტალურ მიმართულების მქონე დიაგრამას, პირველ დიაგრამას აქვს ერთი განიერი ფერცელი, რომელიც მიმართულია ადზ-ს ღერძულა ხაზის გასწვრივ, რომელშიც გადამტანი

სიხშირე ამპლიტუდით არის მოდულირებული ორი 90ჰც და 150ჰც სიხშირეთა ჯამით. მეორე დიაგრამა აქვს ორი ვიწრო საწინააღმდეგო ფაზის ფურცელი მარჯვენა და მარცხენა, ღერძულა ხაზიდან, სადაც რადიოსიხშირე მოდულირებულია ამპლიტუდით 90 და 150 ჰც სიხშირეთა სხვაობის სიხშირით, ხოლო გადამტანი სიხშირე კი ჩახშობილია. შეკრების გამო სიგნალი სივრცეში ნაწილდება ისეთნაირად, რომ ხერძულა ხასის გასწვრივ ფრენის დროს მოდულაციის სიღრმე ნულის ტოლია. ღერძულა ხაზიდან გადახრისას, ერთი სიხშირის მოდულაციის სიღრმე იზრდება, ხოლო მეორესი კი მცირდება. შესაბამისად მოდულაციის სიღრმის სხვაობა იზრდება დადებით ან უარყოფით მხარეს. ამასთანავე, რადიოშუქურას მოქმედების ზონაში მოდულაციის სიღრმეთა ჯამი რჩება უცვლელი. საბორტო საპილოტაჟო-სანავიგაციო მოწყობილობა მოდულაციის სიღრმეთა სხვაობის სიდიდეს ზომავს საჰაერო ხომალდის დაფრენისკურსიდან გადახრის დროს. ე.ი. მარტივი აღქმისათვის ვიცოდეთ, რომ საკურსო რადიოშუქურას მუშაობის საფუძველში დევს ორი გამოსხივებული სიგნალის ამპლიტუდების შედარება - ერთი მათგანი მოდულირებულია 90ჰც სიხშირის ძაბვით, ხოლო მეორე - 150ჰც სიხშირის ძაბვით. ეს სიგნალები გამოსხივდება ორი ურთიერთნაწილობრივ გადაფარული სხივის სახით, რომლებიც სიმეტრიულადაა წანაცვლებული მარჯვნივ და მარცხნივ ადზ-ს ღერძულა ხაზის მიმართ. (იხ.ნახ.1.3.6)

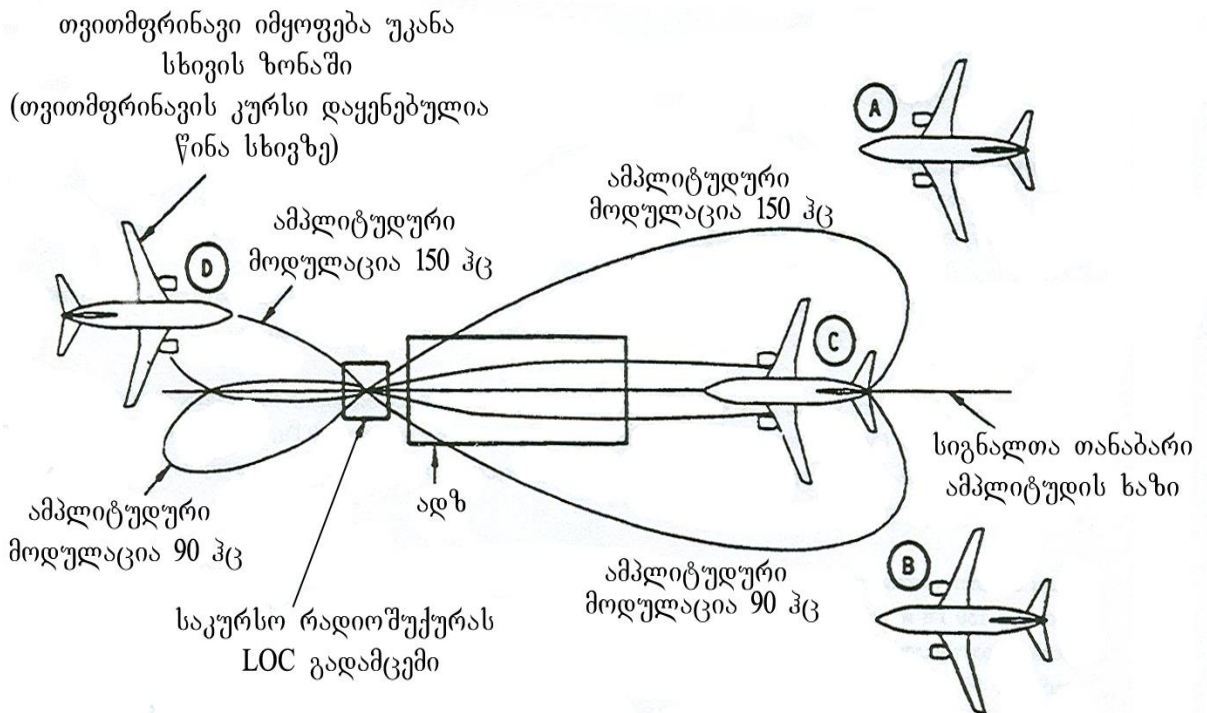


ნახ. 1.3.6. საკურსო რადიოშუქურას გამოსხივების პირობითი დიაგრამა

თუ თვითმფრინავი კურსის ხაზიდან (თანაბარსიგნალიანი ზოლიდან) იხრება მარცხნივ, მაშინ 90 ჰც სიხშირის სიგნალის ამპლიტუდა აღემატება 150 ჰც სიხშირის სიგნალის ამპლიტუდას და კურსის ხაზის მდებარეობის მაჩვენებელი ინდიკატორის ეკრანზე გადაინაცვლებს მარჯვნივ, მიუთითებს რა, რომ ადზ-ს ღერძული ხაზი მარჯვნივ იმყოფება.

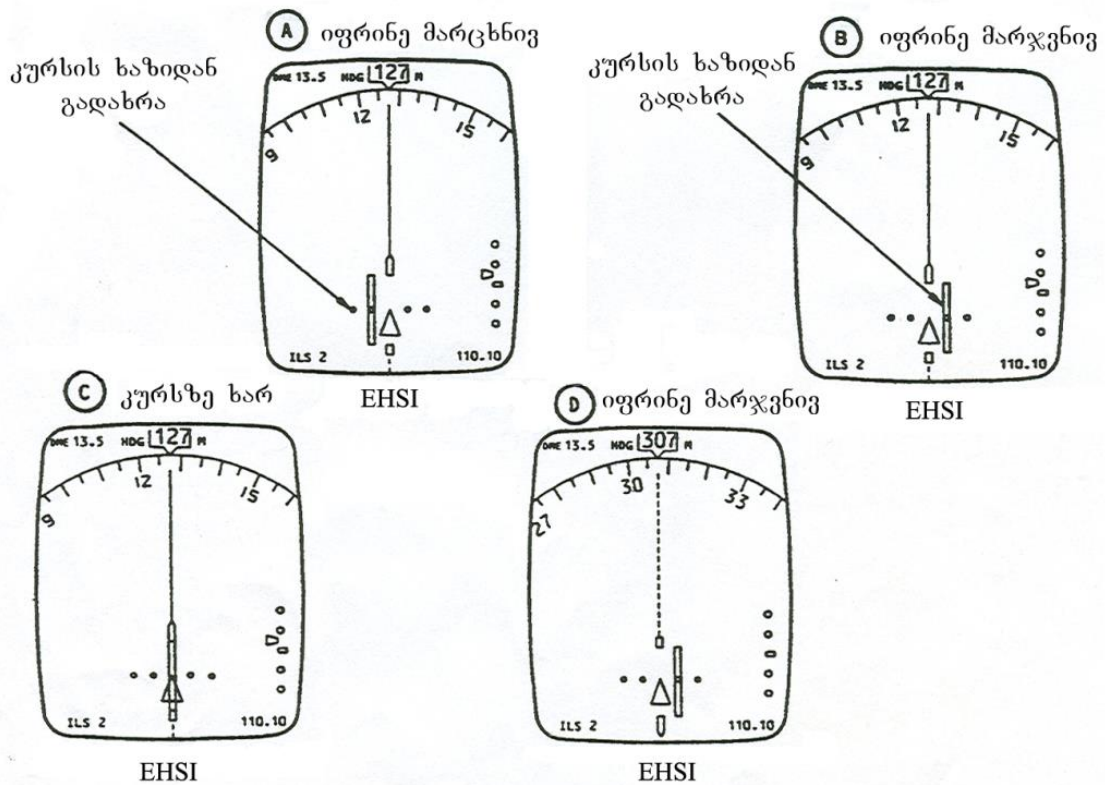
თითოეული სიგნალი ვიზუალურად ასახავს მიმართულების დიაგრამას, ანუ ცალკეულ სიგნალის მიმართულების მქონე ფოთოლაკს. საბორტო მიმღები მოწყობილობა ერთმანეთს ადარებს ორ სიგნალს და მათი ინტენსიურობის მნიშვნელობიდან გამომდინარე აფიქსირებს ხომალდის ადგილმდებარეობას ასაფრენ დასაფრენი ზოლის ანუ ადზ-ს გრძივი ღერძის მიმართ, შესაბამისად მიიღება გადაწყვეტილება საჭაერო ხომალდის ადზ-ს მიმართ მარჯვნივ ან მარცხნივ გადაინაცვლების შესახებ (საჭიროების შემთხვევაში).

დაფრენის საკურსო რადიომუქურას აშშ-ში შემოკლებით აღნიშნავენ როგორც LOC (*Localizer*), ხოლო ევროპაში კი - LLZ. საკურსო რადიომუქურის მუშა სიხშირეთა დიაპაზონი მოთავსებულია 108 მგჰც - 111,975 მგჰც-ის (კენტ მეათედ ნაწილებსი, სიხშირეთა 40 არხიანი ბადის გამოყენებით) ინტერვალში. თანამედროვე საკურსო რადიომუქურული სიგნალები მკაცრად მიმართულია განსაზღვრული მიმართულებით. ნახ.1.3.7- ზე ნაჩვენებია საკურსო რადიომუქურას გამოსხივების მიმართულებათა დიაგრამები და თვითმფრინავის განლაგების სხვადასხვა შემთხვევა საფრენი ბილიკის მიმართ.



ნახ. 1.3.7. 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.

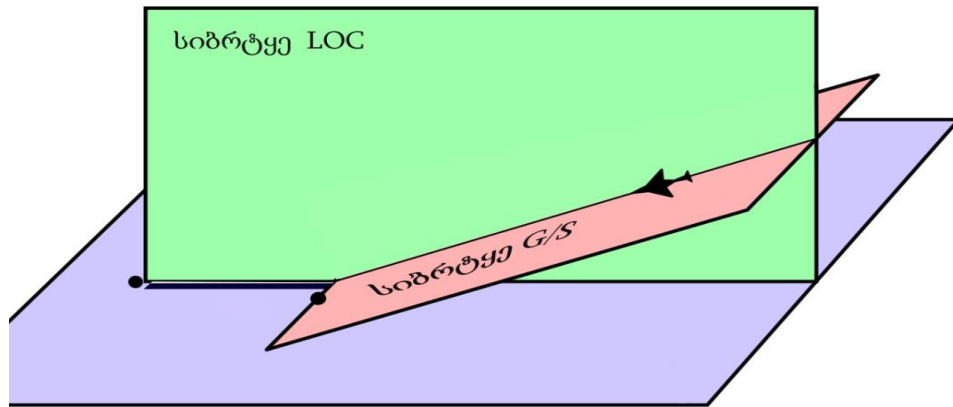


ნახ. 1.3.8. მფრინავის კაბინაში არსებული ხელსაწყოები და თვითმფრინავის მდებარეობის ვიზუალური ასახვა საკურსო ხაზის მიმართ

ნავიგაციური სიგნალების გარდა, კურსის რადიოშუქურა გადასცემს იდენტიფიცირებულ (გაიგივებულ) კოდს, მორზეს ანბანის ორ ან სამ ასოს. ეს საშუალებას აძლევს ეკიპაჟს ან შტურმანს დარწმუნდეს იმაში, რომ იგი მომართულია კურსის-გლისადის საჭირო სისტემაზე, რომლის შესახებ დაუყონებლივ უნდა ეცნობოს ეკიპაჟს [8].

გლისადის რადიოშუქურა (Glideslope (G/S) ან Glidepath (G/P)) ყენდება აეროპორტის შენობა-ნაგებობებისა და სამიმოსვლო ბილიკების საპირისპიო მხარეს, ადუ-ს გვერდით, მისი გრძივი ღერძის მართობულ ხაზზე 120მ - 180მ-ის მოშორებით და სიგნალის გასხივებით წარმოქმნილი სიბრტყე კვეთს საკურსო რადიოშუქურის სიგნალურ სიბრტყეს თვითმფრინავის საფრენ ბილიკზე შეხების ზონაში. (იხ. ნახ. 1.3.9). გლისადის რადიოშუქურის დაშორება ადუ-ს ზღურბლიდან განისაზღვრება ისეთნაირად, რომ გლისადის მოცემული კუთხით დახრის დროს საყრდენი წერტილი

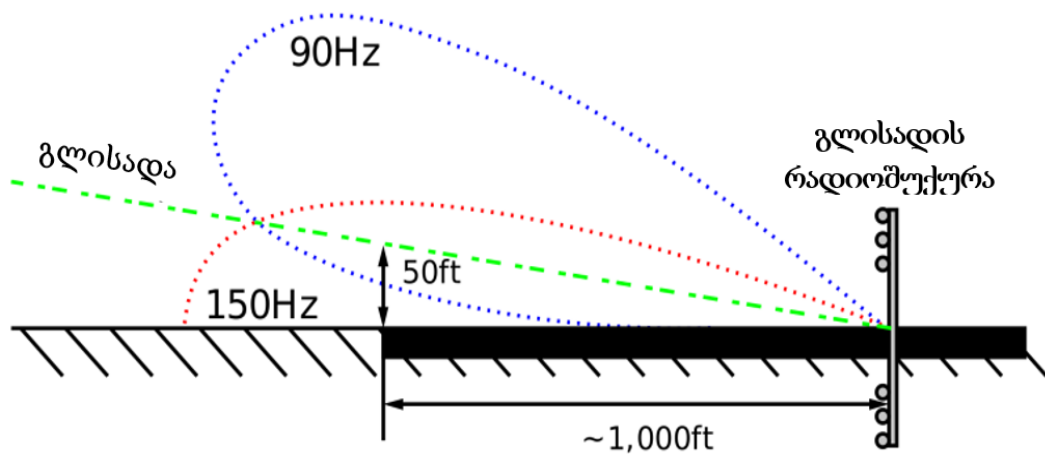
იყოს 15 ± 3 მეტრ სიმაღლეზე I და II კატეგორიის დაფრენის სისტემის რადიოშუქურისათვის და $15+3-1$ მეტრი III კატეგორიის სისტემისათვის.



ნახ.1.3.9. გლისადისა და კურსის სიბრტყეების კვეთა

გლისაგის რადიოშუქურას ანტენის სისტემა წარმოადგენს ორ მიმორიგებულ გისოსს, რომელიც არის დეციმეტრულინდიაპაზონის, ჰორიზონტალური პოლარიზაციის და სიმაღლეში მიმართული მოქმედების. გლისადის რადიოშუქურას მუშა სიხშირის დიაპაზონი არის 329 – 335 მგჰც. გლისადის რადიოშუქურის სისტემის ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ფორმირება დედამიწის ზედაპირიდან არეკლილი ტალღებით ხდება. ამიტომ, ზონის სისუფთავეს გლისადის რადიოშუქურის ანტენის სისტემის სიახლოვეს, განსაკუთრებული მოთხოვნები აქვს წაყენებული. იმისათვის, რომ შევამციროთ უსწორმასწორო ქვედა ფენის ზედაპირის ზეგავლენა ანტენის მიმართულების დიაგრამაზე და გლისადის ხაზის გამრუდებაზე, გამოყენებულია ანტენის გისოსები სამი მიმორიგებული ანტენიდან (გისოსი “M”). ის უზრუნველყოფს შემცირებული სიმძლავრის ჰორიზონტში მცირე კუთხით გამოსხივებას. გლისადისა და კურსის რადიომიმღებებში მუშაობის ერთნაირი პრინციპია გამოყენებული. მისი ანტენის სისტემა სივრცეში ელექტრომაგნიტური ენერჯიის გასხივების დროს ორ ვერტიკალური მიმართულების დიაგრამას ქმნის ერთდროულად, რომელთა შორის ერთი ფართოფურცლოვანია, ხოლო ორი - ვიწროფურცლოვანი.

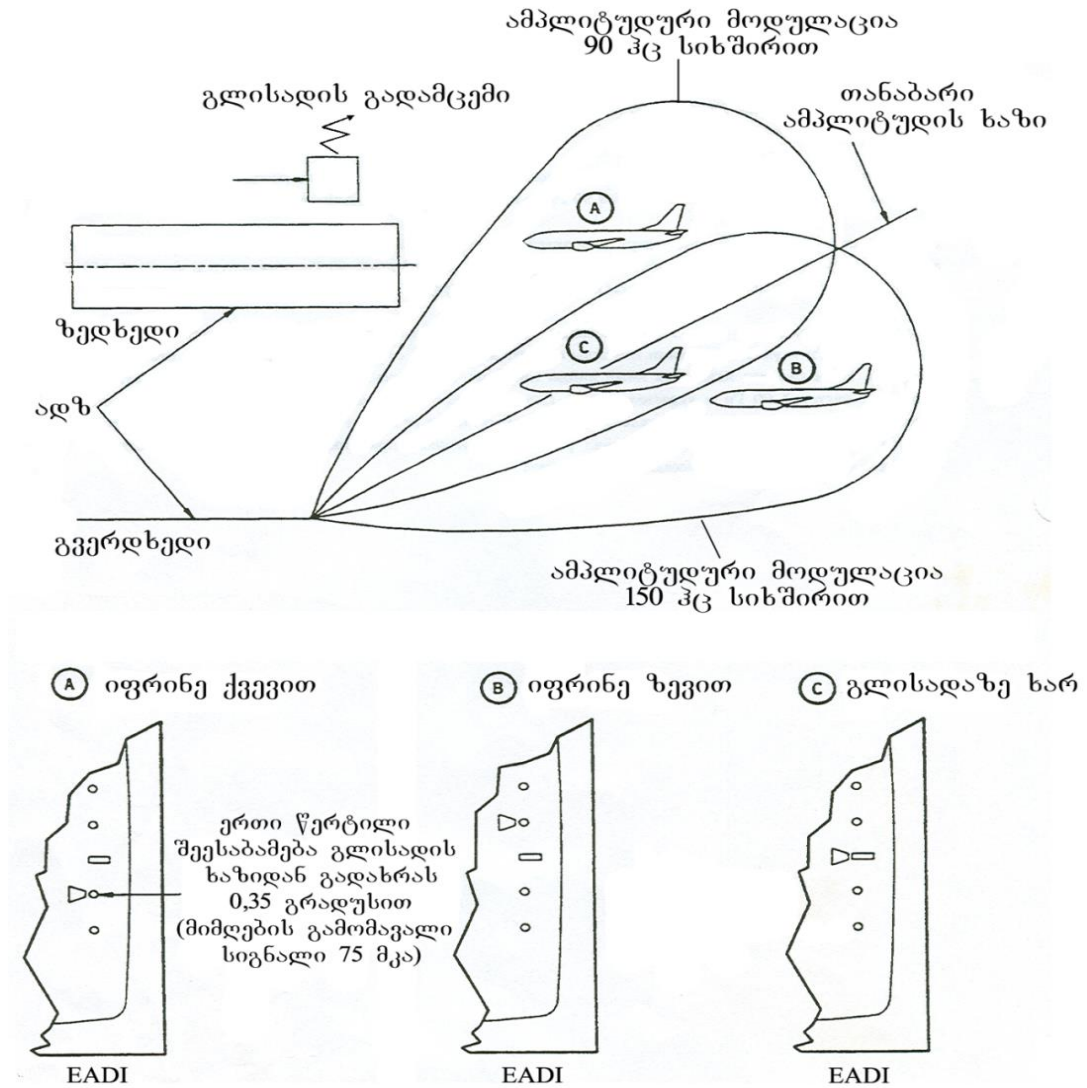
კურსის სიბრტყისა და გლისადის სიბრტყეს გადაკვეთა იძლევა გლისადის ხაზს. გლისადის ხაზს სწორი შეიძლება ვუწოდოთ მხოლოდ პირობითად, რადგანაც იდეალურ შემთხვევაში იგი წარმოადგენს ჰიპერბოლას, რომელიც შორეულ ზონაში უახლოვდება დაშვების წერტილში გამავალ სწორ ხაზს. გარდა ამისა, ადგილის რელიეფის უსწორმასწორობის გამო და რადიომუქურას მოქმედების ზონაში წინააღმდეგობის არსებობის გამო, გლისადის რეალური ხაზი გამრუდება განიცდის, რომლის დასაშვები სიდიდე ნორმირებულია ყოველი კატეგორიის დაფრენის სისტემისათვის. გლისადის რადიომუქურა არ გადასცემს იდენტიფიცირებულ სიგნალებს. არსებობს კურსისა და გლისადის რადიომიმღების ძირითადი ფუნქციური გამოსხივების გარდა, მისი დამატებითი გამოყენების შესაძლებლობა - დისპეჩერისაგან ინფორმაციის მიღების საშუალება. გლისადის რადიომუქურას გამოსხივების დიაგრამა იხ. ნახ.1.3.10.-ზე.



ნახ.1.3.10. გლისადის რადიოსუქურათა გამოსხივების პირობითი დიაგრამები

გლისადის რადიომუქურას 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. 1.3.11.



ნახ. 1.3.11. გლისადის რადიომუქურას არხის მუშაობის პრინციპი და თვითმფრინავის მდებარეობის ასახვა გლისადის ხელსაწყოებზე

საბედნიეროდ მფრინავს არ უწევს მიმდები მოწყობილობის სიხშირული მომართვა, ის ავტომატურად მოიმართება გლისადის შუქურის სიხშირეზე თუ რადიოსანავიგაციო სისტემაში დაყენებულია საკურსო რადიომუქურას სიხშირე. საკურსო რადიოსადგურს გააჩნია 40 არხიანი სიხშირეთა ბადე, სადაც თითოეულ საკურსო

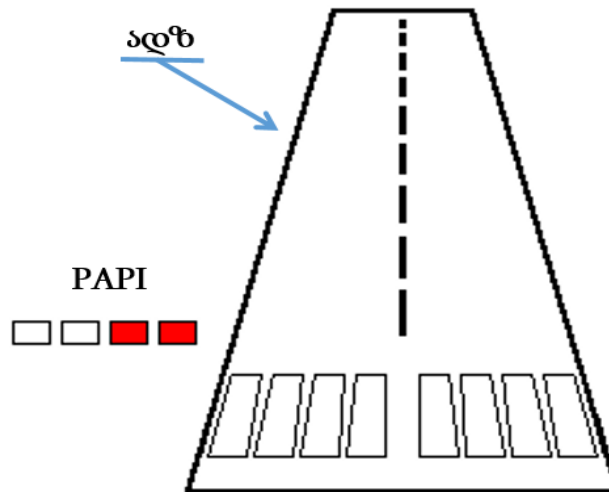
სიხშირზე მისადაგებულია გლისადის შუქურის შესაბამისი სიხშირე. გლისადის დახრის კუთხე შეიძლება იცვლებოდეს აეროდრომის ადგილმდებარეობისა და გარშემო რელიეფიდან გამომდინარე. სტანდარტულად მიღებულია, რომ გლისადის დახრის კუთხე ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან მიმართებაში შეადგენს 3⁰-სს. რაც უფრო ნაკლებია გლისადის დახრის კუთხე, მით უფრო მოხერხებულია თვითმფრინავის დასმა ადრ-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.

ძველი მოდიფიკაციის კურსისა და გლისადის სისტემაში, კურსის რადიომუქურა ნაკლებად მიმართული ანტენით ასხივებს რადიოსიგნალებს, რომელიც შეიძლება აგრეთვე რადიომუქურას უკან მივიდოთ. ეს საშუალებას გვაძლევს ორიენტაცია საპირისპირო მხრიდან შემოსვლის კურსზე ავიდოთ. არსებობს პარაზიტული ფურცლის წატაცებისა და ცრუ გლისადაში მისი შეღწევის საშიშროება, რისთვისაც საჭირო ხომალდის ეკიპაჟი ობიექტის კომპლექსური მართვის რეჟიმს ირჩევს, რაც გულისხმობს ერთი ნავიგაციური სისტემის მუშაობის კონტროლს მეორე ნავიგაციური სისტემის დახმარებით. მაგალითად, ცრუ გლისადის წატაცების დროს, შორ მიმყვან რადიომუქურაზე, შემცირებული სიმაღლით გადაფრენას ეკიპაჟი ვერ აფიქსირებს. ამ შემთხვევაში, საჭირო ხომალდის დაშვების ეტაპი წყდება და თვითმფრინავი გადაჰყავთ ჰორიზონტალური ფრენის რეჟიმში ან სიმაღლის აკრეფის რეჟიმში.

საჭირო ხომალდის დაფრენისას გლისადის დახრის კუთხის შენარჩუნებაში მფრინავს ეხმარება დამხმარე საგლისადო შუქსანათი სისტემები, ისეთები როგორცაა VASI (ვიზუალური მიახლოების კუთხური ინდიკატორი), PAPI (ზუსტი მიახლოების საგზაო ინდიკატორი) და OLS (ინგ. Optical Landing System - ოპტიკური დაფრენის სისტემა).

PAPI – Precision Approach Path Indicator - ზუსტი მიახლოების საგზაო ინდიკატორი ანუ ზუსტი საგლისადო ტრაექტორიის მანიშნებელი სისტემა შედგება

ერთმანეთისაგან მკვეთრი ნათების ფერით განსხვავებული შუქსანათი დანადგარისაგან, რომელიც მოიცავს სინათლის გამოსხივების ოთხ წყაროს თეთრი და წითელი ნათების შესაძლებლობით. გასათვალისწინებელია, რომ ნათების ოთხივე წყარო განლაგებულია ერთ ზოლზე ადზ-ს მარცხენა მხარეს მისივე გრძივი ღერძის მართობულად. იხ.ნახ.1.3.12.



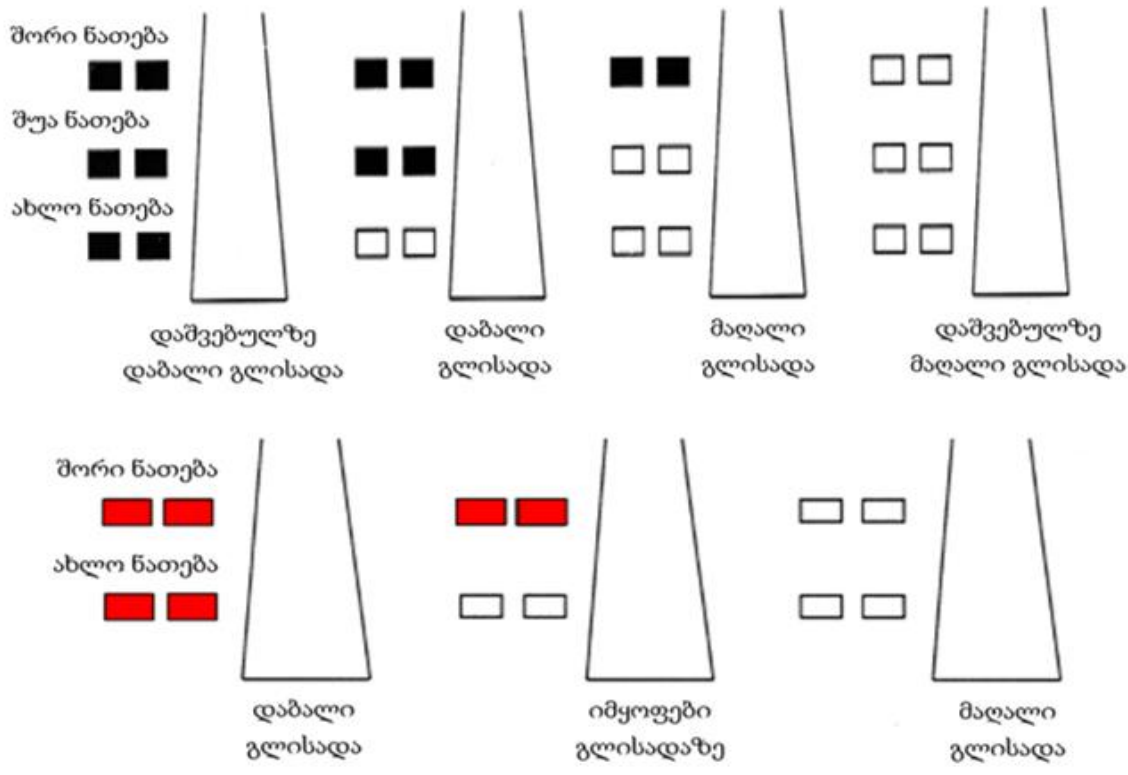
ნახ. 1.3.12. ზუსტი მიახლოების ინდიკატორის განლაგება ადზ-თან

გამონაკლის შემთხვევებში სისტემის ადზ-დან მარჯვენა მხარეს განთავსება ხდება მაშინ, როდესაც ფიზიკურად შეუძლებელია მარცხენა ნაწილის გამოყენება. საგლისადო შუქსანათი დანადგარის ადგილმდებარეობისა და გლისადის კუთხის დახრის შესახებ ინფორმაცია აუცილებლად დატანილია აეროდრომის რუკაზე ჩანართში ჩანართში “Additional Runway Information”. როდესაც ადზ აღჭურვილია კურსისა და გლისადის სისტემებით და ამავდროულად მასზე დამონტაჟებულია სისტემა PAPI, მაშინ ე.წ. ვიზუალური გლისადა იდეალურად ემთხვევა რადიოტექნუკური მეთოდებით განსაზღვრულ საგლისადო ხაზს. დღეღამის ნათელ და ამინდის პირობების მიხედვით ნორმალურ პერიოდში ვიზუალური გლისადის ნათება შეიმჩნევა 10კმ-დან, ხოლო მკვეთრი და აშკარად გარჩევადი ფერიები ვლინდება 7კმ-დან, დღე-ღამის ბნელ პერიოდში კი - 18კმ-დან.

შუქსანათი სისტემა PAPI, ანუ ე.წ. ვიზუალური გლისადა ყენდება ისეთნაირად, რომ მფრინავი დაფრენისას ხედავდეს და განსაზღვრავდეს:

- იმყოფება გლისადის ხაზის ზემოთ; ხედავს მხოლოდ ერთ წითელ, ადზ-თან უახლოვეს ნათებას, ხოლო სხვა დანარჩენი სამი მოჩანს თეთრი ფერის ნათების სახით. ხოლო თუ კი თვითმფრინავი იმყოფება გლისადის ხაზის ზემოთ გადაჭარბებულ ფარგლებში, მაშინ მფრინავი დაინახავს ოთხივე ფერის თეთრ ნათებას.
- იმყოფება გლისადის ხაზზე ან მის მახლობლად დასაშვებ ფარგლებში; ხედავს ორ წითელ და ორ თეთრი ფერის ნათებას (ადზ-დან დაწყებული წითელი და შემდგომ თეთრი).
- იმყოფება გლისადის ხაზის ქვემოთ; მფრინავი ხედავს ადზ-დან მოყოლებული სამი ფერის წითელ ნათებას და ერთ - თეთრს. ხოლო თუ კი თვითმფრინავი იმყოფება გლისადის ხაზის ზემოთ გადაჭარბებულ ფარგლებში, მაშინ მფრინავი დაინახავს ოთხივე ფერის წითელ ნათებას.

VASI – Visual Approach Slope Indicator - ვიზუალური მიახლოების კუთხური ინდიკატორის სისტემა დიდად არ განსხვავდება PAPI-სგან, თუმცა ცვლილებები აუცილებლად მოითხოვს გათვალისწინებას კატასტროფული შედეგების თავიდან აცილების მიზნით. VASI შედგება შუქსანათი ბლოკებისაგან, რომლებიც აეროდრომის კატეგორიიდან გამომდინარე შეიძლება განლაგდეს ადზ-ს დასაწყისში მარჯვენა და მარცხენა მხარეს ორი ან სამი ჰორიზონტალის სახით. ამ უკანასკნელის შემთხვევაში ჰორიზონტალური შუქსანათი ბლოკების შესაბამისი დასახელება ადზ-ს დასაწყისიდან მოყოლებული იქნება: ახლო, შუა და შორი. იხ.ნახ.1.3.13.



ნახ. 1.3.13. VASI და განმასხვავებელი ნიშან-თვისებები

ორი ე.წ. ჰორიზონტალის შემთხვევაში თითო ზოლზე შეიძლება იყოს ორი, სამი ან ერთი სანათი ბლოკი. ყოველი შუქსანათი ბლოკი ასხივებს საგლისადო სხივს, რომლის ზედა ნაწილი თეთრია, ხოლო ქვედა - წითელი. ამ ორ გამოსხივების ფერებს შორის არის ე.წ. გადასასვლელი ფერი - მოვარდისფრო. VASI-ს საგლისადო ნათება მოწყობილია ისეთნაირად, რომ მფრინავი დაფრენისას ხედავს და განსაზღვრავს:

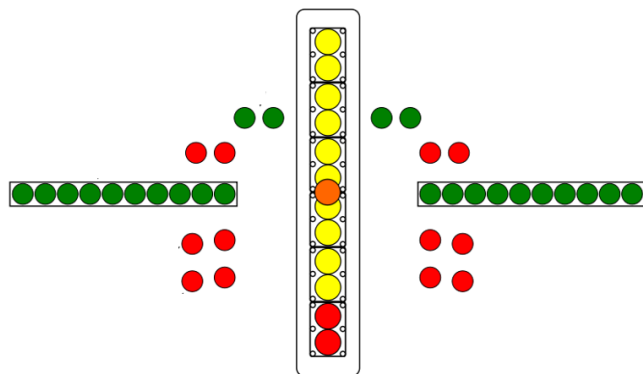
- იმყოფება გლისადის ზემოთ (ყოველი ნათება მოჩანს თეთრი ფერის სახით);
- იმყოფება გლისადაზე (ახლო ნათება თეთრია, ხოლო შორი კი - წითელი);
- იმყოფება გლისადის ქვემოთ (ყოველი ნათება მოჩანს წითელი ფერის სახით);

აქვე ყურადსაღებია, რომ როდესაც თვითმფრინავი დაშვებულზე და სახიფათოდ ქვემოთ იმყოფება გლისადის ხასიდან, ადს-ს ერთ-ერთ მხარეს განლაგებული ორი ჰორიზონტალის ნათება მოჩანს ერთი მთლიანი წითელი ნათების სახით, რითაც ამცნობს მფრინავს დაუშვებელ პოზიციას.

საგლისადო კუთხურ დიაპაზონში თვითმფრინავის მოხვედრისას სისტემის ნათება დღე-ღამის ნათელ პერიოდში მოჩანს 7,4 და 4,5 კმ-დან კატეგორიიდან გამომდინარე, ხოლო ღამე კი - 15,9კმ-დან [1],[3],[5],[61].

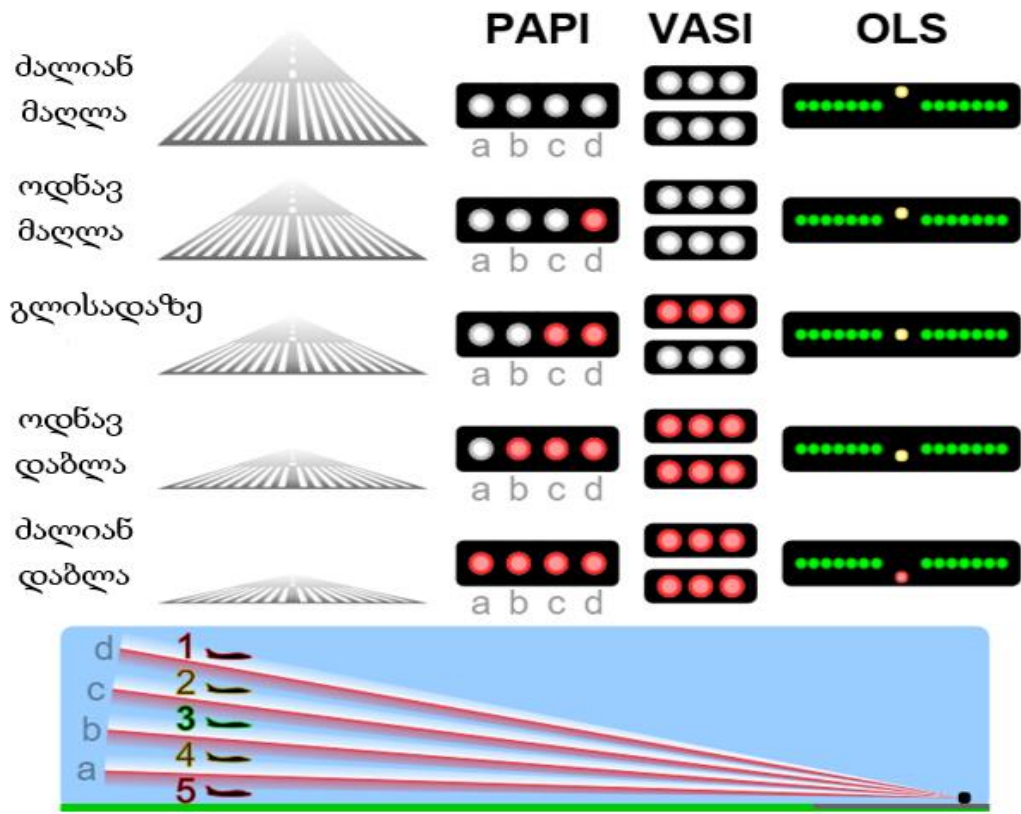
OLS - Optical Landing System - ოპტიკური დაფრენის სისტემა გამოიყენება საზღვაო ავიამზიდებზე დაფრენის ეტაპზე გადასული თვითმფრინავის ეკიპაჟისთვის გლისადის შესახებ ინფორმაციის მისაწოდებლად, ანუ ამცნობს ეკიპაჟის წევრებ, მიუყვება თუ არა თვითმფრინავი სწორ გლისადას. აღნიშნული ტიპის სისტემა გამოიყენება გასული საუკუნის 20-იანი წლებიდან მოყოლებული, როდესაც დაიწყო საზღვაო ავიამზიდების გემბანის გამოყენება საჰაერო ხომალდების დაფრენისათვის. თავდაპირველი სისტემა იყო მეტად პრიმიტიული, მაგრამ მეორე მსოფლიო ომის შემდგომ განიცადა საფუძვლიანი გაუმჯობესება. ამჟამად სისტემაში გამოიყენება მწვანე ფერის ჰორიზონტალურად განლაგებული ნათურები, როგორც ადგილმდებარეობის მანიშნებელი, მიმართულების განმსაზღვრავი და ვერტიკალურად, სვეტის სახით განლაგებული ყვითელი ფერის ნათურები, რომლებიც მიანიშნებენ მფრინავს იმყოფება თუ არა ის დაბალ, სწორ ან მაღალ გლისადაზე.

იხ.ნახ.1.3.14. მრავალი მოდიფიკაციისა და დამუშავება-გაუმჯობესების შედეგად სისტემას გაუჩნდა დამატებითი შუქსანათი ინდიკატორები, რომლებიც მფრინავს აწვდიან სხვა და სხვა სახის ინფორმაციას, მაგ. სისტემას შეუძლია თვითმფრინავი გაუშვას დაფრენის მეორე წრეზე, იმდენად რამდენადაც ის შესაძლოა აცდეს დასაფრენ ზოლს ავიამზიდის გემგანზე, ან სიჩქარე არ შეესაბამებოდეს ნორმატიულს.



ნახ.1.3.14. ოპტიკური დაფრენის სისტემის შუქსანათი მოდულებების განლაგების სქემა

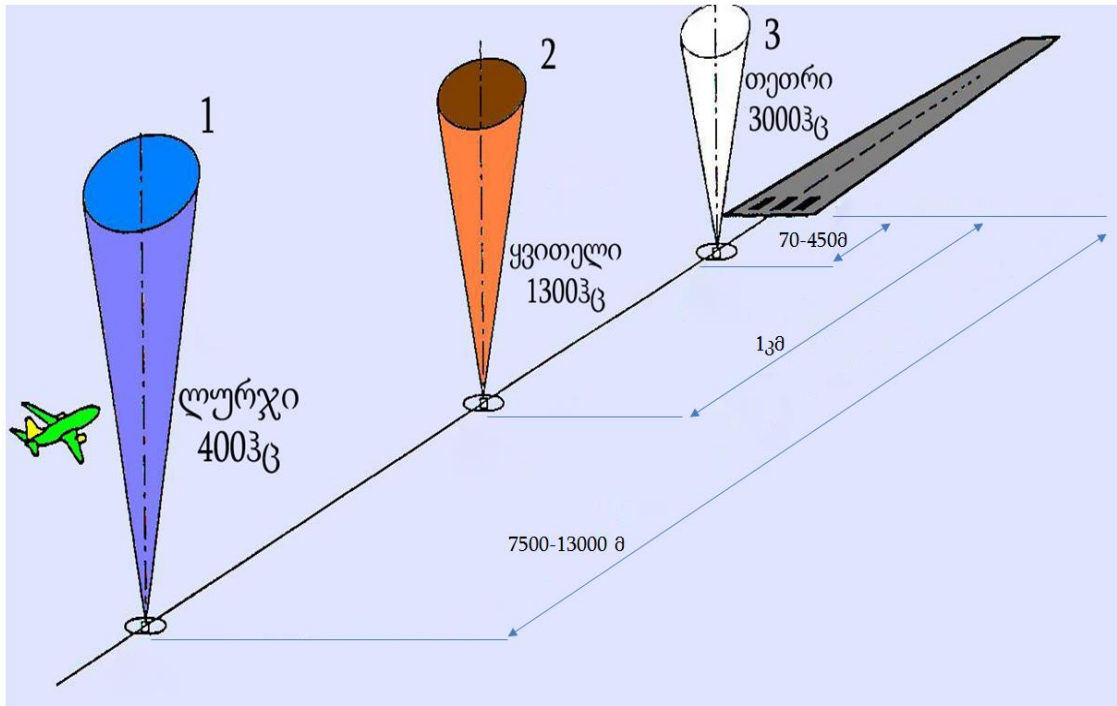
PAPI, VASI და OLS სისტემების ერთმანეთთან შედარებისა და განმასხვავებელი ნიშან-თვისებების გამოკვეთის მიზნით შეიძლება მოყვანილიქნას ნახ.1.3.15.



ნახ.1.3.15. PAPI, VASI და OLS ერთმანეთთან შედარებითი ვიზუალური სქემა

მიმოვიხილოთ მიმყვან-მომნიშნავი რადიოშუქურების სისტემა (იხ. ნახ.1.3.16.), რომლის ძირითადი დანიშნულებაა საჰაერო ხომალდის მანძილ-ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ადრე-მდე და დასაფრენად განსაზღვრილი მოწყობილობა-სისტემების კორექტულად მოქმედების კონტროლი. როდესაც თვითმფრინავი გადაუფრენს მომნიშნავ რადიოშუქურას ზევით, ჩაირთვება სამაუწყებლო სისტემა - ციმციმებს სპეციალური ინდიკატორი ხელსაწყოთა დაფის პანელზე და წარმოიქმნება ბგერითი სიგნალი, რომელიც ისმინება ეკიპაჟის ტელეფონში. ზოგიერთ აეროპორტში შორი და ახლო რადიოშუქურები დაყენებულია მიმყვან რადიოსადგურებთან. მოცემულ

ნაგებობას უწოდებენ ახლო მიმყვან რადიოსადგურს მომნიშნავი (მარკერული) რადიოშუქურით.



ნახ.1.3.16. მომნიშნავი რადიოშუქურების განლაგება ადზ-თან მიმართებაში

დაფრენის რეჟიმის გააქტიურებისა და საკურსო მაჩვენებლის გათვალისწინებით ხომალდი უახლოვდება ადზ-ს. ადზ-ის გრძივი ხაზის გაყოლებაზე განლაგებულია მომნიშნავი რადიოშუქურები, რომლებიც ვიწრო სხივის სახით ასხივებენ ზემო ვერტიკალური მიმართულებით 75მგჰც სიგნალს. პირველი, ანუ შორი მომნიშნავი რადიოშუქურა განლაგებულია ადზ-დან 7500-13000 მ-ის მანძილზე, მისი სიგნალები მოდულირებულია 400ჰც სიხშირით და მფრინავის ყურსასმენსა თუ კაბინაში ვლინდებიან უწყვეტი ტირეების სახით მორზეს ანბანის მიხედვით. გადაუფრენს რა თვითმფრინავი პირველ მომნიშნავ რადიოშუქურას, საინდიკაციო პანელზე ინთება ლურჯი ფერის ნათურა და ისმის ბგერითი 400 ჰც-ის სიგნალი, რომლის მიხედვითაც მფრინავი ხვდება, რომ სწორად მიუყვება კურსს და გლისადას. ღილაკზე თითის დაჭერით მფრინავი ადასტურებს სიგნალების მიღებას და აგრძელებს გზას.

მეორე, ანუ შუა მომნიშნავი რადიოშუქურა განლაგებულია ადზ-დან 1000 მ-ის მანძილზე, მისი სიგნალები მოდულირებულია 1300ჰც სიხშირით და მფრინავის

ყურსასმენსა თუ კაბინაში ვლინდებიან ურთიერთშენაცვლებითი წერტილებისა და ტირეების სახით მორზეს ანბანის მიხედვით. გადაუფრენს რა თვითმფრინავი შუა მომნიშნავ რადიოშუქურას, საინდიკაციო პანელზე ინთება ყვითელი (ქარვისფერი) ფერის ნათურა და ისმის ბგერითი 1300 ჰც-ის სიგნალი, რომლის მიხედვითაც მფრინავი ხვდება, რომ სწორად მიუყვება კურსს და გლისადას. ღილაკზე თითის დაჭერით მფრინავი ადასტურებს სიგნალების მიღებას და აგრძელებს გზას.

მესამე, ანუ ახლო მომნიშნავი რადიოშუქურა განლაგებულია ადზ-დან 70-450 მ-ის მანძილზე, მისი სიგნალები მოდულირებულია 3000ჰც სიხშირით და მფრინავის ყურსასმენსა თუ კაბინაში ვლინდებიან უწყვეტი წერტილების სახით მორზეს ანბანის მიხედვით. გადაუფრენს რა თვითმფრინავი ახლო მომნიშნავ რადიოშუქურას, საინდიკაციო პანელზე ინთება თეთრი ფერის ნათურა და ისმის ბგერითი 3000 ჰც-ის სიგნალი, რომლის მიხედვითაც მფრინავი ხვდება, რომ იმყოფება უშუალოდ ადზ-ს წინ. ღილაკზე თითის დაჭერით მფრინავი ადასტურებს სიგნალების მიღებას და აგრძელებს ხომალდის დაფრენას ადზ-ზე.

თვითმფრინავის დასაფრენად შემოსვლის ეტაპზე კურსისა და გლისადის სისტემის მუშაობის დადგენილი ნორმებიდან ნებისმიერი გადახრა, მაშინვე იწვევს თვითმფრინავის საკონტროლო ხელსაწყოებზე გავლენას. კურსისა და სიმაღლის საზომ ხელსაწყოთა არასწორმა ჩვენებამ შეიძლება კატასტროფა გამოიწვიოს. ამიტომ, კურსისა და გლისადის მუშაობის კონტროლი სპეციალური მოწყობილობებით არის განხორციელებული და თუ გარკვეულ დროში (წამებში) წარმოიქმნა დასაშვებზე მეტი გადახრა, სისტემა გამოირთვება და ავარიის სიგნალი გადაიცემა, ან სისტემა წყვეტს თავისი იდენტიფიკატორისა და ნავიგაციური სიგნალების გადაცემას. ნებისმიერ შემთხვევაში მფრინავი ხელსაწყოზე დაინახავს ალამს, რაც იმის მანიშნებელია, რომ კურსისა და გლისადის სისტემა გამორთულია.

კურსისა და გლისადის სისტემის კატეგორია - სტანდარტული კურსისა და გლისადის სისტემა, რომელიც კლასიფიცირებულია, როგორც I კატეგორია, ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე არანაკლებ 60 მეტრი ღრუბლიანობისა და 700 მეტრი ხილვადობის დროს, აეროდრომზე დასაჯდომად შემოსვლის საშუალებას იძლევა.

II და III უფრო რთული კატეგორია საშუალებას გვაძლევს თითქმის ნულოვანი ხილვადობის დროს განვახორციელოთ დაფრენა, რისთვისაც საჭიროა თვითმფრინავი და პილოტი იყოს სერთიფიცირებული.

II კატეგორიით დასაშვებად შემოსვლა საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ თვითმფრინავის დაფრენა გადაწყვეტილების მიღების 30 მეტრი სიმაღლისა და 400 მეტრი ხილვადობის დროს.

III კატეგორიით დაჯდომის დროს თვითმფრინავის დაშვება ხდება დაჯდომის ავტომატური სისტემის გამოყენებით, როდესაც არ არსებობს გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლე, ხოლო ხილვადობა 250 მეტრზე ნაკლები არ უნდა იყოს IIIA კატეგორიით, ან 50-250 მეტრი IIIB კატეგორიით. ყოველი კურსის-გლისადის სერთიფიცირებულია III კატეგორიით, აქვს თავისი გადაწყვეტილების მიღების საკუთარი დადგენილი სიმაღლე და მინიმუმი. ზოგიერთ კურსის-გლისადის ნულოვანი ხილვადობის პირობებში დაჯდომისათვის აქვს სერთიფიკატი (კატეგორია III).

II და III კატეგორიის სისტემებს უნდა ქონდეს ღერძულა ხაზის, დაჯდომის ზონის და სხვა დამხმარე მოწყობილობების განათება.

კურსის-გლისადის სისტემა მტყუნების შემთხვევაში ავტომატურად უნდა გამოირთოს ქსელიდან. კატეგორიის გაზრდით მოწყობილობა მყისვე უნდა გამოირთოს ქსელიდან. მაგალითად, I კატეგორიის კურსის რადიომუქურა უნდა გამოირთოს 10 წმ-ის განმავლობაში დაზიანების მიღებიდან, ხოლო III კატეგორიის რადიომუქურა კი 2 წმ-ის განმავლობაში.

შეზღუდვები და ალტერნატივები - თვითმფრინავში დირექტორული სისტემა (გლისადის მიმართ ობიექტის ადგილმდებარეობის განმსაზღვრელი და ხელსაწყოზე მისი ამსახველი სისტემა) მგრძნობიარეა კურსის-გლისადის სისტემის სიგნალების არეკლვისადმი, რომელიც მისი მოქმედების ზონაში სხვადასხვა ობიექტიდან არეკლვითაა წარმოქმნილი. მაგალითად, ნაგებობებს, ანგარებს და რადიომუქურას სიახლოვეს მდგომ თვითმფრინავებსა და ავტომობილებს შეუძლია სიგნალების მნიშვნელოვანი დამახინჯება. დედამიწის დახრილ ზედაპირს, ბორცვს, მთებს და სხვა სახის უსწორმასწორო ადგილმდებარეობას შეუძლია აირეკლოს სიგნალი და

ხელსაწყოს ჩვენების სიზუსტის ცვლილება გამოიწვიოს. ყოველივე ეს ზღუდავს კურსის-გლისადის სისტემის საიმედო მუშაობას.

აგრეთვე, კურსის-გლისადის სისტემის ნორმალური ფუნქციონერებისათვის აეროპორტებში დედამიწის ზედაპირზე თვითმფრინავების გადაადგილების დამატებითი შეზღუდვებია გამოყენებული, რათა არ მოხდეს ამ ობიექტებიდან სიგნალების არეკვლა და საკონტროლო ხელსაწყოების ჩვენების სიზუსტეზე ზეგავლენა. ამისათვის რეკომენდირებულია დედამიწაზე თვითმფრინავებს შორის და ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე მინიმალური მანძილი გავზარდოთ, ზოგიერთი მისასვლელი ბილიკი გავაუქმოთ, ან გავზარდოთ დაფრენებს შორის ინტერვალი, რათა დამჯდარმა თვითმფრინავმა მოასწროს პრობლემური ზონიდან გასვლა და დასაჯდომად შემოსული მომდევნო თვითმფრინავი არ აღმოჩნდეს რადიო დაბრკოლების მოქმედების ქვეშ. ასეთი შეზღუდვების შემოტანა მკვეთრად ამცირებს აეროპორტების თვითმფრინავების გამტარიანობას, როდესაც მათ II და III კატეგორიის რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში უხდება მუშაობა.

1970 წელს ამერიკა და ევროპა ინტენსიურად მუშაობდა დაჯდომის მიკროტალღური სისტემის დამუშავებასა და მის წარმოებაში დანერგვაზე. ამ სისტემაზე არ მოქმედებს ზემოაღნიშნული პრობლემები და ზუსტად განსაზღვრავს თვითმფრინავის ადგილმდებარეობას არამცთუ ასაფრენი-დასაფრენი ზოლის წინ, არამედ წრიული სივრცის ნებისმიერ წერტილზე. ეს საშუალებას იძლევა განვახორციელოთ დასაჯდომად არაწრფიული შემოსვლა, შევამციროთ უსაფრთხოების ინტერვალი და ამით გავზარდოთ რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში აეროპორტის გამტარიანობა [37],[38].

MLS - მიკროტალღური დიაპაზონის დაფრენის სისტემები

რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში ფრენის წარმატებით შესრულებისათვის საჭირო ხომალდების დაჯდომის სხვადასხვა ტიპის რადიოელექტრონული სისტემებია გამოყენებული.

სამოქალაქო ავიაციის მრავალწლიანი მუშაობის გამოცდილებამ უჩვენა, რომ საჰაერო ხომალდების წარმატებული დაჯდომა განხორციელებულია ინსტრუმენტალური რადიო ტექნიკური დაჯდომის სისტემის გამოყენების დროს.

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის „იკაოს“ მოთხოვნის შესაბამისად, დაჯდომის სამი სისტემა არსებობს, რომლებიც მახასიათებლების მცირე სხვაობით ხასიათდებიან. ამჟამად, ზოგიერთ ქვეყნებში ეფექტურად არის გამოყენებული მეტრული დიაპაზონის დაჯდომის რადიო ტექნიკური სისტემა. ამ სისტემის გაუმჯობესების პროცესში შესაძლებელი გახდა I, II და III კატეგორიის დაფრენის მინიმუმების მოთხოვნის დაკმაყოფილება. თუმცა, ფრენის რადიოტექნიკური უზრუნველყოფის ხარისხისადმი წაყენებული გაზრდილი მოთხოვნა დაჯდომის უფრო ეფექტური სისტემის დამუშავებას მოითხოვს. დაფრენის რადიოტექნიკური სისტემისადმი წაყენებული მოთხოვნის დაკმაყოფილებისათვის მიკროტალღური დიაპაზონის დაჯდომის სისტემაა გამოყენებული, რომელსაც დაჯდომის მიკრო ტალღურ სისტემას უწოდებენ.

დაჯდომის პირობის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის ხილვადობის მანძილი წარმოადგენს. გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის ქვეშ იგულისხმება ის მინიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც უნდა დაიწყოს მეორე წრეზე თვითმფრინავის წასვლა. გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლეზე ხილვადობის მანძილი განისაზღვრება ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის ჰორიზონტალური ხილვადობის მანძილით ღრუბლიანობის ქვედა საზღვრის სიმაღლეზე.

პირველი კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმი ხასიათდება ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის დაბოლოების ხილვადობით, რომელიც გადაწყვეტილების მიღების 60 მეტრ სიმაღლეზე არანაკლებ 800 მეტრის ტოლია.

მეორე კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმის დროს, ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის დაბოლოების ხილვადობა გადაწყვეტილების მიღების 30 მეტრ სიმაღლეზე არანაკლებ 400 მეტრს შეადგენს.

მესამე A კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმი შეესაბამება გადაწყვეტილების მიღების შეუზღუდავ სიმაღლეს, ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკის ზედაპირზე დაშვების-დაჯდომის ბოლო ეტაპამდე, არანაკლებ 200 მეტრ მანძილზე ხილვადობის დროს.

მესამე B კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმი უნდა შეესაბამებოდეს გადაწყვეტილების მიღების შეუზღუდავ სიმაღლეს ასაფრენ-დასაფრენ ბილიკზე ვიზუალური ორიენტირის გარეშე დაშვებითა და მასზე მოძრაობით, არანაკლებ 50 მეტრ მანძილზე ხილვადობის დროს.

მესამე C კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმი შეესაბამება გადაწყვეტილების მიღების შეუზღუდავ სიმაღლეს, ასაფრენ-დასაფრენ ბილიკზე თვითმფრინავის დაშვების, მასზე გადაადგილებისა და გარე ორიენტირის გარეშე დედამიწაზე მართვა. დაჯდომის მინიმუმის მაღალი მოთხოვნების სრულყოფა და შესრულება საბორტო და მიწისზედა რადიოტექნიკური დაჯდომის მოწყობილობების ერთობლივი მუშაობითაა განხორციელებული. ამასთანავე, საჰაერო ხომალდების დაჯდომის მართვა პირველი კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმის მიხედვით შეიძლება განხორციელებული იქნეს დაჯდომის სისტემის სიგნალებით. ხოლო გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის გაზომვა ხდება რადიო სიმაღლის საზომით ან ბარომეტრული სიმაღლის საზომით.

მეორე კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმით საჰაერო ხომალდების მართვა განხორციელებულია დაჯდომის სისტემის რადიოტექნიკური მოწყობილობის სიგნალებით ფრენის ავტომატური მართვის გამოყენებით. გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის გაზომვისათვის რადიო სიმაღლის საზომია გამოყენებული.

მესამე კატეგორიის დაჯდომის მინიმუმით თვითმფრინავის დაფრენის მართვა განხორციელებულია დაჯდომის სისტემის რადიოტექნიკური მოწყობილობის სიგნალებით ავტომატური საშუალებების გამოყენებით.

დაჯდომის რადიოტექნიკური სისტემის მეტრული დიაპაზონის მოწყობილობების არსებითი გაუმჯობესების მიუხედავად, იგი ვერ უზრუნველყოფს დაჯდომის მე-2 და მე-3 კატეგორიისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

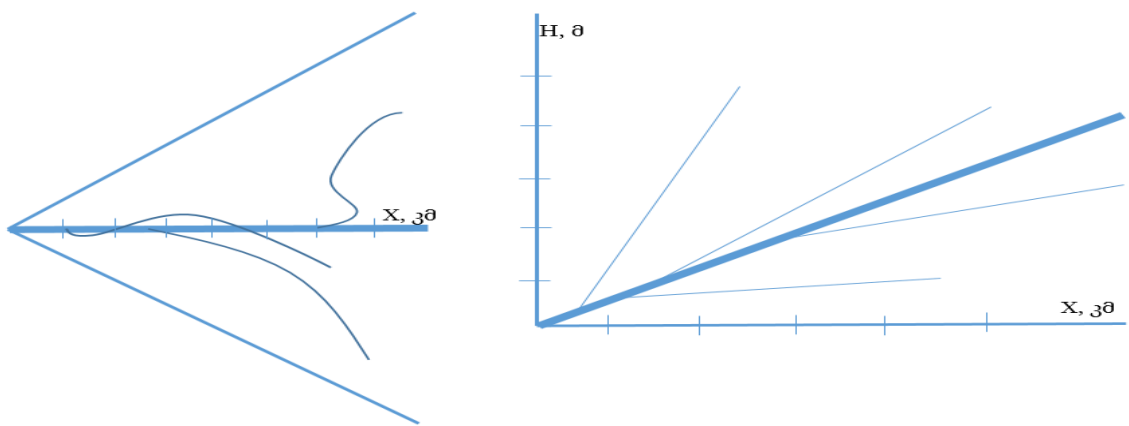
მეტრული დიაპაზონის დაჯდომის სისტემის ძირითად ნაკლს წარმოადგენს: დაბალი გამტარუნარიანობა, კურსისა და დაჯდომის სექტორების მცირე კუთხური

ზომები, კურსისა და გლისადის მოცემული ხაზის არასტაბილურობა და გამრუდება დედამიწის ზედაპირის ელექტრული თვისების შეცვლის გამო რადიოშუქურას ზონაში, აგრეთვე რადიო დაბრკოლებებისა და რადიოშუქურების სიგნალების ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლის გამო.

მეტრული დიაპაზონის დაფრენის სისტემა არ იძლევა ტეხილი და მრუდი ტრაექტორიით დაჯდომის საშუალებას, აგრეთვე საჰაერო ხომალდის მოკლე და ვერტიკალური აფრენისა და დაჯდომის საშუალებას. დაჯდომის ამ სისტემის ნაკლს წარმოადგენს აგრეთვე ტექნიკური მომსახურებისა კურსისა და გლისადის ხაზის მდგომარეობის კონტროლის დიდი სირთულე და შრომა ტევადობა. ამასთანავე, მათი მუშაობის უნარიანობის ხშირი შემოწმება თვითმფრინავ-ლაბორატორიის საშუალებით.

ზემოაღნიშნული ნაკლი წარმოადგენს დაჯდომის მიკრო ტალღურ სისტემაზე გადასვლის მიზეზს, რომელიც სრულიად სხვა პრინციპზე მუშაობს.

დაჯდომის მიკროტალღური სისტემის გამოყენებამ უნდა უზრუნველყოს საჰაერო ხომალდის დაჯდომა მოკლე და ვერტიკალური ფრენით, შეძლოს დაჯდომის ტრაექტორიის სიმრავლის ფორმირება (ის.ნახ.1.3.17).



*ნახ.1.3.17. დაფრენის პერსპექტიული სისტემების დაფრენის ტრაექტორიები:
ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე (მარცხნივ); ვერტიკალურ სიბრტყეზე (მარჯვნივ).*

მიკროტალღური დაჯდომის სისტემის ნებისმიერმა მოდიფიკაციამ უნდა უზრუნველყოს სიგნალის ერთიანი ფორმატი, რათა მოხდეს ბორტსა და მიწისზედა მოწყობილობების ნებისმიერი ვარიანტის ურთიერთქმედება. საჰაერო ხომალდის

სივრცითი კოორდინატების განსაზღვრის გარდა, დაფრენის მიკრო ტალღურმა სისტემამ უნდა უზრუნველყოს დამატებითი ინფორმაციის - აეროდრომის მეტეოროლოგიური პირობების, მიწისზედა მოწყობილობების მდგომარეობისა და მონაცემების გაცემა. მიკროტალღური დაფრენის სისტემისადმი წაყენებული მოთხოვნა მდგომარეობს იმაში, რომ მან უნდა უზრუნველყოს დაჯდომა ყველა კატეგორიის მინიმუმით IIIA, IIIB და IIIC ჩათვლით, დამატებითი მოწყობილობების დაყენების გარეშე. დაფრენის მიკროტალღური სისტემის ექსპლუატაციის საწყის ეტაპზე უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს დაჯდომის ახალი სისტემისა და არსებული სისტემების გამოყენება.

მიკროტალღური დიაპაზონის დაფრენის სისტემის მოქმედების პრინციპი და ძირითადი მახასიათებლები

მიკროტალღური დიაპაზონის დაფრენის სისტემა დანიშნულია აზიმუტის, ადგილის კუთხისა და დაჯდომის პროცესში საჰაერო ხომალდის დაშვების წერტილამდე მანძილის განსაზღვრისათვის. მიკროტალღური დაჯდომის სისტემით აღნიშნული კოორდინატების განსაზღვრა დაჯდომის აზიმუტის ქვესისტემისა და ადგილის კუთხით, თვითმფრინავის გასწორებისა და მანძილის რადიო საზომის გამოყენების დროს ხდება.

საჰაერო ხომალდის აფრენისა და მეორე წრეზე წასვლის დროს, აზიმუტის განსაზღვრა უკუაზიმუტის ქვესისტემით არის განხორციელებული. საჰაერო ხომალდის დაჯდომის ტრაექტორიაზე გაყვანის ოთხგანზომილებიანი სივრცითი-დროის პროგრამის ფორმირება განხორციელებულია საბორტო რადიოელექტრონული მოწყობილობით, დაჯდომის ტრაექტორიის ფორმირება კი - დაჯდომის დისპეტჩერის ნებართვით ეკიპაჟის მიერ ელექტრონული გამოთვლითი სისტემის გამოყენებით.

საბორტო ელექტრონული გამოთვლითი სისტემის დახმარებით შესაძლებელია დაჯდომის ნებისმიერი ტრაექტორიის ფორმირება. დაჯდომის პროცესში შესაძლებელია საჰაერო ხომალდის ნამდვილ და მოცემულ კოორდინატებს შორის გადახრის უწყვეტი კონტროლი, რომელიც მფრინავის ხელსაწყოთა დაფაზე

დირექტორულ ხელსაწყოზე აისახება, ან დაჯდომის ავტომატური მართვის სისტემაზე ფიქსირდება. დირექტორული საინდიკაციო ხელსაწყოები ეკიპაჟის კაბინაში ხელსაწყოთა დაფაზეა დაყენებული.

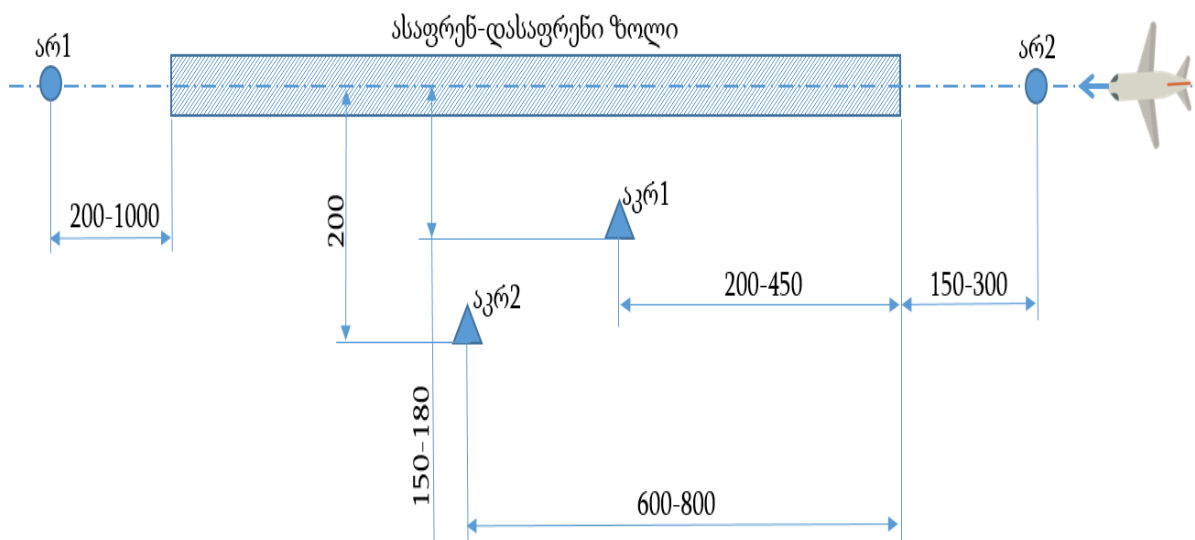
ყველა ოპერაცია, დაშორების მანძილის რადიო მანძილსაზომით განსაზღვრის ოპერაციის გარდა, მიკროტალღურ დაჯდომის სისტემაში ერთი გადამტანი სიხშირითაა განხორციელებული, ამიტომ აზიმუტის ქვესისტემის მუშაობის უზრუნველყოფისათვის დაჯდომის ადგილის კუთხე, უკუაზიმუტი და მონაცემთა გადაცემის ქვესისტემა არის გამოყენებული სიგნალის დროითი დაყოფის პრინციპით. კუთხური კოორდინატის გაზომვის პრინციპი შეიძლება განვიხილოთ საჰაერო ხომალდის აზიმუტის გაზომვის მაგალითზე.

აზიმუტის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია მარაოს ტიპის დიაგრამა, რომელიც სკანირდება ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მუდმივი სიჩქარით -40დან +40-მდე გრადუსით ადზ-ის ღერძის მიმართ. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე დიაგრამა ვიწროა $\sim 2^\circ$, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეზე კი საკმაოდ ფართოა - 15° . აზიმუტის განსაზღვრის მუშა ციკლი სრულდება მიმართულების დიაგრამის პირდაპირი და შებრუნებული მოძრაობის დროს სექტორის ფარგლებში. მიმართულების დიაგრამის პირდაპირი და უკუსვლის დროს შენარჩუნებულია პაუზა T_a .

მიკროტალღური დიაპაზონის დაფრენის სისტემა წარმოადგენს კომპლექსურ სისტემას, რომელის ფუნქციას წარმოადგენს საბორტო და მიწისზედა მოწყობილობების ერთობლივი მუშაობით საჰაერო ხომალდის დაჯდომის ეტაპის საიმედო შესრულება.

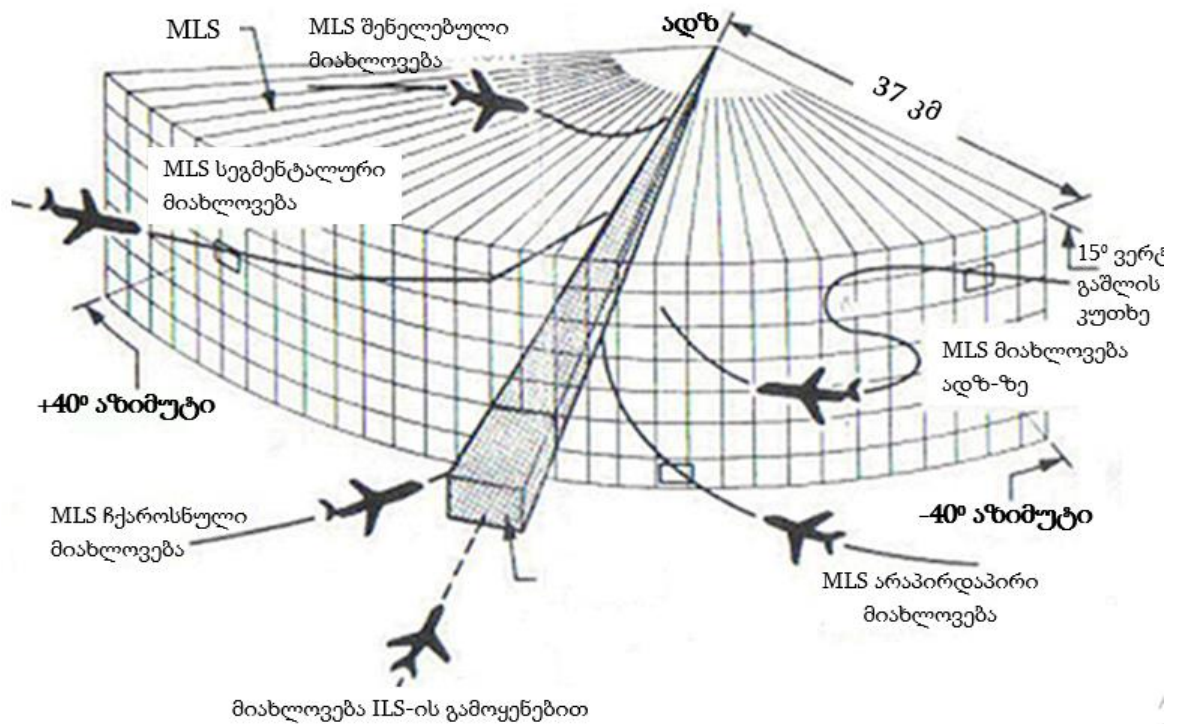
მიწისზედა მოწყობილობები გამოყენებულია სიგნალების ფორმირებისა და სივრცეში მისი გასხივებისთვის, რომელიც საჰაერო ხომალდის კუთხურ მდგომარეობას განსაზღვრავს ჰორიზონტალურ, ან ვერტიკალურ სიბრტყეებში. ამასთანავე აღნიშნული სისტემა გამოიმუშავებს მანძილის გაზომვისათვის საჭირო სიგნალებს. მიკროტალღური დაფრენის სისტემის კუთხსაზომი ნაწილის სრული კომპლექტი შედგება: აზიმუტური რადიომუქურასაგან (არ1), რომელიც გამოყენებულია საჰაერო ხომალდის აზიმუტის განსაზღვრისათვის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის გრძივი ღერძის მიმართ; აზიმუტური რადიომუქურასაგან (არ2),

რომელიც გამოყენებულია აზიმუტის განსაზღვრისათვის მეორე წრეზე წასვლის დროს; რადიოშუქურას ადგილის კუთხისაგან (აკრ1), რომელიც გამოყენებულია დაშვების დროს ადგილის კუთხის განსაზღვრისათვის; რადიოშუქურას ადგილის კუთხისაგან (აკრ2), რომელიც გამოყენებულია თვითმფრინავის გასწორების დროს ადგილის კუთხის განსაზღვრისათვის. ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის მიმართ მიწისზედა მოწყობილობების განლაგება მოცემულია ნახ.1.3.18-ზე.



ნახ.1.3.18. მიკროტალღური დაფრენის სისტემის რადიოშუქურების განლაგების სქემა

რადიოშუქურების მუშაობის მართვა და მათი სინქრონიზაცია განხორციელებულია სადისპეტჩერო საკომანდო პუნქტიდან. მიკროტალღური დაფრენის სისტემის რადიოშუქურების მოქმედების სივრცული ზოგადი დიაგრამა იხილეთ ნახ.1.3.19



ნახ.1.3.19. მიკროტალღური დაფრენის სისტემის მოქმედების არეალი

მიკროტალღური დაფრენის სისტემის ყოველი კუთხსაზომი რადიოშუქურა შედგება: რადიო გადამცემისაგან, ანტენის სისტემისაგან და მართვისა და კონტროლის მოწყობილობისგან. ანტენის მიმართულების დიაგრამის საჭირო მახასიათებლების ფორმირება განხორციელებულია ფაზირებული ანტენის გისოსებით, რომელიც შედგება გამსხივებლებისა და ფაზის მბრუნებლებისაგან. სიგნალის ფაზისა და ამპლიტუდის შესაბამისი თანაფარდობის დროს ფორმირდება ვიწრო მიმართულების დიაგრამა, ხოლო ფაზის ძვრის ცვლილება უზრუნველყოფს ტალის ფრონტის მობრუნებას. შესაბამისად საშუალებას გვაძლევს განვახორციელოთ ფორმირებული სხივის სკანირების მოძრაობა. მახვილი მიმართულების დიაგრამის მისაღებად საჭიროა ანტენის გეომეტრიული ზომა შეადგენდეს რამდენიმე მეტრს [9].

მიკროტალღური დაჯდომის სისტემის საბორტო ნაწილი საჭიროა მიწისზედა რადიოშუქურების სიგნალების მიღებისა და დამუშავებისათვის. საბორტო მოწყობილობების სტრუქტურა შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი იმ ელემენტარული ბაზასთან მიმართებაში, რომელიც ამ სისტემაშია გამოყენებული.

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შესაძლებელია შემუშავდეს ILS ტიპის სისტემის მოდიფიკაცია, რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს საჭიერო ხომალდის მიმართულების დიაგრამაში მოხვედრისას მისი კუთხური განლაგების განსაზღვრას გურსისა და გლისადის გათვალისწინებით.

ბრტყელ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განთავსებული საკურსო რადიომუქურას 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 მიმართულების 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 კოეფიციენტია.

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

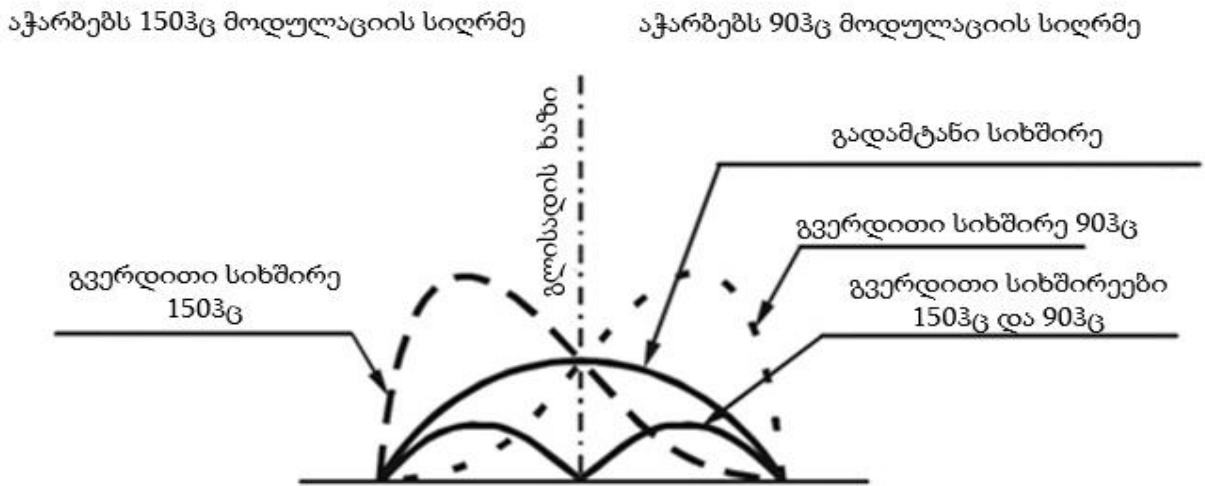
$$U_{sf}^{wch}(\varphi, t) = v(\varphi, t) \cos(\omega^{wch} t + \psi^{wch});$$

სადაც:

$v(\varphi, t) = b F^{wch}(\varphi) * [1 + m \cos(\Omega_1 t) + m \cos(\Omega_2 t)]$, b - კოეფიციენტია, 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.1.3.20



ნახ.1.3.20. გლისადის სისტემის შუქურას სიგნალების გამოსხივების დიაგრამა

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

განვიხილოთ ახლებური მიდგომა საკურსო რადიოშუქურას მუშაობის პრინციპების მიმართულებით. ამისთვის გამოვიყენოთ გადამცემი ანტენის მიმართულების ნორმირებული დიაგრამა, რომლის გაძლიერების კოეფიციენტი (ანტენის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტი) ან ანტენით გამოსხივებული სიმძლავრე გამოსხივების ყველა მიმართულებით ნორმირებულია მისი მაქსიმალური მნიშვნელობის მიმართ.

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

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

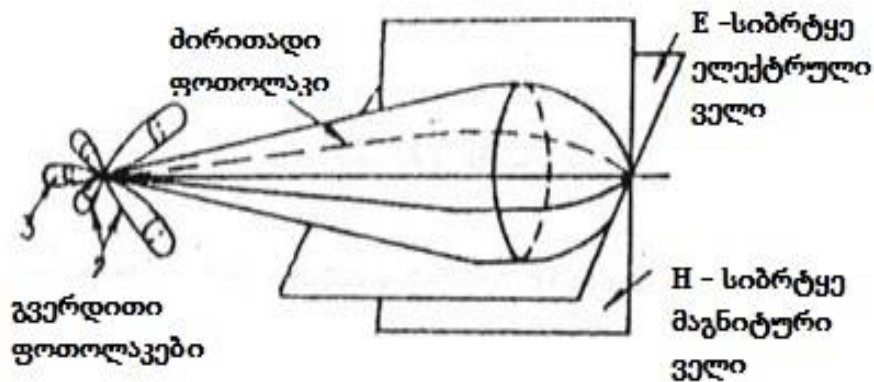
სადაც: $\bar{1}\bar{\alpha}$ და $\bar{1}\bar{\varphi}$ -- კოორდინატთა სფერული სისტემის ორტებია.

შორეული ზონა ჩვეულებრივ განისაზღვრება პირობებით:

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

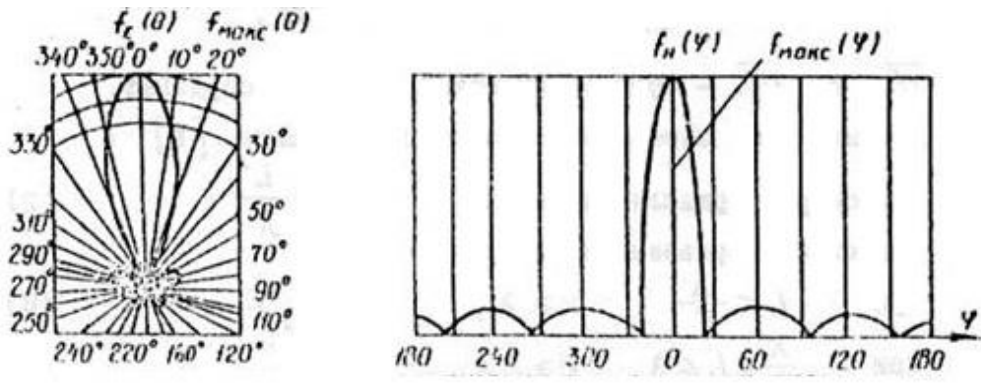
სუსტად მიმართული ანტენებისათვის - $r \geq \lambda$, როდესაც ანტენის მაქსიმალური ზომა $L < \frac{\lambda}{2}$, და $r \geq 2\lambda$, როდესაც ანტენის მაქსიმალური ზომა - $\frac{\lambda}{2} < L \leq \lambda$.

ანტენის ელექტრომაგნიტური ველის სივრცული მიმართულების 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:

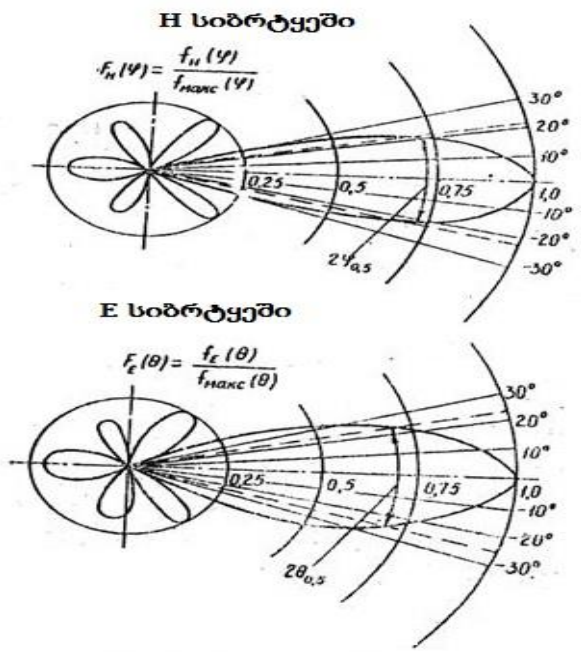
$$f_E(\alpha) = |f(\alpha, \varphi_0)|; \quad f_H(\varphi) = |f(\alpha_0, \varphi)|$$



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 დაძაბულობასთან შედარებით და ველის ნაკადი მცირდება ორჯერ.

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

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

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

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.

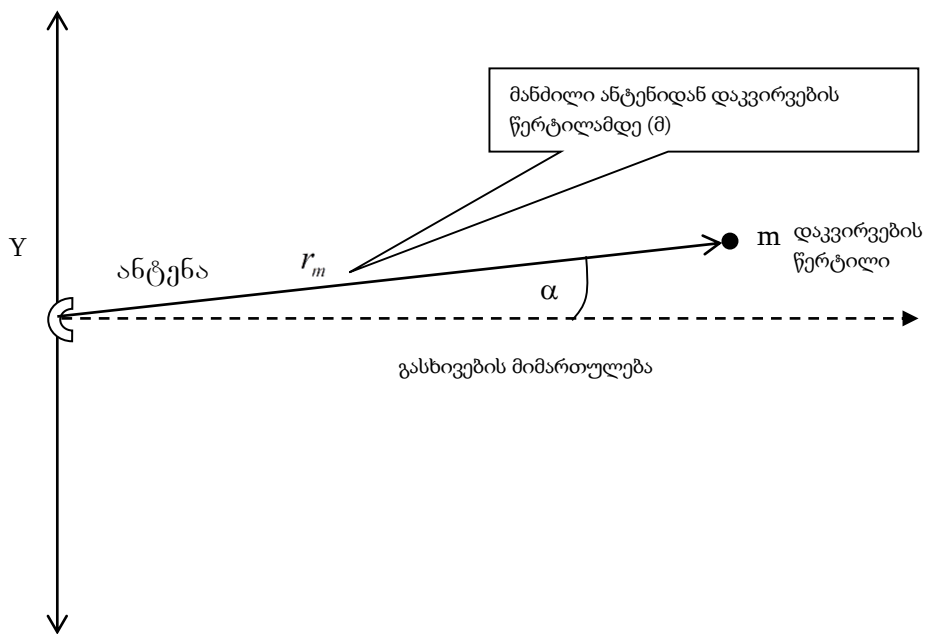
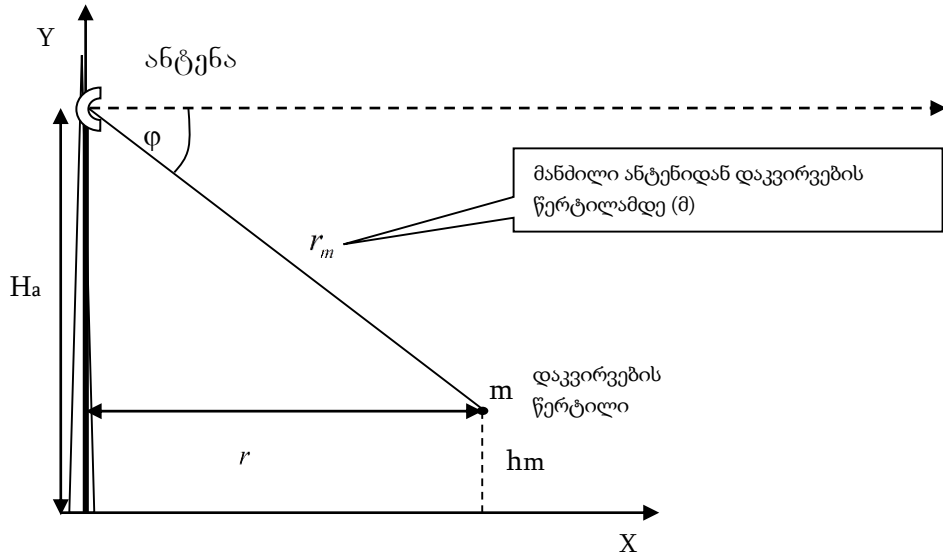
P_a - რადიოგადამცემიდან ანტენაზე მიწოდებული სიმძლავრეა ვტ-ში;

G_a - ანტენის გაძლიერების 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. 1.3.21)



ნახ.1.3.21 φ და α განსაზღვრის კუთხე ობიექტის ადგილმდებარეობაზე დამოკიდებულებით

სადაც:

h_a და h_m შესაბამისად ანტენისა და დაკვირვების წერტილის სიმაღლეებია ზღვის დონიდან ან მიწის ზედაპირიდან.

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

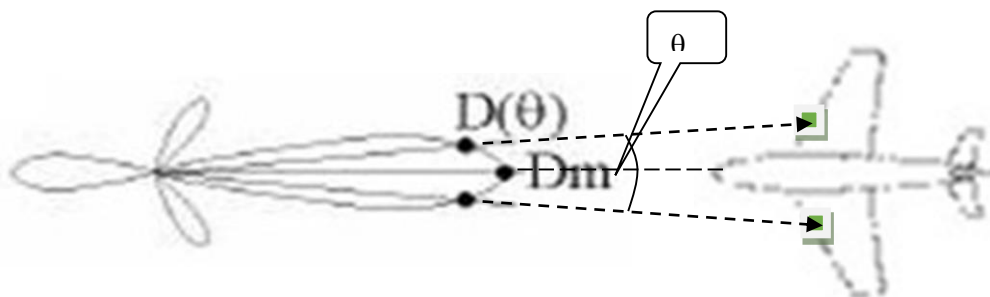
დავუშვათ, მფრინავი ობიექტის ცენტრში განთავსებულია ერთი მიმღები მოწყობილობა, რომელიც იღებს და აფიქსირებს რადიოშუქურადან გამოსხივებულ ელექტრომაგნიტურ ენერგიას.

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.).

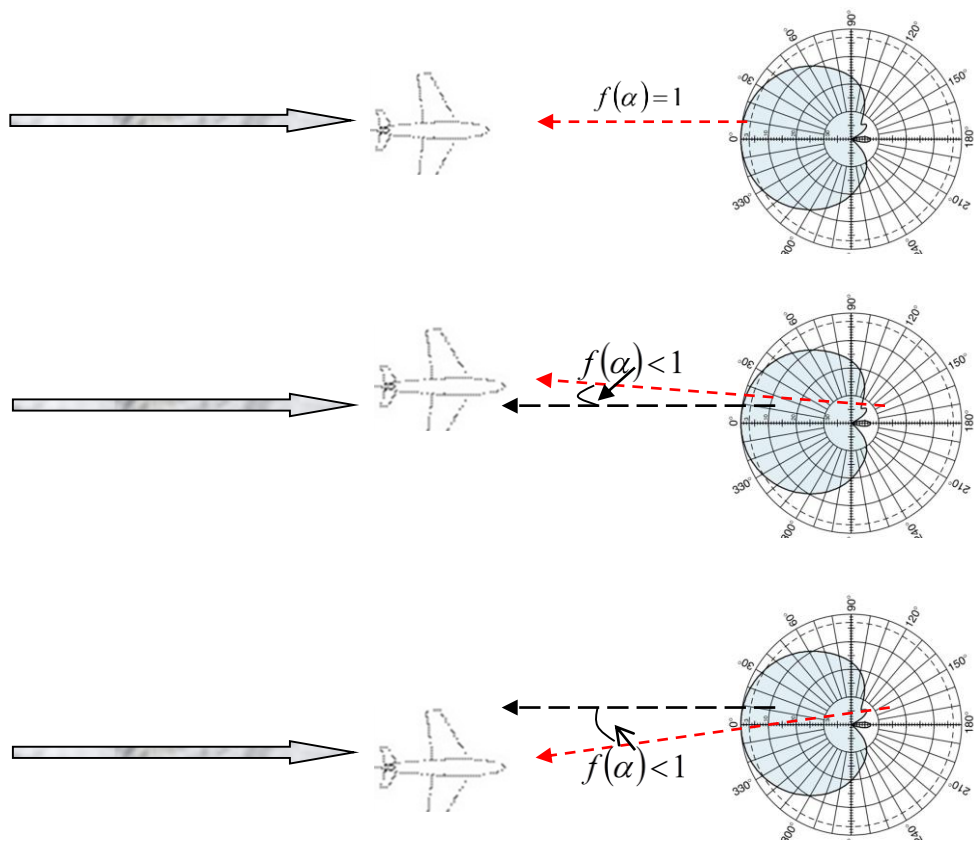
კუთხური ფუნქცია შეიძლება განისაზღვროს (1) ფორმულიდან:

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

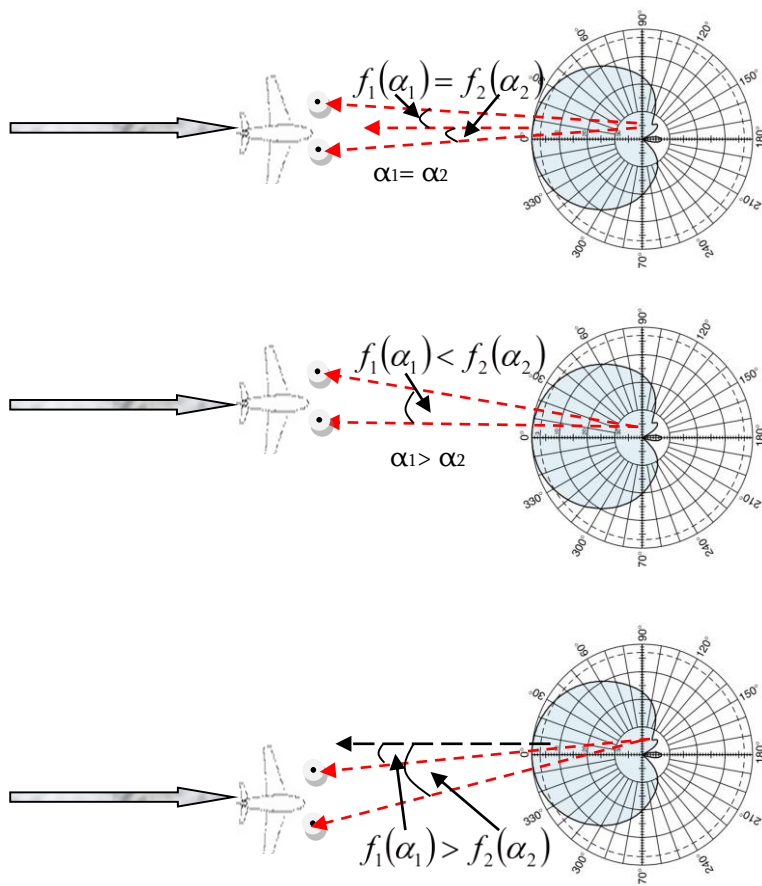
საკურსო რადიოშუქურას მოქმედების ასეთი პრინციპის ძირითადი ნაკლია კურსიდან გადახრის (კურსის მარცხნივ თუ მარჯვნივ გადახრა) ადგილმდებარეობის განსაზღვრა. ეს განპირობებულია ბორტზე მხოლოდ ერთი მიმღების არსებობით. მაგალითად, კურსიდან ერთნაირი კუთხით მარცხნივ ან მარჯვნივ გადახრისას კუთხური ფუნქციები ტოლი იქნება და შედეგად გამწვანდება სწორი კურსის შერჩევა. ამ შემთხვევაში გამოყენებული უნდა იყოს GPS სისტემებიდან ნაკლის შესაძლებლობას იძლევა თვითმფრინავის ბორტზე ორი სიმეტრიულად განთავსებული მიმღებების გამოყენება რომელთა ადგილმდებარეობა განისაზღვრება მთავარი ფოთოლაკის გახსნის θ კუთხით - (იხ. ნახ. 1.3.22).



ნახ.1.3.22 მთავარი ფოთოლაკის გაშლის კუთხე მიმღებების ადგილმდებარეობასთან მიმართებაში



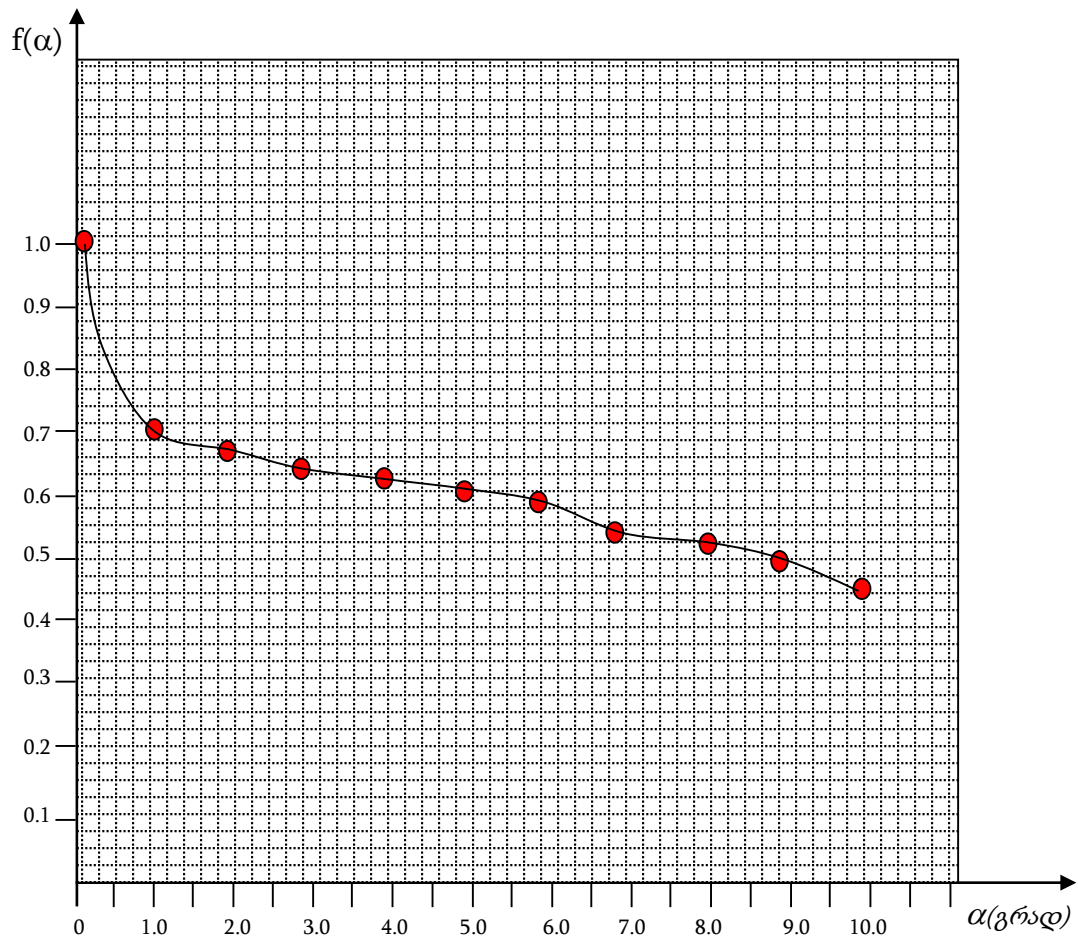
ნახ.1.3.23 დაფრენის კურსიდან გადახრის შესაბამისი კუთხური ფუნქციები - ერთ მიმღებზე



ნახ.1.3.24 დაფრენის კურსიდან გადახრის შესაბამისი კუთხური ფუნქციები -
ორ მიმღებზე

α	$f(\alpha)$	α	$f(\alpha)$
0,0000	1,0000	10,5000	0,4737
0,5000	0,7345	11,0000	0,4662
1,0000	0,7233	11,5000	0,4562
1,5000	0,7035	12,0000	0,4462
2,0000	0,6810	12,5000	0,4353
2,5000	0,6751	13,0000	0,4253
3,0000	0,6610	13,5000	0,4118
3,5000	0,6501	14,0000	0,4056
4,0000	0,6410	14,5000	0,3878
4,5000	0,6300	15,0000	0,3733
5,0000	0,6201	15,5000	0,3534
5,5000	0,6110	16,0000	0,3453
6,0000	0,6000	16,5000	0,3368
6,5000	0,5800	17,0000	0,3213
7,0000	0,5726	17,5000	0,3115
7,5000	0,5591	18,0000	0,3059
8,0000	0,5451	18,5000	0,2843
8,5000	0,5381	19,0000	0,2740
9,0000	0,5211	19,5000	0,2676
9,5000	0,5072	20,0000	0,2533

*ცხრილი. 1.3.25. ნორმირებული დიაგრამის კუთხური ფუნქციების მნიშვნელობები
კორიზონტში გაშლის კუთხეების მიხედვით*



$f(\alpha)$ - ნორმირებული დიაგრამის კუთხური ფუნქცია;
 α - ნორმირებული დიაგრამის ჰორიზონტში გაშლის კუთხე (გრად.).

ნახ. 1.3.26. ნორმირებული დიაგრამის კუთხური ფუნქციის ჰორიზონტში გაშლის კუთხეზე დამოკიდებულების გრაფიკი

ცხრილი 1.3.27. პირდაპირი ხედვიდან ჰორიზონტში გადახრის კუთხეები, ობიექტის ანტენიდან მანძილი, სიმაღლე, ველის დონეები და კუთხური ფუნქციები

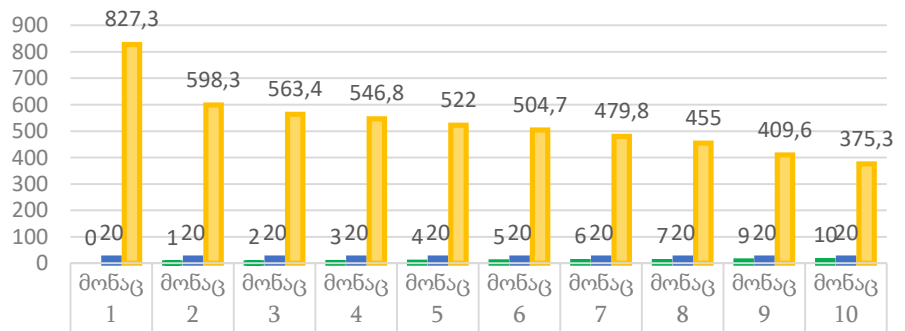
სიმძლავრე (ვტ)

30.00

ობიექტის დაშორება ანტენიდან (მ)	წანაცვლების კუთხე (გრად)	ობიექტის სიმაღლე (მ)	ველის დაძაბულობა მვ/მ	კუთხური ფუნქცია f(α)
200.00	0	20.00	827.31493399	1.000
200.00	1	20.00	598.39689175	0.723
200.00	2	20.00	563.40147005	0.681
200.00	3	20.00	546.85517137	0.661
200.00	4	20.00	522.03572335	0.631
200.00	5	20.00	504.74484123	0.610
200.00	6	20.00	479.84266171	0.580
200.00	7	20.00	455.02321369	0.550
200.00	8	20.00	437.64960008	0.529
200.00	9	20.00	409.60362382	0.495
200.00	10	20.00	375.35278555	0.454
100.00	0	15.00	908.91099784	1.000
100.00	1	15.00	657.41532474	0.723
100.00	2	15.00	618.96838953	0.681
100.00	3	15.00	600.79016957	0.661
100.00	4	15.00	573.52283964	0.631
100.00	5	15.00	554.52659978	0.610
100.00	6	15.00	527.16837875	0.580
100.00	7	15.00	499.90104881	0.550
100.00	8	15.00	480.81391786	0.529
100.00	9	15.00	450.00183503	0.495
100.00	10	15.00	412.37291972	0.454

ობიექტის დაშორება ანტენიდან 200 მ
სიმძლავრე 30 ვტ

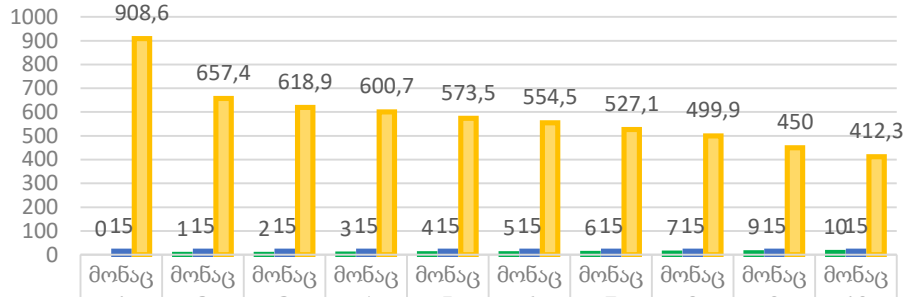
■ წანაცვლების კუთ. (გრად) ■ ობიექტ სიმ.(მ) ■ ველის დაძ. (მვ/მ)



წანაცვლების კუთ. (გრად)	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10
ობიექტ სიმ.(მ)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ველის დაძ. (მვ/მ)	827,3	598,3	563,4	546,8	522	504,7	479,8	455	409,6	375,3

ობიექტის დაშორება ანტენიდან 100 მ სიმძლავრე 30 ვტ

■ წანაცვლების კუთ. (გრად)
 ■ ობიექტ სიმ.(მ)
 ■ ველის დამ. (მვ/მ)



წანაცვლების კუთ. (გრად)	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10
ობიექტ სიმ.(მ)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ველის დამ. (მვ/მ)	908,6	657,4	618,9	600,7	573,5	554,5	527,1	499,9	450	412,3

ცხრილი 1.3.28. პირდაპირი ხედვიდან ჰორიზონტში გადახრის კუთხეები, ობიექტის ანტენიდან მანძილი, სიმაღლე, ველის დონეები და კუთხური ფუნქციები

სიმძლავრე (ვტ) 30.00

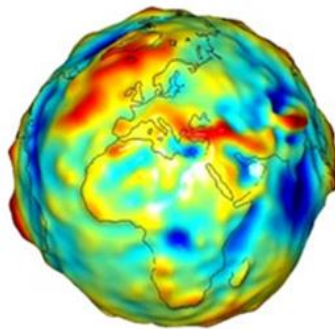
ობიექტის დაშორება ანტენიდან (მ)	წანაცვლების კუთხე (გრად)	ობიექტის სიმაღლე (მ)	ველის დამახულობა მვ/მ	კუთხური ფუნქცია f(a)
200.00	0	20.00	827.31493399	1.000
200.00	1	20.00	598.39689175	0.723
200.00	2	20.00	563.40147005	0.681
200.00	3	20.00	546.85517137	0.661
200.00	4	20.00	522.03572335	0.631
200.00	5	20.00	504.74484123	0.610
200.00	6	20.00	479.84266171	0.580
200.00	7	20.00	455.02321369	0.550
200.00	8	20.00	437.64960008	0.529
200.00	9	20.00	409.60362382	0.495
200.00	10	20.00	375.35278555	0.454
100.00	0	15.00	908.91099784	1.000
100.00	1	15.00	657.41532474	0.723
100.00	2	15.00	618.96838953	0.681
100.00	3	15.00	600.79016957	0.661
100.00	4	15.00	573.52283964	0.631
100.00	5	15.00	554.52659978	0.610
100.00	6	15.00	527.16837875	0.580
100.00	7	15.00	499.90104881	0.550
100.00	8	15.00	480.81391786	0.529
100.00	9	15.00	450.00183503	0.495
100.00	10	15.00	412.37291972	0.454

II. კოსმოსურ-თანამგზავრული ტექნოლოგია და დედამიწის პლანეტარული თვისებები

2.1. დედამიწის საკოორდინაციო ორიენტირები და კოსმოლოგიური აღწერილობა

საკაერო ნავიგაციის პრაქტიკაში, უპირველეს ყოვლისა, საქმე გვაქვს მიმართულებასთან და დედამიწის ზედაპირული მანძილის განსაზღვრასთან. ეს მოითხოვს გარკვეული ინფორმაციის ფლობას დედამიწის ფორმის, ზომის და გეოგრაფიული რელიეფების შესახებ.

დღესდღეობით ცნობილია, რომ დედამიწის ფიზიკურ ზედაპირს აქვს რთული გეომეტრიული ფორმა, რაც გამოწვეულია მასზე მთებისა და დაბლობების არსებობით, ანუ არაერთგვაროვანი რელიეფური ლანდშაფტით. ჩვენთვის ცნობილი დედამიწა წარმოადგენს გეოიდს (იხ. ნახ. 2.1.1), ანუ არაკანონზომიერად, არაერთგვაროვნად ამოხნექილ შეკრულ ზედაპირს, რომელიც ემთხვევა მსოფლიო ოკიანის დონეს წყნარ მდგომარეობაში.

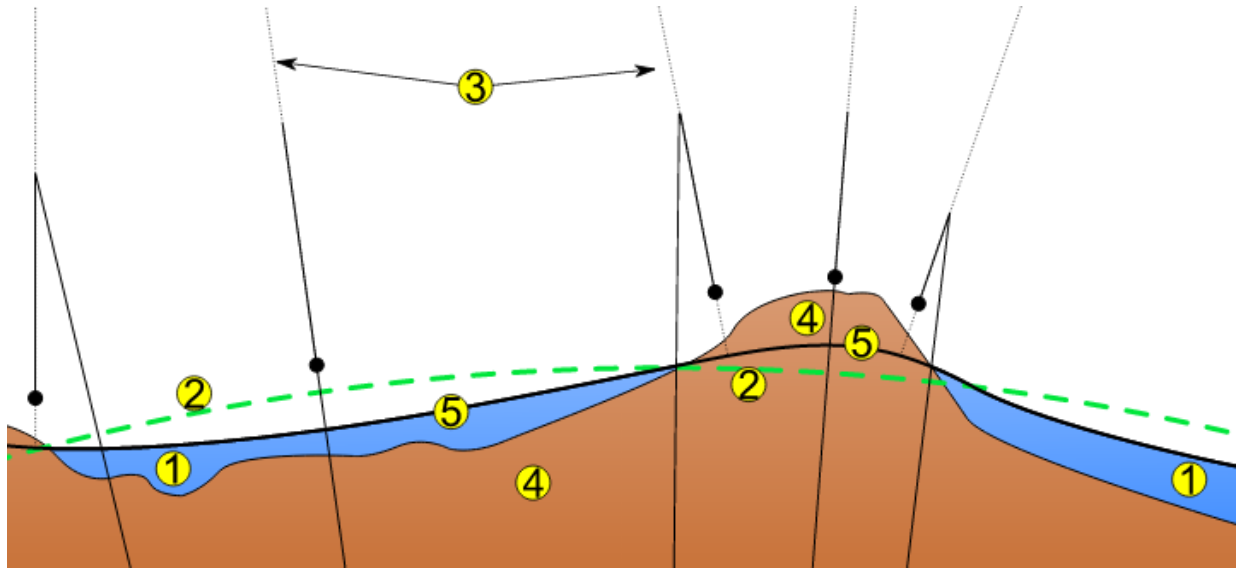


დედამიწის გეოიდი

ნახ. 2.1.1. დედამიწის გეოიდი სახმელეთო-ოკიანური და ლანდშაფტურ-რელიეფური ზედაპირების გათვალისწინებით

გეოიდის ერთერთ თვისებას წარმოადგენს ის, რომ სიმძიმის ძალის ვექტორი გეოიდური ზედაპირის პერპენდიკულარულია (იხ.ნახ.2.1.2). ცხადია გეოიდს არ აქვს მარტივი მათემატიკური აღწერილობა, ამიტომ მიმართულებისა და მანძილის გამოთვლის გამარტივებისათვის მას ცვლიან ელიფსოიდით, ელიფსოიდის ბრუნვით

შექმნილი სხეულით. ელიფსოიდს გააჩნია სწორი (წესიერი) გეომეტრიული ფორმა და უმნიშვნელოდ განსხვავდება გეოიდისაგან.

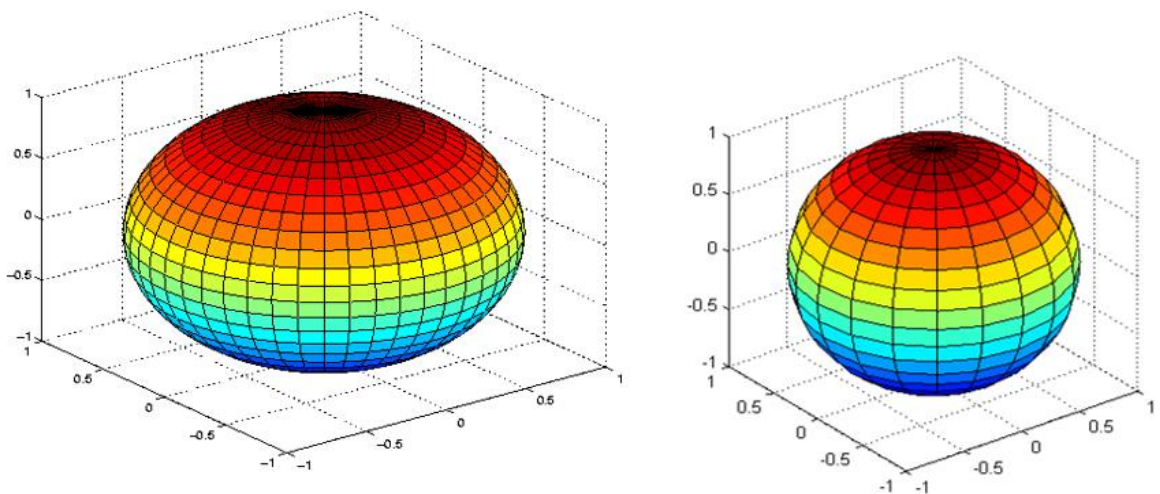


1- მსოფლიო ოკიანე; 2- დედამიწის ელიფსოიდი;

3- ცენტრისკენილი სიმძიმის ძალები; 4- დედამიწის სხეული; 5- გეოიდი;

ნახ.2.1.2. დედამიწის გეოიდური ზედაპირი სიმძიმის ძალის ვექტორების გათვალისწინებით

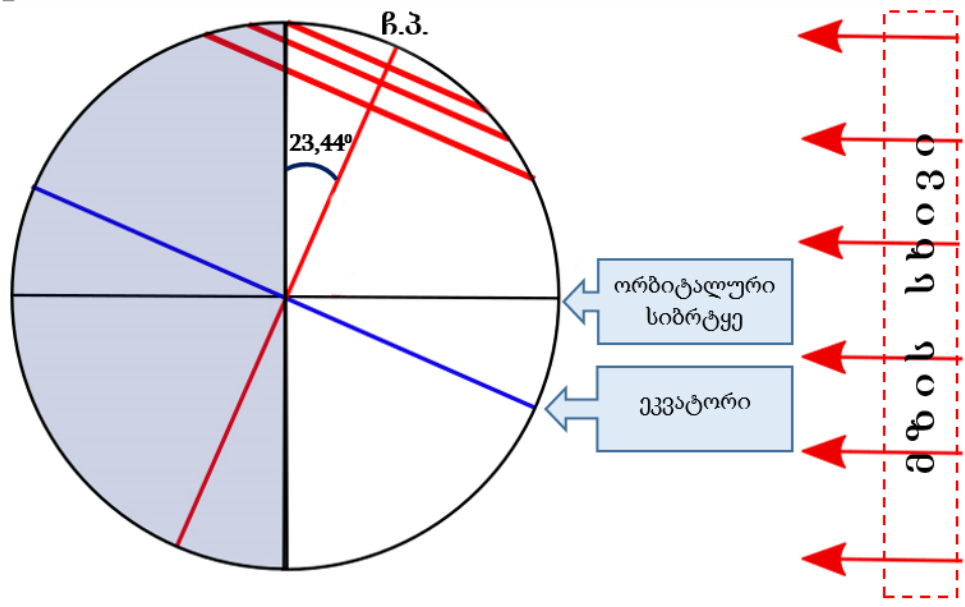
ელიფსოიდის ბრუნვის შედეგად წარმოიქმნება გეომეტრიული სხეული, რომელიც ბრუნავს მისი მცირე ღერძის გარშემო. ამ ელიფსოიდის ცენტრი ემთხვევა დედამიწის ცენტრს, ხოლო მისი მცირე ღერძი და ეკვატორი პარალელურია თავის მხრივ დედამიწის ბრუნვის ღერძისა და ეკვატორის.



ნახ. 2.1.3. ელიფსოიდი (მარცხნივ) და დედამიწასთან გაიგივებული სფერო (მარჯვნივ)

ელიფსოიდის ფორმა ძალიან უახლოვდება დედამიწის ფორმას, რადგან ის ოდნავ შევიწროებულია პოლუსებში. დედამიწის კუმშვადობა პოლუსებთან შეადგენს 0,3%-ს. დიამეტრი პოლუსებთან 43 კმ-ით ნაკლებია ეკვატორულ დიამეტრთან შედარებით. შეიძლება ითქვას, რომ დედამიწას სფეროს ფორმა აქვს, ამიტომ საჰაერო ნავიგაციაში გამოთვლების წარმოებისას დედამიწას განიხილავენ, როგორც სფეროს, რომლის საშუალო რადიუსი შეადგენს 6371კმ -ს.

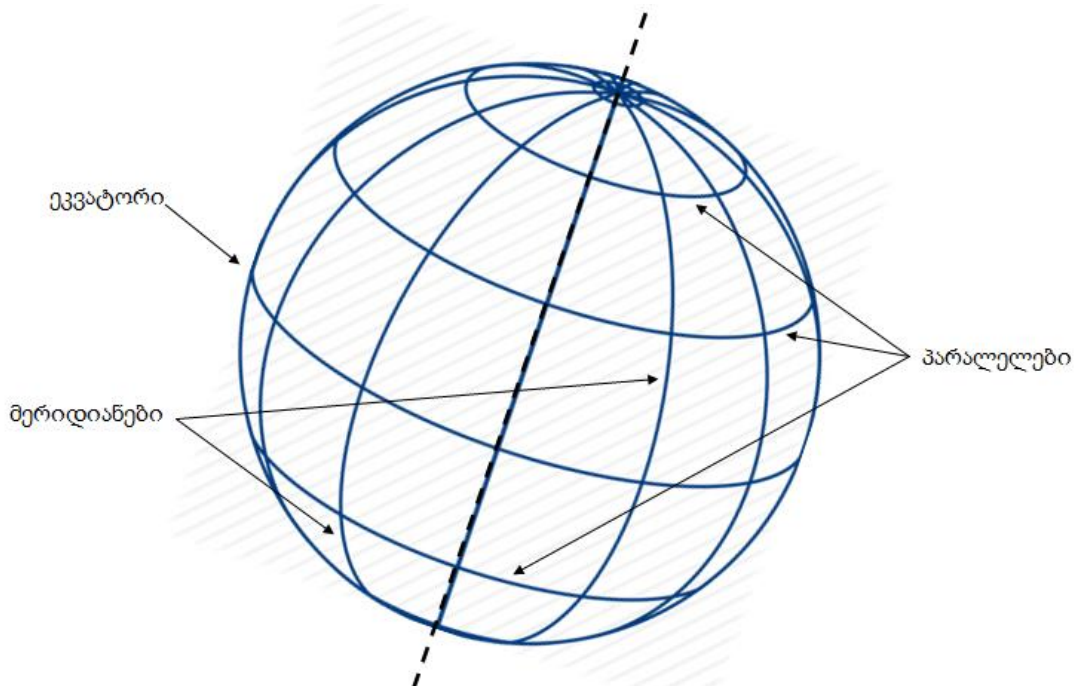
მზის ამოსვლა აღმოსავლეთიდან და მზის ჩასვლა დასავლეთში აიხსნება დედამიწის დედამური ბრუნვით მისი რერძის გარშემო. ეს ღერძი დედამიწას გადაკვეთს ორ წერტილში, რომლებსაც გეოგრაფიული პოლუსები ეწოდებათ. დედამიწის ეკვატორი მზის მართობთან მიმართებაში დახრილია $23,44^{\circ}$ -ით, რაც თავის მხრივ იწვევს დედამიწის ღერძის დახრილობას (იხ.ნახ.2.1.4).



ნახ. 2.1.4. დედამიწის ღერძის დახრილობა მზესთან მიმართებაში

ჩრდილოეთ პოლუსი ეწოდება იმ პოლუსს, რომლის გარშემოც ბრუნავს დედამიწა პირობითად საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით (როდესაც პოლუსს ვუყურებთ ზემოდან). ჩრდილოეთ პოლუსის მოპირდაპირე პოლუსს სამხრეთ პოლუსი ეწოდება. დიდი წრე, რომელიც დედამიწის ბრუნვის ღერძის პერპენდიკულარულია, არის ეკვატორი. ეკვატორი ყოფს დედამიწას ორ ნახევარსფეროდ, ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროებად. ნებისმიერი წრეს,

რომელიც ეკვატორის პარალელურია და მასზე მცირეა, ეწოდება პარალელი (იხ.ნახ. 2.1.5).



ნახ.2.1.5. დედამიწის საორიენტრო ბადე

ნებისმიერ წერტილზე შეიძლება მხოლოდ ერთი პარალელის გავლება. მას ადგილის პარალელი ეწოდება. წრე, რომელიც გაივლის დედამიწის პოლუსებზე არის მერიდიანი (იხ.ნახ. 2.1.5). მას უწოდებენ გეოგრაფიულ, ხშირად კი ჭეშმარიტ მერიდიანს. მერიდიანი, რომელიც გრინვიჩის ობსერვატორიაზე გადის, საერთაშორისო შეთანხმების თანახმად იწოდება გრინვიჩის ნულოვან, ანუ საწყის მერიდიანად. იგი დედამიწის სფეროს ყოფს ორ ნაწილად: აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნახევრსფეროებად.

მერიდიანებისა და პარალელების სისტემა ადგენს კოორდინატთა ბადეს. ეკვატორისა და საწყისი მერიდიანების სიბრტყეები ეს ის სიბრტყეებია, რომელთა მიმართ ხდება ნებისმიერი წერტილის კოორდინატების ათვლა. ასევე შეგვიძლია ჩვენ გამოვთვალოთ ნებისმიერი ჰაერში (სივრცეში) განლაგებული წერტილის კოორდინატები, თუ გადავიტანთ ამ წერტილის პროექციას, ანუ დავაგეგმილებთ მას დედამიწის ზედაპირზე.

აზიმუტი (A) არის კუთხე, რომელიც მოქცეულია მოცემულ წერტილზე გამავალ ჰემისფერულ მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებასა და ნავიგაციურ ორიენტირზე მიმართულებას შორის.

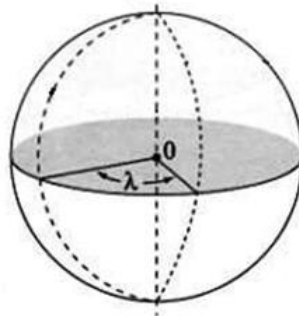
რადიალი (R) განსხვავდება აზიმუტისაგან იმით, რომ მის ათვლას აწარმოებენ მაგნიტური მერიდიანის ჩრდილოეთ მიმართულებიდან.

ავიაციისათვის აუცილებელია კოორდინატთა სისტემა, რომელიც განსაზღვრავს წერტილთა მდებარეობას დედამიწის ზედაპირზე. კოორდინატები შეიძლება გამოვსახოთ კუთხური ან გრძივი განზომილებებით. ნავიგაციაში ნავიგაციური კოორდინატების სისტემებისათვის იყენებენ გეოგრაფიულ, ორთოდრომულ და პოლარულ კოორდინატთა სისტემებს.

გეოგრაფიული სისტემა გამოიყენება ობიექტის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის ელიფსოიდის ზედაპირზე. ამ სისტემის პოლუსები ემთხვევა დედამიწის ელიფსოიდის გეოგრაფიულ პოლუსებს. ადგილის საწყის სიბრტყეებად მიღებულია ეკვატორისა და ნულოვანი მერიდიანის სიბრტყეები. სისტემის კოორდინატებს წარმოადგენს გრძედი და განედი.

გეოგრაფიული გრძედი არის ორგვერდა კუთხე, რომელიც მოთავსებულია საწყის მერიდიანსა და ელიფსოიდის მოცემულ წერტილზე გამავალ მერიდიანების სიბრტყეებს შორის. გამოისახება გრადუსებში ნულოვანი მერიდიანისა და მოცემული წერტილის მერიდიანს შორის (იხ. ნახ. 2.1.6.).

λ - გრძედი



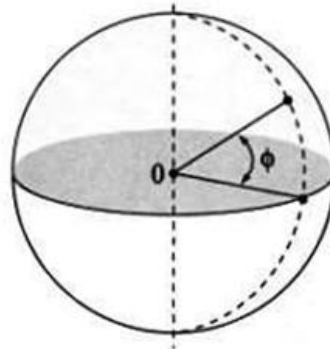
ნახ.2.1.6. დედამიწის გეოგრაფიული გრძედი

რკალს ზომავენ ნულოვანი მერიდიანიდან დასავლეთით 0° -დან 180° -მდე. აღმოსავლეთ ნახევარსფეროში გრძედი ხასიათდება დადებითი მნიშვნელობით,

ხოლო დასავლეთ ნახევარსფეროში - უარყოფითი. ნებისიერ წერტილებს, რომლებიც განლაგებულნი არიან ერთი და იგივე მერიდიანზე, აქვთ ერთნაირი გრძედი. გრძედი შეიძლება გამოსახული იყოს დროით (დღე-ღამის საათობრივი განზომილება), რომელიც აუცილებელია დედამიწისათვის, რათა შემობრუნდეს იმ კუთხით რომელიც შეესაბამება გასაზომ გრძედს.

გეოგრაფიული განედი არის კუთხე, რომელიც მოთავსებულია ელიფსოიდის ეკვატორის სიბრტყესა და ნორმალს შორის მოცემულ წერტილში (იხ.ნახ.2.1.7). განედი იზომება გრადუსებში ეკვატორიდან ჩრდილოეთით და სამხრეთით 0° -დან 90° -მდე. ჩრდილოეთ განედი ითვლება დადებითად ხოლო სამხრეთ განედი უარყოფითად. ყოველ ცალკე აღებულ სხვადასხვა წერტილს, რომელიც განლაგებულია ერთი და იგივე პარალელზე, აქვთ ერთი და იგივე განედი. განედის ნებისმიერი წერტილი იზომება მერიდიანის გასწვრივ, რომელიც გადის მოცემულ წერტილზე ეკვატორიდან მოცემულ წერტილამდე.

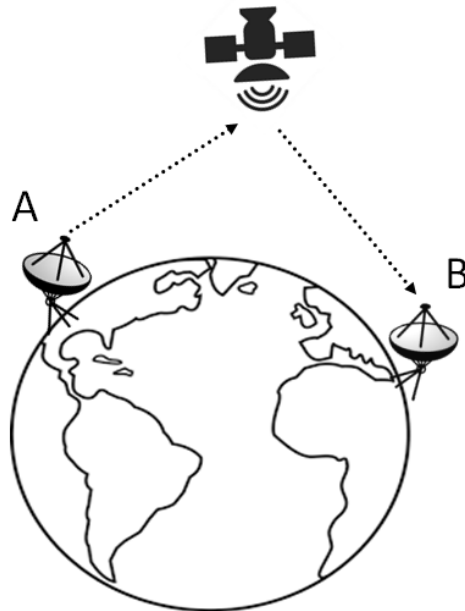
Φ - განედი



ნახ.2.1.7. დედამიწის გეოგრაფიული განედი

2.2. გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა და მოქმედების პრინციპი

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების (დხთ) ფართო გამოყენება XX საუკუნის 60-იანი წლების პირველ ნახევარში დაიწყო. თავდაპირველად ხელოვნური თანამგზავრები გამოიყენებოდა სამხედრო სფეროში და ხელმიუწვდენელი იყო სამოქალაქო სექტორისათვის. ხელოვნური თანამგზავრის უპირველეს და უმნიშვნელოვანეს დანიშნულებას წარმოადგენდა კავშირგაბმულობის დამყარება ორ ან რამდენიმე ობიექტს შორის მათი არაპირდაპირი ხედვის დროს რადიოკავშირის მეშვეობით. სამოქალაქო მიზნით დხთ-ს გამოყენების ერთერთი პირველი მცდელობა იყო შორი რადიოკავშირის განხორციელება, რომელშიც თანამგზავრი წარმოადგენდა კავშირგაბმულობის სისტემის რეტრანსლაციურ ელემენტს, ე.წ. ინფორმაციის მიმღებსა და შემდგომ გადამმისამართებელს. სხვანაირად რომ ვთქვათ, დედამიწის ორბიტაზე არსებული თანამგზავრი წარმოადგენდა დედამიწიდან კოსმოსურ სივრცეში გასხივებული სიგნალის ერთგვარ რეფლექტორს, ამრეკლს (იხ.ნახ.2.2.1.).



ნახ.2.2.1. 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. ამ ახალი კავშირის დიდმა შესაძლებლობებმა მისი ინტენსიური განვითარება განაპირობეს. თანამგზავრულ სისტემებზე 1965 წელს ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა აჩვენეს მათი გამოყენებით სატელეფონო და სატელევიზიო ტრანსლაციის შესაძლებლობები. იმ ეტაპზე პირველად განხორციელდა მთელი რიგი სამეცნიერო-კვლევითი და საინჟინრო სამუშაოები, რომლებშიც კაცობრიობას ჯერ კიდევ არ გააჩნდა არც ღრმა ცოდნა და არც ტექნიკური გამოცდილება. თავდაპირველად თანამგზავრული სისტემის გამოყენება ხდებოდა მხოლოდ და მხოლოდ რადიოკავშირის დასამყარებლად, შემდგომში ფართოდ გავრცელდა თანამგზავრული ტელევიზია; სამომავლოდ კი მიღწეულიქნა ის ეტაპი, სადაც რადიოკავშირთან და ტელევიზიასთან ერთად ფარული კოდირებული სიგნალების სახით ვრცელდებოდა განსაზღვრული ინფორმაცია. ანუ გაიზარდა სხვადასხვა არხების გატარების შესაძლებლობა. ეს ყოველივე იმდენად დაიხვეწა, რომ თანამგზავრიდან გასხივებული სიგნალების მეშვეობით შესაძლებელი გახდა სივრცეში ორიენტირება, სხვადასხვა ობიექტების ადგილმდებარეობის დადგენა-განსაზღვრა. დღესდღეობით თანამგზავრული კავშირგაბმულობის ქსელის მეშვეობით შესაძლებელია ნებისმიერი სახის კომუნიკაციის დამყარება, მათ შორისაა მაღალსიჩქარიანი ინტერნეტიც. ცხადია, დროთა განმავლობაში მიღწეული იქნა თანამგზავრების ორბიტაზე გაყვანისა და მათი იქ სტაბილური მოძრაობის პროცესის შენარჩუნება, მიწისზედა სადგურების კომპლექსების დამუშავება, თანამგზავრული რეტრანსლატორების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური სრულყოფა და ა.შ.

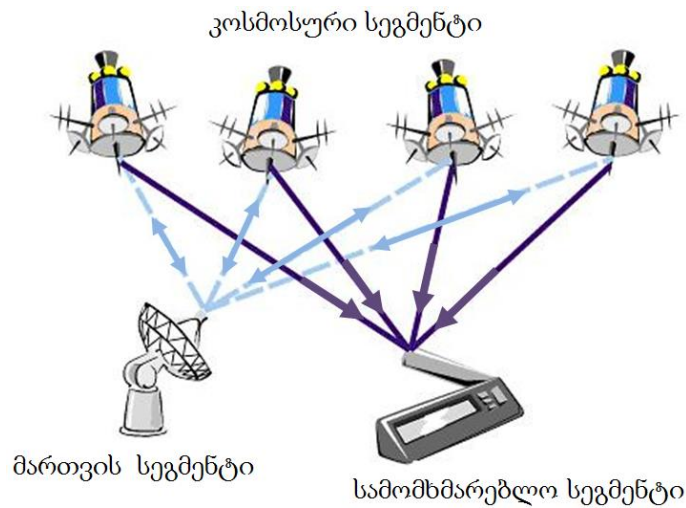
რადიოტექნიკური მოწყობილობების სრულყოფამ და სარაკეტო-კოსმოსური ტექნიკის განვითარებამ შესაძლებელი გახადა ექსპერიმენტული სისტემებიდან საერთაშორისო და გლობალურ თანამგზავრულ კავშირგაბმულობის სისტემაზე გადასვლა.

თანამგზავრული სანავიგაციო სისტემების დანიშნულებაა სტაციონარული და მოძრავი ობიექტების ადგილმდებარეობისა და მოძრავი ობიექტების სიჩქარის განსაზღვრა.

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 განსაზღვრულიყნას, მოძრავი ობიექტის შემთხვევაში, მისი მიმართულება და გადაადგილების სიჩქარე. ცხადია ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია, ობიექტი აღჭურვილიყნას 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.

მსგავსი სისტემების თვალსაჩინო ღირსება: არ არსებობს პირდაპირი ხედვის საჭიროება ორ პუნქტს შორის, შესაძლებელია გაზომვათა ცდომილებების მინიმუმამდე დაყვანა, გაზომვების ჩატარება დასაშვებია დღე-ღამის ნებისმიერ დროს და ამინდის ნებისმიერ პირობებში. აგრეთვე უნდა აღინიშნოს, რომ გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის გამოყენებით შესაძლებელია იმ დროის შემცირება, რომელიც საჭიროა კონკრეტული ობიექტის ადგილმდებარეობის აღმოჩენისათვის [13].

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 რესივერებს (სამომხმარებლო სეგმენტი). (იხ.ნახ.2.2.2.).



ნახ.2.2.2. თანამგზავრული სისტემის სეგმენტები

გლობალური ნავიგაციური სისტემების მეშვეობით მიღებული მონაცემები ძალზე აქტიურად გამოიყენებიან შემდეგ სფეროებში:

- სამხედრო საჭიროება;
- სამოქალაქო ავიაცია;
- გეოდეზია;
- საზღვაო ტრანსპორტი;
- საავტომობილო ტრანსპორტი;
- მშენებლობა;
- უსაფრთხოების სისტემები;
- სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობა;

დღესდღეისობით შეიძლება მხედველობაში მიღებულიქნას და განხილულიქნას შემდეგი ნავიგაციური თანამგზავრული სისტემები:

- **GPS – Global Positioning System**

GPS – გლობალური პოზიცირების სისტემა, რომელიც შემუშავებულიქნა აშშ-ში. ამჟამად ეს სისტემა ყველაზე უფრო მეტედ გამოიყენება თავის სფეროში.

- **GLONASS (ГЛОНАСС) - ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система**
სისტემა GLONASS შეიქმნა რუსეთში, რუსი სპეციალისტების მიერ. ამჟამად

მიმდინარეობს მოლაპარაკება სხვადასხვა ქვეყნების ხელისუფლებასთან აღნიშნულ პროექტში მონაწილეობისა და გაწვევრიანებისთვის.

- **GALILEO**

ევროპულმა კოსმოსურმა სააგენტომ თავად შეიმუშავა კოსმოსური თანამგზავრული სისტემა, რომელსც დაერქვა GALILEO. აღნიშნული პროექტის შემუშავებით ევროპული კოსმოსური სააგენტო ცდილობს ხარისხიანი ალტერნატიული სისტემის ჩამოყალიბებას, რომელიც კონკურენციას გაუწევს GPS-ს და GLONASS-ს.

- **COMPASS**

ჩინური სისტემა COMPASS დაიწყო განვითარება 2000 წლიდან. იგი დანიშნულია ჩინეთის ტერიტორიაზე სამუშაოდ.

- **IRNSS**

2006 წელს ინდოეთმა დაიწყო საკუთარი ნავიგაციური სისტემის ჩამოყალიბება სახელწოდებით IRNSS; აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ეს სისტემა ჩამოყალიბებულიქნა როგორც რეგიონალური დანიშნულების.

- **Quasi-Zenith**

არც იაპონიაში მოინდომეს საკუთარი სანავიგაციო სისტემის გარეშე დარჩენა და 2002 წელს დაიწყო შემუშავება Quasi-Zenith სისტემის.

GNSS-ში შემავალი ნებისმიერ თანამგზავრულ სისტემას გააჩნია ერთი და იგივე მუშაობის პრინციპი, თუ არ განვიხილავთ რომელიმე სხვა კონკრეტულ სისტემას, იქნება ეს GPS, GLONASS თუ GALILEO. ცხადია გარკვეული პარამეტრებით და სხვადასხვა პოზიციების მეთოდებით აღნიშნული თანამგზავრული სისტემები ერთნამეთისაგან განსხვავდებიან, თუმცა მათ საფუძველში ჩადებულია ერთნაირი მუშაობის მეთოდი.

თანამგზავრული სისტემის მოქმედების პრინციპი:

თანამგზავრული ნავიგაციური სისტემის მუშაობის პრინციპი ეფუძნება მანძილის გაზომვას ობიექტზე არსებულ ანტენასა (რომლის კოორდინატები უცნობია) და თანამგზავრს შორის, რომლის ადგილმდებარეობა, კოორდინატები ცნობილია მაღალი სიზუსტის დაცვით. თანამგზავრულ თანავარსკვლავედში შემავალი ყოველი თანამგზავრის ადგილმდებარეობის შესახებ ინფორმაცია-მონაცემებს ეწოდება ალმანახი, რომელიც ცხადია ცნობილი უნდა იყოს ნებისმიერი სამომხმარებლო თანამგზავრული სიგნალების მიმღები მოწყობილობისათვის მანამ სანამ ის დაიწყებს გაზომვების ჩატარება-წარმოებას. როგორც წესი მიმღებში ინახება ბოლო ჩართვიდან დაფიქსირებული ალმანახი და თუ კი ის არ მოძველდა გამოყენებისათვის სამომხმარებლო მიმღები მომენტალურად ეყრდნობა უკვე არსებულ ინფორმაციას. ყოველი თანამგზავრი ასხივებს და გადასცემს ინფორმაციის სახით სისტემაში შემავალი ყველა თანამგზავრის ალმანახს. ასეთი მეთოდით ცნობილი ხდება მანძილი მომხმარებლიდან ყოველ თანამგზავრამდე და მარტივი გეომეტრიული გაზომვებით შესაძლებელი ხდება ობიექტის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა სივრცეში [47],[56].

თანამგზავრიდან სამომხმარებლო მიმღების ანტენამდე მანძილის გაზომვის მეთოდი ეფუძნება რადიოტალღის გავრცელების სიჩქარის გაზომვას სიგნალის ტრანზიტულ დროზე დაყრდნობით. თანამგზავრიდან გავრცელებადი სიგნალის დროის ზუსტი გაზომვისათვის ყოველი თანამგზავრი აღჭურვილია ატომური საათის მექანიზმით, რომელიც ზუსტად არის სინქრონიზირებული მთლიანი სისტემის საერთო დროსთან. თანამგზავრული სიგნალების მიმღები სამომხმარებლო მოწყობილობა, უფრო სწორად რომ ვთქვათ, მოწყობილობის დროითი ათვლის მექანიზმი სინქრონიზირდება თანამგზავრულ სისტემურ ერთიან დროსთან; სიგნალების შემდგომი მიღებისას იზომება დაყოვნება გასხივების დროსა, რომელიც ინფორმაციის სახით დართულია სიგნალში და სიგნალის მიღების დროს შორის. ამ ინფორმაციაზე დაყრდნობით ნავიგაციური მიმღები გამოთვლის თავის კოორდინატებს, თუ კი რამოდენიმე თანამგზავრიდან ერთდროულად ლეზულობს შესაბამისი სახის სიგნალებს. სხვა დანარჩენი გადაადგილების პარამეტრები (სიჩქარე, კურსი, გავლილი მანძილი) გამოითვლება დროის გაზომვის საფუძველზე, რომელიც დასჭირდა

ობიექტს გადასაადგილებლად რამოდენიმე წერტილს შორის, რომელთა კოორდინატები წინასწარ იყო ცნობილი.

გლობალური პოზიციების სისტემა - GPS

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში თვალსაჩინო ტექნიკურ განვითარებათა შორის დიდი პროგრესი აღინიშნება თანამგზავრული ნავიგაციის სისტემების შემუშავების სფეროში ანუ გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრულ სისტემაში (GNSS).

არსებობს ისეთი სახის ამოცანები, რომელთა გადაჭრას კაცობრიობა უძველესი დროიდან ცდილობს. ერთერთ ასეთ ამოცანას წარმოადგენს გეოგრაფიული ადგილმდებარეობის განსაზღვრა. გასული ასწლეულების განმავლობაში ხალხმა აღმოაჩინა არაერთი ასეთი მეთოდი ადგილზე ორიენტირებისთვის (მაგალითად: მზის ან ვარსკვლავების მიხედვით) გამოიგონეს სპეციალური სახის აღჭურვილობა-დანადგარები (კომპასი), შეადგინეს ყველაზე უფრო მეტად ზუსტი გეოგრაფიული რუკები. თუმცა ამ ყოველივეს მიუხედავად, ამ უკანასკნელ დრომდე არ არსებობდა ადგილმდებარეობის კოორდინატების განმსაზღვრელი საშუალება, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელი იქნებოდა გეოგრაფიული ადგილმდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრა დედამიწის ნებისმიერ წერტილში, ნებისმიერი ამინდის პირობების მიუხედავად. დღესდღეობით ასეთი პრობლემის გადაჭრის უნივერსალური ხელსაწყოა პრეტენდენტია გლობალური პოზიტირების სისტემა - GPS .

თუ არ გავითვალისწინებთ GPS-ის გამოყენების კონკრეტულ სფეროებს (ავიაციის, საზღვაო ნავიგაციის, გეოდეზიის, სამაშველო სამსახურების, სამხედრო სფეროსა და ა.შ.) მისი გამოყენების სექტორი და არეალი შესაძლებელია პირველადი შეხედვით მცირე და უმნიშვნელო აღმოჩნდეს, ვინაიდან მას ხშირად იყენებენ ტურისტები, ავტომანქანის მძღოლები, მოლაშქრეები, მონადირეები და ა.შ. ერთი სიტყვით რომ ვთქვათ - ყველა ვინც ასე თუ ისე კავშირშია გადაადგილებასთან.

აღსანიშნავია, რომ გლობალური პოზიცირების სისტემის გამოყენებამ ადგილი მოიპოვა კომერციულ სფეროშიც. შესაბამისად ე.წ. მობილური მომხმარებელი აკეთებს დანაზოგს ბიზნესსა და დროში ე.ი. ფინანსურ საკითხებში; სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობაში სადაც GPS ეხმარება ფერმერებს სათესლე და სასასუქე მასალის ოპტიმალურად განაწილებაში; სეისმოლოგიაში, სადაც აკვირდებიან ტექტონიკურ ქანების გადაადგილებას; ავტომანქანის მძღოლებშიც მოიძებნება უამრავი, რომელიც თამამად დაამონტაჟებდა GPS სიგნალების მიმღებს საკუთარ ავტომობილში. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ბოლო პერიოდში GPS სიგნალის მიმღები მოწყობილობები სულ უფრო და უფრო მცირდება ზომებში. უკვე დღეს შესაძლებელია მათი ჩამონტაჟება პლანშეტურ კომპიუტერებში, მობილურ ტელეფონებში და ხელის საათებშიც კი .

მანამ სანამ განვიხილავთ იმას, თუ რას წარმოადგენს გლობალური პოზიცირების სისტემა, მიმოვიხილოთ მცირედი ისტორია. გლობალური პოზიცირების სისტემის შემუშავების იდეა შემოთავაზებულ იქნა 1970-იან წლებში აშშ-ს თავდაცვის სამინისტროს მიერ. იმ ხანებში ის მოიხსენიებოდა როგორც Navigating System with Timing and Ranging (NAVSTAR), ანუ სანავიგაციო სისტემა მანძილისა და დროის განსაზღვრის მიხედვით. სისტემის პირველი თანამგზავრი ორბიტაზე გაგზავნილიქნა 1978 წელს, ხოლო სისტემის სრულყოფის დამასრულებელი უკანასკნელი კი 1994 წელს. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნული სისტემა ხელმისაწვდომი საზოგადოებრივი მოხმარებისათვის მხოლოდ 90-იან წლების დასაწყისში გახდა, თუმცა გასაკვირი არ უნდა იყოს, რომ სისტემის მართვასა და კონტროლს მხოლოდ აშშ-ს სამხედრო სამსახურს ახორციელებს.

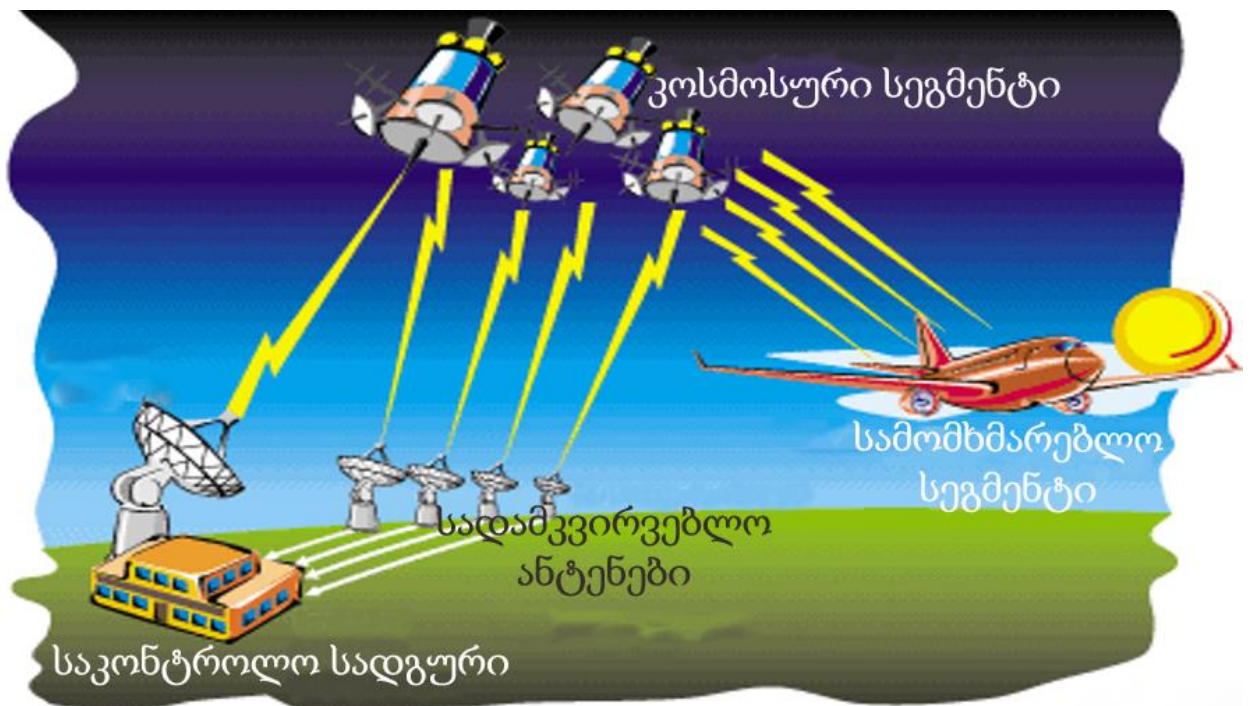
გლობალური პოზიცირების სისტემის გამოყენებით (გლობალური პოზიცირების პროცესი გულისხმობს სამომხმარებლო კოორდინატების განსაზღვრას მსოფლიოს ნებისიერ წერტილში) შემდეგი ორი მახასიათებელი განსაზღვრავს ადგილმდებარეობას დედამიწაზე:

- ზუსტი ადგილმდებარეობის დადგენა (გრძედის, განედისა და სიმაღლის კოორდინატები) განისაზღვრება 1მმ-დან 20მ-მდე დიაპაზონში [7],[11],[13].

- პრეცეზიული დრო UTC (Coordinated Universal Time), მისი სიზუსტის დიაპაზონი განისაზღვრება 5 ნწმ-დან 60 ნწმ-მდე.

$$1\text{ნწმ} = \frac{1}{1.000.000.000} \text{წმ}$$

სიჩქარე და მოძრაობის მიმართულება შეიძლება მიღებულ იქნას ამ კოორდინატებით. კოორდინატების და დროის მნიშვნელობები განისაზღვრებიან სახმელეთო მართვის სადგურის მეშვეობით. (იხ. ნახ.2.2.3.)



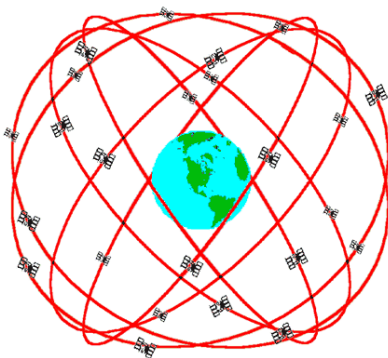
ნახ.2.2.3. GPS სისტემის სტრუქტურულ-ფუნქციონალური აღწერა

გლობალური პოზიცირების სისტემა (GPS), რომელიც შემუშავებულ იქნა United States Department Of Defense -ის ანუ DOD -ის მიერ, წარმოადგენდა სრულყოფილ GNSS -ის მომუშავე სისტემას.

თანამგზავრული ნავიგაციის სწრაფად განვითარებადი სფერო ძირითადად აქცენტირებულია GPS სისტემაზე, სწორედ ეს წარმოადგენს იმის მიზეზს, რომ ტერმინები GPS და თანამგზავრული ნავიგაცია ერთმანეთს ხშირ შემთხვევაში ენაცვლებიან.

სამხედრო სფეროში ერთიანი ბალანსის შერჩევა ძალიან რთული იყო, ასე რომ მსგავსი სისტემის შემუშავება დაიწყო საბჭოთა კავშირშიც. ამერიდან რუსული გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა ГЛОНАСС 1996 -წელს ამუშავდა კოსმოსურ სივრცეში. ჯერჯერობით ГЛОНАСС -ის სამომხმარებლო აღჭურვილობა ვერ პოულობს ფართო გამოყენებას GPS - თან მიმართებაში მთელი რიგი გარკვეული პრობლემების გამო. ამავდროულად დასავლეთის ქვეყნებში დაიწყო ისეთი მიმღები მოწყობილობების შემუშავება და გამოშვება, რომლებიც ერთდროულად აღიქვამენ როგორც ГЛОНАСС -ის ისე GPS-ის სიგნალებს. აქედან გამომდინარე, როდესაც ვსაუბრობთ GPS მიმღებზე ჩვენ ვგულისხმობთ მოწყობილობათა კომპლექსს, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია სივრცული კოორდინატების განსაზღვრა.

GPS სისტემის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი ორბიტაზე გაგზავნილიქნა 1978 წლის 22 თებერვალს. ამჟამად კი ორბიტაზე 32 მუშა თანამგზავრია ექვს სხვადასხვა სიბრტყის ორბიტაზე. ეს ორბიტები თავის მხრივ ეკვატორულ სიბრტყესთან მიმართებაში შეადგენენ 55° -იან კუთხეს. აღსამიშნავია, რომ GPS თანამგზავრი დაახლოებით 12 საათს ანდომებს დედამიწის ფარშემო ერთი სრული ბრუნის შესრულებას, აქედან გამომდინარე თანამგზავრქვეშა წერტილი ორჯერ შემოწერს წრეწირს 24 საათის განმავლობაში და შესაბამისად გადაიკვეთება დედამიწის ყოველი გეოგრაფიული გრძედი. გლობალური პოზიციონირების სისტემაში შემავალი 32 თანამგზავრიდან დროის რეალურ რეჟიმში მუშაობს მხოლოდ 24 მათ შორის 4 გათვალისწინებულია გაუთვალისწინებელი ვითარებებისა და რეზერვისათვის, ხოლო დარჩენილი 4 კი - სისტემის მომავალი განვითარებისათვის. მათი განლაგება უზრუნველყოფს მომხმარებლის ხილბადობის ზონაში ერთდროულად 5-დან 11-მდე თანამგზავრის არსებობას (ნახ.2.2.4.).



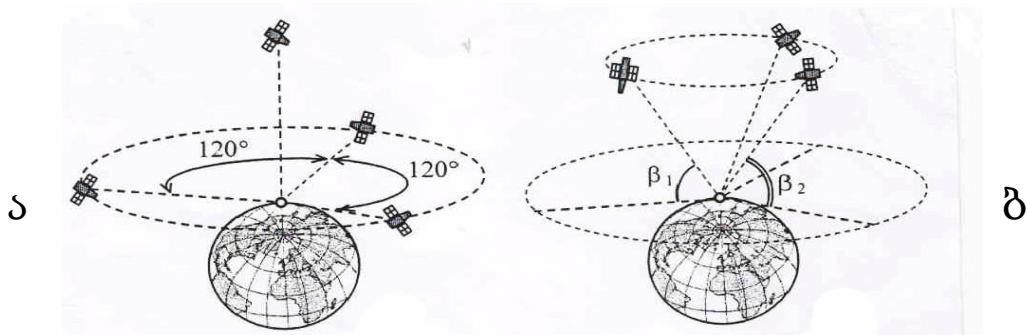
ნახ.2.2.4. GPS თანამგზავრების თანავარსკვლავედი

GPS სისტემაში დისტანცია დედამიწიდან თანამგზავრამდე 20180 კმ-ია. ნებისმიერი ცალკე აღებული ხილვადობის არეში მყოფი 4 თანამგზავრი უზრუნველყოფს მუდმივ მონაცემების გადაცემას დედამიწის ნებისმიერ წერტილში არსებულ მომხმარებელთან.

GPS სისტემის შემუშავებისას ძირითადი აქცენტი გაკეთებული იყო შემდეგ სამ ასპექტზე:

- მომხმარებლის უზრუნველყოფა ადგილმდებარეობის, სიჩქარისა და დროის განსაზღვრის შესაძლებლობით.
- უწყვეტი სამგანზომილებიანი სივრცეში პოზიცირების განსაზღვრა მაღალი სიზუსტით ამინდის პირობების მიუხედავად.
- სამოქალაქო და სამხედრო სექტორში გამოყენების შესაძლებლობა.

როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები მომხმარებლის ზუსტი ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის საკმარისია, რომ მიმღების ხილვადობაში ერთდროულად ოთხი თანამგზავრი იმყოფებოდეს. ამასთან მათი განლაგება ოპტიმალურად ითვლება, თუ სამი მათგანი მომხმარებლის სიბრტყეშია ერთმანეთისაგან თანაბარ კუთხურ მანძილზე, ხოლო მეოთხე თანამგზავრი იმყოფება ზუსტად მომხმარებლის მართობულად (თავს ზემოთ) (ნახ.2.2.5.) ამიტომ, თუ მომხმარებლის ხილვადობის ზონაში 5-11 თანამგზავრია, მიმღებში ჩადებული ალგორითმის მეშვეობით შეირჩევა მათგან საუკეთესო გეომეტრიული სახით განლაგებული ოთხი თანამგზავრი [10],[43].



ნახ.2.2.5. GPS-ის თანამგზავრების სამუშაო თანაოპტიმალური (ა) და არახელსაყრელი (ბ) კონფიგურაციები

თითოეული თანამგზავრის მასა დაახლოებით 700 კგ-ს შეადგენს, მზის ბატარეების სიმძლავრე საშუალოდ 700 ვტ-ია, ხოლო ნიკელ-კადმიუმის აკუმულატორების მიახლოებითი ტევადობაა 95-100 ა.სთ-ია, თანამგზავრის მუშაობის რესურსი 7 წელია.

თითოეული თანამგზავრზე განლაგებულია მიმღებ-გადამცემი აპარატურა, 4 ცალი სიხშირის ატომური სტანდარტი, ანუ დროის განმსაზღვრელი მოლეკულარულ-ატომური საათის მექანიზმი (ორი ცეზიუმის და ორი რუბიდიუმის), გამოთვლითი მოწყობილობა, კვების ელემენტები და მზის ბატარეები.

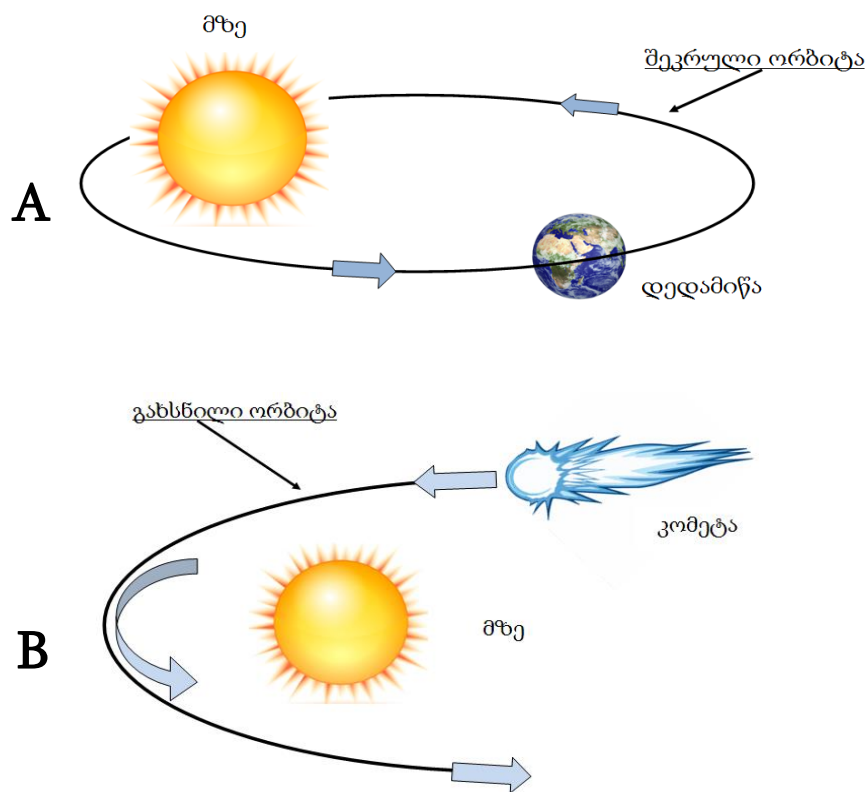
თანამგზავრული სისტემის ღირსებას მიეკუთვნება მისი გლობალურობა, ადამიანისაგან დამოუკიდებლობა, საზღვაო სივრცეში საჭირო მოძრაობის მართვის შესაძლებლობა, მაღალი სიზუსტე, საიმედოობა და მართვის სიმარტივე.

2.3. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ორბიტები და მათი კლასიფიკაცია

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების დედამიწის ორბიტაზე განლაგების კანონზომიერების და მათი მოძრაობის პრინციპების უკეთესად აღქმისათვის ვიხელმძღვანელოთ ორბიტის ასტრონომიულგანმარტებებსა და კანონებზე დაყრდნობით.

ორბიტა (ლათ. გზა; წინასწარ გასავლელი განსაზღვრული გზა, მიმართულება) - მატერიალური წერტილის მოძრაობის ტრაექტორია. ორბიტა განისაზღვრება კოსმოსური სხეულების გრავიტაციული ურთიერთდამოკიდებულებით. ორბიტა თავის მხრივ შეიძლება იყოს შეკრული (ჩაკეტილი) ან პირიქით - გახსნილი.

შეკრულ ორბიტაზე მოძრავი სხეულის გადაადგილება შეზღუდულია გარკვეული განსაზღვრული სივრცით, ხოლო გახსნილი ორბიტა განისაზღვრება სისტემაში ერთხელ შემავალი ობიექტით, რომელიც ტოვებს აღნიშნულ სისტემას და არ უბრუნდება მას (იხ.ნახ.2.3.1. A-B).



ნახ.2.3.1. შეკრული (A) და გახსნილი (B) ორბიტები

შეკრული ორბიტის (A) მაგალითს წარმოადგენს დედამიწის წლიური ბრუნვა მზის გარშემო, ხოლო გახსნილი ორბიტის თვალსაჩინო (B) მაგალითია მზის სისტემაში გარეშე შემოსული კოსმოსური სხეულის (კომეტის) მზესთან მიახლოება მრუდწირული ტრაექტორიით, სადაც ტრაექტორიის გამრუდება გამოწვეულია მზის გრავიტაციული ველით. ზოგადად, ორბიტა შეიძლება იყოს რთული არაკანონზომიერი ფორმის, მაგრამ მარტივი, სტანდარტული შემთხვევის განხილვისას ორბიტა წარმოადგენს პირობით სხეულს, რომლის წენტრში განლაგებულია კონკრეტული მასის მქონე სხეული. მსგავს მოდელის აღწერილობას იდეალურად შეესაბამება მზის სისტემის პლანეტები და სხვადასხვა კარეგორიის თანამგზავრები. ასეთი შემთხვევისას ორბიტა წარმოადგენს ელიფსს ან წრეწირს (შეკრული შემთხვევისას), პარაბოლას ან ჰიპერბოლას (გახსნილი ორბიტებისა).

შეკრულ ორბიტაზე მოძრაობა ექვემდებარება სამ კანონს, რომელიც ჩამოაყალიბა კეპლერმა დაკვირვების შედეგად და რომელიც წარმოადგენს ნიუტონის მიზიდულობის კანონის მტკიცებულებით მაჩვენებელს:

1 - პლანეტის ტრაექტორია, გზა წარმოადგენს ელიფსს, რომლის ერთ-ერთ ფოკუსში მოქცეულია მიზიდულობის ცენტრი.

2 - პლანეტის რადიუს ვექტორი დროის ტოლ მონაკვეთებში აღწერს ტოლ სექტორებს ფართობის მიხედვით.

3 - სრული შემოვლის დროის კვადრატები შეესაბამებიან ერთმანეთს როგორც მზემდე არსებული საშუალო მანძილის კუბები.

მზე იზიდავს პლანეტებს, პლანეტები თავის მხრივ თანამგზავრებს, ეს კი გარკვეულწილ არღვევს მათი მოძრაობა-გადაადგილების კანონზომიერებას; თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მზის სისტემის ცენტრი - მზე, წარმოადგენს მზის სისტემაში არსებული მასის 98%-ს და ცალკეული სხეულების გრავიტაციული მიზიდულობა არც თუ ისე მნიშვნელოვანია მზესთან შედარებით, ასე რომ მზის სისტემაში პირველად შემომავალი სხეულები აღწერენ თითქმის იდეალურად კანონზომიერ ტრაექტორიებს.

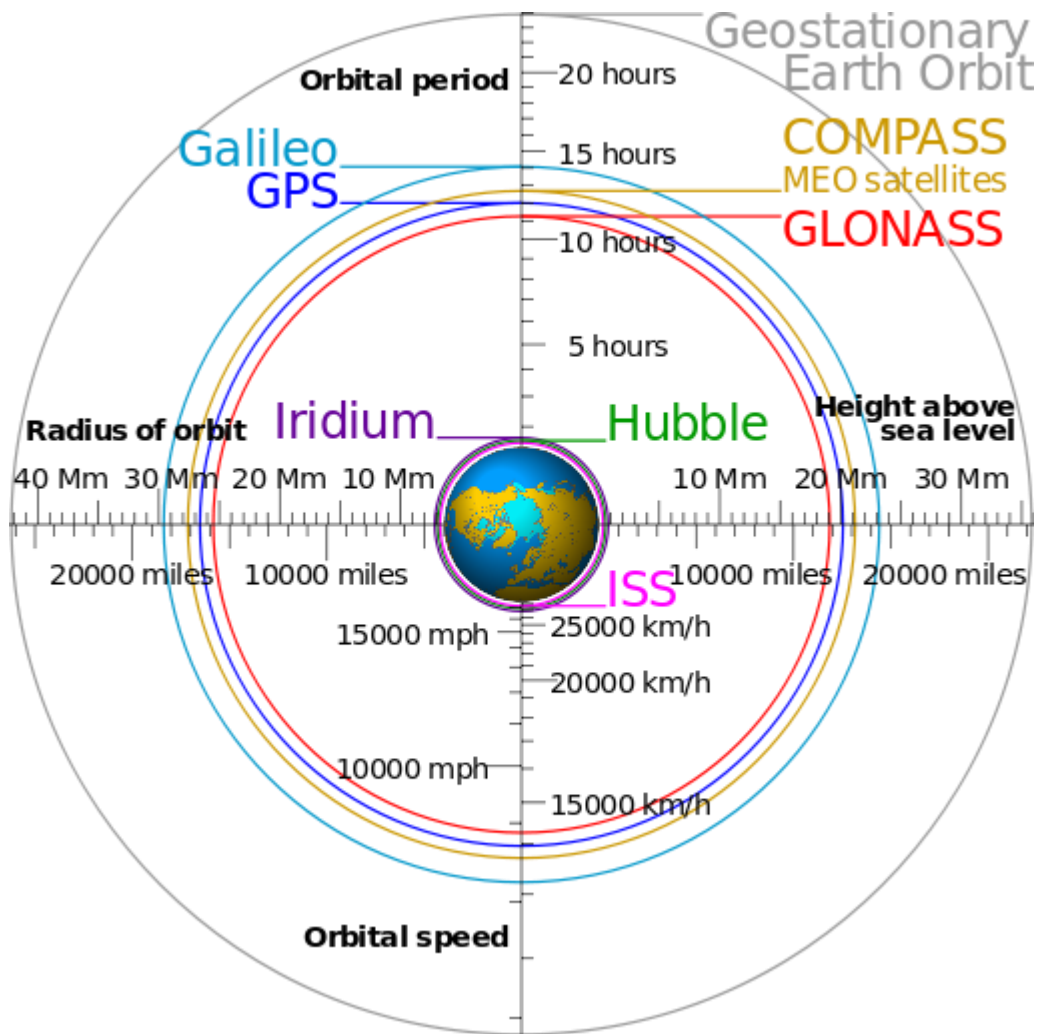
დღესდღეობით კაცობრიობა ხელოვნური თანამგზავრების განთავსებისათვის კოსმოსურ სივრცეში, იყენებს დედამიწის რამოდენიმე ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ორბიტას. დიდი ყურადღების ქვეშ ექცევა გეოსტაციონარული ორბიტა, რომელიც გამოიყენება ხელოვნური თანამგზავრის სტაციონარული განლაგებისათვის კოსმოსურ სივრცეში დედამიწის რომელიმე უძრავი წერტილის მართობულად. ორბიტა, რომელიც უნდა შეირჩეს თანამგზავრისათვის, დამოკიდებულია თანამგზავრის დანიშნულებაზე. მაგალითად, სატელევიზიო სიგნალებისა და სატელეფონო კავშირის ტრანსლაციისათვის განკუთვნილი თანამგზავრები განლაგდებიან გეოსტაციონარულ ორბიტაზე. თანამგზავრული სატელეფონო კავშირისა და ნავიგაციური თანამგზავრები კი ერთნამეთთან მიმართებაში გადაადგილდებიან შედარებით უფრო ახლოს დედამიწის ზედაპირთან. არსებობს კიდევ უამრავი დანიშნულების ხელოვნური თანამგზავრი, საექსპერიმენტო, სამეცნიერო-კვლევითი, მეტეოროლოგიური და ა.შ. და ყოველი მათგანი დანიშნულებიდან გამომდინარე განთავსდება კოსმოსურ სივრცეში დედამიწის ორბიტაზე [18].

თანამგზავრული ორბიტების განსაზღვრება: (ცხრილი და ნახ.2.3.2.)

ორბიტის დასახელება (დედამიწიდან დისტანციის მიხედვით)	ორბიტის დასახელება	ორბიტის სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან (კმ)
ახლო ორბიტა	LEO (<i>Low Earth Orbit</i>)	200-1200
საშუალო ორბიტა	MEO (<i>Medium Earth Orbit</i>)	1200-35790
გეოსინქრონული ორბიტა	GSO (<i>Geosynchronous Orbit</i>)	35790
გეოსტაციონარული ორბიტა	GEO (<i>Geostationary Orbit</i>)	35790
შორი ორბიტა (მაღალელიფსური ორბიტა)	HEO (<i>Highly Elliptical Orbit</i>)	35790-ზე მეტი

* *GSO* - თანამგზავრი არ მიუყვება დედამიწის ბრუნვის მიმართულებას და სავსებით დასაშვებია მისი სტაციონარულობის დარღვევა.

* *GEO* - თანამგზავრი უძრავადაა განლაგებული დედამიწის კოსმოსური სივრცის ერთ წერტილში და მიუყვება დედამიწის ბრუნვის მიმართულებას. თანამგზავრის განთავსება შესაძლებელია მხოლოდ ეკვატორული სიბრტის სივრცეში.



ნახ.2.3.3. ხელოვნური თანამგზავრების ორბიტალური განლაგება

ახლო ორბიტა (LEO):

დედამიწის ახლო თანამგზავრულ ორბიტაზე მოძრაობს და გადაადგილდება ხელოვნური თანამგზავრების საკმაოდ დიდი რაოდენობა. ეს თანამგზავრები შეიძლება დავახარისხოთ ჯგუფებად თავიანთი დანიშნულების მიხედვით:

- კავშირგაბმულობის თანამგზავრები, მათ შორის Iridium სატელეფონო კავშირის თანამგზავრები.
- დედამიწის ზედაპირის დაკვირვების თანამგზავრები გამოიყენებენ ახლო ორბიტებს, იმდენად რამდენადაც აღნიშნული დისტანციებიდან უკეთესად, რაციონალურადაა შესაძლებელი დედამიწის ზედაპირის შესწავლა-დაკვირვება.

თავის მხრივ აღნიშნული თანამგზავრები გადაადგილდებიან დედამიწის ზედაპირის მიმართ გარშემოვლის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

- საერთაშორისო კოსმოსური სადგური გადაადგილდება ახლო ორბიტაზე 320-400 კმ-ის დაშორებით, რომლის დანახვაც ხშირად შესაძლებელია დედამიწიდან შეუიარაღებელი თვალით.

ახლო ორბიტას გამოყენების დანიშნულებიდან გამომდინარე გააჩნია თავის მხრივ გარკვეული მახასიათებლები:

- კოსმოსური აპარატის მიერ დედამიწის გარშემოვლის პერიოდი, დრო გაცილებით მცირეა სხვა ორბიტებთან მიმართებაში. ახლო ორბიტების გამოყენებით აღარ არსებობს მაღალი სიჩქარეებისადმი მოთხოვნილება, რომელიც აუცილებელია დედამიწის დრავიტაციული ძალების ბალანსირებისათვის. აღნიშნულ ორბიტაზე მოთავსებული თანამგზავრების სიჩქარე 8 კმ/წმ-ია, ხოლო დედამიწის გარშემოვლის პერიოდი საშუალოდ 90 წთ-ს შეადგენს.
- ახლო ორბიტების გამოყენება გულისხმობს იმას, რომ მანძილი კოსმოსურ თანამგზავრსა და დედამიწის ზედაპირზე არსებულ მომხმარებელს შორის გაცილებით მცირეა ვიდრე სხვა შემთხვევებში. ეს კი სიგნალური დანაკარგებისა და ხარვეზების შემცირების ნათელი მიზეზია.
- ახლო ორბიტების გამოყენებით მცირდება თანამგზავრიდან დედამწამდე სიგნალის ტრანზიტული დრო, მაგალითად გეოსტაციონარულ ორბიტასთან მიმართებაში. *(სიგნალის ტრანზიტული დრო დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე გარდა კონკრეტული მანძილის მაგალითისა).*
- რადიაციის დონე გაცილებით მცირეა სხვა ორბიტებთან შედარებით.
- თანამგზავრის LEO ორბიტაზე განთავსებისათვის საჭიროა გაცილებით უფრო მცირე ენერჯია (შედეგად კი ფინანსური დანაკარგებიც) სხვა ორბიტებთან მიმართებაში.
- თანამგზავრის LEO ორბიტაზე გადაადგილებისას შეინიშნება აპარატის სიჩქარის შემცირება, რაც გამოწვეულია აირების არსებობით აღნიშნულ

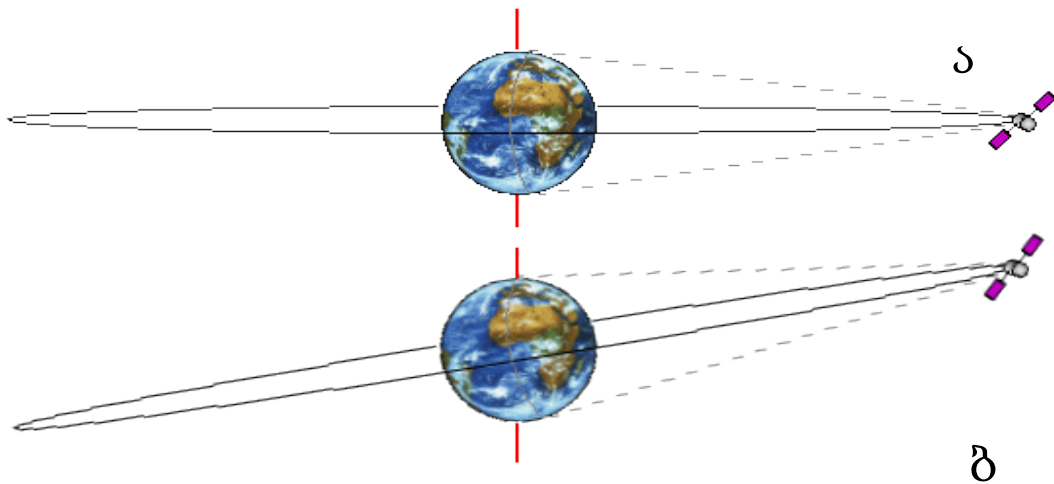
სიმაღლეზე და შედეგად ხახუნის შემაფერხებელი ძალების წარმოქმნით თანამგზავრსა და აირებს შორის. აღნიშნული მოვლენის არსებობის გამო გამოიყენება 300 კმ-ზე მეტი სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან.

საშუალო ორბიტა (MEO):

თანამგზავრულ ორბიტათა კლასიფიკაციებს შორის საშუალო სიმაღლის ორბიტები ყველგან არ გამოიყენება; ხშირ შემთხვევაში ისინი უბრალოდ ამოგდებულია კლასიფიკაციიდან ან მათი განსაზღვრის არე სხვადასხვა ლიტერატურაში ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, მიზეზად კი ამ სფეროში მოღვაწე მეცნიერების ერთმანეთისაგან მკაფიოდ განსხვავებული აზრი სახელდება.

გეოსტაციონარული (GEO) და გეოსინქრონული (GSO) ორბიტები:

ორბიტა რომელიც უნდა შეირჩეს თანამგზავრისათვის, დამოკიდებულია იმაზე თუ რა დანიშნულებისაა ის და სიგნალების დაფარვის რა არეალს უნდა მოიცავდეს. გეოსტაციონარული და გეოსინქრონული ორბიტა იწყება დედამიწიდან ~36000 კმ-ს დისტანციაზე. იხ.ნახ.2.3.4.



ნახ.2.3.4. გეოსტაციონარული (ა) და გეოსინქრონული (ბ) ორბიტები

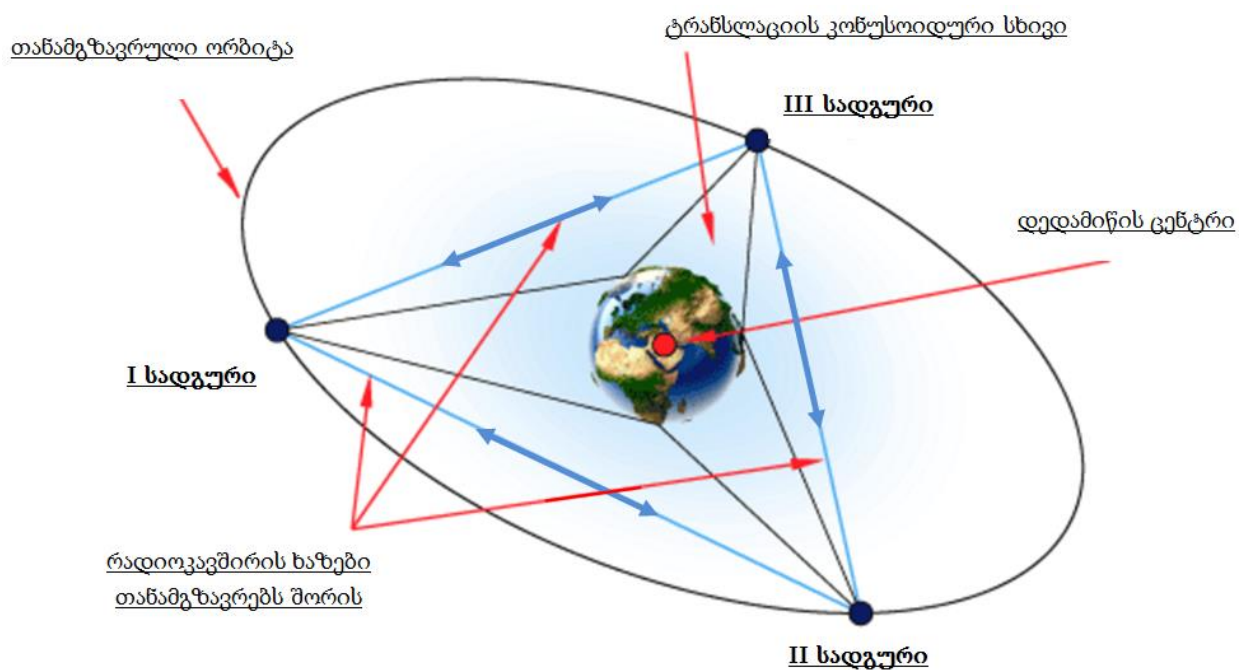
გეოსტაციონარული ორბიტის გამოყენება მეტად მოსახერხებელი და ხელსაყრელია რადიო სატელეკომუნიკაციო კავშირგაბმლობისთვის. არნიშნულ ორბიტაზე ხელოვნური თანამგზავრო მუდმივად იმყოფება ერთ ფიქსირებულ წერტილზე და არ იცვლის თავის მდგომარეობას დედამიწის ზედაპირის მიმართ, რაც გამორიცხავს

მომრავ-მიმყოლი მიმღები ანტენების აუცილებლობას მომხმარებლის მხრიდან. ეს კი მეტად მოხერხებულია სატელეკომუნიკაციო მაუწყებლობის პირდაპირ ეთერში გასვლის დროს.

გეოსტაციონარული ორბიტების უპირატესობებია:

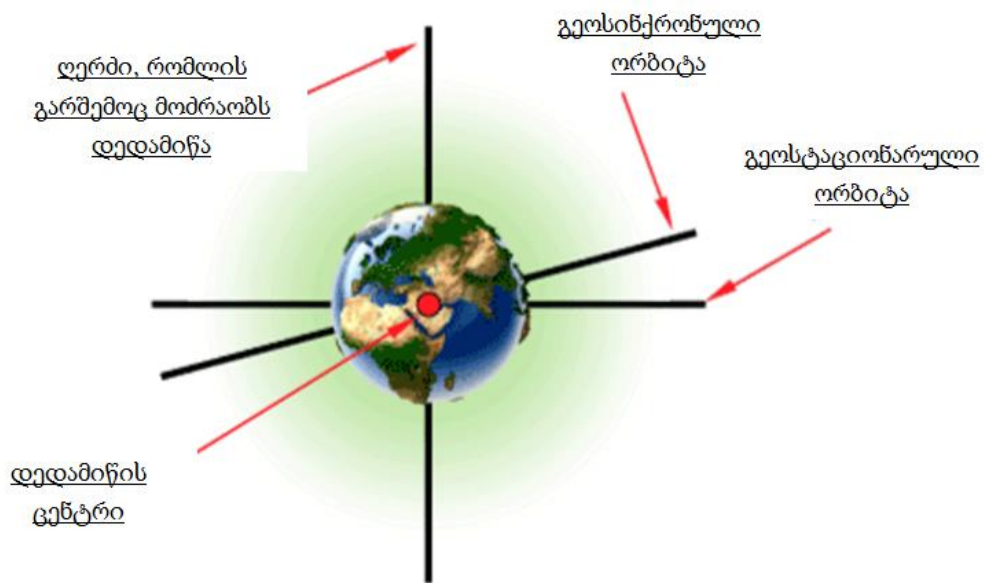
- მიწისზედა მიმყოლი სადგურების ანტენური სისტემის სიმარტივე;
- დოპლერის ეფექტის არარსებობა და აპარატურის სიმარტივე.

ამ ორბიტაზე მყოფი თანამგზავრიდან ხილვადობის ზონა წარმოადგენს ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ გადაჭიმულ ოვალს. ამ ოვალის ფართობი შეადგენს დედამიწის ზედაპირის დაახლოებით 30%-ს. ეს ნიშნავს იმას, დედამიწის გეოსტაციონარულ ორბიტაზე გაყვანილი 3 თანამგზავრი უზრუნველყოფს კავშირს დედამიწის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილთან (იხ.ნახ.2.3.5.).



ნახ.2.3.5. გეოსტაციონარული თანამგზავრული ორბიტის გამოყენების კონცეფცია

გეომეტრიულ კანონებზე დაყრდნობით, იმის მისაღწევად, რომ ხელოვნური თანამგზავრი ყოველთვის იმყოფებოდეს ერთსა და იმავე პოზიციაზე დედამიწის ზედაპირის მიმართ და მისი დედამიწის გარშემოვლის პერიოდი 24 საათს შეადგენდეს, ცხადი ხდება რომ ის ზუსტად უნდა მიუყვებოდეს დედამიწის ბრუნვით მიმართულებას. ეს ყოველივე კი მიიღწევა მაშინ, როდესაც თანამგზავრის ორბიტალური სივრცე ერთდროულად თანხვედრილია ეკვატორული სივრცისა და აუცილებლად კვეთს დედამიწის ცენტრს (იხ.ნახ.2.3.4.).



ნახ.2.3.4. ორბიტალური სივრცის მაჩვენებლები

* შენიშვნა: გეოსტაციონარული ორბიტის არსებობა შესაძლებელია მხოლოდ ეკვატორულ სივრცეში

გეოსტაციონარული ორბიტის ნაკლოვანებებია:

- შეუძლებელია ჩრდილოეთის ან სამხრეთის განედის 81° ზემოთ კავშირის განხორციელება, რადგან სამხრეთის და ჩრდილოეთის პოლუსების ტერიტორია არ შედის გეოსტაციონარული თანამგზავრის ხილვადობის არეალში;
- თანამგზავრი გეოსტაციონარულ ორბიტაზე არ იმყოფება უმოდრაო მდგომარეობაში, მასზე ზემოქმედებს სხვადასხვა გრავიტაციული ძალები. ამ ძალების კომპენსაციისათვის საჭიროა თანამგზავრზე მაკორექტირებელი ძრავების არსებობა და საწვავის დამატებითი მარაგი. ხშირად ვარგისიანობის ვადა განისაზღვრება ძრავების ქმედითუნარიანობის ხანგრძლივობით;

- სიგნალი დედამიწის ზედაპირიდან თანამგზავრამდე და უკუმიმართულებით გადის საშუალოდ 70000კმ მანძილს. ამ დროს ადგილი აქვს სიგნალის დაყოვნებას $\Delta t \approx 0,25$ წამით. აგრეთვე უნდა გავითვალისწინოთ სიგნალის დაყოვნება თანამგზავრული და მიწისზედა სადგურის აპარატებში მისი დამუშავების დროს. ამ დაყოვნებას ემატება მიწისზედა კავშირის ხაზებში სიგნალის გავლის დრო. ამ დაყოვნებების შედეგად ინტერნეტ კავშირი ნელდება, ხოლო სატელეფონო კავშირგაბმულობა კარგავს ხარისხს.

- გეოსტაციონარული ორბიტის კიდევ ერთი ნაკლი ისაა, რომ თუ თანამგზავრის გაშვება ხორციელდება ჩრდილოეთის კოსმოდრომიდან (მაგ. ბოიკონური), მაშინ მას სჭირდება ძრავების მეტი მუშაობა თანამგზავრის გეოსტაციონარულ ორბიტაზე გასაყვანად.

მიუხედავად ამ ჩამოთვლილი ნაკლოვანებების არსებობისა გეოსტაციონარული ორბიტა ფართოდ გამოიყენება. კავშირისთვის გეოსტაციონარული ორბიტის გამოყენების იდეა მიეწერება ბრიტანელ მეცნიერს და ფანტასტიური ჟანრის მწერალს - არტურ კლარკს, რომელმაც 1945 წელს გამოაქვეყნა “Wireless World” ჟურნალში სამეცნიერო პოპულარული სტატია, სადაც აღიწერა თანამგზავრული კავშირი გეოსტაციონარული ორბიტის გამოყენებით. ამიტომ ხშირად ამ ორბიტას კლარკის ორბიტასაც უწოდებენ.

პირველი გეოსტაციონარული თანამგზავრი ორბიტაზე გაიყვანეს ამერიკელებმა, მაგრამ ეს უცხად არ მომხდარა. 1963 წელის ორივე მცდელობა აღმოჩნდა წარუმატებელი, მაგრამ 1964 წლის 19 აგვისტოს გაშვებულ იქნა თანამგზავრი „სინეკომ 03“, რომელიც 10 სექტემბრამდე სპეციალური ძრავების გამოყენებით მიუახლოვდა მითითებულ დგომის წერტილს.

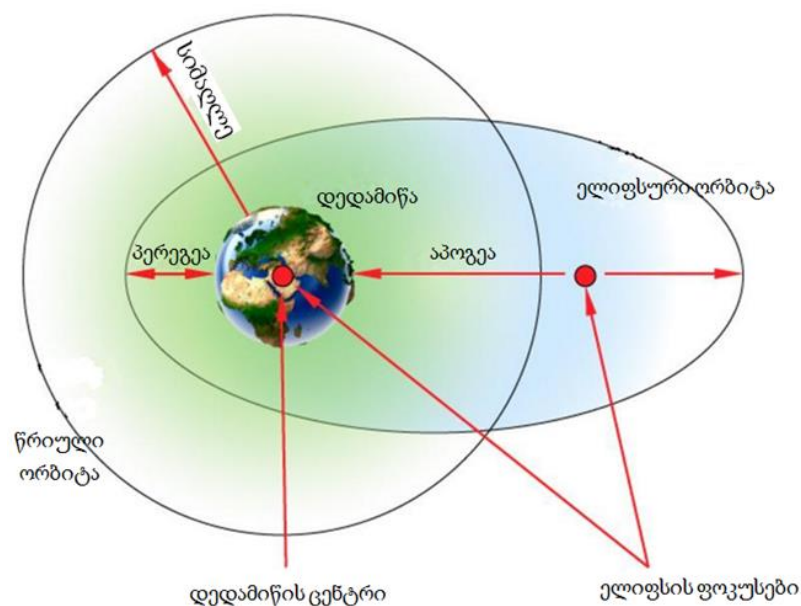
ბოლო 20 წლის განმავლობაში ბევრმა სახელმწიფომ საკუთარი სატელეკომუნიკაციო, მეტეოროლოგიური და სამხედრო თანამგზავრი შეიძინა. ამის შემდეგ გეოსტაციონარულ ორბიტაზე სივიწროვე შეინიშნებოდა. თანამგზავრებს შორის საშუალო დისტანცია შეადგენდა 500კმ-ს, ხოლო ზოგიერთ მონაკვეთებზე კოსმოსურ აპარატებს შორის მანძილი რამდენიმე ათეულ კილომეტრსაც კი შეადგენდა. ცხადია

ასეთი ვითარება ხშირად იყო მიზეზი უხარისხო კავშირგაბმულობისა და მოსალოდნელი შეჯახებებისა.

ასეთი მაღალი ორბიტებიდან თანამგზავრის დაბრუნება დედამიწაზე ძალიან ძვირი ჯდება, ამიტომ გეოსტაციონარული ორბიტის გაწმენდისათვის მიღებულია გადაწყვეტილება, რომ აქტიური ექსპლუატაციის დასრულებისას საწვავის ნარჩენების გამოყენებით ისინი გადაყვანილ იქნან ე.წ. „დაკრძალვის ორბიტაზე“, 200-300კმ-ის მოშორებით. კოსმოსურ სივრცეში დღესდღეობით თითქმის 10 ათასი თანამგზავრი და დაახლოებით იგივე რაოდენობის მისი ფრაგმენტი მოძრაობს. მათი კონცენტრაცია ძირითადად შეინიშნება დაბალ სიმაღლეებზე და გეოსტაციონარული ორბიტის სიახლოვეს.

შორი, მაღალელიფსური ორბიტა (HEO):

მაღალელიფსური ორბიტების გამოყენების უპირატესობა ცხადი ხდება განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც თანამგზავრი თავის დანიშნულებას იდეალურად ასრულებს და შეესაბამება ამ კონკრეტულ მითითებულ ორბიტალურ სიმაღლეზე. მაგალითად მაშინ, როდესაც ეკვატორული ორბიტის გამოყენება გამოუსადეგარია, ე.ი. მაშინ როდესაც თანამგზავრმა უნდა მიიღოს და გადასცეს სიგნალები პოლარული წერტილებიდან; ამ შემთხვევაში მაღალელიფსური ორბიტები ყველაზე უფრო მეტადაა გამოსადეგარი (იხ. ნახ. 2.3.5.).



ნახ.2.3.5. ორბიტების სახეობები და განმარტებანი დისტანციდან გამომდინარე

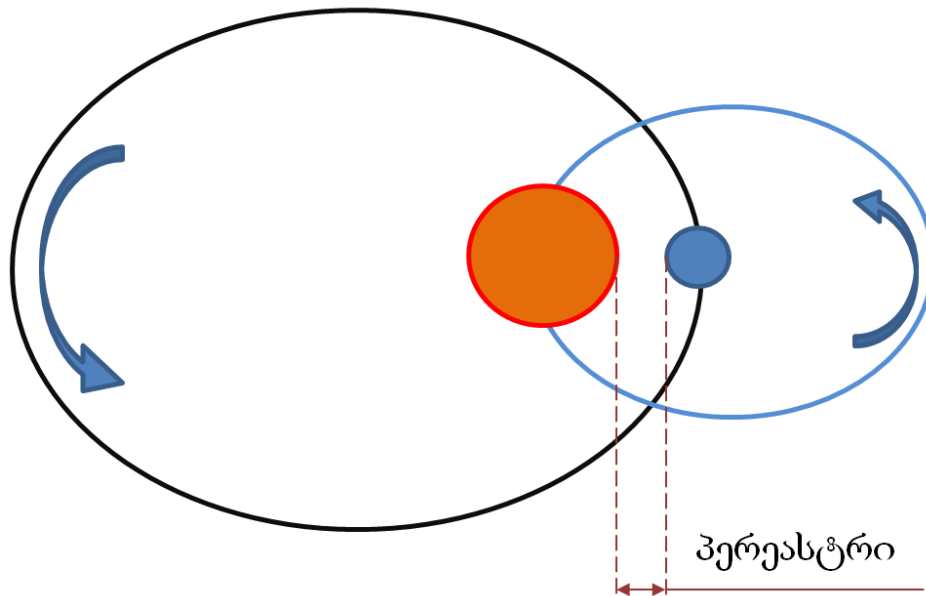
როგორც უკვე შევნიშნეთ ელიფსური ორბიტის დასახელება ხშირად გვევლინება მაღალელიფსური ორბიტის სახით, რომელიც აღწერს და მიუყვება ელიფსის სივრცულ მრუდს. ელიფსური ორბიტის ძირითად თვისება-მანასიათებელს წარმოადგენს ის, რომ მასზე არსებული, დედამიწის გარშემო მბრუნავი თანამგზავრი (ან რაიმე სხვა სახის კოსმოსური სხეული) განიცდის აჩქარებას დედამიწასთან მიახლოებისას და მაქსიმალურ სიჩქარეს აღწევს პერეგეულ წერტილში, მოძრაობის შემდგომი გაგრძელებისას თანამგზავრის სიჩქარე თანდათან ეცემა და მინიმუმის ტოლია აპოგეაში.

** პერეგეა - (ბერძნულად “პერე” შორი, ხოლო “გეო” დედამიწა) სიმძიმის ცენტრთან ყველაზე უფრო მეტად მიახლოებული გეოცენტრული ორბიტის წერტილი; პერეგეაში ობიექტის რადიალური სიჩქარე უდრის 0-ს.*

** აპოგეა - (ბერძნულად “აპო” შორი, ხოლო “გეო” დედამიწა) სიმძიმის ცენტრთან ყველაზე უფრო მეტად მიახლოებული გეოცენტრული ორბიტის წერტილი. გადატანითი მნიშვნელობით აპოგეა ნიშნავს ამა თუ იმ მოვლენის კულმინაციას, მაქსიმალური ზღვარის მიღწევას.*

ნებისმიერ ელიფსს გააჩნია ორი ცენტრი; ელიფსური ორბიტის შემთხვევაში კი ერთერთი მათგანი ემთხვევა დედამიწის ცენტრს. ელიფსურ ორბიტას გააჩნია ორი მეტად მნიშვნელოვანი წერტილი: აპოგეა - სადაც თანამგზავრის გადაადგილების სიჩქარე მინიმალურია, ვინაიდან ამ წერტილში ყველაზე ნაკლებად მოქმედებს დედამიწის გრავიტაციული ველი, და პერეგეა - სადაც თანამგზავრის გადაადგილების სიჩქარე აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას; ამ შემთხვევაში დედამიწის გრავიტაციული ველი მოქმედებს როგორც ამაჩქარებელი.

უნდა აღინიშნოს, რომ დედამიწის მდებარეობა ორბიტაზე არ არის სტაბულური, ის ცვალებადია მზესთან მიმართებაში; აგრეთვე მზეც გადაადგილდება თავისივე წრიულ ორბიტაზე. ასე მაგალითად წელიწადის განმავლობაში პლანეტა მარსი უახლოვდება მზეს, შესაბამისად მინიმალურ მანძილს მზესა და მზის ორბიტალურ თანამგზავრს შორის პერეასტრი ეწოდება (იხ.ნახ.2.3.6.).



ნახ.2.3.6. მზისა და მარსის პერეასტრული მოდელი

* პერეასტრი - მინიმალური მანძილი ბინარულ სისტემაში შემავალი მცირე თანამგზავრული ვარსკვლავის ორბიტალურ წერტილსა და მაქსიმალურად მიახლოებულ მთავარ ვარსკვლავს შორის.

მაღალეღიფსურ ორბიტაზე მხოლოდ ორი თანამგზავრის განლაგებით შესაძლებელია დედამიწის ტერიტორიის დიდი ნაწილის სიგნალით დაფარვა, თუმცა ეს სიგნალი ვერ მიიღება პოლუსებსა და პოლუსების ახლომდებარე წერტილებში [25].

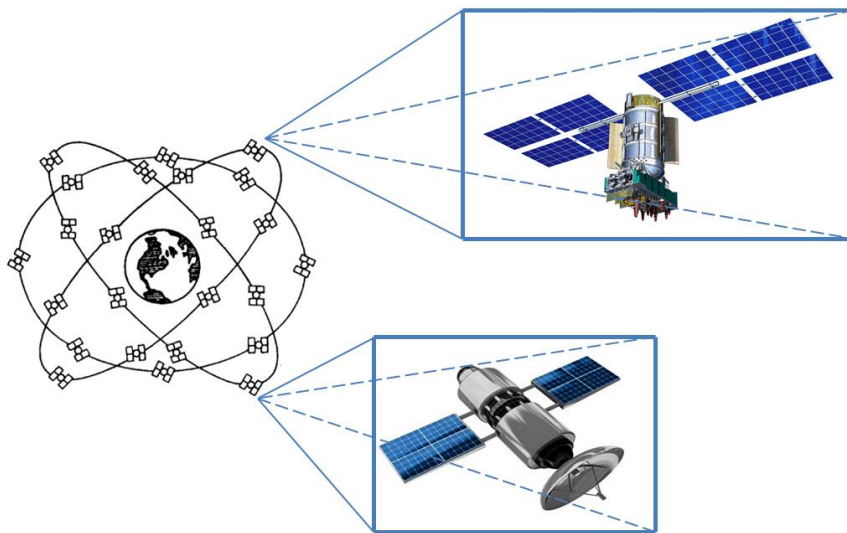
მაღალეღიფსური ორბიტის ნაკლს წარმოადგენს ის, რომ თანამგზავრი მუდმივად იცვლის ადგილმდებარეობას დედამიწის კომპრეტული წერტილის მიმართ და ამავდროულად მუდმივად იცვლება დისტანცია თანამგზავრსა და დედამიწას შორის რაც იწვევს გამოტვლითი მოწყობილობების სირთულეს; ამავდროულად გასათვალისწინებელია თანამგზავრის ცვალებადი სიჩქარე დედამიწის მიმართ.

2.4. თანამგზავრული ნავიგაციური სისტემის სეგმენტაცია და სიგნალების აგებულება

თანამგზავრული ნავიგაციის ეფექტური და რაციონალური ქმედითუნარიანობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ ურთიერთქმედებენ სისტემაში შემავალი ცალკეული სეგმენტები ერთმანეთთან. თანამგზავრულ ნავიგაციაში ერთმანეთისაგან განასხვავებენ სამ სეგმენტს: კოსმოსურს, მართვისა და სამომხმარებლოს.

კლასიკური მოდელის სახით შეგვიძლია განვიხილოთ თანამგზავრული ნავიგაციის თითოეული სეგმენტი ცალ ცალკე GPS-ის მაგალითზე.

კოსმოსური სეგმენტი (დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების თანავარსკვლავედი).



ნახ.2.4.1. დედამიწის ხელოვნური კოსმოსური თანამგზავრი და თანავარსკვლავედი

კოსმოსური სეგმენტი მოიცავს დედამიწის ირგვლივ ორბიტაზე განთავსებულ 32 ხელოვნურ თანამგზავრს, მათი ორბიტალური სიმაღლე დაახლოებით 20180 კმ-ია. თითოეული თანამგზავრი დედამიწის მიმართულებით ასხივებს დროის მიხედვით ზუსტად განსაზღვრულ სინალებს, რომლებიც თავის მხრივ კანონზომიერად ცავლებადია და ექვემდებარება ალგორითმული ცვლილების აღწერას (GPS-ში გამოიყენება მეცნიერ გოლდის კოდი). თანამგზავრები განლაგებულნი არიან ექვს

სხვადასხვა ორბიტალურ სიბრტყეში, სადაც თითოეული ეკვატორთან მიმართებაში დახრილია 55° -ით. როგორც წესი თითოეულ სიბრტყეში მოთავსებულია როგორც მინიმუმ ოთხი თანამგზავრი. თითოეული თანამგზავრის ორბიტის გარშემოვლის დრო ~ 12 საათს შეადგენს. თანამგზავრების განლაგება შესაძლებლობას იძლევა დედამიწის ნებისმიერ წერტილში და ნებისმიერ დროს მომხმარებლის ხილვადობის არეში იმყოფებოდეს როგორც მინიმუმ 5 თანამგზავრი. თითოეული თანამგზავრი აღჭურვილია ატომური საათით, ანუ ე.წ. სიხშირული ეტალონით, რომლის ცდომილობაა 1 წმ 70000 წელიწადში. სიხშირის გენერატორული ეტალონი მუშაობს ძირითად საყრდენ 10,23 მგჰც სიხშირეზე, რომელიც გამოიყენება თანამგზავრიდან გადასაცემი სხვადასხვა სიგნალების გენერირებათვის. ასეთი ტიპის საათი გამოიყენება გადაცემა-მიღების აპარატების სინქრონიზაციისათვის, რაც გულისხმობს იმას, რომ ისინი მუშაობენ დროის ერთსა და იმავე განზომილებაში. უნდა აღინიშნოს, რომ დროითი სინქრონიზაციის დარღვევა გამოიწვევს მთლიანი სისტემის მთავარი ფუნქციის დარღვევას, ეს კი თანამგზავრულ ნავიგაციას გამოუსადეგარს გახდის [31],[67].

GPS სისტემის თითოეული თანამგზავრი ასხივებს ორი სახის სიგნალს:

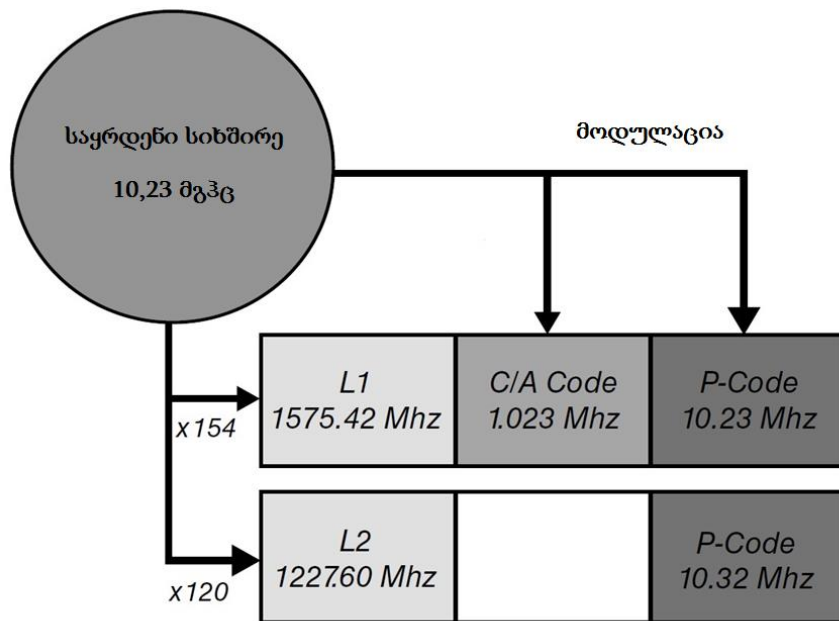
- ე.წ. მანძილსაზომი სიგნალი, რომლის მიღება და დამუშავება მომხმარებელს აძლევს საშუალებას დიდი სიზუსტით განისაზღვროს მანძილი თანამგზავრიდან სამომხმარებლო მიმღებამდე. თავის მხრივ ეს სიგნალი საკმაოდ გრძელია და შეადგენს ორობითი სისტემის მიხედვით 1023 ბიტს.
- თანამგზავრის ბორტზე მართვის სადგურის გამოყენებით ჩადებული დამხმარე ინფორმაციის (თანამგზავრის ზუსტი კოორდინატები, ეფემერისები, დროითი შესწორებები, ტელემეტრული მონაცემები და ა.შ.) შემცველი სიგნალები.

თანამგზავრი დედამიწის მიმართულებით უწყვეტ რეჟიმში ასხივებს ორი სახის სიგნალს, რომლებიც იმყოფებიან ე.წ. L ზოლში (გამოიყენება რადიოგადაცემისათვის). L დიაპაზონის ზოლში არსებულ სიგნალებს გამოიმუშავენ, გენერირებენ ზემოაღნიშნული სიზუსტის ატომური საათის მქონე გენერატორი.

- L1 საყრდენი სიგნალი გადაიცემა 1575,42 მგჰც (10,23 X 154) სიხშირის დიაპაზონში.
- L2 საყრდენი სიგნალი გადაიცემა 1227,60 მგჰც (10,23 X 120) სიხშირის დიაპაზონში.

შემდგომში ხდება L1-ის მოდულაცია ორი კოდის მეშვეობით: C/A (ზოგადი ანუ უხეში დამუშავების) 1,023 მგჰც (10,23/10) და P (ზუსტი დამუშავების) 10,23 მგჰც.

L2 მოდულირებულია მხოლოდ და მხოლოდ P კოდური სიგნალით, რომლის სიხშირეა 10,23 მგჰც. (იხ.ნახ.2.4.2)



ნახ. 2.4.2. GPS სიგნალის სტრუქტურა

გლობალური პოზიციონირების სისტემა მხარს უჭერს და მუშაობს ორ სერვისულ ჯგუფში ანუ ორი სხვადასხვა კატეგორიის მომხმარებელთან: სტანდარტული პოზიციონირება Standart Positioning Service (SPS), ზუსტი პოზიციონირება Precies Positioning Service (PPS). ნებისმიერი მომხმარებლისთვის ხელმისაწვდომია SPS. ის გამოიყენებს ე.წ. C/A კოდს (Coarse Acquisition) რომელიც საშუალებას იძლევა, განსაზღვროს კოორდინატები 70-100 მ-ის სიზუსტით ჰორიზონტალურ და 156 მ-ის სიზუსტით ვერტიკალურ სიბრტყეებში. უნდა აღინიშნოს, რომ C/A კოდით ზუსტი კოორდინატების პოტენციური განსაზღვრის სიზუსტე 30 მეტრს შეადგენს, თუმცა SPS სიზუსტე შეგნებულად არის შემცირებული ე.წ. „შესაძლებელი არჩევითი“ SA (Selective

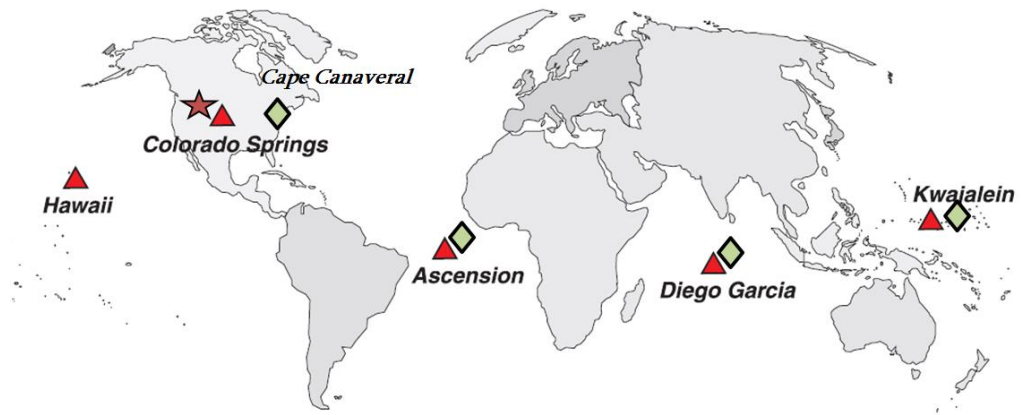
Availability) სისტემის მეშვეობით, რომელიც დაბრკოლებას უქმნის გარკვეული კლასის მომხმარებელს და GPS ფუნქციებს. ეს კეთდება სახელმწიფო უსაფრთხოების ინტერესებიდან გამომდინარე. ამავდროულად არ არის გამორიცხული ის ფაქტი, რომ თანამგზავრზე შეგნებულად ხდება მცდარი ინფორმაციის მიწოდება, რაც იწვევს დამატებით ხარვეზებს და შესაბამისად სამომხმარებლო ადგილმდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება იზრდება 10%-მდე. ასეთი სახის ტექნიკური მეთოდი გამოიყენებოდა საბრძოლო ვითარების დროს სპარსეთის ყურეში ბალისტიკური რაკეტების დამიზნების სისტემის მწყობრიდან გამოყვანის მიზნით [27].

კოორდინატების განსაზღვრის საშუალებას 22მ ჰორიზონტალურ და 27მ ვერტიკალურ სიბრტყეებში იძლევა PPS სერვისული ჯგუფის სიგნალი, რომელშიც გამოიყენება კოდი P (Precise), თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ტიპის სიგნალის გამოყენება შეუძლია მხოლოდ და მხოლოდ სპეციალურ ავტორიზებულ მომხმარებელს, რომელსაც გააჩნია შესაბამისი კრიპტოგრაფიული გასაღები.

ყოველ თანამგზავრს გააჩნია საკუთარი საიდენტიფიკაციო კოდი, რომლის მიხედვითაც ხელმძღვანელობს სამომხმარებლო მიმღები თანამგზავრის ამოცნობისას. სწორედ ეს კოდები გაოიყენება ე.წ. ფსევდო მანძილების განსაზღვრისათვის, ეს კი სწორედ ისაა, რასაც ეყრდნობა კოორდინატების დადგენა-განსაზღვრის მექანიზმი.

მართვის სეგმენტი (თანამგზავრების თვალყურის დევნის, კონტროლის და მათი მოძრაობის პარამეტრების განსაზღვრის სადგურები ანუ საკომანდო გამზომი კომპლექსი).

მართვის სეგმენტი შედეგება ერთი მთავარი მმართველი, საკომანდო სადგრისაგან, ხუთი საკონტროლო სადგურისა და ოთხი სახმელეთო ანტენისაგან, რომლებიც თანაბრად არიან განლაგებულნი დედამიწის ზედაპირზე ეკვატორული სივრცის მახლობლად (იხ.ნახ. 2.4.3.).



- ▲ მონიტორინგის სადგურები
- ★ საკომანდო სადგური
- ◆ სახმელეთო ანტენა

ნახ. 2.4.3. მართვის სეგმენტის სადგურების განლაგება

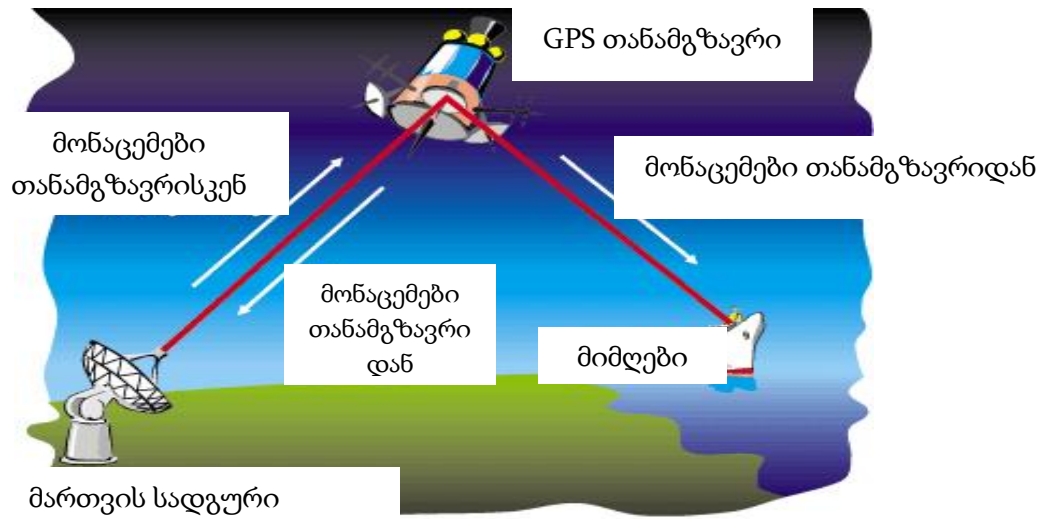
მართვის სეგმენტი თვალყურს ადევნებს, განსაზღვრავს GPS თანამგზავრების ადგილმდებარეობას, ახდენს თანამგზავრების ორბიტალური ადგილმდებარეობის შესახებ ინფორმაციის განახლებასა და დროის დაკალიბრებას სინქრონიზაციის მექანიზმში. მართვის სეგმენტის შემდეგი და მეტად მნიშვნელოვანი ფუნქციაა ყოველი თანამგზავრის ორბიტის განსაზღვრა და სამომავლო ტრაექტორიის გამოთვლა შემდგომი 24 საათიანი ინტერვალისათვის. ეს ინფორმაცია თავისთავად მიეწოდება, იტვირთება თითოეულ თანამგზავრში და თანამგზავრიდან გადასაცემი სიგნალი ცხადია მოიცავს მონაცემების ამ ნაწილს. სამომხმარებლო GPS მიმღები ამ ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრავს თავის ადგილმდებარეობას და ამავდროულად ახდენს არსებული სიგნალების რაციონალურ შერჩევას, რამე თუ მათზე დაყრდნობით მოხდეს ოპტიმალური თანამგზავრების თანავარსკვლავედის შერჩევა; აგრეთვე ხდება ატმოსფერული მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მიწოდება; ამ უკანასკნელს დიდი ზეგავლენა აქვს რადიოსიგნალის გავრცელების სიჩქარესა და ტრაექტორიაზე, შესაბამისად კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტესაც [45].

თანამგზავრული სიგნალები მიიღება სახმელეთო ანტენების მეშვეობით ჰავაის კუნძულებზე, ასცენსიონში, დიეგო გარსიასა და კვაჯალეინში. შემდეგ სიგნალების საფუძველზე მიღებული ინფორმაცია მიეწოდება საკონტროლო სადგურს კოლორადო სპრინგსში, სადაც ხდება თანამგზავრულ სიგნალებში არსებული ცდომილების განსაზღვრა-დადგენა ყოველი ცალკეული თანამგზავრისათვის. დამუშავებული, კორექტული ინფორმაცია იგზავნება უკან და სახმელეთო ანტენების მეშვეობით მიეწოდება თანამგზავრებს.

სამომხმარებლო სეგმენტი (ნავიგაციური ინფორმაციის პერსონალური მიმღები).

სამომხმარებლო სეგმენტს, როგორც უკვე შეიძლება მიხვედრილიქნას, მიეკუთვნება უშუალოდ GPS სიგნალების მიმღები მოწყობილობა, ანუ ყველა ის, ვინც იყენებს GPS თანამგზავრულ სიგნალებს საკუთარი ადგილმდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრისათვის ან დროის დადგენისათვის. სამომხმარებლო სეგმენტის ფარგლებში, როგორც წესი, შედის სატრანსპორტო საშუალებების ნავიგაცია, ტურიზმი, გეოდეზიური გაზომვები, საჰაერო გადაზიდვები, სამშენებლო ტექნიკუს მართვა (დისტანციურად), და ა.შ.

GPS -ი მუშაობს შემდეგნაირად: ყოველი თანამგზავრი დედამიწის მიმართულებით აგზავნის მონაცემებს თავისი ზუსტი კოორდინატების, დროისა და ატმოსფერული მდგომარეობის შესახებ (როგორც ეს ზევით აღინიშნა, ეს ინფორმაცია თანამგზავრზე ხვდებოდა მართვის სადგურებიდან). რამოდენიმე თანამგზავრიდან მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით სამომხმარებლო GPS მიმღები აანალიზებს და განსაზღვრავს მომხმარებლის ზუსტ ადგილმდებარეობას. (ნახ.2.4.4.)

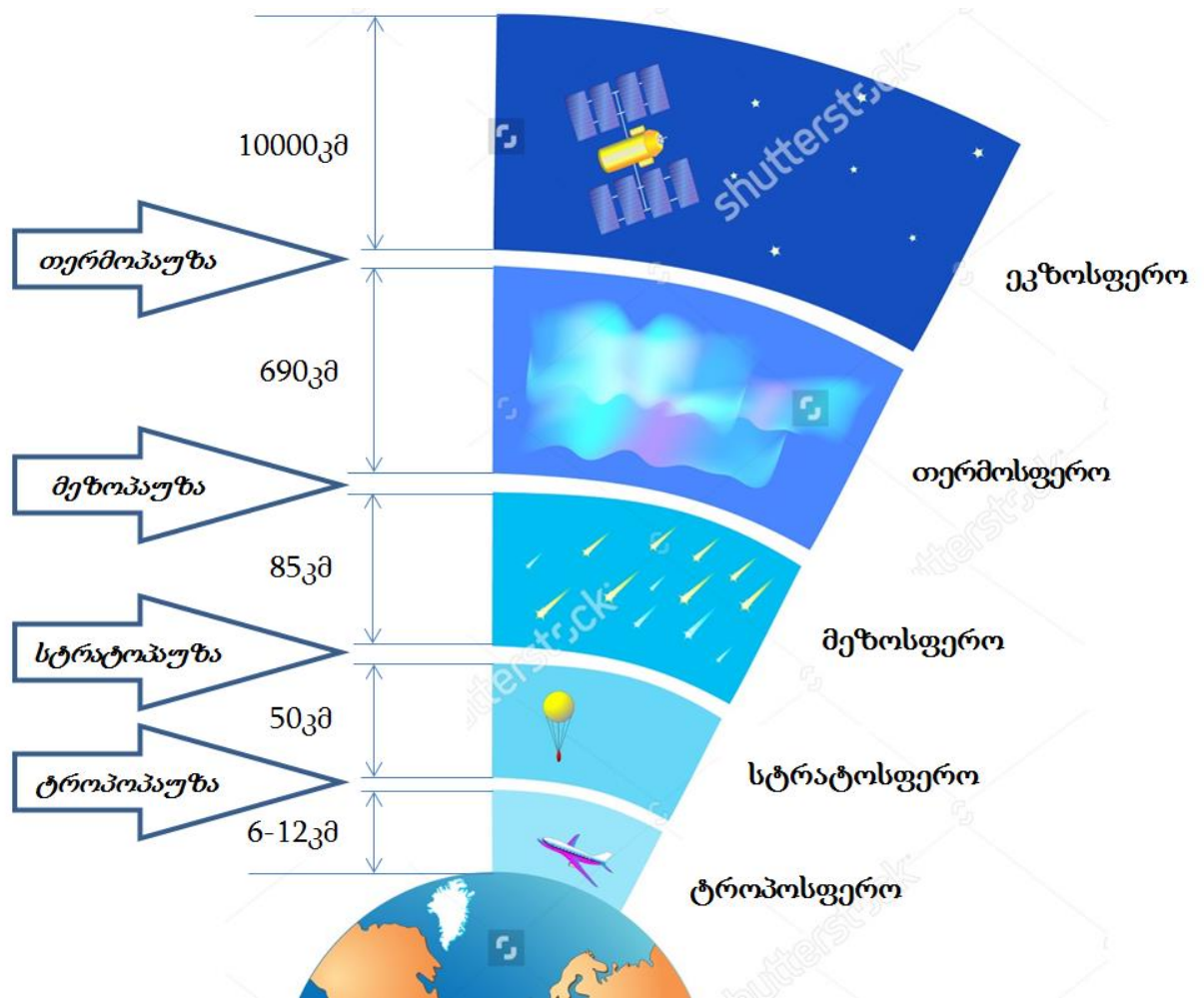


ნახ.2.4.4. მონაცემების გადაცემის პრინციპი

2.5. დედამიწის ატმოსფერო უცხო კოსმოსურ სხეულებთან მიმართებაში და ატმოსფერული შრეების აგებულება, ატმოსფერული რეფრაქციის ზეგავლენა თანამგზავრულ სიგნალებზე

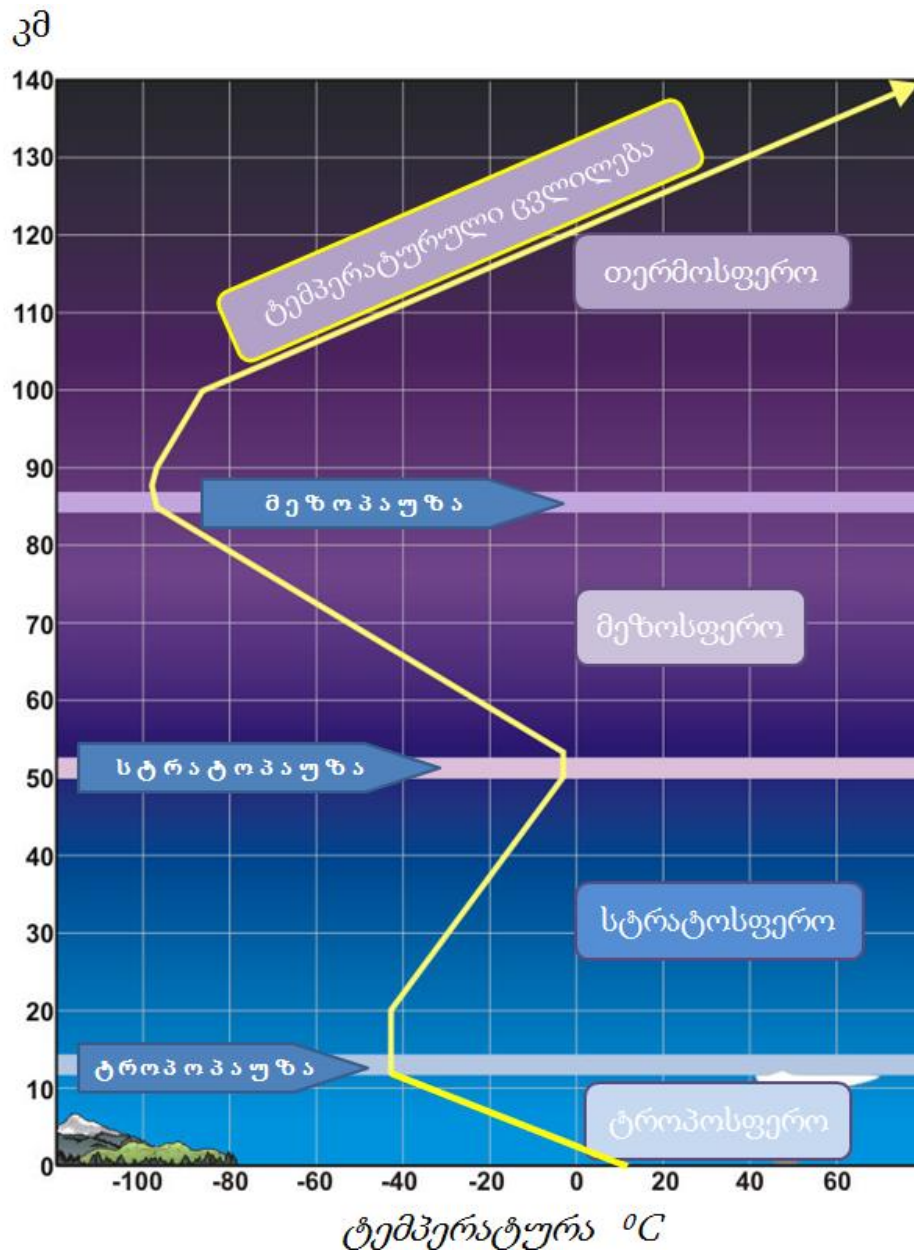
ატმოსფერო წარმოადგენს აირების სხვადასხვა შემადგენლობისა და შრეებისაგან შემდგარ დედამიწის სფერულ გარეკანს. იმდენად რამდენადაც დედამიწის რელიეფი არაერთგვაროვანია ატმოსფერული შრეების სისქეც იცვლება გარემო პირობებიდან გამომდინარე, განსაკუთრებით კი დედამიწის წედაპირის ქვემო ფენებში. ამის და მიუხედავად მიღებულია ატმოსფერული შრეების განაწილების ზოგად მნიშვნელოვანი მაჩვენებლები. დედამიწის ზედაპირიდან მოყოლებული ატმოსფერო იყოფა შემდეგ შრეებად: ტროპოსფერო (6-12კმ), სტრატოსფერო (50კმ), მეზოსფერო (85კმ), თერმოსფერო (690კმ), ეკზოსფერო (10000კმ). მეზოსფეროსა და თერმოსფეროს შორის არის 15 კმ-იანი შრე, სწორედ ეს შრე არის მიჩნეული როგორც დედამიწისა და კოსმოსური სივრცის გამყოფი ზღვარი.

საქმე იმაში მდგომარეობს, რომ ზემოაღნიშნული ატმოსფეროს ყოველი შრე ერთმანეთისაგან განსხვავდება თავისი შემადგენლობით, წნევით, სიმკვრივითა და ტემპერატურული მაჩვენებლებით (იხ.ნახ.2.5.2.). აქვე უნდა აღინიშნოს დედამიწის მიზიდულობა ზეგავლენას ახდენს თითოეულ შრეში არსებული აირის მოლეკულებზე. ცხადია, დედამიწის ზედაპირიდან მოყოლებული წნევა თანდათან მცირდება განსაზღვრული კანონით ისევე, როგორც მოლეკულების რაოდენობა თითოეულ კუბურ მეტრში, თუმცა სიმაღლის ზრდასთან ერთად ტემპერატურული შემცირება აღინიშნება მხოლოდ ტროპოსფეროსა და სტრატოსფეროს გამყოფ ზრვარამდე, შრემდე რომელსაც ტროპოპაუზა ეწოდება; ტემპერატურული შემცირება $\sim 0^{\circ}\text{C}$ -დან $\sim -100^{\circ}\text{C}$ -მდე აღინიშნება მეზოსფეროში. ატმოსფერული შრეების ერთმანეთში გადასასვლელი ფენები ნახსენებია როგორც ტროპოპაუზა, სტრატოპაუზა, მეზოპაუზა და თერმოპაუზა (იხ.ნახ.2.5.1.).



ნახ.2.5.1. დედამიწის ატმოსფერო შრეების განაწილების მიხედვით

ეს ყოველივე დაგვჭირდება იმიათვის, რომ უკეთესად წარმოვიდგინოთ და უფრო სირღმისეულად ჩავწვდეთ იმ არსს, თუ რა კავშირი აქვს მას თანამგზავრებთან, თანამგზავრული კავშირის სისტემებთან, საჰაერო ხომალდებთან და თანამგზავრულ ნავიგაციურ სისტემებთან. ამ კავშირების უკეთესად წარმოჩინების მიზნით შეგვიძლია პარალელი გავავლოთ ასტრონომიასთან და რადიო ელექტრომაგნიტური ტალღები განვიხილოთ სინათლის ტალღებთან მიმართებაში ვინაიდან ჩვენს შემთხვევაში ატმოსფერო თითქმის ერთნაირად მოქმედებს ტალღებთან მიმართებაში ტალღების თეორიის თანახმად, თუ არ გავითვალისწინებთ სპექტრულ დიაპაზონს.



ნახ.2.5.2. დედამიწის ატმოსფეროს ტემპერატურული ცვლილების მაჩვენებელი სიმაღლის ზრდასთან მიმართებაში

მაშ ასე, რას წარმოადგენს ატმოსფერული რეფრაქცია? ატმოსფერული რეფრაქცია წარმოადგენს გარკვეული სინათლის (ელ.მაგნიტური) ტალღის, სხივის გადახრა-გარდატეხას სწორხაზოვანი მიმართულებიდან ატმოსფერული შრეების სიმკვრივისა და წნევათა ცვლილების მიხედვით. დედამიწის ზედაპირზე ატმოსფერულმა რეფრაქციამ შეიძლება გამოიწვიოს სხვადასხვა სახის ობიექტების ე.წ. მოციმციმე ეფექტი და ტემპერატურიდან გამომდინარე მირაჟიც კი. ე.ი. შორსმდებარე ციური

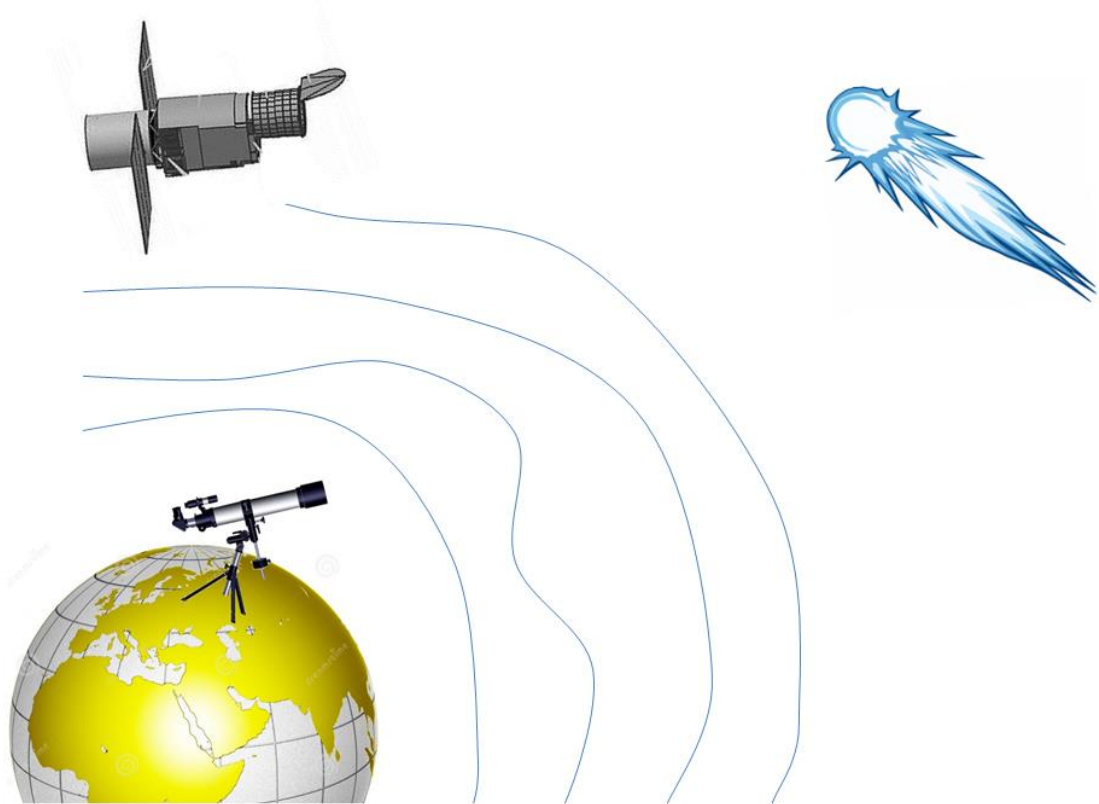
სხეულები შეიძლება არ აღმოჩნდნენ სულაც იმ ადგილას სადაც ისინი რეალურად ჩანან. ყურადღება მიასაქცევია ის ფაქტიც, რომ რეფრაქციის გამო ობიექტების წარმოჩენილი ფორმა და იერსახე შეიძლება სავსებით განსხვავდებოდეს რეალურისაგან [20].

რეფრაქციის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სინათლის (ან რადიოტალღის) სხივის ატმოსფეროს ყოველ შრეში გასვლისას ის იცვლის სწორხაზოვან მიმართულებას, ანუ გარდატყდება. თუ გავითვალისწინებთ დედამიწის შემთხვევას, ცხადი გახდება, რომ სახმელეთო სადგურების მეშვეობით კოსმოსური თანამგზავრების ზუსტი ადგილმდებარეობის განსაზღვრა საკმაოდ რთული აღმოჩნდება თუ კი თანამგზავრების კოორდინატების ზუსტ განსაზღვრას მივანიჭებთ უპირველეს მნიშვნელობას.

სანავიგაციო სატელიტური სისტემის მოქმედების საბაზო პრინციპის განხილვისას ცხადია დედამიწის ატმოსფერო უკიდურეს ხელშემშლელ როლს ასრულებს თანამგზავრული პოზიცირების დარგში. აღნიშნული პრობლემა, რამდენადაც გასაკვირი არ უნდა აღმოჩნდეს, არ არსებოს მაგალითად, მთვარესთან მიმართებაში, ვინაიდან მას არ გააჩნია ატმოსფერო და არც დედამიწასთან მიმართებაში იარსებებდა რომ არა ჩვენი პლანეტის ატმოსფერო და მისი მრავალშრიანი სტრუქტურა.

დედამიწის ატმოსფეროს თითოეული ზემოხსენებული შრე დაყოფილია ქვეშრეებად, რომლებიც თეორიულად ან მეტ-ნაკლებად ზემოქმედებენ თანამგზავრული სიგნალების გარდატეხაზე. მოგეხსენებათ, რომ სინათლის სხივი ზოგადიერტ შემთხვევაში შეიძლება განხილულიქნას, როგორც გარკვეული სპექტრის მქონე ელექტრომაგნიტური ტალღა. აქედან გამომდინარე გასაკვირი არ უნდა იყოს ის ფაქტი, რომ ტელესკოპური ობსერვატორიების დიდი და მნიშვნელოვანი ნაწილი განლაგებულია ზღვის დონიდან რაც შეიძლება მაღლა, ან საერთოდ გაყვანილია დედამიწის ორბიტაზე, კოსმოსურ სივრცეში, რათა არ ქონდეს ადგილი ატმოსფერული რეფრაქციით გამოცვეულ ხარვეზებს. ობსერვატორიების ასეთი მაგალითია ჰავაის კუნძულებზე მათნა კეას ჩამქრალი ვულკანის მწვერვალზე არსებული ტელესკოპები: კეკ-1 და კეკ-2 (მსოფლიოში უდიდესი სარკის

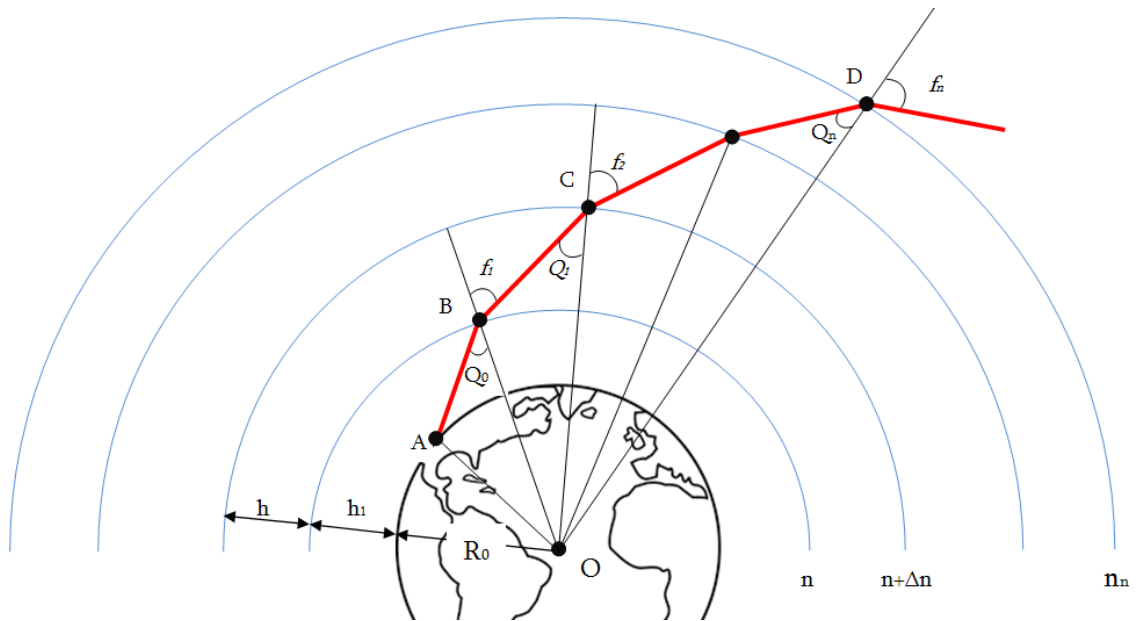
რეფლექტორული ტიპის ტელესკოფები) და კოსმოსურ ორბიტალური ტელესკოპი ჰაბლი. ჰაბლის დედამიწის ორბიტაზე გაყვანის მიზეზიც სწორედ ატმოსფერული რეფრაქცია გახდა. სინათლის სხივი, რომელიც ჩვენამდე აღწევს კოსმოსური შორეული ობიექტებიდან, გარდატყდება ატმოსფერულ ფენებში და შესაბამისად სახმელეთო ობსერვატორიებში ხდება გარდატყდელი სინათლის სხივის ნაწილაკების (ფოტონების) ფიქსაცია; ანუ სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, დედამიწაზე არსებული ტელესკოპები ვერ გვაძლევენ შორეულ კოსმოსში არსებული ობიექტების სრულყოფილ სურათს, ისეთს როგორც შეიძლება მოგვცეს ორბიტალურმა ტელესკოპმა, რამე თუ მათზე არ მოქმედებს ატმოსფერული რეფრაქციის გავლენა. (იხ.ნახ.2.5.3.)



ატმოსფერული შრეები

ნახ. 2.5.3. სახმელეთო და ორბიტალური ტელესკოპების დადებითი და უარყოფითი მხარეები

განვიხილოთ რადიოტალღის ტრანსმისორია სფერულ ფენოვან შრეში (იხ. ნახ. 2.5.4.)



ნახ. 2.5.4. რადიოტალღების რეფრაქცია სფერულ ფენოვან ტროპოსფეროში

h - ატმოსფეროს ერთერთი ფენის სისქე

n - ატმოსფერული ფენის რიგითი ნომერი

R_0 - დედამიწის რადიუსი (საშუალო მაჩვენებელი: 6371 კმ)

$Q_0 - Q_1 - Q_n$ - ტალღის დაცემის კუთხე

$f_1 - f_2 - f_n$ - ტალღის არეკვლის კუთხე

O - დედამიწის ცენტრალურ-სიმეტრიული წერტილი

$ABCD$ - გარდატეხილი ტალღის ტრაექტორია

გარდატეხის მაჩვენებელი წარმოადგენს დაცემისა და არეკვლის კუთხეების სინუსური მნიშვნელობების თანაფარდობას [28],[30],[64].

დავუშვათ და წარმოვიდგინოთ, რომ A წერტილიდან გასხივებული რადიოტალღა შრეების გამყოფ ფენაზე ეცემა Q_0 კუთხით. მეორე შრეში გადასვლისას ხდება ტალღის გარდატეხა, ამასთანავე გასათვალისწინებელია, რომ სიმაღლის ზრდასთან ერთად გარდატეხის კოეფიციენტი კლებულობს, ე.ი. გარდატეხის კუთხე f_1 გამოდის მეტი ვიდრე დაცემის კუთხე Q_0 . აქედან მოყოლებული ყოველივე შემდგომ შრეში ხდება ტალღების გარდატეხა. ასეთ შემთხვევაში რადიოტალღა ვრცელდება $ABCD$ ტეხილის ფორმის ტრაექტორიით. მაშასადამე, ტალღის (სინათლის, ელ. მაგნიტური) მიერ რამოდენიმე სხვადასხვა შრის გადაგვეთისას ტალღის სწორხაზოვანი ტრაექტორია

იცვლება და ლებულობს ტეხილის სახეს. ტროპოსფერული მრავალშრიანი სტრუქტურიდან გამომდინარე ტალღის ტრაექტორიის დადგენა შესაძლებელია BOC სამკუთხედიდან სადაც:

$$\frac{\sin Q_1}{R_0 + h_1} = \frac{\sin \angle OBC}{R_0 + h_1 + h}$$

გარდატეხის კანონიდან გამომდინარე

$$\sin \angle OBC = \sin f_1 = \frac{n}{n + \Delta n} \sin Q_0$$

გარდატეხის კანონზე დაყრდნობით ზემოაღნიშნული მნიშვნელობის გარდაქმნით ვღებულობთ ტალღის ტრაექტორიას ფენოვან სფერულ ტროპოსფერულ შრეში:

$$\sin Q_0(R_0 + h_1)n = \sin Q_1(R_0 + h_1 + h)(n + \Delta n)$$

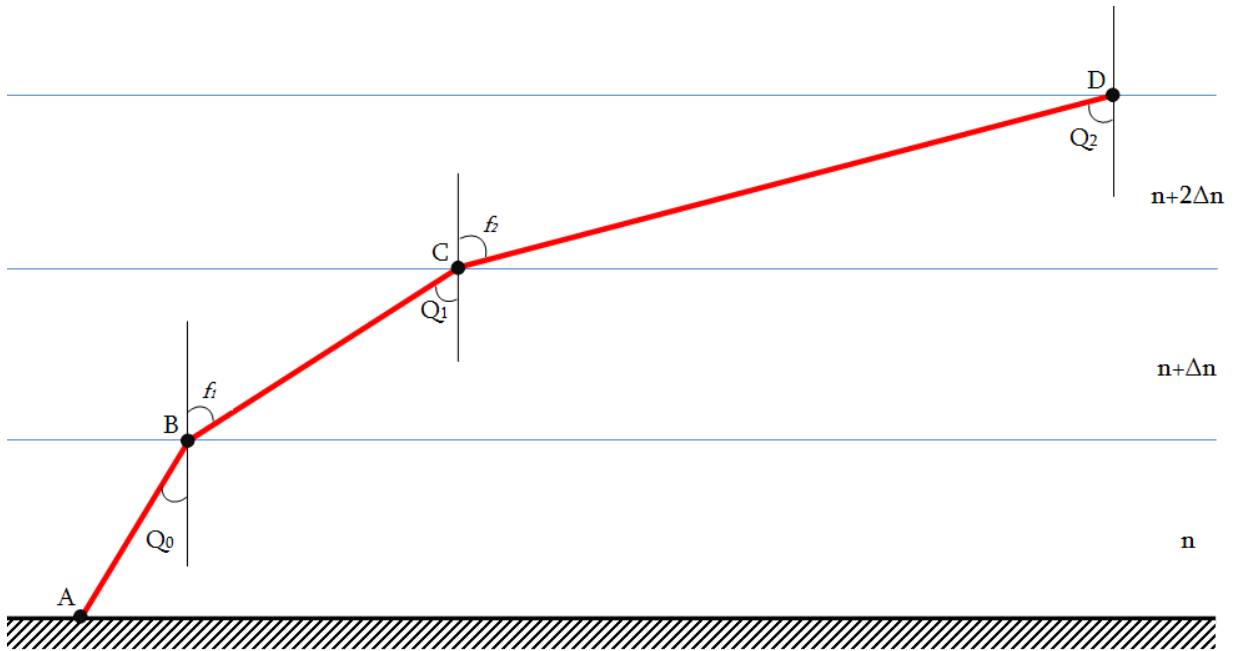
რაც უფრო მეტია Δn სიდიდე, მით უფრო მეტად განსხვავდება Q_1 კუთხე Q_0 კუთხისაგან და მით უფრო მეტად ცლიდება ტალღის ტრაექტორია სწორხაზოვან მაჩვენებელს. იმისათვის, რომ ტალღის ტრაექტორია აღმოჩნდეს ამოხნეკილი (ისეთივე როგორც ნაჩვენებია ნახაზზე) გარდატეხის კოეფიციენტი უნდა მცირებოდეს სიმაღლის ზრდასთან ერთად ($\Delta n < 0$).

თუ დავუშვებთ, რომ დედამიწის ზედაპირი ბრტყელია და არ გააჩნია სფერული მრუდწირული ატმოსფერული შრეები, ანუ ვიტყვით რომ ატმოსფერული შრეები ერთნაშეთის მინარტ ლამინარულ ფენებს წარმოადგენენ, მაშინ ტალღის ტრაექტორიის დადგენა შესაძლებელია ქვემოთ მოყვანილი ნახაზიდან: (იხ. ნახ. 2.6.5.). ტროპოსფერული ფენების გამყოფ ყოველ მიჯნაზე მოქმედებს გარდატეხის კანონი:

$$n \sin Q_0 = (n + \Delta n) \sin f_1$$

ან რამდენადაც $f_1=Q_1$

$$n \sin Q_0 = (n + \Delta n) \sin Q_1$$



ნახ. 2.5.5. ტალღის ტრაექტორია ბრტყელ ფენოვან არეში

მაშასადამე, ტალღის გავრცელებისას ბრტყელ ფენოვან არეში, სრულდება გარდატეხის კოეფიციენტის მუდმივი მაჩვენებლის შენარჩუნების პირობა ამ ტალღის დაცემის კუთხის სინუსზე:

$$n \sin Q = const.$$

გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა n დამოკიდებულია ადგილობრივ მეტეოროლოგიურ პარამეტრებზე. ნორმალური პირობების გათვალისწინებით (წნევა 760 მმ ვ.წ.ს და ტემპერატურა 0°C) $n=1,0002926$. ვინაიდან ტროპოსფერული ფენები არაერთგვაროვანია გარდატეხის კოეფიციენტის ზუსტი დადგენა შესაძლებელია მხოლოდ კონკრეტული უბნისათვის და ისიც მხოლოდ ექსპერიმენტული მეთოდების გამოყენებით. ვინაიდან სიმაღლეს ზრდასან ერთად მცირდება ატმოსფერული წნევა, ცხადია გარდატეხის კოეფიციენტი დაიწყებს შემცირებას სიმაღლის მატებასან ერთად, იმდენად რამდენადაც მცირდება როგორც რადიო, ისე სინათლის ტალღის გავრცელებისათვის შემაფერხებელი პირობები[62],[63].

2.6. დიფერენციალური გლობალური პოზიცირების სისტემა (DGPS)

არსებობს ამა თუ იმ ობიექტის კოორდინატების განსაზღვრის ნავიგაციური სისტემები როგორც არის GPS, GLONASS, GALILEO და ა.შ. მათი გამოყენების მეშვეობით ადგილმდებარეობის დადგენა შესაძლებელია, თუმცა გასათვალისწინებელია გარკვეული სახის ცდომილება ზუსტი კოორდინატების დადგენისას. არსებობს ობიექტის ადგილმდებარეობის გამოთვლის ზუსტი მეთოდი, რომელიც ცნობილია დიფერენციალური ნავიგაციის სახელწოდებით.

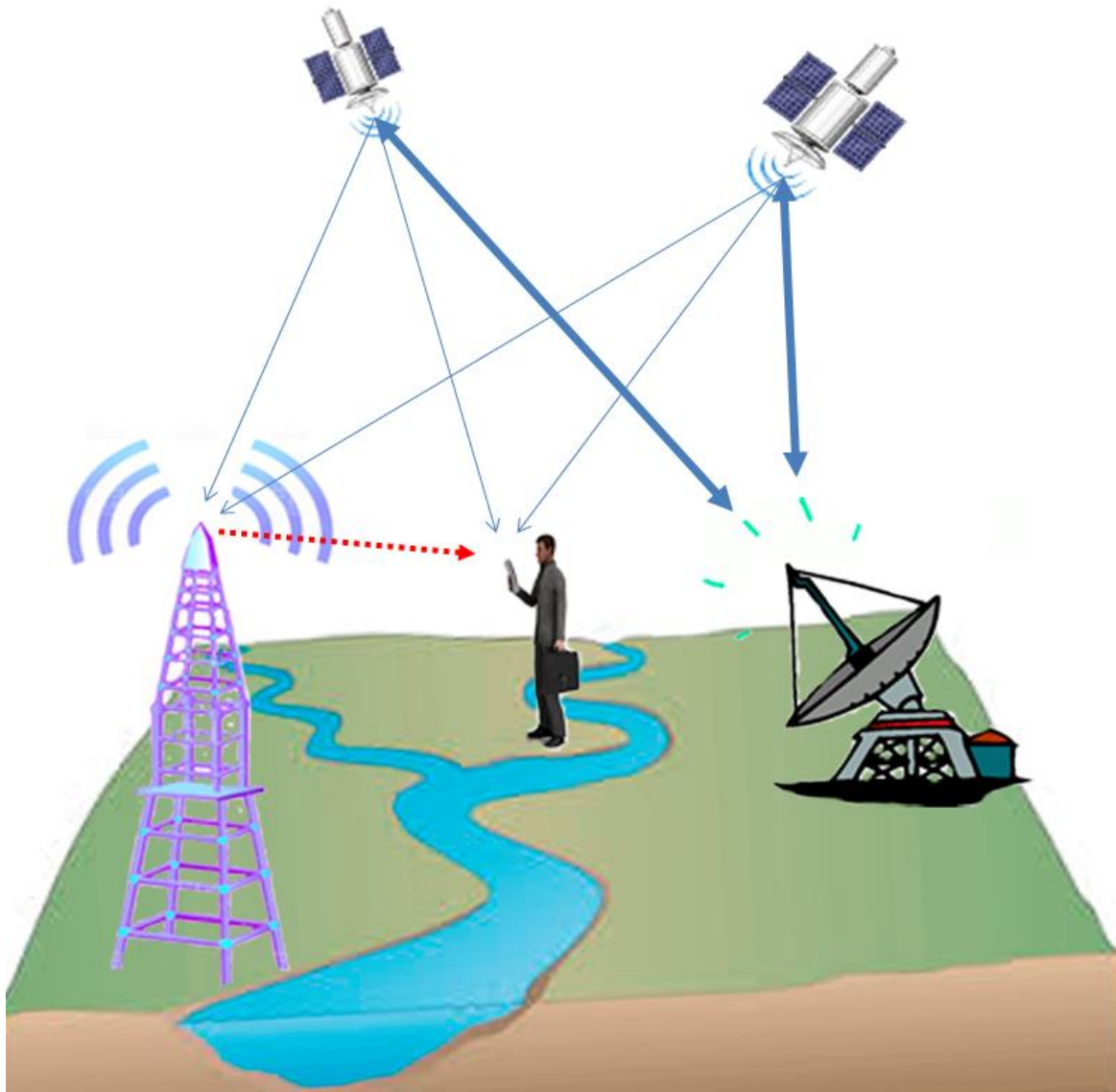
კოორდინატების სიზუსტის განსაზღვრის გაუმჯობესება შესაძლებელია დიფერენციალური გლობალური პოზიცირების (Differential GPS - DGPS) ტექნოლოგიის გამოყენებით, რომელიც ფართო გამოყენებას ჰპოულობს მოძრავი ობიექტების აღმოჩენასა და თვალყურის დევნაში. უდავოდ GPS წარმოადგენს ყველაზე უფრო ზუსტ სისტემას ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის. მაგალითად, ევროპისა და აშშ-ს ტერიტორიაზე ფართო გამოყენებას ჰპოულობს გლობალური პოზიცირების დიფერენციალური სისტემა DGPS, რომელიც დაფუძნებულია 32 ხელოვნური კოსმოსური თანამგზავრის გამოყენებაზე. მიუხედავად ამისა, მისი სიზუსტის გაზრდა შესაძლებელია მეთოდით, რომელმაც სახელი გაითქვა როგორც დიფერენციალური GPS, ანუ DGPS. GPS სისტემის კოსმოსური თანამგზავრები უწყვეტ რეჟიმში დედამიწის მიმართულებით ასხივებენ გარკვეული სიგნალების სახეობის ნაკადს. GPS მოდულები ფუნქციონირებისა და მუშაობისთვის გამოიყენებენ ამ ინფორმაციას სიგნალების შემდგომი გამოთვლების წარმოებისათვის. ასეთი სიგნალების სიზუსტე შეადგენს დაახლოებით 10მ-დან - 100მ-ს, რაც დაკავშირებულია გარკვეული სახის უზუსტობით შეცდომებთან, რომლებიც თავს იჩენენ და ვლინდებიან GPS სისტემებში. ხშირ შემთხვევაში გასაზომი სიდიდის სიზუსტის მოთხოვნა ბევრად მეტია ვიდრე ის არის წარმოდგენილი ჩვეულებრივი სახით. აქედან გამომდინარე შემუშავებულ იქნა სისტემა DGPS, რომელიც უზრუნველყოფს მეტრული სიზუსტის დიაპაზონის მქონე გამოთვლებს. მისი გამოყენებით შესაძლებელია ადგილმდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება მეტრული და სანტიმეტრული სიზუსტის დაცვით. აქედან გამომდინარე აღნიშნული

სისტემა გამოყენებას ჰპოვებს აბსოლუტურად წარმოდგენელ და ახალ განვითარებად სფეროებში.

მომხმარებლის კოორდინატების სიზუსტე, რომელიც განისაზღვრება GPS და GLONAS სისტემებით, შეადგენს დაახლოებით 10მ-დან - 100მ-ს. ბევრი მომხმარებლისათვის, რომელიც გამოიყენებს ნავიგაციურ მიმღებ მოწყობილობას ავტომობილებში, საზღვაო ხომალდებში, გეოდეზიასა და საჰაერო საფრენ აპარატებში აღნიშნული სიდიდე არ არის საკმარისი. აქედან გამომდინარე ისინი მიმართავენ დიფერენციალურ ნავიგაციას, რომლის დროსაც, როგორც აღვნიშნეთ სიზუსტე სანტიმეტრულ დიაპაზონში განისაზღვრება .

დიფერენციალური რეჟიმის რეალიზაცია შესაძლებელია საკონტროლო ნავიგაციური მიმღების მეშვეობით, ანუ ე.წ. საბაზისო სადგურით *(წარმოადგენს სახმელეთო დანიშნულების GPS სისტემის თანამგზავრების სიგნალების მიმღებ ანტენას, რომლის სახმელეთო კოორდინატები მკაცრადაა ცნობილი ან განსაზღვრულ-დადგენილი)*. საბაზისო სადგურის დამონტაჟება ხდება გეოდეზიური მეთოდებით მკაცრად განსაზღვრული კოორდინატების მქონე წერტილში, ე.ი. იმ ადგილას, რომლის ზუსტი კოორდინატები ცნობილია ან სამომავლოდ დადგინდება კონკრეტული სიზუსტის დაცვით. შემდგომში ხდება დაფიქსირებული, აღნიშნული კოორდინატების შედარება გაზომვის შედეგად მიღებულ კოორდინატებთან. შესაბამისად საბაზისო ნავიგაციური მიმღები სადგური გენერირებს ე.წ. კორექტივებს და გადასცემს მომხმარებელს საკომუნიკაციო არხების მეშვეობით. სხვანაირად რომ ვთქვათ, GPS სისტემის თანამგზავრების მეშვეობით დგინდება ობიექტის ადგილმდებარეობა. ობიექტი თანამგზავრიდან ღებულობს სიგნალებს, რომლის მეშვეობითაც ადგენს თავის ადგილმდებარეობას, თუმცა აქვე უნდა დავამატოთ, რომ იგივე სიგნალებს ღებულობს საბაზისო სახმელეთო ანტენა, რომლის სახმელეთო კოორდინატები ცნობილია. ანუ ხდება საბაზისო სადგურის ანტენის კოორდინატების გამოთვლა თანამგზავრული სიგნალების გამოყენების მეშვეობით. გამოითვლება ცდომილება თანამგზავრული სიგნალების მეშვეობით გამოთვლილ კოორდინატებსა და სახმელეთო საბაზისო ანტენის ცნობილ კოორდინატებს შორის. მარტივად რომ ვთქვათ, ანტენა ამოწმებს იმას თუ რამდენად ატყუებს მას თანამგზავრი და შემდეგ გენერირებს ტყუილის შესაბამის

სიმართლეს: ე.წ. მაკორექტირებელ სიგნალს, რომელსაც გამოასხივებს სივრცეში და მიაწვდის ობიექტს რათა მან მოახდინოს თანამგზავრული ტყუილის შესწორება (იხ.ნახ.2.6.1.)



ნახ.2.6.1. DGPS სისტემის სტრუქტურულ-ფუნქციონალური აღწერა

ერთი GPS სიგნალების მიმღები, რომელიც ასრულებს საბაზისო სადგურის როლს განთავსებულია წინასწარ მკაცრად განსაზღვრულ კოორდინატების ადგილას. აქედან გამომდინარე შესაძლებელი ხდება კოორდინატების განსაზღვრისას წარმოქმნილი ცდომილებების გაანალიზება, რომელიც წარმოიშვა GPS -ის მიერ დროის კონკრეტული მომენტისათვის. ამ ცდომილებების მნიშვნელობათა საფუძველზე დაყრდნობით გამოითვლება კორექტივები გაცემული კოორდინატებისათვის,

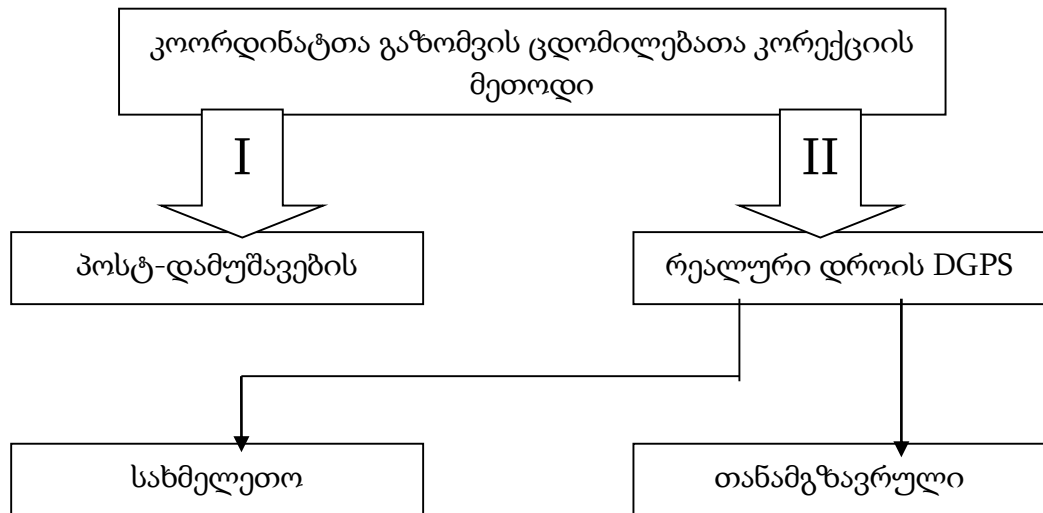
რომელიც გადაიცემა საბაზისო სადგურის მეშვეობით სხვა GPS მიმღებებზე, როგორც წესი მოძრავ მიმღებებზე, აქედან გამომდინარე მათ ხშირად “როვერებს” (Rover) უწოდებენ.

სამომხმარებლო მიმღები მოწყობილობა ითვალისწინებს საბაზისო სადგურიდან მიღებულ კორექტივებს დასახული ნავიგაციური ამოცანის გადაჭრისას. ეს კი შესაძლებლობას იძლევა ათიოდე სანტიმეტრის სიზუსტით განისაზღვროს მომხმარებლის ადგილმდებარეობის კოორდინატები.

აქვე შეიძლება აღინიშნოს თუ რამდენადაა დაკავშირებული სისტემა GPS ინფორმაციულ ტექნოლოგიებთან. სინამდვილეში კი ცხადია, რომ მხოლოდ ობიექტის კოორდინატების მიღება არ არის საკმარისი, საჭიროა მათი გარკვეული დამუშავება. ეს შეიძლება იყოს მარტივი სახის ამოცანები, ისეთი როგორცაა ოპტიმალური სამარშრუტო გზის შერჩევა, ან შედარებით რთული - დედამიწის ტექტონიკური ქანების გადაადგილების გამაზიარებელი მიწისძვრის წინასწარი განსაზღვრის მიზნით (მსგავსი ტიპის გამოკვლევები მიმდინარეობს კომპანია Southern California Integrated GPS Network (SCIGN). GPS ტექნოლოგიაზე დაყრდნობით აღნიშნული სახის პროგრამული სისტემების შემუშავებით (მონაცემთა ბაზების) დაინტერესებულთა მრავალი, მსგავს სფეროში მოღვაწე კომპანია.

კოორდინატთა გაზომვის ცდომილებათა კორექციის მეთოდები

გამოთვლითი შედეგები, რომელიც მიიღება დიფერენციალური მეთოდის გამოყენების დროს მნიშვნელოვნადაა დაკავშირებული მანძილზე მომხმარებელსა და საბაზისო სადგურს შორის. ამ მეთოდის გამოყენება მეტწილად ეფექტურია მაშინ, როდესაც მნიშვნელოვან ზღვარს აღწევს სისტემური შეცდომები, რომლებიც თავის მხრივ გამოწვეულია გარემო ფაქტორებით (მიმღებ მოწყობილობასთან მიმართებაში). ეს შეცდომები მნიშვნელოვნად კომპენსირდება საბაზისო სადგურისა და სამომხმარებლო მიმღებს შორის მანძილის შემცირებით. აქედან გამომდინარე, საბაზისო სადგურის მომსახურების არეალი შეადგენს არაუმეტეს 500კმ/ს სახმელეთო რელიეფის გათვალისწინებით.



ნახ. 2.6.2. კოორდინატა კორექციის მეთოდთა სტრუქტურა

ზემოთ ნაჩვენებ ნახაზზე აღნიშნულია კოორდინატა გაზომვის ცდომილებათა კორექციის მეთოდები, რომლებიც დაყოფილია პოსტ-დამუშავებისა და რეალური დროის DGPS მეთოდად. ეს უკანასკნელი მოიცავს სახმელეთოსა და თანამგზავრულ კორექციის მეთოდებს.

პოსტ-დამუშავების ანუ კოორდინატა კორექციის მეთოდი, გულისხმობს საბაზისო სადგურიდან დიფერენციალური დამატებითი გაზომვითი კორექტივების სახით კოორდინატების მიწოდებას განსაზღვრით-გამოსაანგარიშებელ ადგილას. ამ მეთოდის ნაკლი მდგომარეობს იმაში, რომ საბაზისო სადგურის და ადგილმდებარეობის განსაზღვრით მიმღებები უნდა მუშაობდნენ ერთსა და იმავე მუშა თანამგზავრულ თანავარსკვლავედში. ეს საკმაოდ მოუხერხებელია, იმდენად რამდენადაც ყველა მომხმარებელი, სარგებლობს დიფერენციალური კორექტივებით და ამავე თანამგზავრთა ხელოვნურ თანავარსკვლავედით. ეს მეთოდი მოითხოვს დიფერენციალური ინფორმაციის მოდულში შენახვასა მის გამოყენებას პოზიციის გამოთვლისათვის. როგორც წესი საჭიროა ამ ინფორმაციის განახლება, მუდმივად ახალი მონაცემებით ჩანაცვლება. ძირითადი და დიდი ნაკადი ამ მეთოდისა არის სიზუსტის დაკარგვა მაშინ, როდესაც მომხმარებელი ტოვებს იმ არეალს რომლისთვისაც იყო დამუშავებული დიფერენციალური მონაცემები და როდესაც ინფორმაცია მოძველებულია.

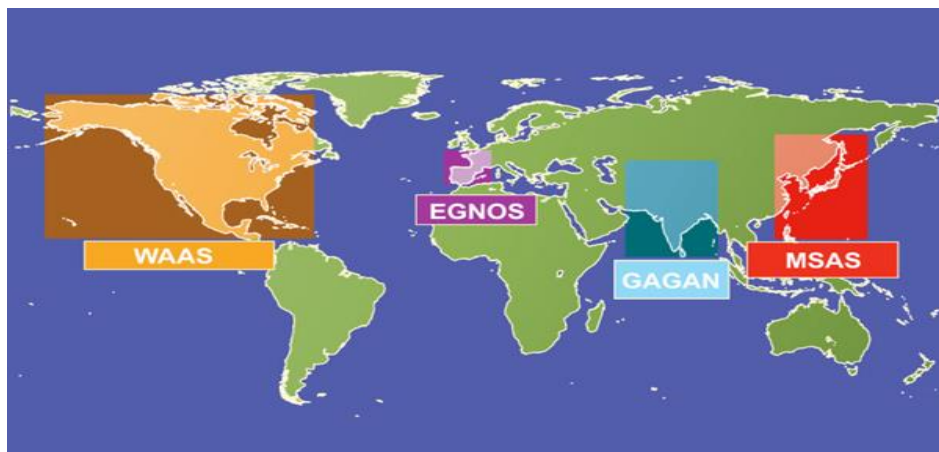
რეალური დროის დიფერენციალური GPS, ანუ ნავიგაციური პარამეტრების კორექციის მეთოდი, რომელიც გულისხმობს საბაზისო სადგურზე გასაზომი პარამეტრების შესწორების, კორექტივების შედგენა-გენერაციას ყოველი თანამგზავრისათვის, რომელიც კი შესაძლებელია პოტენციურად გამოყენებულ იქნას მომხმარებლის მიერ. ეს კორექტივები გადაეცემა მომხმარებლებს და ხდება მათი გათვალისწინება ნავიგაციური ამოცანის ამოხსნისას. ამ მეთოდის ნაკლს წარმოადგენს სამომხმარებლო მოწყობილობის სირთულე. ძირითადი განსხვავება მდგომარეობს ინფორმაციის გადაცემაში იმ კონკრეტული გადაცემიდან (სახმელეთო), რომლის კოორდინატები მკაცრად განსაზღვრულია. სწორედ ეს არის DGPS სისტემის იერსახე, რომელიც რეალიზებულია და შერწყმულია RDS (Radio Data System) გადამცემები.

რეალურ დროზე მომუშავე DGPS-ის მუშაობის პრინციპი ეყრდნობა საბაზისო სადგურის კოორდინატების შესახებ ინფორმაციის გავრცელებას, რომლის ადგილმდებარეობის კოორდინატები მკაცრად განსაზღვრული და ცნობილია. ამ სადგურის სახმელეთო კოორდინატების შედარების გზით კოსმოსურ თანამგზავრთან ხდება ე.წ. შეცდომების გამოვლენა და მათი გათვალისწინება, ანუ კორექტირებამ. შემდგომში გამოთვლებს შორის სხვაობა გამოიყენება მეტი ადგილმდებარეობის, პოზიციის გამოანგარიშებისათვის. RDS მშვენივრად ერგება დიფერენციალური ინფორმაციის გადაცემის ასეთ მეთოდს და აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ამისთვის სულაც არ არის საჭირო გადაცემის დიდი სიჩქარე. მას შემდეგ რაც დაიწყეს RDS-ის გამოყენება, არსებული რადიოსადგურების მეშვეობით, ეს შედარებით უფრო იაფი მეთოდი აღმოჩნდა DGPS სიგნალების ტერიტორიის დაფარვის მომსახურებისათვის.

დღესდღეობით GPS-ის მიხედვით ადგილმდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტე შეადგენს საშუალოდ 10მ-დან - 100მ-ს. ეს გამოწვეულია არაზუსტი სიგნალების გამოყენებით, ატმოსფერული ზეგავლენით რადიო სიგნალის გავრცელებაზე, მიმდებარეობს ჩამონტაჟებული კვარცული გენერატორების სტაბილურობაზე და ა.შ. თუმცა კორექტირების მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია პოზიციის განსაზღვრის სიზუსტის გაუმჯობესება. ამ ტექნოლოგიას ეწოდება Differential GPS. არსებობს კორექციის ორი მეთოდი: სახმელეთო და თანამგზავრული DGPS.

კორექტირების სახმელეთო მეთოდის დროს დიფერენციალური კორექტირების სადგურები მუდმივად ადარებენ თავიანთ მკაცრად განსაზღვრულ ადგილმდებარეობის ცნობილ კოორდინატებს და სიგნალებს კოსმოსურ ნავიგაციურ თანამგზავრებთან. ამ ინფორმაციაზე დაყრდნობით ხდება მაკორექტირებელი სიდიდეების განსაზღვრა, რომელთა გადაცემა ხორციელდება ულტრამოკლე ტალღებისა ან გრძელი ტალღების მეშვეობით მობილურ სამომხმარებლო GPS მიმღებებზე RTCM ფორმატში. მიღებულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით მომხმარებელს თავად შეუძლია ადგილმდებარეობის პროცესის კორექტირება. ასეთი მეთოდის სიზუსტეს შეადგენს 1მ-დან 3მ-მდე და დამოკიდებულია მანძილზე კორექტივების გადამცემ სადგურამდე.

თანამგზავრული მეთოდების გამოყენებისას, ისეთი როგორცაა WAAS (Wide Area Augmentation System), რომელიც ხელმისაწვდომია ჩრდილოეთ ამერიკაში და EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), რომელიც ხელმისაწვდომია ევროპაში, კორექტირების სიგნალების გადაცემის პროცესში ჩართულია გეოსტაციონარული თანამგზავრები. მათი გამოყენებით მიიღწევა მისაღები სიგნალის დაფარვის დიდი არეალი სახმელეთო მეთოდთან შედარებით.



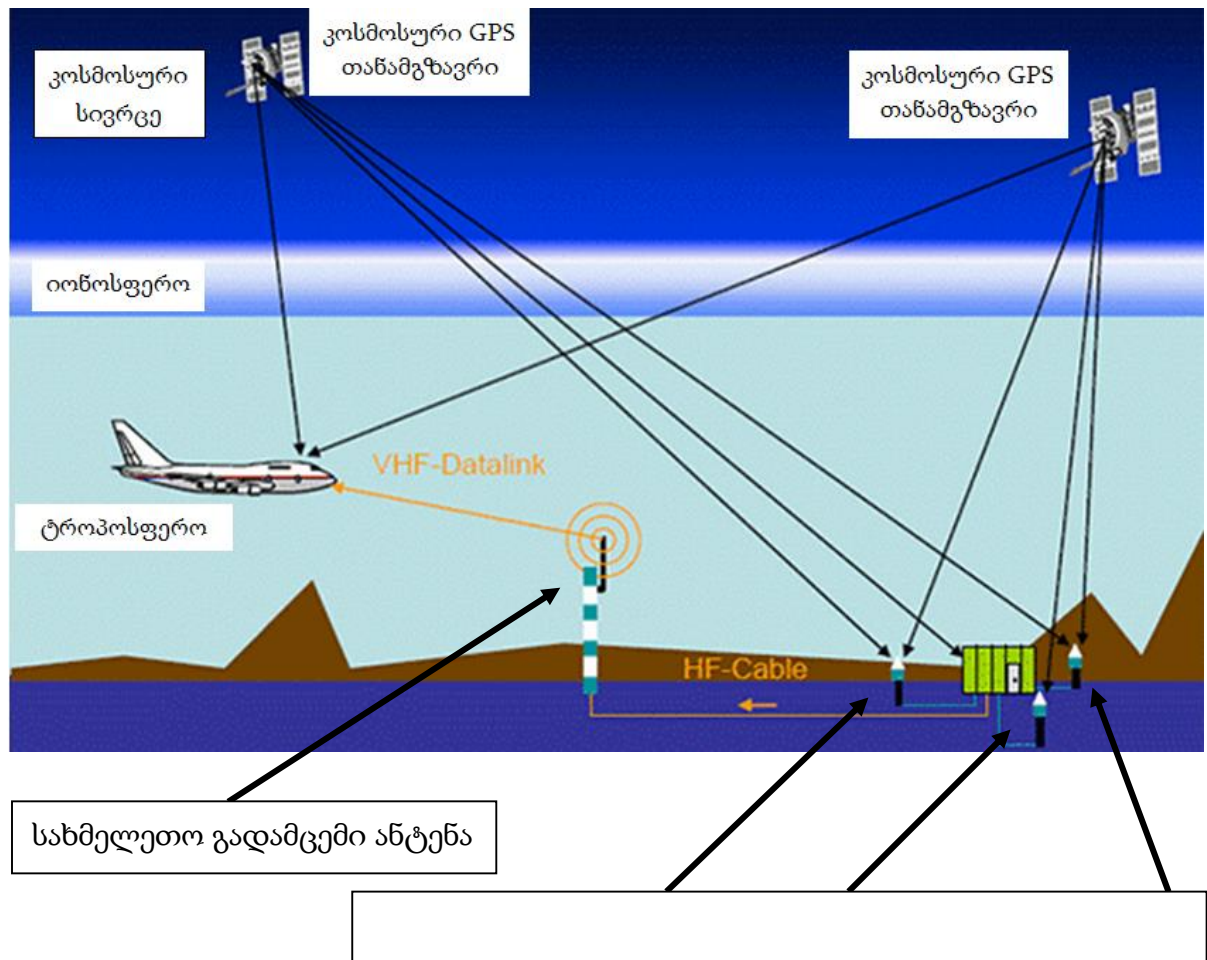
ნახ.2.6.3. MAAS, EGNOS, GANG და MSAS დაფარვის არეალი

გარდა ადგილმდებარეობის განსაზღვრისა გლობალური ნავიგაციური სისტემა ხელმისაწვდომს ხდის ზუსტი დროის განსაზღვრის ერთეულს. როგორც წესი ყველა მიმღებ საშუალებას აქვს PPS (Puls Per Second - იმპულსები წამში) პორტი, ე.წ. წამიერი ნიშნული (1ჰც), რომელიც ზუსტად არის სინქრონიზებული UTC დროის სკალასთან.

დიფერენციალური კორექტივების გადაცემა საბაზისო სადგურიდან მომხმარებლამდე შეიძლება განხორციელდეს სატელეფონო, რადიო და თანამგზავრული კავშირის სისტემების გამოყენებით, აგრეთვე დასაშვებია და ფართოდ გამოყენებადია ციფრული მონაცემების გადაცემის ტექნოლოგიის RDS (Radio Data System) გამოყენება, რომლის დროსაც მონაცემები გადაიცემა FM სიგნალების გამოყენებით. დღესდღეობით ბევრ სახელმწიფოში ფუნქციონირებს საბაზისო (დიფერენციალური) სადგურების ფართო ქსელი, რომელიც უწყვეტად ახდენს კორექტივების ტრანსლაციას გარკვეულ ტერიტორიაზე. მაგალითად აშშ-ში დიფერენციალური შესწორებები, იგივე კორექტივები გადაიცემა 283,5კჰც სიხშირეზე საზღვაო სასაზღვრო სამსახურის მიერ წყალში მყოფი რადიო ტივტივების გამოყენებით. ასეთი სერვისით სარგებლობა ხელმისაწვდომია ნებისმიერი მომხმარებლისათვის. 1998 წლის თებერვალში სანკტ-პეტერბურგთან დაამონტაჟეს ზემოაღნიშნული საბაზისო ტიპის სადგური, რომელიც ტრანსლირებს დიფერენციალურ კორექტივებს 298,5 კჰც სიხშირეზე.

2.7. დიფერენციალური გლობალური პოზიცირების სისტემის ფუნქციონირების პრინციპები და ქმედითუნარიანობის ანალისი GBAS და SBAS დაფარვის არეალის მაგალითზე

GBAS სისტემის სტრუქტურა და მოქმედების პრინციპი შეიძლება განხილული და ახსნილიქნას ნახ.2.7.1. მიხედვით:



ნახ.2.7.1. GBAS სისტემის ფუნქციონირების პრინციპი

კოსმოსური GPS თანამგზავრები ასხივებენ სიგნალებს, რომელსაც ღებულობს სახომალდო მიმღები და სახმელეთო სიგნალების რესივერები. კოსმოსური თანამგზავრებით გასხივებული და საბორტო მიმღებით მიღებული სიგნალების მეშვეობით შესაძლებელია თვითმფრინავის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა, ოღონდ ამ შემთხვევაში დაფიქსირებული საბორტო კოორდინატები არ იქნება საკმარისად ზუსტი. სიზუსტის გასაუმჯობესებლად თანამგზავრიდან გასხივებული სიგნალები

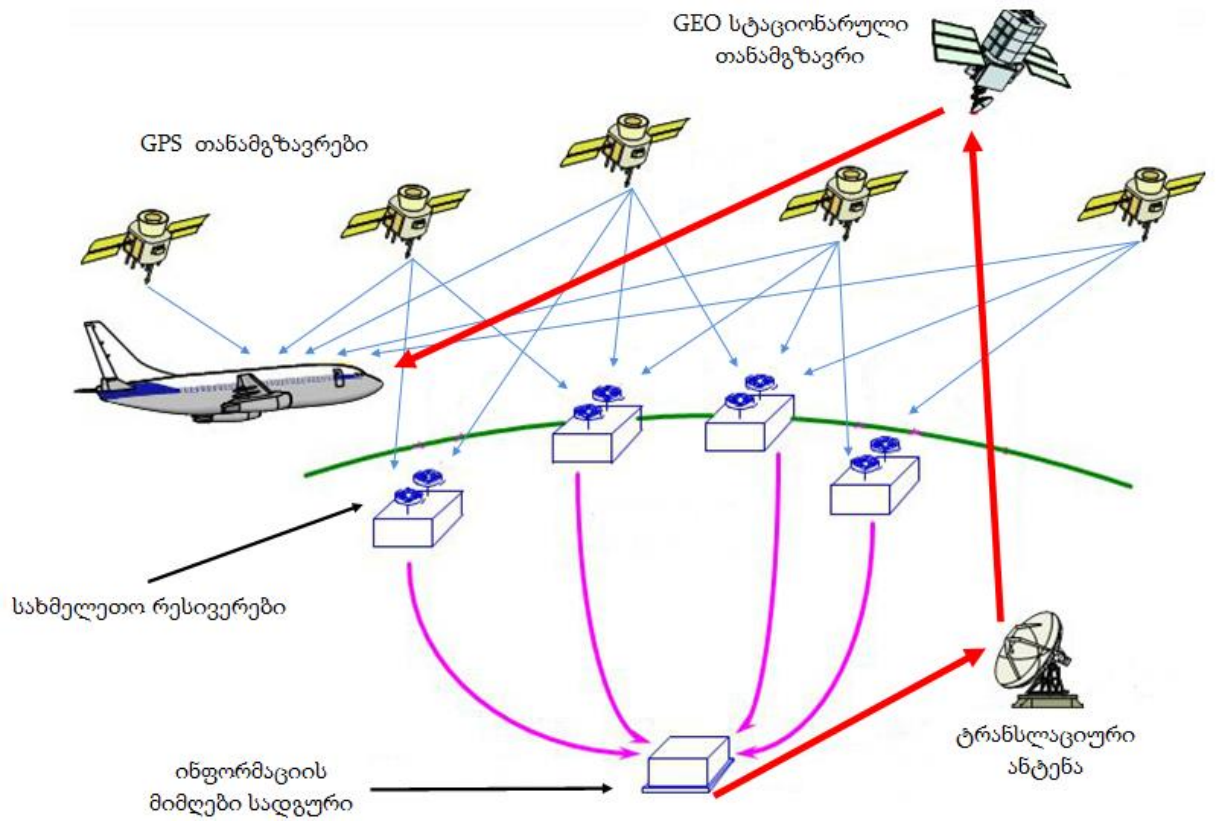
მიწოდება სახმელეთო რესივერებს, შემდგომ ეს მონაცემი გადაეცემა სიახლოვეს მყოფ გამოსათვლელ სადგურს. ვინაიდან რესივერების ზუსტი კოორდინატები ცნობილია, სადგურში ხდება კონკრეტული თანამგზავრის სიგნალისათვის კორექტივების გენერაცია. შემდგომ ეს კორექტირებული ინფორმაცია სახმელეთო ანტენით გადაეცემა სახომალდო მიმღებს. სახმელეთო რესივერი იხ. ნახ 2.7.2.



ნახ 2.7.2. თანამგზავრული სიგნალების სახმელეთო რესივერი

ვინაიდან სახმელეთო გადამცემი ანტენის მოქმედების რადიუსი შეზღუდულია ტექნიკური მიზეზების გამო, ხშირად მიმართავენ ქვეყნის მასშტაბით რამოდენიმე ასეთ სადგურის დამონტაჟება/გამოყენების მეთოდს. ეს მიზანშეწონილი იქნებოდა საქართველოს მასშტაბებიდან გამომდინარე, ვინაიდან ერთი ასეთი სადგური საშუალებას იძლევა 200-300 კმ-ის რადიუსის მანძილის დაფარვას. ცხადია სიგნალით დაფარვის არეალი ვარირებს სახელმწიფოს რელიეფური მდებარეობიდან გამომდინარე. სიგნალის არასრული წვდომისას სიზუსტის ცდომილება იზრდება, ე.ი. მიზანშეწონილია სასარგებლო სიგნალის მიწოდება უფრო დიდ ტერიტორიაზე და სახმელეთო ანტენების მცირე გამოყენებით.

ამ შემთხვევაში უკვე გამოიყენება მეთოდი SBAS, რომლის პრინციპი იგივეა როგორც ჩადებულია GBAS-ში. განსხვავება მდგომარეობს მხოლოდ იმაში, რომ თანამგზავრიდან გასხიბევილი და სახმელეთო რესივერებზე მიღებული სიგნალი მიწოდება გეოსტაციონარულ თანამგზავრებს, ისინი კი ასრულებენ რეფლექტორის როლს და მიღებულ სიგნალს აწვდიან სახომალდო მიმღებს. იხ. ნახ 2.7.3.



ნახ. 2.7.3. SBAS მოქმედების პრინციპი

GPS თანამგზავრი ასხივებს დედამიწისაკენ მიმართულ სიგნალს, რომელსაც დებულობს საბორტო (სამომხმარებლო) მიმღები და სახმელეთო სტაციონარული რესივერები, რომელთა გეოდეზიური კოორდინატები მკაცრადაა ფიქსირებული. რესივერების შესასვლელში მიღებული სიგნალები გადაეცემა ინფორმაციის მიმღებ სადგურს, სადაც ზუსტად განიცაზღვრება თითოეული თანამგზავრიდან გასტივებული სიგნალის ტრანზიტული დრო და შესაბამისად მათი ადგილმდებარეობა. შემდგომ აღნიშნული მონაცემი გადაეცემა ინფორმაციის მიმღები სადგურის ტრანსლაციურ ანტენას, ის კი თავის მხრივ ამ მონაცემებს გადასცემს გეოსტაციონარულ თანამგზავრს, უკვე აქედან ე.წ. მაკორექტირებელი ინფორმაცია მიეწოდება მომხმარებელს (საბორტო მიმღებს) [15].

GBAS, როგორც ევროპული სერვისი

- SAPOS : (German Surveying and Mapping Administration Satellite Positioning Service) წარმოადგენს მუდმივად მომუშავე DGPS სერვისს. აღნიშნული სერვისი ხემისაწვდომია მთელი გერმანიის მასშტაბით. სისტემის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს GPS საბაზისო სადგურების ქსელი. რეალური დროის რეჟიმში მნიშვნელობათა კორექციისათვის მონაცემების კორექტირება ხდება რადიო არხების ულტრა მოკლე ტალღების, გრძელი ტალღების, GSM და ზემადალი სიხშირის (VHF) მქონე ტალღების გამოყენებით. ულტრა მოკლე ტალღებს დიაპაზონში მომუშავე რადიო გადამცემი ტრანსლირების მაკორექტირებელი მონაცემების მქონე სიგნალებისას RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique) ფორმატში. აღნიშნული ფორმატი წარმოადგენს ერთგვარ კონვენსიას RTCM 2.0 ფორმატისას, რომელიც განკუთვნილია მონაცემების გადასაცემად RDS (Radio Data System) ფორმატში ულტრა მოკლე ტალღებს ბგერით ტრანსლაციის გამოყენებით. SAPOS ითავსებს ოთხი სხვადასხვა მახასიათებლის მქონე სერვისს:

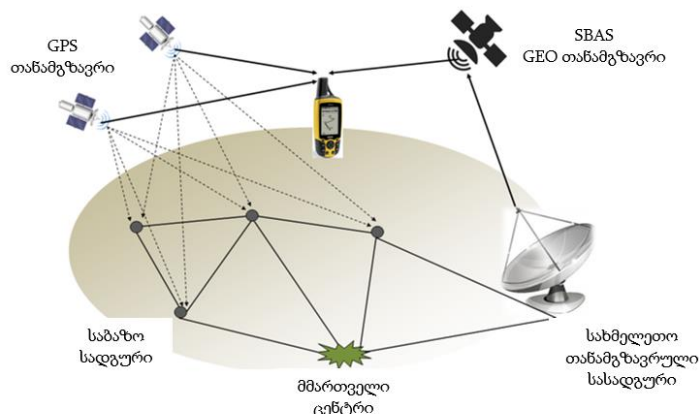
- SAPOS EPS: პოზიცირების სერვისი რეალური დროის რეჟიმში
- SAPOS HEPS: მაღალი სიზუსტის მქონე პოზიცირების სერვისი რეალური დროის რეჟიმში
- SAPOS GPPS: გედეზიური სიზუსტის მქონე სერვისი
- SAPOS GHPS: მაღალი სიზუსტის გეოდეზიური სერვისი

- ALF: (Accurate Positioning by Low Frequency) მაკორექტირებელი მნიშვნელობების ტრანსლაცია 50 კვტ გამომავალი სიმძლავრით. გრძელი ტალღების ტრანსლატორი DCF42 (LW, 123,7 კვც) გადასცემს მაკორექტირებელ მნიშვნელობებს 600 კმ-დან 1000 კმ-მდე მანძილზე. შესაბამისი საჭირო დეკოდერის შექმნისას მომხმარებელი მხოლოდ ერთხელ იხდის სერვისის თანხას. უნდა აღინიშნოს, რომ შესაბამისი სიგნალი ფაზით არის მოდულირებული.

- AMDS: (Amplitude Modulated Data System) დანიშნულია ციფრული სიგნალების გადასაცემად საშუალო და დაბალ სიხშირეებზე ზემოაღნიშნული ტრანსლატორის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში ხდება მონაცემების ამპლიტუდით მოდულირება და გადაცემა 600 კმ-დან 1000 კმ-მდე.
- Swipos-NAV: (Swiss Positioning Service) მომხმარებელს აწვდის მაკორექტირებელი მონაცემებს FM-RDS ან GSM ქსელს გამოყენებით. Radio Data System (RDS) წარმოადგენს ევროპულ სტანდარტს ციფრული მონაცემების გადასაცემად ულტრა მოკლე ტალღების (FM, 87-108 მგჰც) ტრანსლატორების გამოყენებით. საყრდენ FM სიხშირეზე ხდება RDS მონაცემების მოდულირება 57 კჰ-ით. მომხმარებლისათვის აუცილებელია RDS დეკოდერი DGPS მონაცემების გაშიფრისა და გაფართოებისათვის. საუკეთესო მიღების გარანტიად შეიძლება ჩაითვალოს პირდაპირი კონტაქტი ულტრა მოკლე ტალღების ტრანსლატორთან.
- რადიო შუქურები: რადიოშუქურა წარმოადგენს ნავიგაციურ ნაგებობას და როგორც წესი ხშირ შემთხვევაში მათი განლაგება ხდება სანაპირო ზოლში. DGPS მაკორექტირებელი სიგნალების გადაცემა ხდება საშუალოდ 300 კჰც-ზე. გადაცემის სისწრაფე ცვალებადია, შეადგენს 100 – 200 ბიტს წამში და დამოკიდებულია ტრანსლატორზე.

SBAS სისტემის აღწერილობა

კომპლექსური სახმელეთო სეგმენტი შედგება რამოდენიმე ძირითადი საწყისი ანუ საბაზისო სადგურისაგან, მართვის სახმელეთო ცენტრებისაგან და 2-3 სახმელეთო თანამგზავრული სადგურისაგან (იხ. ნახ.2.7.4).



ნახ. 2.7.4. SBAS სისტემის პრინციპი

- საწყის-საბაზო სადგური: SBAS სისტემაში არის რამოდენიმე საწყის-საბაზო სადგური, რომელიც ერთიანდება ერთ საერთო ქსელში. საბაზო სადგურები ღებულობენ GNSS-ის სიგნალებს. ეს სიგნალები მნიშვნელოვნად და ყურადღებით მუშავდება პოზიციასთან მიმართებაში. ყოველი საბაზო სადგური განსაზღვრავს სხვაობას ფაქტიურსა და გამოთვლით მიღებულ პოზიციებს შორის თანამგზავრებთან მიმართებაში. მონაცემები ამის მერე გადაეცემა მმართველ სადგურს, ცენტრს.
- მმართველი სადგური: მმართველ სადგურში, ცენტრში ხდება საწყისი საბაზო სადგურებიდან მაკორექტირებელი მონაცემების შეფასება, განსაზღვრავენ საბაზო სადგურებიდან მიღებულ GNSS სიგნალების სიზუსტეს, გამოითვლება ცდომილება, მხედველობაში მიიღება იონოსფერულ შრეებში ტურბულენტურობის დასაშვები ალბათობა და მოწმდება GNSS სისტემის გამართულობა. შემდგომში ხდება კორექტირებული მონაცემების სიგნალში ინტეგრაცია და სახმელეთო თანამგზავრული სადგურების მეშვეობით მათი გადაცემა.
- თანამგზავრული სახმელეთო სადგურები: ამ სადგურების მეშვეობით ხდება სიგნალების მოწოდება, ტრანსლაცია გეოსტაციონარულ თანამგზავრებზე.
- გეო თანამგზავრები: SBAS GEO (გეოსტაციონარული) თანამგზავრები ღებულობენ სახმელეთო თანამგზავრული სადგურებიდან სიგნალებს და გადასცემენ GNSS მომხმარებლებს. GNSS თანამგზავრებისგან განსხვავებით, GEO თანამგზავრებს არ გააჩნიათ სიგნალების გენერატორები, თუმცა აღჭურვილნი არიან ე.წ. ტრანსპონდერებით, რომელთა მეშვეობით ხდება ხმელეთიდან მოწოდებული სიგნალების დამუშავება და გადაცემა-ტრანსლაცია. სიგნალების გადაცემა მიმდინარეობს 1575,42 მგჰც სიხშირეზე. SBAS სიგნალების მიღება შესაძლებელია შესაბამისად აღჭურვილი GNSS მიმღებების მეშვეობით.

***SBAS მნიშვნელოვანი ფუნქციები
(WAAS, EGNOS)***

Satellite Based Augmentation System (SBAS) გამოიყენება GPS, GLONASS და GALILEO ფუნქციების გაძლიერებისათვის. საიმედოდ მაკორექტირებელი მონაცემები

ტრანსლირდება GNSS სიხშირეებზე GPS და GLONASS სისტემებისათვის გეოსტაციონარული თანამგზავრებიდან.

SBAS მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს GPS სისტემას, ვინაიდან მისი საიმედოობა და პოზიცირების სიზუსტე გაცილებით მაღალია. GPS-გან განსხვავებით SBAS ახორციელებს დამატებითი სიგნალების გადაცემის სხვადასხვა გეოსტაციონარულ თანამგზავრებიდან.

- მაკორექტირებელ მონაცემებზე დაყრდნობით პოზიცირების გაზრდილი სიზუსტე: SBAS უზრუნველყოფს სხვადასხვა სახის მაკორექტირებელ მონაცემებს, რომლებიც თავისმხრივ ზრდიან GNSS პოზიცირების სიზუსტეს. იონოსფერული შეცდომა, რომელიც გამოწვეული იყო სიგნალის დაყოვნებით შესწორებული და გათვალისწინებულია. იონოსფერული ეფექტით წარმოქმნილი ცდომილების მნიშვნელობითი სიდიდე იცვლება ადგილმდებარეობისა და დღე-ღამის დროზე დამოკიდებულებით. მონაცემების გლობალური მასშტაბით შემოწმება მოითხოვს სახმელეთო სადგურთა ქსელის ინფორმაციის დამუშავების იონოსფერულ ცდომილებას მნიშვნელობის განსაღვრის მიზნით. იონოსფერული შეცდომების გარდა SBAS ამოწმებს მაკორექტირებელ ინფორმაციას თანამგზავრების ადგილმდებარეობასთან მიმართებაში, ანუ ამოწმებს ეფიმერისებს და ამავდროულად დროითი მნიშვნელობის გაზომვის კორექციას.

- მაღალი საიმედოობა და გაზრდილი უსაფრთხოების დონე: SBAS ამოწმებს GNSS-ის ყოველ თანამგზავრს და აუწყებს მომხმარებელს შეცდომის არსებობის ან რამე სხვა სახის დაზიანებას 6 წმ-ის განმავლობაში. „კი/არა“ სახის ინფორმაცია გადაიცემა მაშინ, როდესაც მისაღები სიგნალების ხარისხი დაბალია განსაზღვრულ დასაშვებ დონესთან შედარებით.

- ნავიგაციური ინფორმაციის ტრანსლაციის შედეგად გაზრდილი ხელმისაწვდომობის დონე: SBAS გეოსტაციონარული თანამგზავრები ასხივებენ GNSS-ის მსგავსი სახის სიგნალებს. უნდა აღინიშნოს რომ ამ სიგნალების თან ერთვის ინფორმაცია ზუსტი დროის შესახებ. GNSS-თვის შესაძლებელი ხდება

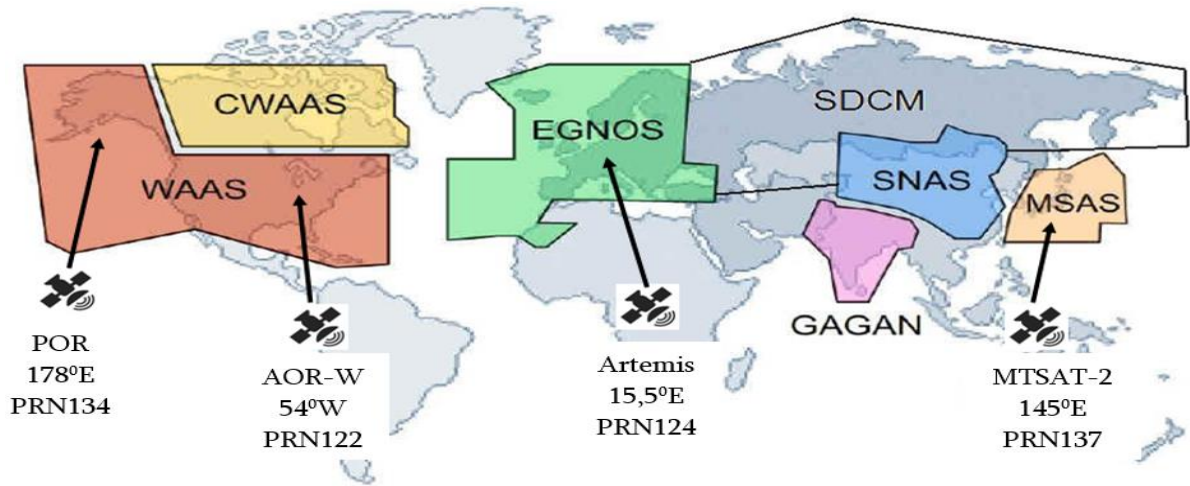
ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ამ სიგნალების მეშვეობით ე.წ. “Pseudo Ranging” პროცედურის გამოყენებით.

დიფერენციალური სისტემის მაკორექტირებელი მეთოდების მიმოხილვა

იმის მიუხედავად, რომ SBAS მოიცავს დაფარვის დიდ რეგიონებს (მაგ. ევროპას) მათი ცალკეული პროვაიდერების ე.წ. სტანდარტები ერთმანეთთან უნდა იყოს შეთანხმებული და გათვალისწინებული მუშობს პრინციპებიდან გამომდინარე. ერთმანეთთან შეთავსება მიიღწევა RTCA DO-229C სტანდარტის გამოყენებით. დღესდრეობით SBAS განსაზღვრულია ყოველი ცალკეული რეგიონისთვის, რომელთა სტანდარტები ერთმანეთში შეთავსებადია :

- ჩრდილოეთ ამერიკა (WAAS, Wide Area Augmentation System): US Federal Aviation Administration (FAA) ამუშავებს და ავითარებს სისტემას WAAS, რომელიც მთლიანად ფარავს აშშ-ს ტერიტორიას, კანადის ნაწილსა და ალიასკას. WAAS მუშაობს DOR და AOR-W ტიპის თანამგზავრებთან, რომლებიც აქტიურ მოხმარებაში 2008 წლიდან იმყოფებიან. ამ სერვისის უწყვეტი ფუნქციონირება შესაძლებელია ორი თანამგზავრის გამოყენებით, რომელთა ადგილმდებარეობის კოორდინატებია $133^{\circ}W$ და $107^{\circ}W$.

ევროპა (EGNOS, European Geostationary Overlay Service): EGNOS დანიშნულების წარმოდგენას ECAC (European Civil Aviation Conference) სფეროში ფუნქციონირება, თუმცა შემუშავებისთანავე 2006 წელს აღნიშნულმა პროექტმა ვერ მოიპოვა უსაფრთხოების უმაღლესი მოთხოვნების სფეროებში (მაგ. ავიაციაში) თამამი აღიარება.



ნახ. 2.7.5. WAAS, EGNOS, GANG, MSAS ზოგიერთი პოზიცია

გეოსტაციონარული თანამგზავრები, რომლებიც განლაგებულნი არიან ეკვატორული ზედაპირიდან დაახლოებით 36000 კმ მანძილზე, ასხივებენ სიგნალებს მოქმედი რეგიონის მიმართულებით. Pseudo Random Number (PRN) ყოველი თანამგზავრისათვის განსაზღვრულია. სიგნალების ტრანსლაციის სიხშირე იგივეა როგორც GPS-ის შემთხვევაში (L_1 , 1575,42 მგჰც).

(იხ. ცხრილი 2.7.6.).

სერვისი	თანამგზავრის აღწერილობა	პოზიცია	PRN
WAAS	Inmarsat 3F3 PRO	178°E	134
WAAS	Inmarsat 3F4 AOR-W	54°W	122
WAAS	Intelsat Galaxy XV	133°W	135
WAAS	TeleSat Anik F1R	107,3°W	138
EGNOS	Inmarsat 3F2 AOR-E	15,5°W	120
EGNOS	Artemis	21,5°E	124
EGNOS	Inmarsat 3F5 IOR-W	25°E	126
GAGAN	GSAT-4	111,5°E	127
MSAS	MTSAT-1R	140°E	129
MSAS	MTSAT-2	145°E	137

ცხრილი 2.7.6. WAAS, EGNOS, MSAS სისტემებში გამოყენებული თანამგზავრები

III. საჭაერო ხომალდების თანამედროვე დაფრენის სისტემისა და თანამგზავრული ტექნოლოგიების სინთეზური კონცეფცია

3.1. თანამგზავრული სიგნალებით შექმნილი ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცე.

აღნიშნული თავის დანიშნულებათ განისაზღვროს და გაანალიზებულ იქნას ის, თუ რას წარმოადგენს ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცე კოსმოსურ-თანამგზავრული სისტემის სიგნალების საფუძველზე და როგორ ურთიერთკავშირშია ის საავიაციო სატრანსპორტო სფეროსა და მიმდებარე განვითარებად ტექნოლოგიებთან.

დავიწყით იმით, რომ კოორდინატი, როგორც ზოგადი ობიექტი, წარმოუდგენელია და ფიზიკურად შეუძლებელი. კოორდინატი გულისხმობს სივრცეში მკაცრად განსაზღვრულ ადგილმდებარეობას, რომლის სამივე (X,Y,Z) განზომილება იქნება ცნობილი. განზომილებას აუცილებლად უნდა ჰქონდეს ე.წ. საწყისი, ნულოვანი სათავე, რომლის მიმართებითაც მოხდება სხვა დანარჩენის ანგარიში, შედგენილი კოორდინატების წარმოება. წარმოვიდგინოთ უკიდურესად, უსასრულო სივრცე. ავიღოთ ერთი წერტილი ამ სივრცეში და დავსვათ კითხვა ამ წერტილის კოორდინატის ადგილმდებარეობის განსაზღვრასთან დაკავშირებით. პასუხის გაცემა შეუძლებელი იქნება, მათემატიკურ ენაზეც კი. ახლა ავიღოთ არა ერთი, არამედ წერტილების ჯგუფი და ვეცადოთ განვსაზღვროთ მათი ადგილმდებარეობა სივრცეში. ამოცანა მარტივდება, იმდენად, რამდენადაც ამ შემთხვევაში ყოველი ინდივიდუალური წერტილის კოორდინატი ყოველ მეორესთან დამოკიდებულებაშია. რაც უფრო მეტი ასეთი კოორდინირებული წერტილების რაოდენობა, მით უფრო მარტივია და ზუსტი ყოველი შემგომი იმიტირებული წერტილის ზუსტი ადგილმდებარეობის განსაზღვრა.

ჩვენს საკითხსა და განვითარებად ტექნოლოგიასთან მიმართებაში დედამიწა წარმოადგენს საკოორდინაციო სისტემის ნულოვან, საწყის წერტილს. საკოორდინაციო ვირტუალური წერტილების შემდგომი ათვლა და წარმოება

დაკავშირებული იქნება დედამიწასთან, თუმცა ამ შემთხვევაში მიღებული შედეგები გარკვეულ მასშტაბებში შესაძლოა აღმოჩნდეს არასაკმარისი. სიზუსტის გაზრდა შესაძლებელია დამატებითი ზუსტად განსაზღვრული, დედამიწის ზედაპირზე არსებული წერტილების შემოტანით. რენე დეკარტის (დაბ. 31/03/1596; ფრანგი ფილოსოფოსი, მათემატიკოსი, ფზიკოსი და ანალიტიკური გეომეტრიის ფუძემდებელი) საკოორდინაციო სისტემის მისადაგება პლანეტის ზედაპირზე უმნიშვნელოვანესად ზრდის საორიენტაციო სივრცის სიზუსტეს. ე.ი. ჩვენთვის ცნობილი ან სასურველი წერტილების კოორდინატების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ შემდგომი, მათგან წარმოებული ობიექტების ადგილმდებარეობის სიზუსტე, იმდენად რამდენადაც სიბრტყესა თუ სივრცეში ცნობილი კოორდინატი ან ვირტუალურ-კოორდინირებული სისტემა მით უფრო ზუსტად იქნება აღწერილ-განსაზღვრული პირობით სივრცეში, რამდენადაც უფრო მეტი იქნება გამოყენებული ცნობილ კოორდინატებზე მისადაგებული ათვლითი წერტილები.

ჩვენთვის კონცეპტუალური სისტემის აღწერილობით დავაკონკრეტოთ ვირტუალურ-კოორდინირებული, ანუ ე.წ. გაციფრული სივრცე და განვმარტოთ თუ რა კავშირშია ეს ყოველივე კოსმოსურ-თანამგზავრულ სიგნალებსა და ავიაციასთან.

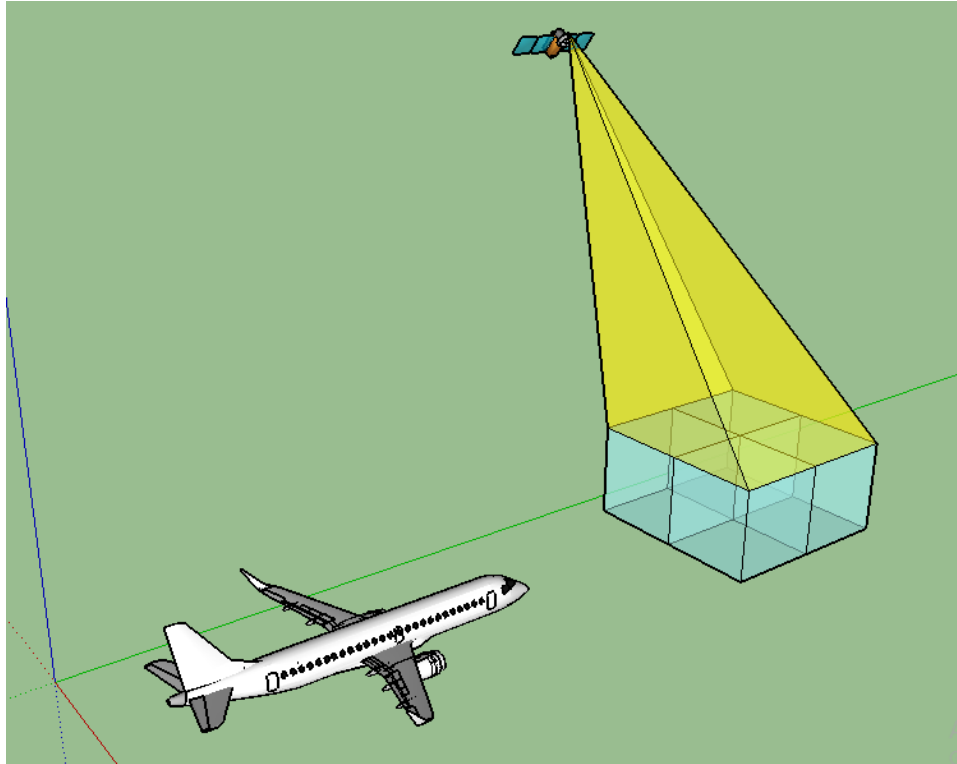
დედამიწა და დედამიწის გეოდეზიური კოორდინატები (X,Y,Z) შეიძლება წარმოდგენილიქნას, როგორც ნებისმიერი ათვლის სისტემის სათავე, ე.წ. ნულოვანი წერტილი, ან გარკვეული ალგორითმის განსაზღვრული მონაკვეთი, რომელით საშუალებას მოგვცემს მივიდეთ დასმულ საკითხამდე, ისე რომ ყოველ ჯერზე არ მოგვიწიოს საწყისი გამოთვლების წარმოება. ეს მეტად აასწრაფებს ელექტრონულ გამოთვლით მანქანებს (ე.გ.მ) ვინაიდან, ცხადია რომ აღნიშნული ამოცანების გადამოთვლების წარმოებისათვის ადამიანის გონების სისწრაფე და არსებული პროცესების რაოდენობა მეტად შეაფერხებს პროცესს. აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანია პროგრამული უზრუნველყოფის სწორი, მოკლე და სწრაფი გზა, რომელიც შესაძლებლობას მოქცემს მაქსიმალურად სწორად და სწრაფად მივიდეთ დასმული ამოცანის პასუხსა და გადაწყვეტილებამდე.

დედამიწის ხელოვნური კოსმოსური თანამგზავრი (დ.ხ.კ.ს.) უშუალო კავშირშია პლანეტის გეოდეზიურ კოორდინატებთან ელექტრომაგნიტური ტალღების

გამოყენების გზით. დედამიწაზე არსებული საკონტროლო რადიოლოკაციური სადგურები, რომელთა სივრცული კოორდინატები მკაცრად და დიდი სიზუსტითაა განსაზღვრული, ერთი და იგივე გლობალურ X დროს ასხივებენ ერთსა და იმავე სიგნალს თანამგზავრების მიმართულებით, ცხადია, თანამგზავრებამდე სხვადასხვა მანძილებიდან გამომდინარე გასხივებული სიგნალი თანამგზავრებამდე მივა სხვა და სხვა დროს. ეს კი საშუალებას აძლევს გამოთვილ აპარატს განსაზღვროს ზუსტი ადგილმდებარეობა კოსმოსურ სივრცეში. ე.ი. ამიერიდან დხკთ-მა იცის თავისი ზუსტი X;Y;Z პოზიცია სივრცეში. ამის საფუძველზე თანამგზავრი იწრებს მსგავსი სახის სიგნალების გასხივებას დედამიწის ზედაპირის მიმართ და შესაბამისად სამომხმარებლო სეგმენტი (მიმღები, პიროვნება, მობ.ტელეფონი) თანამგზავრების კოორდინატების გათვალისწინებით განსაზღვრავს თავის ადგილმდებარეობას დედამიწის ზედაპირზე.

რაც შეეხება თანამგზავრული სიგნალებით მიღებულ ვირტუალურ-კოორდინირებულ სივრცეს, ის წარმოიქმნება მაშინ როდესაც გაწერილი ალგორითმი წინასწარ გავუწყებს თუ რომელი კოორდინატი იქნება წარმოდგენილი სივრცის გარკვეულ ადგილას განსაზღვრული დროის გათვალისწინებით. ამ შემთხვევაში ვღებულობთ სივრცეს, რომლის ყოველი წერტილი ატარებს მათემატიკურ მნიშვნელობას. შედეგად ვღებულობთ ე.წ. გაცივრულ საჰაერო სივრცეს, რომლის ყოველი კოორდინატი იქნება ცნობილი. წინასწარ ცნობილი კოორდინატი ან კოორდინატთა ჯგუფი, ალგორითმი და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, გვამლევს ახალ შესაძლებლობას საჰაერო სივრცის წარმოდგენის შესახებ.

სურათზე 3.1.1. წარმოდგენილია ვირტუალურად კოორდინირებულ და თანამგზავრული სიგნალებით შექმნილ საჰაერო სივრცეში შემავალი თვითმფრინავი.



ნახ.3.1.1. თანამგზავრული სიგნალებით შექმნილი ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცე და მასში შემავალი საჰაერო ხომალდი

კონცეფციის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ამერიიდან ნებისმიერი საჰაერო სივრცის კონკრეტული კოორდინატი ღებულობს გარკვეულ მნიშვნელობა, ე.ი. მარტივი თვალსაჩინოებისათვის ჩვენი ნახატიდან გამომდინარე შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ კუბების წიბოების თანაკვეთა წარმოადგენს ე.წ. სივრცულ წერტილს, რომელსაც მინიჭებული აქვს განსაზღვრული მნიშვნელობა, ანუ კოორდინატი. ორბიტალურ-კოსმოსური თანამგზავრი ასხივებს გარკვეული სახის სიგნალებს, რომლებსაც ჩვენს კონცეფციაში ვიყენებთ ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცის გენერაციისათვის [44].

საგულისხმოა და ცხადია, რომ საჰაერო ხომალდი წარმოადგენს ერთ მთლიან სივრცულ ობიექტს, რომელიც მიმღები მოწყობილობის გამოყენებით ღებულობს თანამგზავრიდან გასხივებულ სიგნალებს. საჰაერო ხომალდების განსხვავებული მოდელებისა და ნაირსახეობებიდან გამომდინარე შეუძლებელია მათი ერთ კლასში მოქცევა. შესაბამისად აქვე ვაწყდებით კიდევ ერთ წინაღობას, თიმცა გადაწყვეილაბაც სწრაფად მოიძებნება. რა მოხდება რომ ნებისმიერი საჰაერო ხომალდი დავეოთ

გარკვეულ სეგმენტებად და ყოველივე მათგანზე განვალაგოთ თანამგზავრული სიგნალების მიმღები მოწყობილობა. ამიერიდან თვითმფრინავი წარმოგვიდგება, როგორც სეგმენტირებული საჰაერო ხომალდი. ე.ი. თვითმფრინავის ყოველი სეგმენტი ამიერიდან წარმოადგენს სივრცეში ცნობილ კოორდინირებულ წერტილს. ქა უკვე ცხადი და გასაგები ხდება, რომ საჰაერო ხომალდზე არსებული წერტილების მისადაგება კოსმოსური თანამგზავრით გენერირებულ ვირტუალურ საჰაერო წერტილებზე მოგვცემს ერთგვარ ალგორითმს, რომელშიც წერტილი A (თვითმფრინავის სეგმენტზე არსებული წერტილი) ყოველთვის მიისწრაფის გახდეს B (კოსმოსური თანამგზავრით გენერირებული ვირტუალურ-კოორდინირებული სივრცული წერტილი). შესაბამისად თუ კი თვითმფრინავის ფრენის მართვის კომპიუტერისათვის (FMC) ცნობილია ორივე, A და B კოორდინატები, ის მომართავს თვითმფრინავს ისე, რომ ყოველმა წერტილმა გაიაროს თავის შესაბამის მეწყვილე წერტილზე. ეს გვაძლევს გაზრდილ სიზუსტეს, გაცილებით უსაფრთხო ფრენის შესაძლებლობას და საჰაერო სივრცის რაციონალურად გამოყენების შესაძლებლობას, ეს კი თავის მხრივ მოგვცემს გაზრდილ საჰაერო ტრაფიკს და ავიაბილეთების დაბალ ტარიფებს.

მოდელირების ამოცანა და არსი

მათემატიკური მოდელირება ამჟამად გამოიყენება:

- ტრადიციულ სფეროებში - ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია;
- ახალ სფეროებში - ტექნიკური და ტექნოლოგიური სისტემები, ეკოლოგია.

მოდელირების მიზანია ბუნებაში არსებული მატერიალური ობიექტების და მიმდინარე პროცესების წარმოსახვითი ასახვა. ეს განპირობებულია იმის გამო, რომ პირდაპირი ნატურალური ექსპერიმენტის ჩატარება ფიზიკურად არსებულ ობიექტზე ან მიმდინარე პროცესზე შეუძლებელია ან საკმაოდ სახიფათოა.

მოდელის ქვეშ იგულისხმება ფიზიკურად არსებული ობიექტის ან რაიმე პროცესის (ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური, ტექნიკური, ტექნოლოგიური, ეკოლოგიური) წარმოსახვითი ან ზოგიერ შემთხვევაში ობიექტის ფიზიკური ანალოგი (მაგ. ელექტრული სქემის მაკეტი, სქემაში მიმდინარე გარდამავალი პროცესის შესასწავლად).

ყოველი მიმდინარე პროცესის აღწერა შესაძლებელია სხვადასხვა მათემატიკური მოდელებით, მაგრამ ხშირად ასეთი მოდელების სირთულის გამო, პროცესის შესწავლა და შეფასება ყოველმხრივ და სრულად შეუძლებელია. გამარტივებული მოდელების გამოყენება, რომლებიც ასახავენ გამოსაკვლევი ობიექტების ცალკეულ ასპექტებს, საშუალებას იძლევა კარგად დავინახოთ მიმდინარე პროცესში მიმდინარე მოვლენები, ცალკეული ეტაპები და გავაანალიზოთ მათი მახასიათებლები, ურთიერთკავშირი და შევადგინოთ მათი ურთიერთზეგავლენა საჭირო დასკვნებისა და გადაწყვეტილებების გამოსატანად.

რეალური ობიექტის და მიმდინარე პროცესების შესწავლას და ანალიზს ართულებს გამოსაკვლევი ობიექტების სტრუქტურის სირთულე და პროცესების არაერთგვაროვნება. თანამედროვე პირობებში ტექნიკისა და ტექნოლოგიების სწრაფად განვითარებამ წარმოქმნა მრავალი ახალი ობიექტი და პროცესები. შესაბამისად ამ ობიექტებზე და პროცესებზე დაკვირვების, შესწავლისა და ანალიზისათვის მოდელირების ამოცანა მეტად აქტუალურია და მოითხოვს მოდელირების ტრადიციული თეორიების და მეთოდებთან ერთად მოდელირების ახალი არატრადიციული, პროგრესული, თანამედროვე ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული მეთოდების გამოყენებას.

- მოდელირების ამოცანების ძირითადი მიზნებია:
- კონკრეტული ობიექტის ან პროცესის სტრუქტურის შესწავლა, შიდა ურთიერთკავშირები, ძირითადი თვისებები, ფუნქციონირებისა და განვითარების კანონები, მათი ურთიერთობა და უკუკავშირი გარემოსთან;
- ობიექტის ან პროცესის ოპტიმალური მართვა მოცემული კრიტერიუმებით და პირობებით;
- მოცემული კრიტერიუმებისა და პირობების საფუძველზე გამოსაკვლევი ობიექტების განვითარებისა და პროცესების რეალიზაციის შედეგების პირდაპირი და ირიბი პროგნოზირება.

მოდელი შეიძლება მოცემული იქნას სხვადასხვა სახით. მთავარია ასეთმა მოდელმა საკმარისი ზიზუსტით აღწეროს ობიექტის ან პროცესის ძირითადი თვისებები და მახასიათებლები.

მოდელის თვისებები

მათემატიკური მოდელებისადმი წარდგენილი ძირითადი მოთხოვნებია: ადეკვატიურობა, უნივერსალობა და ეკონომიურობა.



სურ.3.1.2. მოდელისათვის დამახასიათებელი თვისებების სქემა

ადეკვატიურობა: მოდელი ადეკვატურია, თუ საკმარისი სიზუსტით ასახავს მოცემული ობიექტის ან პროცესის თვისებებს. სიზუსტე განსაზღვრავს მოდელისა და ობიექტის ან პროცესის პარამეტრებისა და მახასიათებლების დამთხვევის ხარისხს. მოდელის სიზუსტეს განაპირობებს ობიექტის ფუნქციონირების პირობები და სხვადასხვა პირობებში იგი შეიძლება სხვადასხვანაირი იყოს. ეს პირობები განსაზღვრება გარე ფაქტორებით. მოდელის ადეკვატიურობის ერთ-ერთი კრიტერიუმია ობიექტის აღწერის ცდომილება. რაც უფრო მცირეა ცდომილება ზღვრულად დასაშვებ ცდომილების მიმართ, მით უფრო ადეკვატურია ობიექტის ან პროცესის მათემატიკური მოდელი. მოდელის ადეკვატიურობის განსაზღვრა რთული ამოცანაა, რომელიც კიდევ უფრო რთულდება როდესაც ობიექტის ან პროცესის ფუნქციონირება განიხილება დიდი განზომილების სივრცით არეალში, მგალითად, საჰაერო ხომალდების საფრენი საჰაერო სივრცის ან თავად საჰაერო ხომალდების ფრენითი პროცესის მათემატიკური მოდელებით აღწერა.

უნივერსალურობა: მოდელის უნივერსალურობა განისაზღვრება ობიექტის ან პროცესის პარამეტრების და მახასიათებლების მოდელში ასახვის მაქსიმალური რაოდენობით.

ეკონომიურობა: მოდელის ეკონომიურობა განისაზღვრება თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით მოდელის რეალიზაციაზე დახარჯული დროისა და მეხსიერების რაოდენობით.

სიმარტივე: მოდელი მარტივია, თუ მისი რეალიზაციისა და დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით გამოთვლისათვის საკმარისია პარამეტრებისა და მახასიათებლების მინიმალური რაოდენობა.

პოტენციურობა: შემუშავებული მოდელის საშუალებით ობიექტის ახალი მახასიათებლებისა და თვისებების დადგენა.

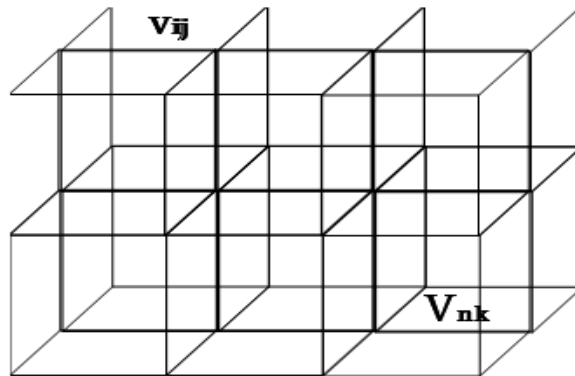
მოდელის წარმოდგენის ძირითადი ფორმებია:

- ინვარიანტული - მოდელის მახასიათებლებისა და თვისებების ცნობილი, ტრადიციული მათემატიკური წარმოდგენისგან განსხვავებული მათემატიკური აღწერა;
- ანალიტიკური - მოდელის წარმოდგენა მისი აღწერის საწყისი განტოლებების ანალიზისა და ამოხსნის შედეგების სახით;
- ალგორითმული - მოდელის წარმოდგენა მისი ამსახველი განტოლებების შერჩეული მეთოდით ამოხსნის ალგორითმის სახით;
- გრაფიკული - მოდელის წარმოდგენა რომელიმე გრაფიკული ენით, მაგალითად, გრაფების, დიაგრამების, ექვივალენტური სქემების ან სხვა სახით;
- ფიზიკური - მოდელის წარმოდგენა ობიექტის ისეთი მაკეტის სახით, რომელიც საკმარისი სიზუსტით აღწერს ობიექტს ან მიმდინარე პროცესებს;
- ანალოგური - მოდელები, რომლებიც ანალოგურია სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების მქონე ობიექტების, მაგრამ წარმოდგენილია ერთნაირი მათემატიკური განტოლებებით.

სივრცითი მოდელირება.

მოდელების კლასიფიკაციის ერთ-ერთი მთავარი პრინციპია **მრავალვარიანტული პრინციპის** თანამიმდევრული გამოყენება გარკვეული ობიექტების, მოვლენების ერთობლიობის ანალიზისათვის. ასეთ ერთობლიობის ანალიზისათვის მასში შემავალი ცალკეული ობიექტების და პროცესების მახასიათებლების, პარამეტრების შესწავლისა და შეფასებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა მეთოდები. ერთობლიობაში შემავალი ობიექტებისა და პროცესების კლასიფიკაციისათვის გამოიყენება სხვადასხვა კრიტერიუმები და პრინციპები, ასეთი მიდგომა გამოწვეულია განხილული ობიექტებისა და პროცესების სირთულისა და მნიშვნელობის დონით. მაგალითად, სივრცეში განთავსებული ნებისმიერი ობიექტის ან სივრცეში მიმდინარე მოვლენა - პროცესის მაღალი ხარისხით მოდელირების ერთ-ერთი მთავარი პრინციპი გულისხმობს ობიექტების და პროცესების აღწერას გრაფიკული და მათემატიკური მეთოდების ერთობლიობით.

მაგალითად, განვიხილოთ სივრცეში განთავსებული მართკუთხა პარალელეპიპედი რომელიც დაყოფილია შრეებად (სურ. 3.1.3.).



სურ. 3.1.3. შრეებად დაყოფილი მართკუთხა პარალელეპიპედი

ასეთი ფიგურა წარმოადგენს ცალკეული კუბების ერთობლიობას. ამ ფიგურის შემადგენელი ნაწილები - კუბები შეიძლება განვიხილოთ როგორც ცალკეული ობიექტები და ამ ობიექტების შესწავლისა და შეფასების მიზნით, გამოვიყენოთ სხვადასხვა მათემატიკური მეთოდები. თუ ამ ობიექტების თვისებები და მახასიათებლები ერთნაირია, მაგრამ განთავსებულია სივრცის სხვადასხვა არეში,

მაშინ საკმარისია მხოლოდ შევაფასოთ განხილული ობიექტის განთავსების კოორდინატები და მისი გათვალისწინებით წარმოვადგინოთ როგორც მისი, ასევე მთელი ობიექტის მათემატიკური მოდელი, რომელიც წარმოადგენს ამ ფიგურის შემადგენელი კუბების ჯამს [35],[36].

ნებისმიერი ფუნქციონალური მოდელი შეიძლება წარმოვადგინოთ კლასიფიკაციის სამი დონით: **მიკრო-, მაკრო- და მეტადონეებით.**

ცალკეული კუბი V_{ij} შეიძლება განვიხილოთ როგორც მოცემული ფიგურის **მიკროდონე**, სადაც n შრეების რაოდენობაა $\{i=1,2,3,\dots,n\}$ და k კუბების რაოდენობა

შრეში $\{j=1,2,3,\dots,k\}$, ყოველი შრე $S_i = \sum_{j=1,k}^k V_{ij}$, $\{i=1,2,3,\dots,n\}$ შეიძლება განვიხილოთ

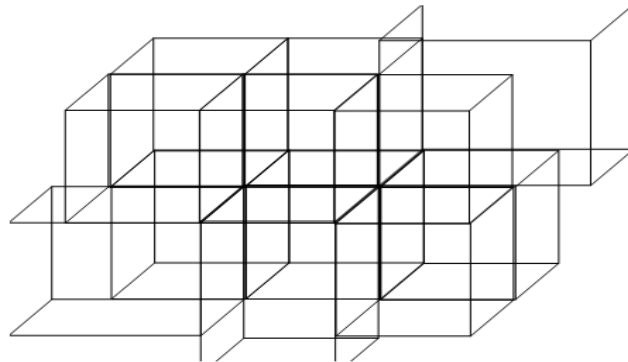
როგორც **მაკროდონე** და მთლიანი ფიგურა $M(V) = \sum_{i=1,n}^n S_i$ როგორც **მეტადონე**.

რეალურ სივრცეში ობიექტის ამ რაიმე პროცესის ასეთ სახით მოდელირებისათვის უკვე მიკროდონეზე გათვალისწინებული უნდა იყოს ობიექტის ფუნქციონირების პირობები და მიმდინარე პროცესები თავისი მახასიათებლებით და პარამეტრებით. იმის გამო, რომ რეალური სივრცე უმეტესწილად არაერთგვაროვანია და ამასთან ნებისმიერი ობიექტის ფუნქციონირების პროცესი წარმოადგენს დროის ფუნქციას, შესაბამისად ობიექტის ან მიმდინარე პროცესის მახასიათებლები შეიძლება იცვლებოდეს ფუნქციონირების პირობების ცვლილებასთან ერთად. აქედან გამომდინარე მოდელირება როგორც მიკრო, ასევე მაკრო- და მეტადონეზე აუცილებლად უნდა ითვალისწინებდეს მოცემული ობიექტის არაერთგვაროვანებას და დროში მიმდინარე პროცესების პარამეტრებისა და მახასიათებლების ცვალებადობას.

მაგალითად, თუ განვიხილავთ მე-3 სურათზე მოცემულ სივრცეში განთავსებულ მართკუთხა პარარელეპიპედს, მასში შემავალი კუბების პარამეტრები - მოცულობა ერთმანეთის იდენტურია და შესაბამისად იდიალიზირებულია. რეალურ სივრცეში და დროში, თუ გავითვალისწინებთ მის არაერთგვაროვანებას და დროში მიმდინარე პროცესებს, მაშინ მოცემულ ობიექტში შემავალი კუბების პარამეტრები და მახასიათებლები შეიძლება იყოს სხვადასხვა დროის სხვადასხვა მონაკვეთზე.

შესაბამისად ამ ობიექტის შრეები და თავად ობიექტი მეტადონეზე დროის მოცემულ ინტერვალში აისახება სხვადასხვა სახით - სურ.3.1.4.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე გასაგებია, რომ მოდელების მათემატიკური აღწერა უნდა ითვალისწინებდეს ობიექტის რეალურ გარემოში ფუნქციონირების პირობებს, დროში მისი პარამეტრებისა და მახასიათებლების ცვლილებებს და საკმაო სიზუსტით უნდა ასახავდეს ობიექტს როგორც მიმდინარე დროში, ასევე პერსპექტივაში.



სურ.3.1.4. ობიექტის მოდელი მისი თვისებებისა და მახასიათებლების ცვლილების შემდეგ

ვთქვათ, მოცემული ობიექტის სტრუქტურა მიკროდონეზე დროის t_i მონაკვეთში განიცდის ზოგიერთი მახასიათებლის ცვლილებას, მაგალითად იცვლება ობიექტის ცალკეული V_{ij} კუბების მოცულობა და სივრცეში განთავსების Λ ადგილები - კოორდინატები (გადაადგილდება სივრცეში), მაშინ დროის t_i მონაკვეთში ობიექტის შემადგენელი კომპონენტები-კვანძები მიკროდონეზე, შეიძლება აღვწეროთ რაღაც P პარამეტრით, რომელიც ასახავს მოცემულ კონკრეტულ დროში მაგალითად კონკრეტული B_{ij} კომპონენტის მოცულობას და სივრცეში ადგილმდებარეობას. გამოსაკვლევი პროცესის აღწერისათვის უნდა განისაზღვროს პროცესში მონაწილე მახასიათებლები, ე.წ. შემავალი მაჩვენებლები - $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. შემდეგ უნდა გაითვალისწინოს სისტემის ან პროცესის შედეგად მიღებული მახასიათებლები, ე.წ. გამოსავალი მაჩვენებლები, რომლებიც აღწერენ დროის მოცემულ მონაკვეთში სისტემას ან პროცესს - ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას.

ამ შემთხვევაში სისტემის ან პროცესის მათემატიკურ მოდელს ექნება შემდეგი სახე:

$$Y = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

ჩვენს მიერ განხილულ შემთხვევაში (მართკუთხა პარარელეპიპედი), დროის t_i მონაკვეთში ცალკეული V_{ij} კუბების მოცულობისა და სივრცეში განთავსების Λ_{ij} ადგილების ცვლილებისას მოცემული დროის მონაკვეთში. მოცემული ობიექტის მათემატიკურ მოდელს ექნება შემდეგი სახე:

$$M(V) = F(V(t_i), \Lambda(t_i), X(t_i))$$

სადაც, $V(t_i)$ და $\Lambda(t_i)$ წარმოადგენენ განხილული მოდელის მოცულობას და განთავსების ადგილს t_i მომენტში, ხოლო $X(t_i)$ წარმოადგენს სხვა ცვლად მაჩვენებლებს, მაგალითად, სივრცეში გადაადგილების სიჩქარე, მოცულობის ცვლილების სიჩქარე და სხვა მაჩვენებლები, რომლებიც შეიძლება განპირობებული იყოს მოცემულ გარემოში ობიექტის ფუნქციონირების პირობებით.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, სივრცის ნებისმიერ არეალში არსებული ობიექტი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ცალკეული, უფრო მცირე დონის კომპონენტების სიმრავლის სახით:

$$b_i \in B.$$

$$B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\} ; \quad ()$$

სადაც, b_i წარმოადგენს B სიმრავლეში შემავალ კომპონენტს მიკრო- ან მაკრო- დონეებზე.

თავის მხრივ სიმრავლეში მოცემული კომპონენტები (კვანძები) ფუნქციონირების სხვადასხვა პირობების გათვალისწინებით, შეიძლება არაერთგვაროვნად იცვლებოდეს, ან ზოგიერთი კომპონენტი კი საერთოდ არ განიცდიდეს ცვლილებებს. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია დადგინდეს ცალკეული კომპონენტის ფუნქციონირების პირობები და შემავალი მახასიათებლები - მაჩვენებლები და მათ საფუძველზე განისაზღვროს შესაბამისი გამოსავალი მახასიათებლები. აქედან გამომდინარე, ცალკეული კომპონენტებისათვის t_i დროის ინტერვალში უნდა განისაზღვროს ფუნქციონალური დამოკიდებულება:

$$b_i(t_i) \in B = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) ; \quad ()$$

ხოლო, დროის t_{i+1} მომენტში :

$$b_i(t_{i+1}) \in B = f(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) \quad ; \quad ()$$

სადაც, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, b_i კომპონენტის შემავალი მახასიათებლებია t_i მომენტში და $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, b_i კომპონენტის გამოსავალი მახასიათებლებია t_{i+1} მომენტში.

ამრიგად, ნებისმიერი ფუნქციონირებადი ობიექტი დროის დროის ნებისმიერ t_i მონაკვეთში შეიძლება განვიხილოთ, როგორც უფრო დაბალ დონეზე (მიკრო- ან მაკრო- დონეებზე) ფუნქციონირებადი კომპონენტების ჯამი:

$$B(t_i) = \sum_{i=1}^n b_i(t_i). \quad ()$$

სივრცეში განთავსებული ობიექტის მოდელის ზოგიერთი თვისებები და მახასიათებლები შეიძლება წინასწარ იყოს განსაზღვრული და გარკვეული პირობების გათვალისწინებით არ განიცდიდეს ცვლილებას დროში. მოდელის ზოგიერთი თვისება და მახასიათებლები შეიძლება განსაზღვრული და უცვლელი იყოს მაკრო- და მეტა- დონეებზე, მაგრამ იცვლებოდეს მიკრო დონეზე. ობიექტის ბაზური მოდელის სტრუქტურა შეიძლება წარმოვადგინოთ, გარკვეული ფაქტორების ერთობლიობით - $B=(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$, სადაც ყოველი b_i ფაქტორი განსაზღვრავს რეალური ობიექტის ცალკეულ თვისებებს და ფუნქციონირების ხასიათს. ეს ფაქტორები შეიძლება წინასწარ იყოს განსაზღვრული და უცვლელი. ობიექტის ფუნქციონირების პირობები უმეტესად არაერთგვაროვანია და იცვლება დროში. აქედან გამომდინარე, ზოგიერთი ფაქტორი შეიძლება შეიცვალოს ან გაჩნდეს გაუთვალისწინებელი ფაქტორი - b_{n+1} , რომელიც შეცვლის ბაზური მოდელის სტრუქტურას და მას გადაიყვანს სხვა დონეზე. ასეთ შემთხვევაში მოდელის სტრუქტურა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$B=(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n, b_{n+1}).$$

დადგენილ საზღვრებში მოცემული სივრცის (მაგალითად, აეროდრომის საჰაერო სივრცე) მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც განსაზღვრული მახასიათებლებისა და თვისებების მქონე ზონების სიმრავლე:

$$Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n). \quad ()$$

სადაც, ნებისმიერი $z_i \in Z$ ზონას გააჩნია წინასწარ განსაზღვრული ზომები, ადგილმდებარეობა, თვისებები და მახასიათებლები.

სივრცეში განლაგებული ნებისმიერი ზონა $z_i \in Z$ შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც გარკვეული ფაქტორების ფუნქცია:

$$z_i = F(H_i, R_i^v, R_i^h, X_i). \quad ()$$

სადაც, $H_i - z_i \in Z$ ზონის სიმაღლეა მიწის ზედაპირიდან, $R_i^v - z_i$ ზონის რადიუსია ვერტიკალურ სიბრტყეში, $R_i^h - z_i$ ზონის რადიუსია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში სიბრტყეში, Y_i - სტოქასტური ცვლადია და დამოკიდებულია $t_i - t_{i+1}$ დროის ინტერვალში განვითარებულ შემთხვევით პროცესებზე, რომლებმაც დროის სხვადასხვა მომენტებში შეიძლება შეცვალონ $z_i \in Z$ ზონის თვისებები და მახასიათებლები:

$X_i(t_{i+1}) = F(y_1, y_2, y_3, \dots, y_k)$, სადაც, $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$ - შემავალი სტოქასტური ცვლადებია და განპირობებულია სხვადასხვა შემთხვევითი პროცესებით.

თუ მოცემულია შემთხვევით მოვლენების - პროცესების ალბათობის განაწილება და მათი მნიშვნელობები განსაზღვრული სიდიდეებია, მაშინ საქმე გვაქვს შემთხვევით ცვლადებთან.

შემთხვევითი ცვლადები შეიძლება იყოს დისკრეტული და უწყვეტი.

დავუშვათ Y დისკრეტული შემთხვევითი ცვლადია და სხვადასხვა მოვლენების დროს იღებს სხვადასხვა შესაძლო მნიშვნელობებს: $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$, მაშინ შემთხვევითი ცვლადის ყველა შესაძლო მნიშვნელობების და მათი შესაბამისი ალბათობების ერთობლიობა გვაძლევს შემთხვევითი ცვლადის განაწილებას.

განაწილების ფუნქცია განსაზღვრავს იმის ალბათობას, რომ შემთხვევითი ცვლადი იღებს ფიქსირებული ნამდვილი რიცხვზე ნაკლებ მნიშვნელობას, ამრიგად:

$$F(Y) = R(Y < y)$$

მრავალგანზომილებიანი შემთხვევითი ცვლადის განაწილება $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$

მოიცემა ერთობლივი განაწილების ფუნქციით:

$$Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n) = P(Y_1 < y_1, Y_2 < y_2, Y_3 < y_3, \dots, Y_n < y_n)$$

განაწილების ფუნქციის წარმოებულ - განაწილების დიფერენციალური ფუნქცია განსაზღვრავს x სიდიდის ალბათობის განაწილების სიმკვრივეს:

$$f(y) = \frac{dF}{dy}$$

მოცემულ $[a, b]$ ინტერვალში შემთხვევითი სიდიდის მიერ გარკვეული მნიშვნელობების დამთხვევის ალბათობა ტოლია ამ ინტერვალში გამოთვლილი შემთხვევითი Y ცვლადის ამავე ინტერვალში განაწილების სიმკვრივის ინტეგრალის:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

თუ ვიცით შემთხვევითი ცვლადის განაწილების სიმკვრივე, შესაძლებელია განისაზღვროს ისეთი მახასიათებლები, როგორებიცაა მაგალითად, რაღაც პროცესის რეალიზაციის ალბათობა, მისი ინტენსივობა და ხანგრძლივობა დროის მოცემული ინტერვალში (მაგ. საჰაერო სივრცის რომელიღაც ზონაში გაუთვალისწინებელი მფრინავი ობიექტის გამოჩენა).

რაღაც პროცესის რეალიზაციის ალბათობა t დროში გამოითვლება ფორმულით:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

პრაქტიკაში გამოიყენება სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება ფუნქციით:

$$P(t) = 1 - F(t).$$

ამრიგად, თუ ვიცით შემთხვევითი ცვლადის განაწილების სიმკვრივე ან ფუნქცია, შეიძლება განვსაზღვროთ რთულ სისტემაში შემთხვევით წარმოქმნილი სახიფათო პროცესების მახასიათებლები. პრაქტიკაში შემთხვევითი ცვლადების განაწილების ფუნქცია ცნობილი არ არის და მისი მიღება შესაძლებელია სტატისტიკური კვლევებით შემთხვევითი პროცესების რეალიზაციისას.

3.2. აეროპორტებისა და მათი მიმდებარე საჰაერო სივრცის მოდელირება ვირტუალური კოორდინატებით შექმნილი მარშრუტებისა და ასაფრენ-დასაფრენი ეშელონების ეფექტურობის ანალიზის გზით.

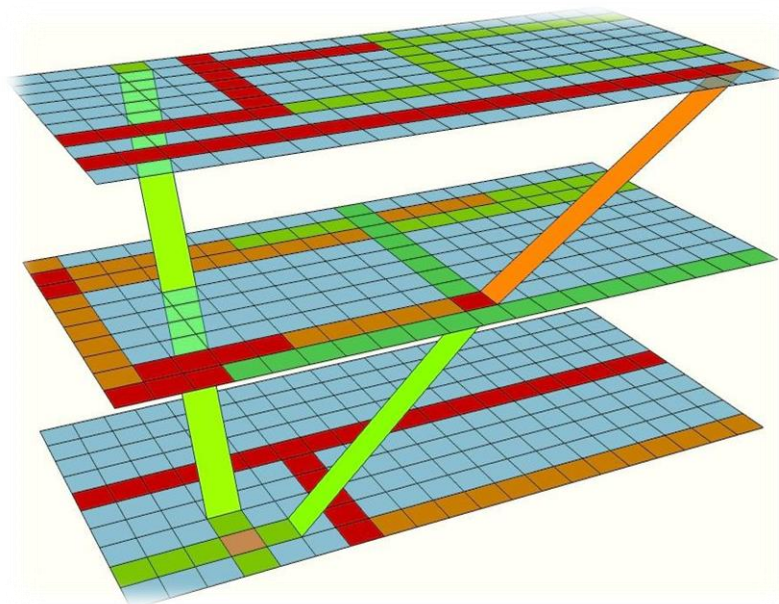
აეროდრომის საჰაერო სივრცის ეფექტურად გამოყენებისათვის მეტად აქტუალურია ამ საჰაერო სივრცის მოდელირების ამოცანა. საჰაერო სივრცე შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც სივრცეში განლაგებული ცალკეული ზონების სიმრავლე. მფრინავი ობიექტების აეროდრომის მიმდებარე საჰაერო სივრცეში ფრენის ძირითადი მახასიათებლების საფუძველზე შესაძლებელია განვსაზღვროთ საჰაერო ხომალდისათვის საჭირო ოპტიმალური საფრენი სივრცე და შესაბამისად, მინიმუმადე დავიყვანოთ კონფლიქტური სიტუაციები, ანუ ერთ სივრცით ზონაში ერთდროულად ორი ან მეტი თვითმფრინავის მოხვედრის შესაძლებლობა, რითაც გაიზრდება გამტარუნარიანობა და უსაფრთხო ფრენისათვის განსაზღვრული მაჩვენებლები.

მომავალ წლებში აეროდრომების საჰაერო სივრცის გამოყენების ინტენსივობა სტატისტიკური მაჩვენებლის თანახმად შესაძლებელია რამდენიმეჯერ გაიზარდოს, შესაბამისად, აღნიშნული საჰაერო სივრცის ეფექტურად გამოყენების ამოცანა მეტად აქტუალურია. თანამედროვე პირობებში ზოგიერთი მეგაპოლისის სააეროდრომო და მასთან მისასვლელი საჰაერო სივრცის გამოყენების შესაძლებლობა მცირეა, ამიტომ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საჰაერო მოძრაობის ოპტიმალურად მომსახურების ორგანიზაციულ მხარეს. ამისათვის შექმნილია საჰაერო მოძრაობის სისტემის განვითარების პროგრამები - SESAR (*ევროპული გაერთიანებული საჰაერო სივრცის მართვის კვლევა*) და NextGEN (*მომავალი თაობის საჰაერო სატრანსპორტო სისტემა*). ამ პროგრამების დანიშნულებაა სააეროდრომო საჰაერო სივრცის გამოყენების ეფექტურობისა და, შესაბამისად, საჰაერო მოძრაობის უსაფრთხოების გაზრდა [16].

მოცემული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით აუცილებელია შესწავლილი და გაანალიზებული იყოს ყველა ის ფაქტორი, რომელიც ამცირებს აეროდრომების საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობას. ამჟამად არსებობს მოცემული პრობლემის გადაწყვეტის ბევრი მეთოდი, რომელიც ძირითადად ეფუძნება იმიტაციური

მოდელირების მეთოდებს, თუმცა ეს მეთოდები ხშირად ვერ უზრუნველყოფს აეროდრომების საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის ოპტიმალურ შეფასებას.

საჰაერო სივრცის მოდელი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც სივრცეში განლაგებული ცალკეული ზონა. ცალკეული ზონა კი შესაბამისად შეიძლება გამოვსახოთ ობიექტების სიმრავლით: $M=\{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n\}$; სადაც $m_i \in M$ წარმოადგენს მოცემული ზონის მცირე სივრცულ მონაკვეთს და ამ მონაკვეთების ფარგლებში, დროის ყოველ ინტერვალში შეიძლება შეფასდეს მისი დატვირთვა მფრინავი ობიექტებით; ე.ი. აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება არა მარტო კონკრეტული სივრცითი უბნის დადგენა, არამედ ალგორითმის სახით წინასწარ განსაზღვრულ იქნეს უშუალო მარშრუტები, ემელონებს შორის გადასასვლელი გზები, აგრეთვე შესაძლებელი ხდება ერთ რომელიმე კონკრეტულ უბანზე მაღალი სიმჭიდროვის დაფიქსირებისას მისი სათანადო ნორმის ფარგლებში მოქცევა. ყოველივე ეს მოგვცემს საჰაერო სამიმოსვლო გზების უსაფრთხოების მაღალ მაჩვენებელს, რაც გაზრდის უშუალოდ ფრენების საიმედოობას ამ თვალსაზრისით და განტვირთავს საჰაერო მოძრაობის მართვაზე პასუხისმგებელ პირს. ამ შემთხვევაში ადამიანური ფაქტორის ხვედრითი წილი მკვეთრად კლებულობს. ერთ-ერთი ასეთი მოდელი წარმოდგენილია სურათზე (ნახ.3.2.1).



ნახ. 3.2.1. საჰაერო სივრცის სამარშრუტო დახურული, ღია და არასასურველი გზების საანალიზო მოდელი

თითოეული სივრცული m_i მონაკვეთისათვის განვსაზღვროთ სიმკვრივის (საჰაერო ხომალდების არსებული ნაკადის, სიმჭიდროვის) მნიშვნელობა ფორმულით:

$$\rho(t_i) = \frac{M(t_i) \cdot \rho(t_i)}{V} . \quad (1)$$

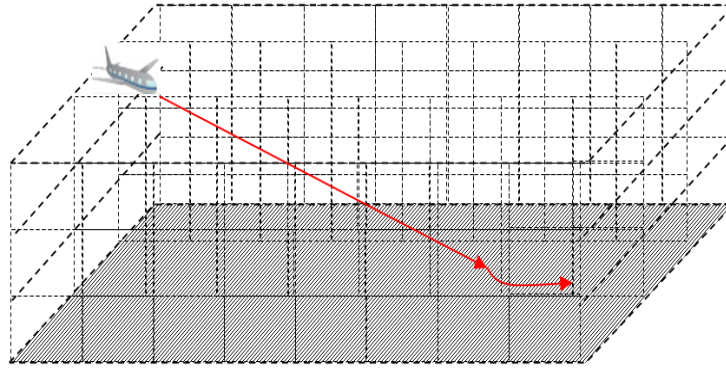
სადაც $M(t_i)$ ობიექტების მაქსიმალური მნიშვნელობაა დროის ინტერვალში,
 V - სივრცული m_i მონაკვეთის მოცულობა;

$\rho(t_i)$ - სივრცულ m_i მონაკვეთში ვითარების სიღრმის კოეფიციენტი დროის მოცემულ t_i ინტერვალში.

(1) ფორმულის პირობიდან გამომდინარე ცხადია, რომ ფრენის კონკრეტულ მომენტში m_i უზნისათვის გასათვალისწინებელია ისეთი პირობები, როგორებიცაა: მეტეოროლოგიური, მფრინავ ობიექტებს შორის მინიმალური დასაშვები მანძილი, კონკრეტული უზნის გამტარუნარიანობა, მფრინავი ობიექტის გაბარიტულობა და ა.შ. აღსანიშნავია, რომ საჰაერო სივრცის პირობითი არეალი დაფარულია ვირტუალური m_i უზნებით, გეომეტრიული კვადრატების სახით, ხოლო სამგანზომილებიან სისტემაში - კუბებით. ასეთი სისტემის სივრცული რეალიზაცია შესაძლებელია სივრცეში არსებული ვირტუალური წერტილების არსებობით, რომლებიც მიიღებიან კოსმოსური ხელოვნური თანამგზავრებიდან გარკვეული სიგნალების გამოსხივებით (სისტემა GNSS), რომელთა პირობითი თანაკვეთა წარმოქმნის ე.წ. სივრცულ ფიგურებს აეროდრომის საჰაერო სივრცეში.

აეროდრომის საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის სპეციფიკურობიდან გამომდინარე საჰაერო სივრცის კონკრეტულ ზონას დროის მოცემულ ინტერვალში შეიძლება მიენიჭოს ე. წ. სიმკვრივე $\rho(t_i)$ (ფორმულა 1) არსებული საჰაერო ხომალდების რაოდენობისა და სხვა კრიტერიუმების მიხედვით. აღნიშნული ალგორითმის გამოყენება შესაძლებლობას მოგვცემს წინასწარ განვსაზღვროთ მოსალოდნელი დატვირთვის უზნები და შესაბამისად საპასუხო ქმედების სახით გადავამისამართოთ საჰაერო ხომალდები სხვა ეშელონებზე კონკრეტულ აეროდრომთან მისადაგებული ეფექტურობის კოეფიციენტის გათვალისწინებით [44],[50].

თითოეულ Z_i ზონის სამგანზომილებიანი სივრცის სახით განხილვისას (ნახ.3.2.2.),



ნახ.3.2.2. სივრცითი ზონები

შესაძლებელია მინიმალური დასაშვები მოცულობის განსაზღვრა თითო მფრინავი ობიექტისათვის. მფრინავი ობიექტების ცნობილი დაფრენის კუთხის (გლისადის) ინფორმაციის არსებობისას, შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგი Z_{i+1} ზონა, რომელშიც მოხვდება ობიექტი t_{i+1} მომენტში და ა.შ.

ერთ სივრცით ზონაში ერთდროულად ორი ან მეტი მფრინავი ობიექტის არსებობისას იქმნება კონფლიქტური სიტუაცია. თუმცა, ვირტუალურ საჰაერო სივრცის ბადეში კანონზომიერი ქმედებების გენერაცია, საშუალებას გვაძლევს თავიდან ავირიდოთ ე.წ. კონფლიქტური ვითარებები, ან უფრო მეტიც - შექმნილ ვითარებას სულაც არ მივანიჭოთ კონფლიქტური სტატუსი, იმდენად რამდენადაც ის ყოველმხრივ ექვემდებარება კონტროლს და ალგორითმულ ქმედებებს.[1],[3]

ნებისმიერი საჰაერო სივრცე შეიძლება წარმოვადგინოთ ე.წ. სიტუაციური მატრიცით, სადაც ნებისმიერი სვეტისა და სტრიქონის გადაკვეთა (უჯრედი) წარმოადგენს შესაბამისი სივრცით ზონას მოცემული დროის მონაკვეთში შესაბამისი ინტენსივობის კოეფიციენტით.

აეროპორტის საჰაერო სივრცეში ზონების რაოდენობის განსაზღვრისათვის რადიოტალღების გავრცელების ფრენელის ზონების ანალოგიურად განვსაზღვროთ აეროპორტის თავისუფალი საჰაერო სივრცის რადიუსი - ჩვენ შემთხვევაში აეროპორტის საჰაერო სივრცეში ზონის რადიუსი (სიგანე) ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში.

ფრენელის ზონის რადიუსის განსაზღვრის ანალოგიურად აეროპორტის საჰაერო სივრცის რადიუსი ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეში ვიანგარიშით ფორმულით:

$$R = \sqrt{\frac{S' \cdot S''}{S' + S''} \cdot \frac{V}{v}} \quad , \quad (2)$$

სადაც, R საჰაერო სივრცის რადიუსია,

V - კონკრეტული მფრინავი ობიექტის სიჩქარე,

v - სივრცის მოცემულ ზონში დროის t_i მომენტში მფრინავი ობიექტის გამოჩენის სიხშირე,

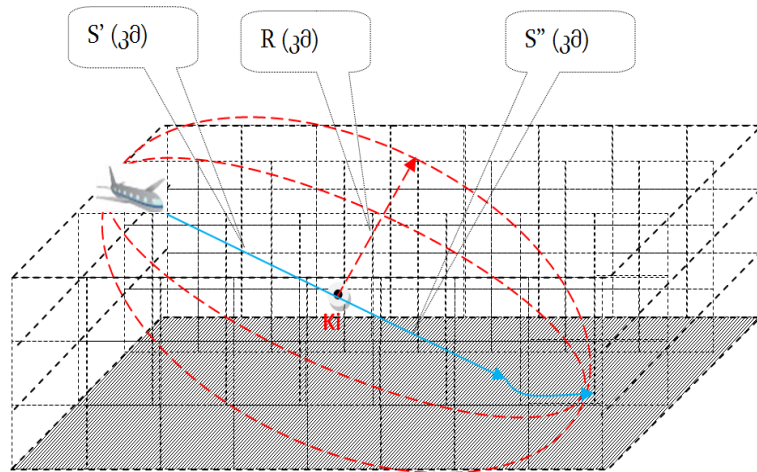
S' - t_i მომენტში მიწის ზედაპირიდან მოცემული H სიმაღლიდან მფრინავი ობიექტის მანძილი საჰაერო სივრცის რომელიმე K_i წერტილამდე,

S'' - მანძილი მოცემული რომელიმე K_i წერტილიდან დასაფრენ ზოლამდე. მოცემული H სიმაღლიდან მფრინავი ობიექტის მანძილი დასაფრენ ზოლამდე $S = S' + S''$.

გამომდინარე იქიდან, რომ საჰაერო სივრცის მოდელი შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც სივრცეში განლაგებული ცალკეული ზონები, მაშინ ამ ზონების რაოდენობა მე-2 ფორმულით განსაზღვრულ სივრცეში შეიძლება ვიანგარიშით ფორმულით:

$$R = \sqrt{\frac{S' \cdot S''}{S' + S''} \cdot mL} \quad , \quad (3)$$

სადაც, m საჰაერო სივრცის ზონების რაოდენობაა, L - მფრინავი ობიექტის მიერ t_i მომენტში გავლილი მანძილი.



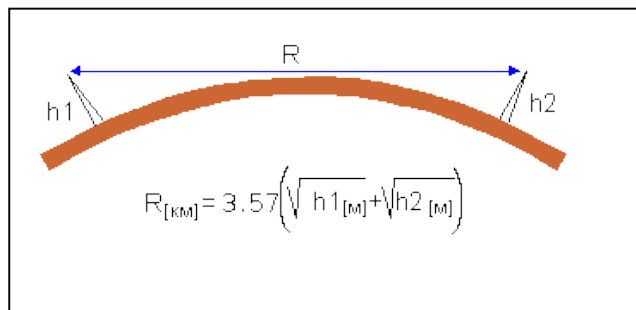
ნახ.3.2.3. სივრცითი ზონები და საზომი მანძილები

ნახ.3.2.3. გვამღევს საშუალებას წარმოვიდგინოთ და უკეთ გავერკვეთ ზემოაღნიშნულ მეთოდულ კაში, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ აეროდრომების საჰაერო სივრცეში საჰაერო ხომალდების გაზრდილ მიმოსვლასთან დაკავშირებული რისკფაქტორების შესამცირებლად.

საჰაერო ტრანსპორტის ფრენების და საჰაერო მოძრაობის მართვის მოქმედების კანონზომიერებიდან გამომდინარე შემუშავდა ე.წ. სივრცითი მოდელები, რომლებიც მისადაგებულ იქნა საჰაერო-სატრასო და სააეროდრომო დანიშნულების ზონებთან [17].

აეროპორტის საჰაერო სივრცის ზონური მოდელირება

1. გამოვთვალოთ პირდაპირი ხედვის მანძილი აეროპორტამდე თვითმფრინავის ფრენის მოცემულ H_i ($i=1,2,3,\dots,n$) სიმაღლეზე:



ფრენის სიმაღლე (პირველი ზონის სიმაღლე) H (მ)	8000	H- R=8000- 2760≈524 0					
ფრენის სიჩქარე V (მ/წმ)	50000/36 00≈138						
თვითმფრინავის ფრენის დროითი ინტერვალი T (წმ)	40						
ვერტიკალური დაშვების სიჩქარე V _v (მ/წმ)	15						
მოცემულ ინტერვალში ფრენის მანძილი თაშვით	5523						
მოცემულ ზონაში თვითმფრინავების ფრენის სიხშირე	1/40=0,02 5						
მოცემულ ინტერვალში ზონის რაოდენობა R (მ)	2760						
ზონების რაოდენობა							

- განსაზღვროთ თვითმფრინავების ფრენის სიხშირე N_i ($i=1,2,3,\dots,n$) ზონაში (მაგ. წუთში 2 თვითმფრინავი - $\nu=0.033$, თვითმფრინავები ყოველ 40 წამში - $\nu=0,025$, ყოველ 1 წუთში - $\nu=0,016$ და ა.შ.)
- მოცემული სიმაღლისათვის H_i ($i=1,2,3,\dots,n$) გამოვითვალოთ დროის მოცემულ T_i ინტერვალში (დროის ინტერვალი განსაზღვრავს მოცემულ H_i სიმაღლეზე თვითმფრინავის ფრენის დროს, რომელიც განისაზღვრება ფრენის ν სიხშირით მოცემულ N_i ზონაში) ფრენის მანძილი, $l_H = \frac{V_i}{T_i}$;
- გამოვითვალოთ სიმაღლის ცვლილების - დაშვების ვერტიკალური სიჩქარის გათვალისწინებით (მაგ 12 მ/წმ) მოცემული დროის T_i ინტერვალში სიმაღლის შემცირების ΔH სიდიდე და შესაბამისად გამოვითვალოთ ფრენის მანძილი $S = \sqrt{l_H^2 + \Delta H^2}$;

5. გამოვთვალოთ პირველი ზონის რადიუსი ვერტიკალში ფორმულით:

$$R = \sqrt{\frac{S1 \cdot S2}{S1 + S2} \cdot \frac{V}{\rho}}$$

ნებისმიერ ზონაში დაბრკოლებისგან თავისუფალი სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:

$$H \geq h + R \cdot (1 - 40\%);$$

სადაც, H - დაბრკოლებისგან თავისუფალი სიმაღლეა, h - დაბრკოლების სიმაღლე, R - ზონის რადიუსი.

ზონებში პირდაპირი ხედვის გამოთვლა ეფუძნება ფრენის მოცემულ ზონაში ისეთ მონაცემებს, როგორებიცაა: კონკრეტული ზონის რადიუსი, დროის მოცემულ ინტერვალში ზონაში თვითმფრინავების გამოჩენის სიხშირე, ფრენის სიჩქარე, ვერტიკალური დაშვების სიჩქარე.

1. გამოვთვალოთ პირდაპირი ხედვის მანძილი:

1. გამოვთვალოთ სიჩქარე მაგ. 55,5მ/წმ

2. გამოვთვალოთ თვითმფრინავის ფრენის მანძილი მაგ. 30წმ-ში

3. გამოვთვალოთ თავისუფალი ზონის რადიუსი ვერტიკალში ფორმულით:

$$R = \sqrt{\frac{S1 \cdot S2}{S1 + S2} \cdot \frac{V}{f}}$$

გამოვთვალოთ თავისუფალი ზონის დიამეტრი ჰორიზონტალში ფორმულით:

$$D = \sqrt{\frac{S1 \cdot S2}{S1 + S2} \cdot \frac{V}{f}} \cdot 2 + 800 \cdot K$$

ფრენის სიმაღლე (მ) -	დაშვების ვერტიკალური სიჩქარე მ/წმ
2000 მ-დე	40 მ/წმ
2000-დან 1000 მ-დე	15 მ/წმ
1000-დან 600 მ-დე	10 მ/წმ
600-დან 200 მ-დე	5 მ/წმ

სადაც, K -ასაფრენ-დასაფრენი ბილიკების რაოდენობაა

გამოვთვალოთ თავისუფალი ზონების რაოდენობა მოცემულ ინტერვალში:

$$N = D / 800$$

ყოველ ეტაპზე გამოითვლება ფრენის სიჩქარის, დაშვების სიჩქარის, დროითი ინტერვალის გათვალისწინებით შემდეგი ზონის აეროპორტიდან დაშორების მანძილი და მისი სიმაღლე და შესაბამისი რადიუსი ვერტიკალში.

$$L_v(\theta) = \sqrt{(V \cdot T)^2 + (V_v \cdot T)^2}$$

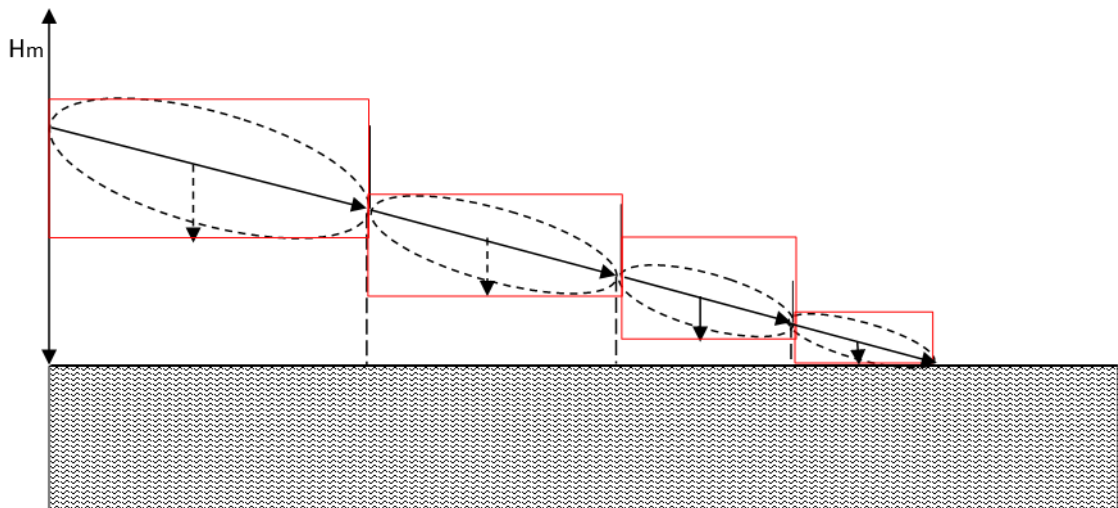
$$v = 1/T$$

$$R(\theta) = \sqrt{\frac{L_v \cdot L_v \cdot V}{L_v + L_v} \cdot \frac{V}{v}}$$

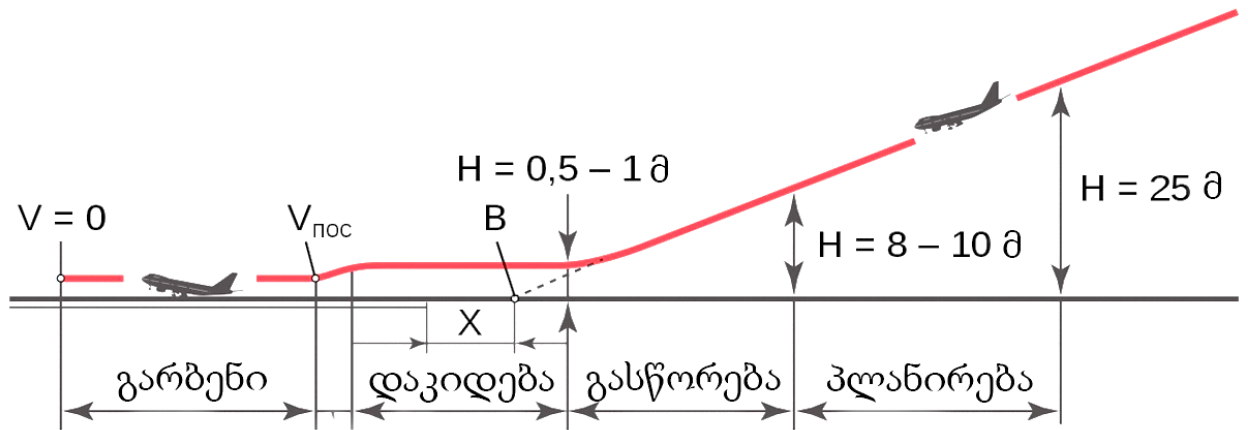
მოცემულ სიმაღლეზე ზონის რადიუსი ჰორიზონტში

ზონის რადიუსი ჰორიზონტში $(R+S+\delta/2)$

სადაც, R - ზონის რადიუსია, S - თვითმფრინავის სიგანე, δ - მანძილი თვითმფრინავის ღერძებს შორის.



ფრენის სიმაღლე (მ) -	დაშვების ვერტიკალური სიჩქარე მ/წმ
2000 მ-დე	40 მ/წმ
2000-დან 1000 მ-დე	15 მ/წმ
1000-დან 600 მ-დე	10 მ/წმ
600-დან 200 მ-დე	5 მ/წმ



ზონის ანგარიში:

გამოვთვალოთ ზონის სიმაღლე $H(z_{ij})$

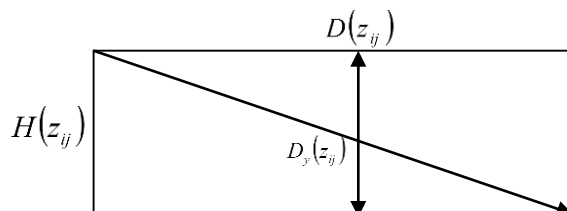
$$H(z_{ij}) = 2 \cdot R(\theta) = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_v \cdot L_v \cdot V}{L_v + L_v \cdot v}}$$

გამოვთვალოთ პირდაპირი ხედვის მანძილი

$$D_y(z_{ij}) = 4.1 \cdot \sqrt{2 \cdot H(z_{ij})}$$

გამოვთვალოთ ზონის სიგრძე $D(z_{ij})$

$$D(z_{ij}) = \sqrt{D_y(z_{ij})^2 - H(z_{ij})^2}$$

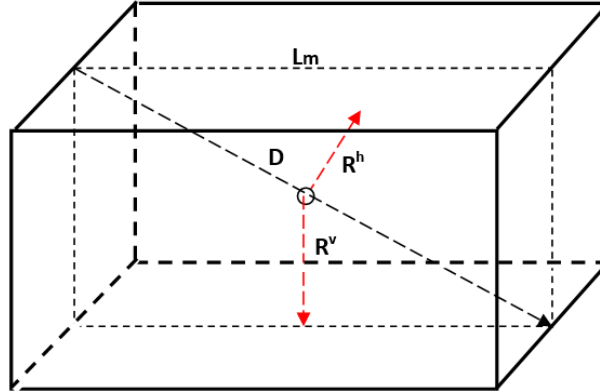


ზონის სიმკვრივის ხარისხი

დაიყოფა ზონებად და ზონები განლაგდება შრეებად სიმაღლეების მიხედვით; თითოეული შრე თვითმფრინავის მოძრაობის მიხედვით გადაინაცვლებს აეროპორტის მიმართ სიმაღლის ცვლილების თვითმფრინავის დაშვებისას მისი მიწის ზედაპირიდან სიმაღლის მიხედვით.

თითოეული შრე შედგება ცალკეული ზონისგან და ზონები წარმოადგენენ მართკუთხა პარალელებიპედს - სურ.

თითოეულ z_{ij} ზონისათვის განისაზღვრება სიმკვრივის ხარისხი $\rho(z_{ij})$ მოცემულ ზონაში ფრენის მაქსიმალურად დასაშვები პირობების გათვალისწინებით.



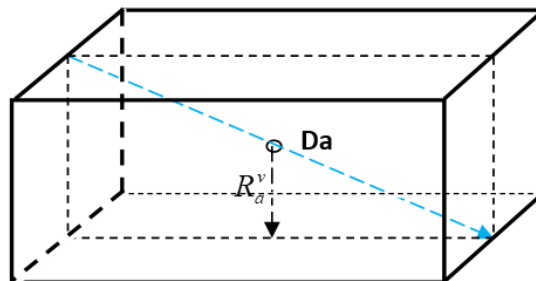
განვსაზღვროთ მოცემული ზონის პირდაპირი ხედვის არე:

$$D(z_{ij}) = 4.1 \cdot \sqrt{2} \cdot R^v$$

გამოვთვალოთ მოცემული ზონის პირდაპირი ხედვის არე ატმოსფეროს გამჭვირვალობის მიხედვით (ღრუბლები, ნისლი და ა.შ.):

$$D_a(z_{ij}) = 4.1 \cdot k \cdot \sqrt{2} \cdot R^v$$

იმ შემთხვევაში თუ მაშინ ზონა არ შეიზღუდება, სხვა შემთხვევაში ზონა შეიზღუდება და თუ შეზღუდული ზონის მოცულობა ზონის მოცულობის 40% იკავებს, ამ ზონის სიმკვრივის ხარისხი მაღალია



საჰაერო სატრანსპორტო სივრცის ცალკეულ ზონებად დაყოფის გზით შესაძლებელია აეროდრომების საჰაერო სივრცის, მანამდე მიზანშეუწონლად საგზაო დერეფნების

რაციონალური ათვისება, და შესაბამისად საფრენოსნო სივრცის გამტარუნარიანობის გაზრდა [29].

მაგალითად, მეტეოროლოგიური პირობების გათვალისწინებით, ზონის შეფასებისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ ქვემოთ მოყვანილი ალგორითმი:

1. გამოვითვალოთ მანძილი რომელსაც გაივლის თვითმფრინავი კონკრეტულ ზონაში დროის მოცემულ ინტერვალში;
2. გამოვითვალოთ პირდაპირი ხედვის მანძილი ნისლიანობის კოეფიციენტით - $k=1.0$;
3. გამოვითვალოთ ხედვის წონითი კოეფიციენტი - $\mu((x_{ij}))=R/D$;
4. გამოვითვალოთ სიმკვრივის ხარისხის მინ. მნიშვნელობა - $\rho_{\min}(x_{ij})$
5. გამოვითვალოთ მანძილი რომელსაც გაივლის თვითმფრინავი კონკრეტულ ზონაში დროის მოცემულ ინტერვალში;
6. გამოვითვალოთ პირდაპირი ხედვის მანძილი ნისლიანობის კოეფიციენტით - $k=0.2-0.3$;
7. გამოვითვალოთ ხედვის წონითი კოეფიციენტი - $\mu((x_{ij}))=R/D$;
8. გამოვითვალოთ სიმკვრივის ხარისხის მაქს. დასაშვები მნიშვნელობა - $\rho_{\max}(x_{ij})$.

სივრცეში მოძრავი ობიექტის ფრენა ყოველ კონკრეტულ მოცემულ ზონაში დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ სიმკვრივის ხარისხი აკმაყოფილებს პირობას:

$$\rho_{\min}(x_{ij}) \leq \rho(x_{ij}) \leq \rho_{\max}(x_{ij})$$

ზონის სიმკვრივის ხარისხი - ფრენის დასაშვები ნორმები(ნისლი, სხვა თვითმფრინავი, ქარი, ფრინველები და სხვა)/ზონის ზომები

$$\rho_{pr}(z_{ij}) = \frac{\Theta_0(z_{ij}) \cdot \mathcal{G}_0(z_{ij}) \cdot \xi_0(z_{ij}) \cdot \chi(z_{ij})}{R^v(z_{ij}) \cdot R^h(z_{ij}) \cdot L(z_{ij})} ;$$

სადაც, $\Theta(z_{ij})$, $\vartheta(z_{ij})$, $\zeta(z_{ij})$, $\chi(z_{ij})$ z_{ij} ზონაში არსებული სხვადასხვა ფაქტორების არსებობის წონითი კოეფიციენტებია მოცემული ფაქტორების მინიმალური მნიშვნელობების გათვალისწინებით და მათ შორის:

$\Theta(z_{ij})$ - დანისლიანების წონითი კოეფიციენტი;

$\vartheta(z_{ij})$ - ქარიანობის წონითი კოეფიციენტი;

$\zeta(z_{ij})$ - ჭექა-ქუხილის არსებობის წონითი კოეფიციენტი;

$\chi(z_{ij})$ - სხვა ფაქტორების (თოვლი, ყინვა, რადიოკავშირის ხელშემშლელი სიგნალები, ფრინველები, ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების ფაქტორი და ა.შ.) არსებობის წონითი კოეფიციენტი [41],[53].

მოცემული ფაქტორების (ნისლიანობის, ქარიანობის და ა.შ.) წონითი კოეფიციენტების მინიმალური მნიშვნელობები განისაზღვრება მოცემული ფაქტორის მინიმალური მნიშვნელობის მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობასთან თანაფარდობით. მაგალითად, თუ თვითმრინავის დაფრენისას ან აფრენისას ქარის მაქსიმალურად დასაშვები სიჩქარე $v_w=17$ მ/წმ, ხოლო ქარის მინიმალური სიჩქარე $v_0=1$ მ/წმ, მაშინ ქარიანობის მინიმალური წონითი კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$(z_{ij}) = \frac{v_0}{v_w} = \frac{1}{17} \approx 0,06 \quad ()$$

გამტარუნარიანობის ხარისხი

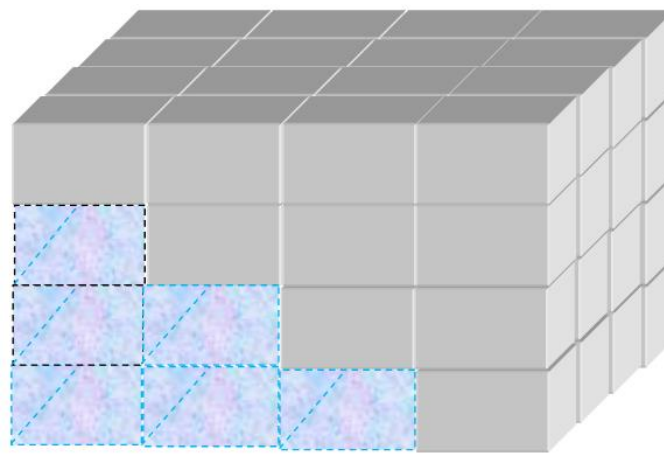
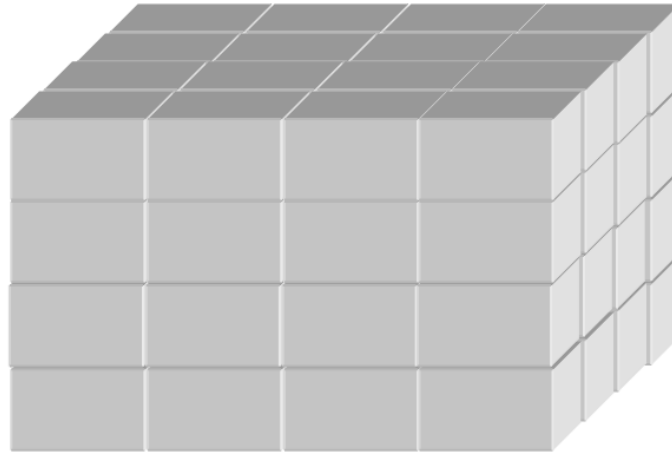
$$\eta(z_{ij}) = \frac{R_h(z_{ij}) + R_h(z_{ij\pm 1})}{R_k}$$

დროის მცემულ მონაკვეთში ფრენის შესაბამისი პირობების გათვალისწინებით

გამოითვლება ზონის სიმკვრივის ხარისხი:

$$\rho_{mn}[z_{ij}(t_k)] = \frac{\Theta_m(t_k) \cdot \vartheta_m(t_k) \cdot \xi_m(t_k)}{R^v(z_{ij}) \cdot R^h(z_{ij}) \cdot L(z_{ij})} .$$

სივრცე შედგება ვერტიკალური და ჰორიზონტალური შრეებისგან, რომელთა რაოდენობა და ზომები განისაზღვრება სპეციალური ფორმულებით.



ყოველი შრის თითოეული ზონისთვის გამოითვლება ცალკეული ვექტორების წონითი კოეფიციენტები: $\Theta(z_{ij}), \Phi(z_{ij}), \xi(z_{ij}), \chi(z_{ij})$ და გამტარუნარიანობისა $\eta(z_{ij})$ და სიმკვრივის $\rho(z_{ij})$ ხარისხი [42].

შრეებად განლაგებული ზონები ავსახოთ გრაფების თეორიის გამოყენებით, დაბრკოლებების გარეშე თვითმფრინავის დაფრენის წინასწარ განსაზღვრული მარშრუტის შემთხვევაში, თითოეულ შრეში ზონების რაოდენობა მცირდება თვითმფრინავის ფრენის სიმაღლის შემცირების შესაბამისად (სურ.). ყოველ შემდეგ შრეში ზონების რაოდენობა $N(Z_i)=M(Z)-\Delta m(Z_i)$.

	Zi1	Zi2	Zi3	Zi4	Zi5	Zi6	Zi7	Zi8	Zi9	Zi10	Zi11	Zi12	Zi13	Zi14	Zi15
Zi1	η_{i1} ρ_{i1}	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Zi2	1	η_{i2} ρ_{i2}	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Zi3	0	1	η_{i3} ρ_{i3}	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Zi4	0	0	1	η_{i4} ρ_{i4}	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Zi5	0	0	0	1	η_{i5} ρ_{i5}	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Zi6	0	0	0	1	1	η_{i6} ρ_{i6}	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Zi7	0	0	1	1	1	1	η_{i7} ρ_{i7}	1	0	0	0	0	1	1	1
Zi8	0	1	1	1	0	0	1	η_{i8} ρ_{i8}	1	0	0	1	1	1	0
Zi9	1	1	1	0	0	0	0	1	η_{i9} ρ_{i9}	1	1	1	1	0	0
Zi10	1	1	0	0	0	0	0	0	1	η_{i10} ρ_{i10}	1	1	0	0	0
Zi11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	η_{i11} ρ_{i11}	0	1	0	0
Zi12	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	η_{i12} ρ_{i12}	1	0	0
Zi13	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	η_{i13} ρ_{i13}	1	0
Zi14	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	η_{i14} ρ_{i14}	1
Zi15	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	η_{i15} ρ_{i15}

მოცემული გრაფები, რომლებიც ასახავენ შრეებად დაყოფილ ზონებს, წარმოვადგინოთ მატრიცებით და ერთმანეთთან შეერთებული გრაფის მწვერვალები, რომლებიც ასახავენ ცალკეულ ზონას, მატრიცაში მათი გადაკვეთის უჯრედებში

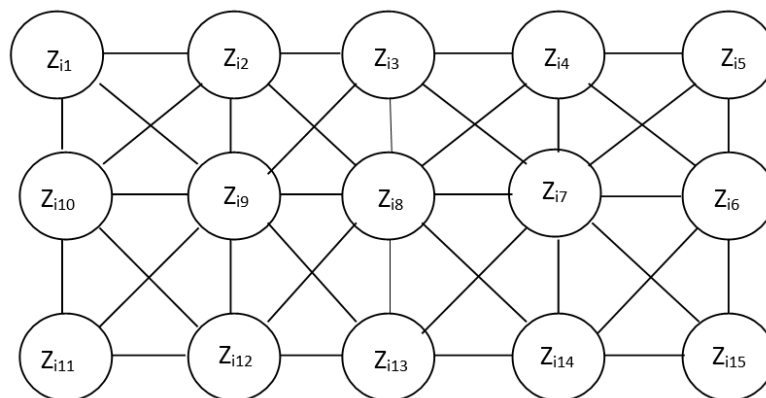
ჩაწეროთ 1. თუ მწვერვალები ერთმანეთთან არა არიან შეერთებული, მათი გადაკვეთის უჯრედში ჩაწეროთ 0.

ამასთან ერთად, მწვერვალებს მივუწეროთ შესაბამისი უჯრედების სიმკვრივისა და გამტარუნარიანობის ხარისხები:

	Zi1	Zi2	Zi3	Zi4	Zi5	Zi6	Zi7	Zi8	Zi9	Zi10
Zi1	η_{i1} ρ_{i1}	1							1	1
Zi2		η_{i2} ρ_{i2}								
Zi3			η_{i3} ρ_{i3}							
Zi4				η_{i4} ρ_{i4}						
Zi5					η_{i5} ρ_{i5}					
Zi6						η_{i6} ρ_{i6}				
Zi7							η_{i7} ρ_{i7}			
Zi8								η_{i8} ρ_{i8}		
Zi9									η_{i9} ρ_{i9}	
Zi10										η_{i10} ρ_{i10}

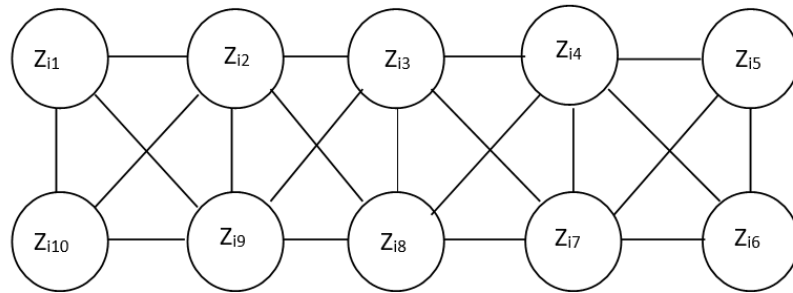
$I=1,2,3,\dots,n$, n - შრეების რაოდენობაა.

სურ. მოცემული გრაფისთვის - $i=1$;



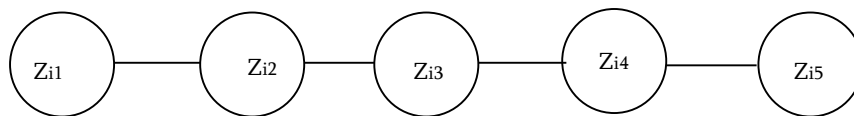
სურ. მოცემული გრაფისთვის - $i=2$;

სურ. მოცემული გრაფისთვის - $i=2$;



	Z _{i1}	Z _{i2}	Z _{i3}	Z _{i4}	Z _{i5}
Z _{i1}	η_{i1} ρ_{i1}	1	0	0	0
Z _{i2}	1	η_{i2} ρ_{i2}	1	0	0
Z _{i3}	0	1	η_{i3} ρ_{i3}	1	0
Z _{i4}	0	0	1	η_{i4} ρ_{i4}	1
Z _{i5}	0	0	0	1	η_{i5} ρ_{i5}

სურ. მოცემული გრაფისთვის - $i=n$;



ზონების შეფასების კრიტერიუმები:

შევაფასოთ ზონები მათში შექმნილი დაბრკოლებების კუთხით. დაბრკოლებები შეიძლება შეიქმნას 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 თვითმფრინავის ტიპების მიხედვით რამდენიმე 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 $\delta(Z_{ij}) = \frac{H_m(Z_{ij})}{H(Z_{ij})}$ 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; $V_m^w(Z_{ij})$ - 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 შემოგვაქვს 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, ინტეგრაციული ალგორითმი, ტალღური ალგორითმი და სხვა). ალტერნატიული მარშრუტის განსაზღვრის ამოცანა დაიყვანება სატრანსპორტო ამოცანამდე და ამ ამოცანის ამოხსნის ალგორითმამდე [34],[48],[59],[60].

შემუშავებული ალგორითმებისა და რადიოლოკაციის 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.

3.3. ელექტრომაგნიტური ველები და მათი თავსებადობის ანალიზი.

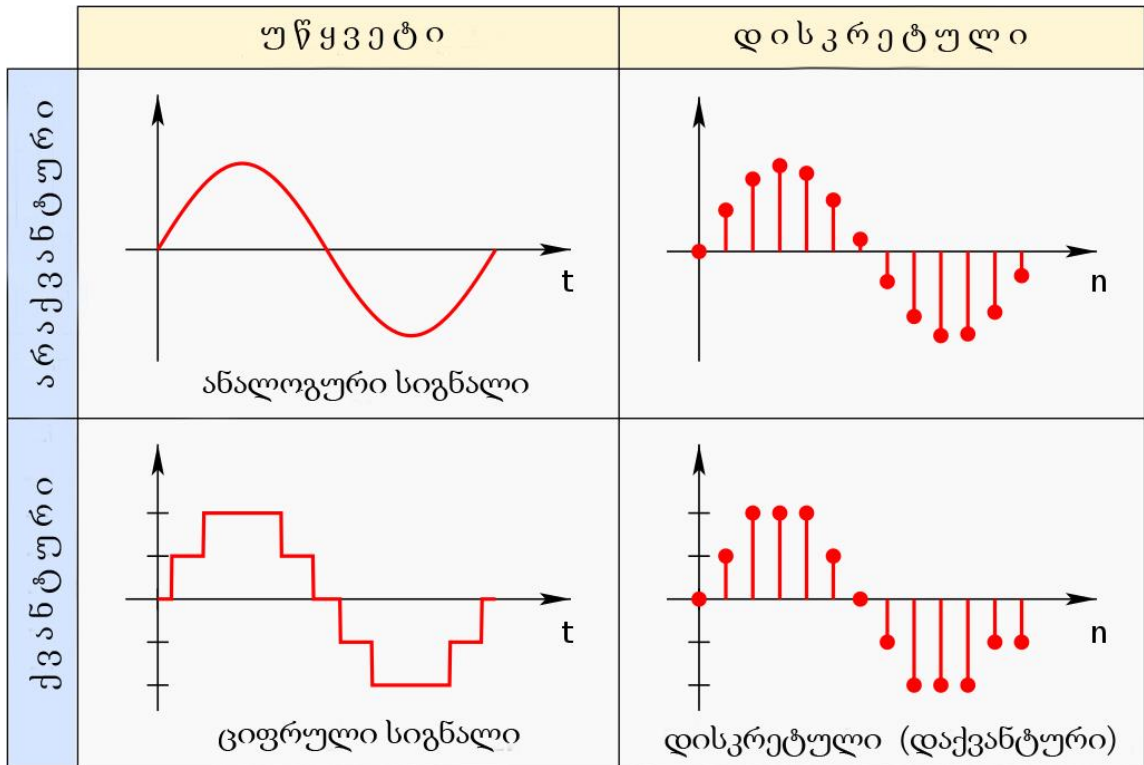
ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდის სახმელეთო დამხმარე სისტემა (*GBAS-Ground Based Augmentation System*) - სისტემა, რომელსაც მეშვეობითაც მომხმარებელი ღებულობს დამატებითი სახის სანავიგაციო სახის ინფორმაციას გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემიდან სახმელეთო გადამცემების მეშვეობით აეროდრომზე მანევრირებისას თუ აფრენა-დაფრენის მომენტში. აღნიშნული სახის სისტემა ხშირად ნახსენებია, როგორც ლოკალური დიფერენციალური ქვესისტემა ანუ ლდექ.

ტერმინი „*დაფრენის სისტემა GBAS*“ ან შემოკლებით *GLS (ინგ. GBAS Landing System)* გამოიყენება უშუალოდ დაფრენის ეტაპზე დამატებითი ფუნქციური შესაძლებლობების შეძენის მიზნით საჰაერო ნავიგაციური საკითხების გათვალისწინებიდან გამომდინარე.

GBAS-ის მოქმედების პრინციპი განვიხილეთ წინა თავში, შესაბამისად, ანალიზისა და შემაჯამებელი ნაწილის სახით შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ სააეროდრომო საჰაერო სივრცეში მანევრირება, დაფრენის სქემაზე შემოსვლა, დაფრენა, დამატებით წრეზე გასვლა და აფრენა, შესაძლებელია მხოლოდ ერთი, აეროდრომზე არსებული ფუნქციური შესაძლებლობების გაზრდის სახმელეთო დამხმარე სისტემის მეშვეობით, რომელიც ავტომატურად ადაპტირებული იქნება საჰაერო ხომალდის ტიპის მოწყობილობებთან. GBAS-ის გამოყენება პრაქტიკულად შეუზღუდავია საჰაერო ხომალდისა და აეროდრომის დისტანციებთან მიმართებაში და საკურსო-გლისადის სისტემასთან მიმართებაში არ მოითხოვს პირდაპირი ხედვის კუთხის შეზღუდულ დიაპაზონს. ამავდროულად მისი გამოყენება შესაძლებელია ერთდროულად დასაფრენად გამზადებული და აფრენის რეჟიმში მყოფი ხომალდებისათვის. სისტემა არ მოითხოვს საკურსო ტიპის მანიშნებელს, ისეთს რომელიც გამოიყენება ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის საკურსო სისტემაში [19],[21].

კავშირგაბმულობის ციფრული არხების გამოყენება გვადლევს შესაძლებლობას ყოველგვარი ხელშემშლელი ელექტრომაგნიტური ხმაურის ზეგავლენის გარეშე მოვახდინოთ ინფორმაციის გადატანა ლოკალურ-მაკორექტირებელი სადგურიდან (ლმს) საჰაერო ხომალდამდე და პირიქით. ციფრული სიგნალი წარმოადგენს სიგნალს,

რომლის გადაცემა შესაძლებელია დისკრეტული თანამიმდევრობების (ციფრების) მნიშვნელობის სახით. დღეისათვის მეტად გავრცელებულია ორობითი სახის (ბიტების ნაკადი) ციფრული სიგნალები თავიანთი კოდირება-დეკოდირების გამო შესაბამისი მოწყობილობების გამოყენებით. ციფრული და ანალოგური სახის სიგნალები შეგვიძლია ვიხილოთ ნახ.3.3.1.



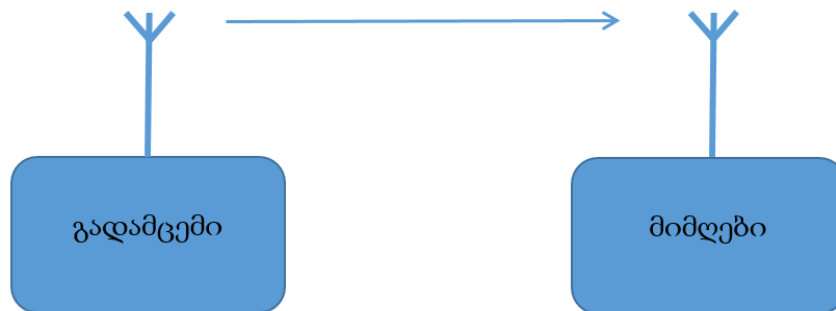
ნახ.3.3.1. ციფრული და ანალოგური სახის სიგნალები

მრავალანტენიანი ტექნოლოგია MIMO

MIMO (ინგ. *Multiple Input Multiple Output*) - სიგნალების სივრცული კოდირების მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს არხების გამტარუნარიანობის ზრდას n გადამცემი და m მიმღები ანტენების რაოდენობით. ამ დროს გადამცემი და მიმღები ანტენები ერთმანეთის მიმართ განლაგდებიან სუსტი კორელაციური შედეგის მიღებით მეზობელ ანტენებთან მიმართებაში [32].

მობილური ქსელებისადმი გამტარუნარიანობის მოთხოვნა დღითიდღე იზრდება, მიუხედავად ამისა გამტარი არხის ზოლის გაზრდა და მოდულაციის გამოყენება სრულყოფილად ვერ პასუხობს დადგმული ამოცანის კითხვებს გამტარუნარიანობის გაზრდასთან დაკავშირებით. ცხადია, სიხშირული დიაპაზონი შეზღუდულია.

რაციონალური გადაწყვეტილება მიიღება მრავალანტენიანი სისტემის MIMO-ს გამოყენებაში, რომლის დროსაც მიმდინარეობს სიგნალების შესაბამისი დამუშავება. განვიხილოთ MIMO-ს ნაირსახეობა, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია მონაცემების მიწოდება ერთ მომხმარებელთან. ინფორმაციის გადაცემის კლასიკური და ყველაზე მარტივი ვარიანტი გულისხმობს ერთი გადამცემი და ერთი მიმღები ანტენის არსებობას (იხ.ნახ.3.3.2.). ასეთ სისტემას MIMO-ს ტერმინოლოგიის გათვალისწინებით ეწოდება SISO – *Single Input Single Output*.



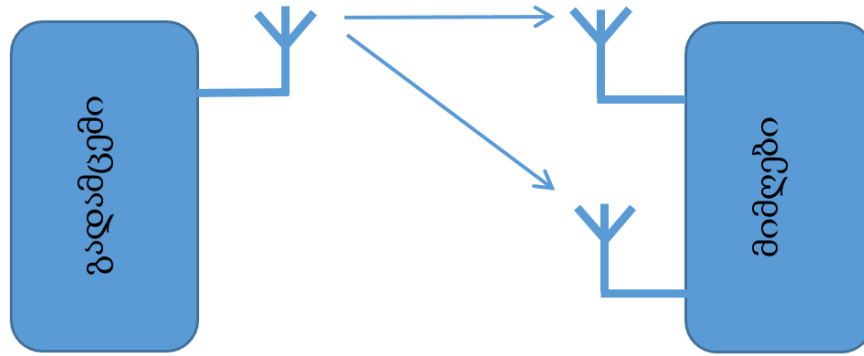
ნახ.3.3.2. გადაცემა და მიღება ერთი ანტენის გამოყენებით

აღნიშნული სისტემის გამტარუნარიანობის გაზრდა შესაძლებელია შირონის ფორმულის გამოყენებით:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ სადაც,}$$

C - არხის გამტარუნარიანობა, B – გატარების ზოლი, ხოლო S/N - სიგნალი/ხმაურის თანაფარდობა.

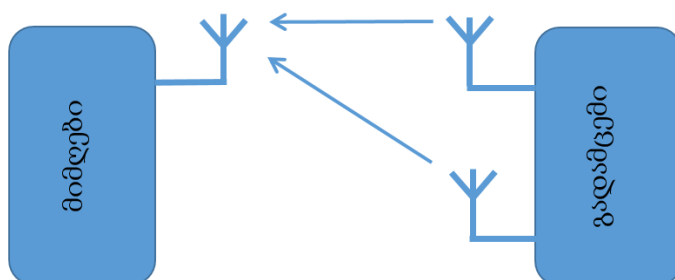
გაშლილი მიღების მეთოდი ანუ Rx Diversity, SISO – *Single Input Single Output* გულისხმობს უფრო მეტი ანტენების გამოყენებას სიგნალების მიღებისას ვიდრე გადაცემის დროს. აღნიშნული შემთხვევის უმარტივესი მაგალითი ნაჩვენებია ნახ.3.3.3.



ნახ. 3.3.3. ერთი გადამცემი და ორი მიმღები ანტენა

წარმოდგენილი ვარიანტი არ საჭიროებს სიგნალების განსაკუთრებულ მომზადებას გადაცემისას, აქედან გამომდინარე მისი პრაქტიკული რეალიზაცია არ წარმოადგენს რაიმე სახის სირთულეს. გაშლილი მიღების მეთოდით, ანუ სხვა და სხვა ანტენებით სიგნალის მიღებისას გამტარუნარიანობის გაუმჯობესება არ ხდება, თუმცა იზრდება გადაცემის საიმედოობა. ზომოთ ნაჩვენები სქემის რეალიზაციისას მიმღებში გვექნება ორი სიგნალი. მათი შესაბამისი და კორექტული დამუშავებისათვის არსებობს განსაზღვრული გზები. მაგალითად, შეიძლება შეირჩეს სიგნალი, რომლის სიგნალი/ხმაურის თანაფარდობა აღწევს საუკეთესო მაჩვენებელს. ასეთი მეთოდი ცნობილია, როგორც Switched Diversity, ან სულაც შესაძლებელია სიგნალების შეჯამება, რაც გვაძლევს საშუალებას გავაძლიეროთ სიგნალი/ხმაური თანაფარდობის პარამეტრული მნიშვნელობა. ასეთი მეთოდი ცნობილია როგორც MRC – Maximum Ratio Combining.

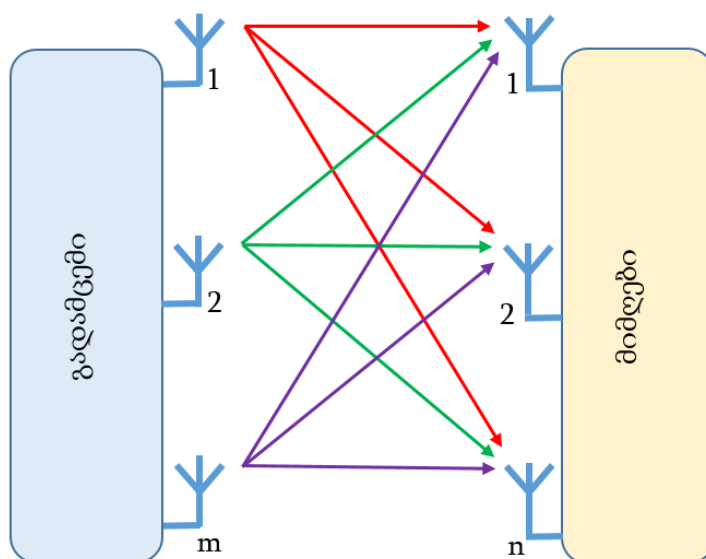
გადამცემი ანტენების გაშლილი განლაგება ანუ Tx Diversity, წარმოადგენს შემთხვევას, როდესაც ერთი და იგივე სიგნალი გადაიცემა სხვა და სხვა ანტენებით, ხოლო მიმღები ანტენა არის ერთი. აღნიშნული სახის ტექნოლოგია ცნობილია, როგორც MISO – Multiple Input Single Output. იხ.ნახ.3.3.4.



ნახ.3.3.4. ორი გადამცემი და ერთი მიმღები ანტენა

ისევე როგორც SIMO, MISO არ უზრუნველყოფს არხის გამტარუნარიანობის ზრდას, თუმცა ხელს უწყობს გადაცემის საიმედოობის ზრდას. ამასთან ერთად MISO-ს გამოყენება ხელს უწყობს აუცილებელი დამატებითი დამუშავების სიგნალის გადატანას მობილური მიმღების მხრიდან გადაცემ, საბაზო სადგურზე. საიმედო სიგნალის ფორმირებისას გამოიყენება სივრცულ-დროებითი კოდირება. ამ დროს სიგნალის ასლი გადაიცემა არა მხოლოდ სხვა ანტენიდან, არამედ გადაიცემა სხვა დროსაც. აგრეთვე შესაძლებელია სივრცულ-სიხშირული კოდირების გამოყენება.

სივრცული შემჭიდროება (*Spatial Multiplexing, MIMO – Multiple Input Multiple Output*) - მეთოდი ითვალისწინებს რამდენიმე ანტენის გამოყენებას როგორც გადაცემის ისევე მიღების დროს. წინა განხილული MISO და SIMO ვარიანტებისაგან განსხვავებით, აღნიშნული მეთოდის მიმართულებით არა გადაცემათა საიმედოობის გაზრდა, არამედ გადაცემის სისწრაფის მატება. აქედან გამომდინარე MIMO გამოიყენება ინფორმაციის მისაწოდებლად მობილური სადგურ-მომხმარებლებისთვის, რომლებიც იმყოფებიან დადებით რადიო პირობებში. MISO და SIMO ვარიანტები კი, გამოიყენება ინფორმაციის მისაწოდებლად იმ მობილურ სადგურ-მომხმარებლებზე, რომლებიც იმყოფებიან შედარებით გაუარესებულ რადიო პირობებში. MIMO-ს შემთხვევაში მონაცემთა გადაცემის სისწრაფის გაზრდის მიზნით გადასაცემ ინფორმაციის ნაკადს ყოფენ სათანადო რამდენიმე ნაკადის სახით და ყოველი მათგანი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გადაიცემა სხვა და სხვა ანტენის მეშვეობით. ქვემო ნახ.3.3.5. ნაჩვენებია საერთო სქემა.



ნახ. 3.3.5. MIMO გადაცემა m ანტენებისა და მიმღები n ანტენების რაოდენობით

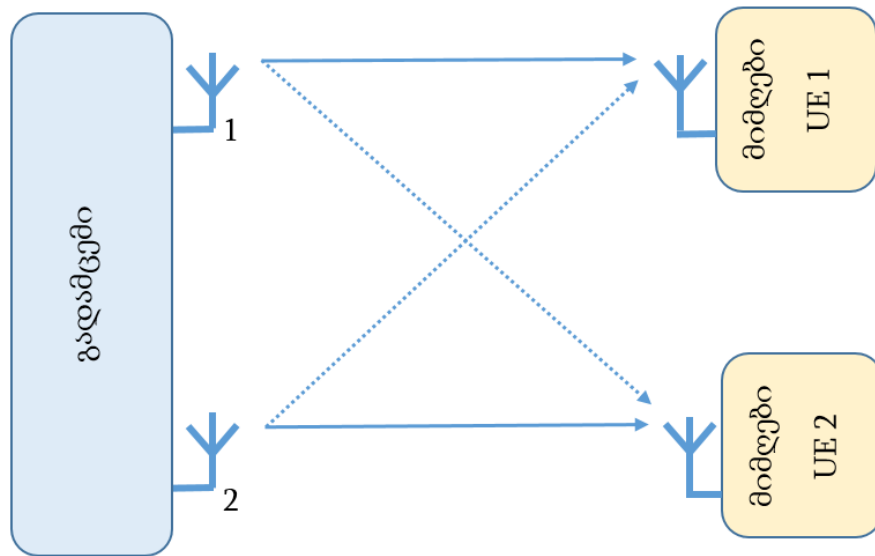
საერთო არხის გამოყენების გამო, ყოველი ანტენა ლეზულობს არ მხოლოდ კონკრეტულად მისთვის განკუთვნილ სიგნალებს, არამედ იმათაც, რომლებიც მიიღება სხვა დანარჩენი მიმღები ანტენებით. გადაცემის ცნობილი მატრიცის შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება სხვა და სხვა ანტენებზე მიღებული სიგნალების ზემოქმედების გათვალისწინება-გამოთვლა და შესაბამისად არასასურველი, ხელისშემშლელი ფაქტორების მინიმიზაცია [39].

დამოუკიდებელ ნაკადთა რაოდენობა, რომელთა გადაცემა შესაძლებელია ერთდროულად დამოკლებულია გამოყენებაში არსებული ანტენების რაოდენობაზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც გადამცემი და მიმღები ანტენების რაოდენობა თანაბარია, მაშინ დამოუკიდებელ მონაცემთა ნაკადთა რაოდენობა ტოლია ან ნაკლებია ანტენების რაოდენობაზე. მაგალითად MIMO-ს შემთხვევაში 4X4 მონაცემების ნაკადის დამოუკიდებელი რაოდენობა შეიძლება იყოს 4 ან ნაკლები. ხოლო თუ კი გადამცემი და მიმღები ანტენების რაოდენობა არ არის თანაბარი, მაშინ მონაცემების ნაკადის დამოუკიდებელი რაოდენობა ტოლი ან ნაკლები იქნება ანტენების მინიმალური რაოდენობისა. მაგალითად MIMO-ს შემთხვევაში 4X2 დამოუკიდებელ მონაცემთა ნაკადის რაოდენობა იქნება 2 ან უფრო ნაკლები. მაქსიმალური გამტარუნარიანობის გასარკვევად MIMO-ს შემთხვევაში გამოიყენება ე.წ. შირონის ფორმულა, რომელიც წარმოდგენილია თავის დასაწყისში.

მომხმარებელთა რაოდენობიდან გამომდინარე, რომლებთანაც ერთდროულად მიმდინარეობს მონაცემთა გადაცემა შეგვიძლია გამოვყოთ შემდგომი ვარიანტები:

- Single User MIMO (SU-MIMO), როდესაც ტექნოლოგია MIMO გამოიყენება მონაცემთა მიწოდებისათვის მხოლოდ ერთ მომხმარებელთან, ანუ ნებისმიერი ინფორმაცია განსაზღვრულია მხოლოდ ერთი მიმღები მომხმარებლისათვის [49].

- Multi User MIMO (MU-MIMO), როდესაც ტექნოლოგია MIMO გამოიყენება მონაცემების გადაცემისათვის ერთდროულად რამდენიმე მომხმარებელთან, ანუ როდესაც დამოუკიდებელ მონაცემთა ნაკადი განკუთვნილია სხვა და სხვა მომხმარებლისათვის. ნახ.3.3.6. ნაჩვენებია MU-MIMO-ს მაგალითი ორი მომხმარებლისათვის.



ნახ.3.3.6. MU-MIMO სისტემის ორი ანტენა და ორი მომხმარებლისათვის

3.4. დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრული სისტემის გარე ფაქტორებით გამოწვეული ხელშეშლებისაგან დაცვისა და ოპტიმალური ფუნქციონირების ანალიტიკური საკითხები.

გლობალური ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემა (GNSS – Global Navigation Satellite System), ფართოდ გამოიყენება სხვა და სხვა სფეროებში, როგორც ერთ-ერთი უზუსტესი გამზომი მოდულების ჯგუფი.

საავიაციო ინდუსტრიის სფეროში თანამგზავრული ტექნოლოგია სწრაფი ტემპებით ინტეგრირებადი ხდება საავიაციო დანიშნულების მოდულებთან, თუმცა არასაკმარისი სიზუსტე მანძილის გაზომვის მიმართ და შესაძლებელი ნელ ქმედითუნარიანობა მნიშვნელოვნად აფერხებს ზემოაღნიშნული სფეროების განვითარებას.

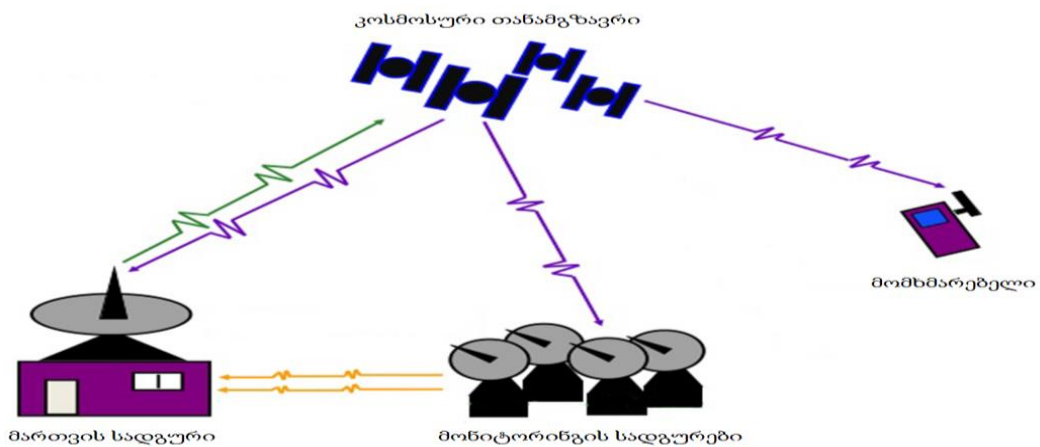
ნავიგაციის თანამგზავრული სისტემის სწორი მიმართულებით და სწრაფი ტემპებით განვითარებიდან და მისი მოქმედების პრინციპიდან გამომდინარე, იკვეთება ამ სისტემის მუშაობის პროცესში წარმოქმნილი ხელისშემშლელი პრობლემების გადაწყვეტის აუცილებელი ამოცანები. აქედან გამომდინარე, თანამედროვე პირობებში მეტად აქტუალურია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

დედამიწის ხელოვნური კოსმოსური თანამგზავრი წარმოადგენს გეოორბიტალურ აგრეგატს, რომელიც გამოიყენება ტელემაუწყებლობაში, კავშირგაბმულობასა და სამგანზომილებიან სივრცეში ორიენტირებისათვის. მისი გამოყენების შესაძლებლობა სხვადასხვა საქმიანობის სფეროების მიხედვით მრავალ პროფილურია. ჩვენს შემთხვევაში განვიხილავთ თანამგზავრების მეშვეობით ობიექტების ნავიგაციის სექტორს.

დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მოქმედების ზოგადი პრინციპი დაფუძნებულია ელექტრომაგნიტური სიგნალების მიღებაზე სახმელეთო სადგურებიდან ან თვით გენერაციასა და ტრანსლირებაზე. ყველაზე უფრო მეტად მნიშვნელოვან დაბრკოლებას წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური ტალღების მრავალჯერადი და არაკანონზომიერი რეფრაქცია, რომელიც გვხვდება სიგნალების

გადაცემა-მიღებისას მათი დედამიწის ატმოსფერული შრეების გავლის დროს. ამ შემთხვევაში არ იგულისხმება ის, რომ ინფორმაციული სიგნალი შეიძლება არ იქნეს მიღებული, არამედ საგულისხმოა ელექტრომაგნიტური ტალღების რეფრაქციის ფაქტორი, რომლის მიხედვითაც ჩვენთვის სასარგებლო სიგნალის ე.წ. ტრანზიტული დრო იზრდება და გვიშლის ხელს ზუსტი გათვლების შესრულებაში. ამასთანავე გასათვალისწინებელია კოსმოსური გამოსხივებების ზეგავლენა დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრებზე, რომლებსაც არ იცავს ან მეტ-ნაკლებად იცავს პლანეტის ატმოსფერო. თუ მხედველობაში არ მივიღებთ რადიაციულ გამოსხივებას, მაშინ ჩვენთვის ყველაზე უფრო მეტად ხელისშემშლელი აღმოჩნდება მზის ელექტრომაგნიტური „მრავალ სიხშირული„ გამოსხივება, რომელიც ხშირად მნიშვნელოვნად ამახინჯებს სასარგებლო სიგნალებს იმდენად, რამდენადაც მზე, როგორც აქტიური კოსმოსური ობიექტი, ერთდროულად „მაუწყებლობს“ უამრავ სიხშირეთა და სიგნალების სპექტრთა დიაპაზონში.

განვიხილოთ პრობლემატური საკითხები და საკვანძო მომენტები გლობალური პოზიცირების სისტემის მოქმედების მაგალითის საფუძველზე.(იხ.ნახ.3.5.1.)



ნახ.3.5.1. გლობალური პოზიცირების სისტემის მოქმედების პრინციპი

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 [14].

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

დედამიწა წარმოადგენს გეოიდს, ანუ არაერთგვაროვანად ამოხნეკილ შეკრულ ზედაპირს. ცხადია გეოიდს არ აქვს მარტივი მათემატიკური აღწერილობა.

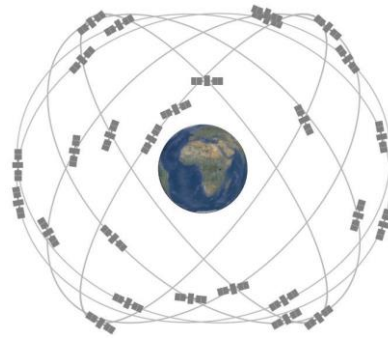
დედამიწის გეოიდური ფორმისა და მიზიდულების ძალების გამო კოსმოსური თანამგზავრი განიცდის არაკანონზომიერ აჩქარება-შენელებას, რაც იწვევს ცდომილებას ალგორითმით განსაზღვრულ კოორდინატებში. ე.ი. მომხმარებელი მიიღებს მცდარ კოორდინატებს. ამავდროულად ატმოსფეროს შრეებში სიგნალის გავლა დაკავშირებულია რეფრაქციასთან. რაც უფრო მეტჯერ გაივლის სიგნალი ამ შრეებს, თუნდაც კორექციის მიზნით, მით უფრო მაღალი იქნება სასარგებლო სიგნალების გარდატეხის კოეფიციენტი [12],[33].

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 გეო მაგნიტური ველი;

თანამგზავრები დედამიწის გარშემო ორბიტაზე მოძრაობისას ქმნიან ერთგვარ ბადეს (იხ.ნახ.3.5.2.). ყოველი თანამგზავრი მოძრაობს გარკვეული ალგორითმის

მიხედვით და ამავდროულად სახმელეთო ანტენებზე სიგნალების მიწოდების გზით თავის ჭეშმარიტ მდებარეობას ადარებს პროგრამული მარშრუტით განსაზღვრულ ადგილსამყოფელს. ეს რა თქმა უნდა წარმოადგენს გარკვეული კორექციის მეთოდს, თუმცა ვერ ითვალისწინებს ზემოთ ჩამოთვლილ ხელისშემშლელ მიზეზებს.



ნახ.3.5.2. თანამგზავრული ბადე

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 პოზიცირების 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 [24].

სახმელეთო და თანამგზავრული ანტენების დუპლექსური კავშირებისას აღარ იქნება საჭირო თითოეული თანამგზავრის ინდივიდუალური კორექცია სახმელეთო პოზიცირების ანტენებთან, ვინაიდან ისინი კოსმოსურ სივრცეშივე მოახდენენ დროის რეალურ რეჟიმში ერთმანეთის მიმართ კორექციას, ხოლო კოსმოსურ, პირობითად ერთგვაროვან გარემოში რეფრაქციის მაჩვენებელი შეიძლება უგულვებელყოფილ იქნეს სიძვირის გამო ან განისაზღვროს მისი გარდატეხის სტაბილური კოეფიციენტი. ამავდროულად მოიხსნება დედამიწის გეოიდურ, არაერთგვაროვან ზედაპირთან და პლანეტის არაერთგვაროვან 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 [23].

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 ცვლილების დადგენა. 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 პოზიციების სისტემებთან მიმართებაში შეიძლება ჩაითვალოს აქტუალურად და მიზანშეწონილად.

3.5. მეტეოროლოგიური პირობების შეფასება და მათი ანალიზი.

საჭაერო სივრცეში საფრენი აპარატების გადასადგილებლად, მოძრაობისა თუ სხვა და სხვა ფუნქციური მოქმედებების შესასრულებლად აუცილებელია მეტეოროლოგიური პირობების გათვალისწინება, ისეთის როგორცაა ქარი, ხილვადობა, ტენიანობა, ტემპერატურა და ზოგიერთ შემთხვევაში ატმოსფერული წნევაც კი.

ქარი წარმოადგენს ერთერთ უმნიშვნელოვანეს ელემენტს ნავიგაციური ამოცანებში შესრულება-ამოხსნისა და მისმა გაუთვალისწინებლობამ შესაძლოა მიიყვანოს ეკიპაჟისა თუ სხ-ის მგზავრები ფატალურ შედეგამდე. ქარს გააჩნია მიმართულება და სიჩქარე, რომელიც აუცილებლად უნდა მიღებულ იქნას მხედველობაში საჭაერო ხომალდის აფრენა-დაფრენის, თუ საკრუიზო ეტაპების შესრულებისა, რამე თუ ის მეტად მნიშვნელოვანია უსაფრთხო ავია მიმოსვლების განხორციელებისათვის. ხშირ შემთხვევაში სწორედ ქარის მაჩვენებლებზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება სხ-ის აფრენა-დაფრენის გარბენის სიგრძე, სამარშრუტო ფრენის ხანგრძლივობა და ცხადია, საწვავის საჭირო მარაგი თვითმფრინავის ავზებში, რაც ხშირ შემთხვევაში პირდაპირ აისახება ფრენის ფინანსურ ეკონომიურობასა და შესაბამისად ავიაბილეთების ტარიფებზეც კი.

ქარი წარმოადგენს დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ ჰაერის მასების გადაადგილების პროცესს, რომელიც გამოწვეულია დედამიწის ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში ატმოსფერულ წნევათა ცვალებადობით ანდა სხვაობით. ქარს ახასიათებს ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა მიმართულება და სიჩქარე. ისინი კი თავის მხრივ იცვლებიან სიმაღლის, დროის, ადგილის, ატმოსფერული წნევიდან და ტემპერატურის მიხედვით. მრავალჯერადმა ექსპერიმენტმა, დაკვირვებამ და გამოკვლევამ ცხადყო, რომ ქარის პარამეტრული ცვლილებები ექვემდებარებიან გარკვეული სახის კანონზომიერებებს. ასე მაგალითად პლანეტის ზედაპირიდან სიმაღლის ზრდასთან ერთად ტროპოსფერომდე ქარის სიჩქარე მატულობს, ხოლო მაქსიმალურ ნიშნულს ტროპოპაუზის ქვედა მიახლოებულ შრეებში აღწევს. აღსანიშნავია, რომ ნორმალურ პირობებში სიმაღლის ყოველ 1000მ-ით მატებისას

ქარის სიჩქარე იზრდება დაახლოებით 10-15 კმ/სთ-ით. ქარის სიჩქარის შემცირება კი აღინიშნება ტროპოსფეროსა და ტროპოპაუზის ქვედა ნაწილში. 100-დან - 300 კმ/სთ და მეტი ქარის სიჩქარე ვლინდება ე.წ. რეაქტიულ დინებაში, რომელიც წარმოიქმნება წესისამებრ სტრატოსფეროსა და ტროპოსფეროს საზღვარზე. მაგალითად, ცნობილია შემთხვევა, როდესაც რეაქტიულ დინებაში ქარის სიჩქარემ წყნარი ოკეანის თავზე შეადგინა 750კმ/სთ. ქარის კიდევ ერთ დამახასიათებელ თვისებად შეიძლება ჩავთვალოთ ის, რომ მაღალი სიჩქარის ქარი უფრო ხშირად სტაბილურია მიმართულებით და ნაკლებად სტაბილურია სიჩქარის შენარჩუნებისადმი, ხოლო პატარა სიჩქარის ქარი პირიქით - ცვალებადია მიმართულებით და სტაბილურია სიჩქარით [40],[52].

ფრენის შესრულებისას საჭაერო ხომალდი იცვლის ადგილმდებარეობას, სიმაღლეს, ტემპერატურულ ზონებს და შესაბამისად ეკიპაჟის წევრები იძულებულნი ხდებიან სანავიგაციო ამოცანების ამოხსნისას რამდენიმეჯერ განსაზღვრონ და მხედველობაში მიიღონ ქარის ახალი პარამეტრები. თუმცა საბედნიეროდ თანამედროვე სანავიგაციო მეტეო სადგურები და მათი დისპეტჩერები უმარტივებენ ასეთი ამოცანებს ეკიპაჟის წევრებს, მაგრამ ცხადია, რომ აღნიშნული მეტეო ამოცანები ისევ და ისევ ინარჩუნებს აქტუალურობა. არსებობს ქარის მიმართულების ორი სახეობა, რომელიც მეტწილად გაითვალისწინება ნავიგაციაში: - მეტეოროლოგიური და ნავიგაციური.

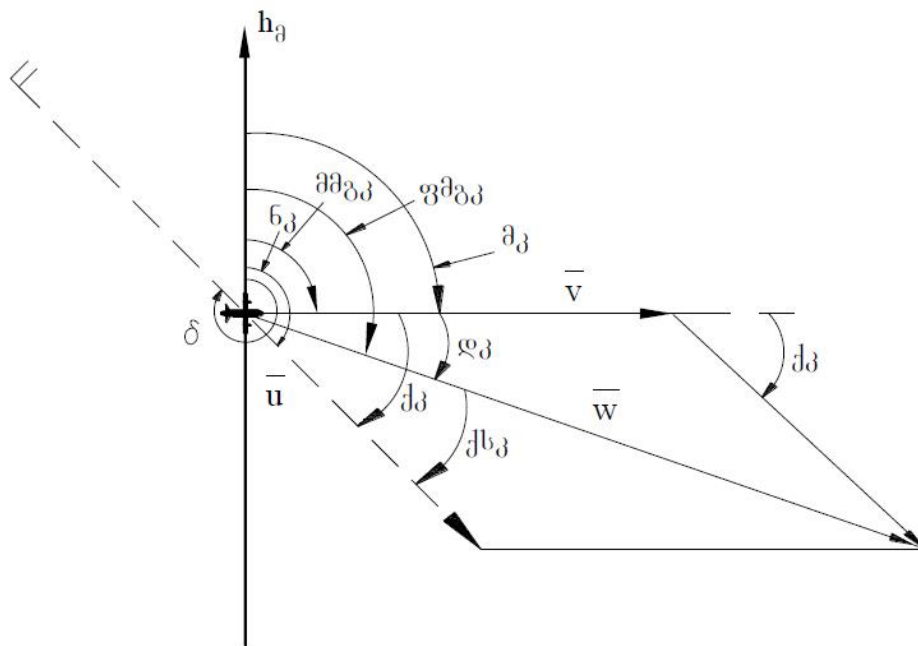
ქარის მეტეოროლოგიური მიმართულება (ბა) წარმოადგენს კუთხეს, რომელიც მოქცეულია მაგნიტური მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებასა და იმ მიმართულებას შორის, რომლიდანაც ქრის ქარი. აღნიშნული კუთხე აითვლება 0⁰-დან 360⁰-მდე საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ზოგიერთ სახელმწიფოში სინოპტიკოსების მიერ მეტეოროლოგიური ქარის მიმართულების ათვლა ხდება ჭეშმარიტი მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებიდან. მიუხედავად ამისა ძირითადად გამოიყენება მეტეოროლოგიური ქარის მაგნიტური მიმართულება, შესაბამისად თუ მოცემული იქნება ქარის მიმართულება ჭეშმარიტი მერიდიანიდან, ის უნდა იქნას გადაყვანილი მაგნიტურ მიმართულებაში: $\delta^0 m = \delta^0 n + (\pm \Delta M)$.

საჰაერო სანავიგაციო გამოთვლების წარმოებისათვის გამოიყენება ნავიგაციური ქარი, რომელიც განსხვავდება მეტეოროლოგიური ქარისაგან 180° -ით. ნავიგაციური ქარი შეადგენს კუთხეს, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტური მიმართულების ჩრდილო მიმართულებასა და ქარის დინების მიმართულებას შორის.

ქარის სიჩქარის გაზომვა შესაძლებელია კილომეტრ/საათებში, მეტრ/საათებში ან კვანძებში [40].

ფრენებთან დაკავშირებული სანავიგაციო ამოცანების ამოხსნისათვის საჭიროა სწორად იქნეს მოაზრებული, ის თუ როგორ გამოვლინდება ქარის ზემოქმედება საჰაერო ხომალდსა და მის საჰაერო სივრცეში ადგილმდებარეობასთან მიმართებაში. ქარის, ანუ იგივე ჰაერის მასების ნაკადის უძრაობა, რომელიც ცნობილია შტილის სახით, წესისამებრ იშვიათი მოვლენაა. როგორც წესი საჰაერო ხომალდი გადაადგილდება ერთმანეთისადმი მოძრავი ჰაერის მასების მიმართ ან ჰაერის მასების ნაკადთან ერთად დედამიწის ზედაპირთან მიმართებაში.

აღნიშნული სახის გადაადგილება შეგვიძლია ვიხილოთ ნახ.3.6.1



ნახ.3.6.1. საჰაერო მასებისა და მფრინავი ობიექტის სქემატური გადაადგილება

სხ მოძრაობს თავისი გრძივი ღერძის გასწვრივ ჰაერის მასების გადაადგილების გათვალისწინებით, იმდენად რამდენადაც თვითმფრინავის სიჩქარის ვექტორი ემთხვევა მისი გრძივი ღერძის მიმართულებას. ამავდროულად

გასათვალისწინებელია, რომ სხ-ის და ქარის მიმართულება ერთმანეთის თანხვედრილია, ე.ი. თვითმფრინავის გადაადგილება დედამიწის ზედაპირის მიმართ წარმოადგენს სხ-ის საჰაერო სიჩქარის და ქარის სიჩქარის ვექტორების ჯამს.

ნახაზიდან გამომდინარე შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ სიჩქარეების ტოლქმედს (W) ფმგკ (ფაქტიური მაგნიტური გზის კუთხე), საიდანაც მისი მნიშვნელობა შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U}$$

სადაც W არის საგზაო სიჩქარე, V- ნამდვილი (ჭეშმარიტი) სიჩქარე, ხოლო U- ქარის სიჩქარე. ე.ი. მხედველობაში მიიღება საჰაერო სიჩქარისა (V) და ქარის სიჩქარის (U) ვექტორი, საიდანაც მიიღება მათი წარმოებული - საგზაო სიჩქარის ვექტორი.

ეს ზემოთხსენებული ვექტორები ქმნიან სამკუთხედს, რომელიც ცნობილია ნავიგაციური სიჩქარეების სამკუთხედის სახელწოდებით.

\vec{V} - საჰაერო სიჩქარის ვექტორი განისაზღვრება თვითმფრინავის მაგნიტური კურსითა და საჰაერო სიჩქარის სიდიდით.

\vec{U} - ქარის ვექტორი განისაზღვრება ქარის სიჩქარითა და მისი მიმართულებით.

\vec{W} - საგზაო სიჩქარის ვექტორი განისაზღვრება მაგნიტური გზის კუთხითა და საგზაო სიჩქარის სიდიდით.

მკ (მაგნიტური კურსი) - კუთხე, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტური მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებასა და საჰაერო სიჩქარის ვექტორის მიმართულებას შორის.

მქ (მეტეოროლოგიური ქარი) - კუთხე, რომელიც იმყოფება მაგნიტური მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებასა და იმ მიმართულებას შორის, საიდანაც ქრის ქარი.

დკ (დაცურების კუთხე) - კუთხე საჰაერო სიჩქარის ვექტორსა და საგზაო ვექტორს შორის. დკ-ს ათვლა შესაძლებელია თვითმფრინავის გრძივი ღერძის ხაზიდან ფაქტიური გზის ზოლამდე. შესაბამისად მას შეიძლება ჰქონდეს დადებითი ან უარყოფითი („+“ / „-“) ნიშანი.

ქკ (ქარის კუთხე) - კუთხე მოცემულ გზის ზოლსა და ქარის ვექტორს შორის.

ქსკ (ქარის საკურსო კუთხე) - კუთხე საგზაო სიჩქარის ვექტორსა და ქარის ვექტორს შორის.

ბ⁶ (ქარის ნავიგაციური მიმართულება) - კუთხე, რომელიც არის მაგნიტური მერიდიანის ჩრდილო მიმართულებასა და ქარის ვექტორს შორის.

მგკ (მაგნიტური გზის კუთხე) - კუთხე მაგნიტურ მერიდიანსა და გზის ზოლს შორის. გზის ზოლი შეიძლება იყოს მოცემული (მგზ) და ფაქტიური (ფგზ), შესაბამისად მაგნიტური გზის ზოლი შეიძლება იყოს მოცემული (მმგზ) და ფაქტიური (ფმგზ).

მეტეოროლოგიური პირობების ერთერთი უმნიშვნელოვანესი და მეტად გასათვალისწინებელი ნაწილია ვიზუალური კავშირის დამყარება ეკიპაჟის (პილოტების) მხრიდან, განსაკუთრებით კი დაფრენის ეტაპზე. ეს ეტაპი მეტად მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე და არანაკლებ მნიშვნელოვანია ავიაკომპანიის ეკონომიკურ მაჩვენებელთან მიმართებაში. აღსანიშნავია აქვე, რომ ეკონომიკურსა და უსაფრთხოების საკითხებთან დაკავშირებით უპირველესი მნიშვნელობა ამ უკანასკნელს ენიჭება. ხილვადობასა და ვიზუალური კავშირის დამყარებასთან მიმართებაში არსებობს გარკვეული სახის სტანდარტები, რომლის დაკმაყოფილება პირდაპირ კავშირშია უსაფრთხო ფრენების შესრულებასთან. ამავდროულად არასაკმარისი ან სტანდარტულ მინიმუმებზე უფრო ნაკლები ნიშნულების დროს ხშირ შემთხვევაში ავიაკომპანია განიცდის ფინანსურ ზარალს, ავია საწვავის დამატებითი ხარჯვით, საჰაერო სივრცის გამოყენებით ან სათადარიგო აეროდრომზე გადაფრენა/დაფრენით. ყოველივე ამ ზემოხსენებულის გათვალისწინებით შემუშავებულია გარკვეული სახის შეზღუდვები, რომლებიც წარმოადგენენ ე.წ. სტანდარტულ ნიშნულებს. ასეთი სახის სტანდარტები მისადაგებულია შესაბამისი ტიპის აეროდრომებთან, რომლებიც თავის მხრივ აღჭურვილია სათანადო რადიოლოკაციური, ნავიგაციური თუ აფრენა-დაფრენის მოწყობილობებით. ცხადია, აღნიშნული სახის სტანდარტები ექვემდებარება ICAO (International Civil Aviation Organization)-ს ნორმებს და შესაძლებელია უფრო გამკაცრებული იყოს უშუალო აეროდრომის ექსპლუატატორის მიერ, რაც აუცილებლად უნდა იქნეს მითითებული ავია რუკებისა და სანავიგაციო ბაზებში.

დაფრენის წინა ეტაპზე ხილვადობასთან დაკავშირებით შემუშავებულია შემდეგი სახის შეზღუდვა-კრიტერიუმები, რომელთა დაცვა და გათვალისწინება აუცილებელია უსაფრთხო ფრენის შესრულებისათვის.

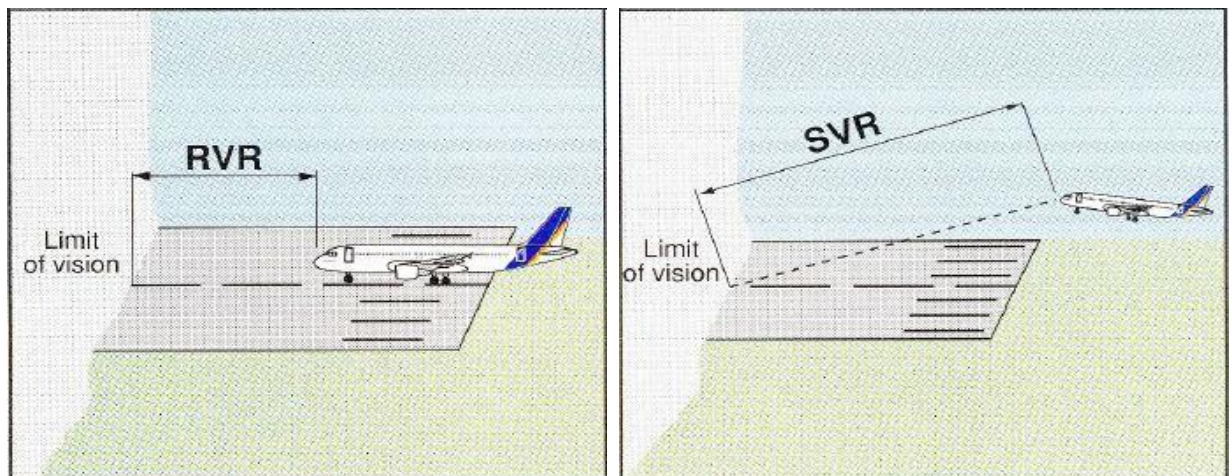
საკაერო ხომალდის კლასის, აეროდრომისა და დაფრენის რადიოლოკაციური მოწყობილობების მიხედვით განასხვავებენ მინიმალური ზღვრების კატეგორიებს, რომლებიც მიესადაგება ზუსტ და არაზუსტ დაფრენას.

მეტეო მინიმუმი - მინიმალური მნიშვნელობა ღრუბლიანობის სიმაღლის ქვედა ზღვრისა (ღსქზ) და ჰორიზონტალური მხედველობისა (ჰმ), რომლის დროსაც დასაშვებია სხ-ით აფრენა-დაფრენების შესრულება. შესაბამისად მეტეო მინიმუმის რიცხვითი მახასიათებელი შედგება ორი ნიშნულისგან, მაგალითად: 60X800 - ღსქზ, ჰმ.

აგრეთვე არსებობს საყოველთაოდ ცნობილი მეტეო მინიმუმები, რომლებიც დაწესებულია საერთაშორისო სამოქალაქო საავიაციო ორგანიზაციის მიერ რთული მეტეოროლოგიური პირობების (რმპ) გათვალისწინებით.

არსებობს I, II, IIIA, IIIB და IIIC კატეგორიები (*ხშირად აღინიშნება როგორც CAT.I, CAT.II, CAT.IIIA, CAT.IIIB და CAT.IIIC*).

პირდაპირი და ადზ-ზე ხილვადობის მაგალითები ნაჩვენებია სურ.3.6.2.



სურ. 3.6.2. ხილვადობა ადზ-ზე და პირდაპირი ხილვადობა

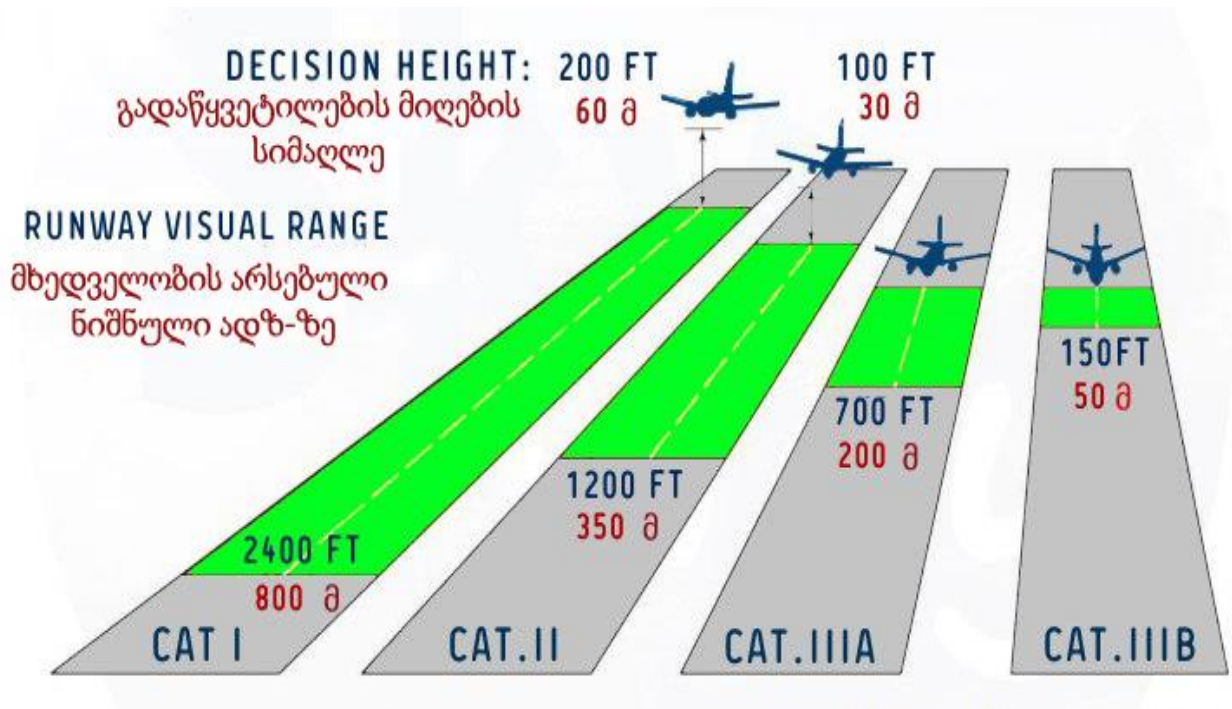
RVR – *Runway Visual Range* (ხილვადობის სიგრძე ადზ-ზე).

SVR – *Slant Visual Range* (პირდაპირი ხილვადობის სიგრძე).

- CAT I - ზუსტი დაფრენის შესრულება ან დაფრენა ხელსაწყოების მეშვეობით გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლიდან არანაკლებ 60მ-ისა და ხილვადობის 800მ-ის ან და ადზ-ზე 550მ ხილვადობისა.

- CAT II - ზუსტი დაფრენის შესრულება ან დაფრენა ხელსაწყოების მეშვეობით გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლიდან არანაკლებ 60მ-ისა, მაგრამ არანაკლებ 30მ სიმაღლისა ადზ-ზე 350მ-ზე ნაკლები ხილვადობისას.
 - CAT IIIA - ზუსტი დაფრენის შესრულება ან დაფრენა ხელსაწყოების მეშვეობით:
 - ა) გადაწყვეტილების მიღების 30მ-იან სიმაღლიდან ან ხილვადობის შეზღუდვების გარეშე ადზ-ზე;
 - ბ) არანაკლებ 200მ-იანი ხილვადობისა ადზ-ზე.
 - CAT IIIB - ზუსტი დაფრენის შესრულება ან დაფრენა ხელსაწყოების მეშვეობით:
 - ა) გადაწყვეტილების მიღების 15მ სიმაღლიდან ან ხილვადობის შეზღუდვების გარეშე ადზ-ზე;
 - ბ) ადზ-ზე 200მ ხილვადობისა, მაგრამ არანაკლებ 50მ-იანი ხილვადობისა;
 - CAT IIIC - ზუსტი დაფრენის შესრულება ან დაფრენა ხელსაწყოების მეშვეობით ყოველგვარი შეზღუდვების გარეშე გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლისა და ადზ-ზე პირდაპირ ხილვადობასთან მიმართებაში.
- ❖ *შენიშვნა: გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლის და ადზ-ზე ხილვადობის ერთი და იგივე კატეგორიაში მოხვედრისას, კატეგორია რომელსაც შეიძლება მივაკუთვნოთ ფრენა, განისაზღვრება ან გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლით ან ადზ-ზე არსებული ხილვადობით. ფრენა უნდა შესრულდეს რაც შეიძლება ნაკლები მინიმუმების გათვალისწინებით.*

ნახ.3.6.3. ნაჩვენებია დასაშვები მეტეო მინიმუმები ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ზღვრებში.

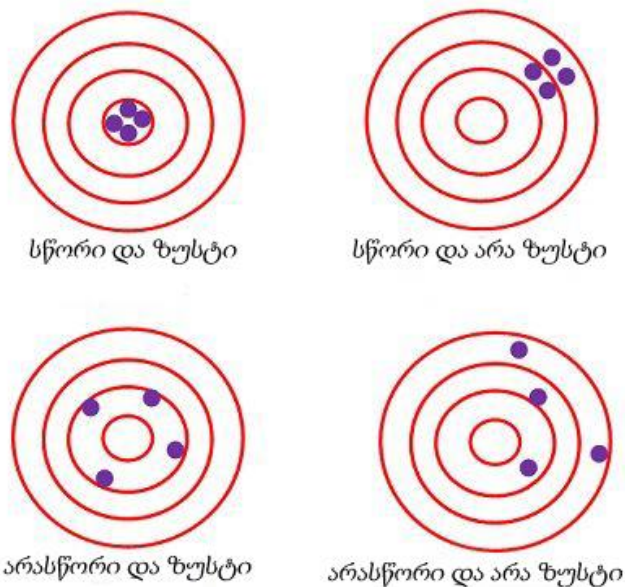


ნახ. 3.6.3. დასაშვები მეტეო მინიმუმები ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ზღვრებში

აღნიშნული მინიმალური დაშვებული ხილვადობის ზღვრების, ქარის მიმართულებისა და სხვა განსაზღვრული მეტეო პირობების პარამეტრების გათვალისწინებით შესაძლებელი ხდება ყოველი კატეგორიის საჰაერო ხომალდისათვის შერჩეულ იქნეს ოპტიმალური აფრენა-დაფრენის თანამგზავრულ კოორდინატებზე აგებული ვირტუალური საჰაერო დერეფანი, რომელიც მორგებული იქნება ლანდშაფტურ პირობებზე. ამავდროულად გასათვალისწინებელია, რომ ტრადიციული ინსტრუმენტული დაფრენის სისტემის მსგავსი სტაციონარული და ძვირადღირებული დანადგარების გამოყენების აუცილებლობა საკვებით აღარ იყოს საჭირო [57].

3.6. გაზრდილი სიზუსტის, ერგონომიულობის და შემცირებული რისკფაქტორის ანალიზი სისტემის ფუნქციური მოდელირების თეორიული მაგალითის საფუძველზე.

სიზუსტე, გამოთვლითი შედეგების სიზუსტე - გაზომილი სიდიდის მნიშვნელობის სიახლოვე ჭეშმარიტი სიდიდის მნიშვნელობასთან. გაზომვების სიზუსტე აღწერს გაზომვების ხარისხს მთლიანობას და აერთიანებს ისეთ მნიშვნელობებს, როგორცაა გაზომვების სისწორე და გაზომვების სიზუსტე (პრეცეზიულობა). სიზუსტის მნიშვნელობა გამოიყენება გამზომი საშუალებების დადებითი ხარისხის მახასიათებლის მაჩვენებლის ცდომილების ნულისკენ მისწრაფების სახით. იხ.სურ.3.6.1.



ნახ. 3.6.1. სიზუსტისა და სისწორის ილუსტრაცია

ერგონომიკა (ბერ. მუშაობა + კანონი) - მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ერთი ობიექტის მეორესთან მორგებულობას, მარტივ ადაპტაციას, თანამდებობრივი მოვალეობების ერთმანეთთან ურთიერთშეთანწყობას ადამიანის ფიზიკური, გონებრივი და ფსიქოლოგიური უნარ-თვისებების გათვალისწინებით.

ერგონომიკის უფრო ფართო განსაზღვრება, რომელიც მიღებულ იქნა ერგონომიკის საერთაშორისო ასოციაციის მიერ 2010 წელს, შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად: ადამიანისა და სისტემაში შემავალი სხვა ელემენტების შემსწავლელი სამეცნიერო

დისციპლინა, თეორიული პრინციპების გამოყენების ქმედითუნარიანობის სფერო, მონაცემებისა და მეცნიერული მეთოდების პრაქტიკული გამოყენების დარგი ადამიანის კეთილდღეობისა და სისტემის საერთო წარმოებულობის გაზრდის გათვალისწინებით.

გარემოების თავსებადობის სახეობები - „ადამიანი-მანქანა“

ანთროპომეტრული თავსებადობა - ადამიანის სხეულის ზომების გათვალისწინება, გარშემო სივრცის აღქმის შესაძლებლობის გათვალისწინებით ოპერატორის მუშა მდგომარეობისას.

სენსომოტორული თავსებადობა - ადამიანის მოტორული ფუნქციების სიჩქარის გათვალისწინება და მისი სენსორული რეაქციები გამლიზიანებლის სხვა და სხვა სახეობებზე.

ენერგეტიკული თავსებადობა - მართვის ორგანოებზე დატვირთვების განსაზღვრა ადამიანის ფიზიკური ძალისა და შესაძლებლობების გათვალისწინებით.

ფსიქოფიზიკური თავსებადობა - ადამიანის რეაქციის გათვალისწინება ფერზე, ფერთა გამაზე, მიწოდებული სიგნალების სიხშირული დიაპაზონზე, ფორმასა და მანქანის სხვა ესთეტიკურ მახასიათებლებზე.

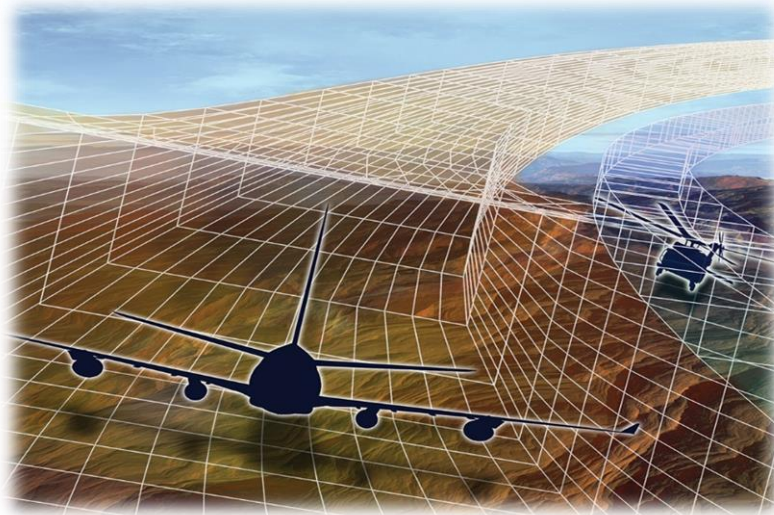
ერგონომიკა ითვალისწინებს და მიზნად ისახავს ისეთი გარემო ვითარების შექმნას ადამიანის სრულფასოვანი, კომფორტული ქმედითუნარიანობის შესანარჩუნებლად, რომელიც მთლიანობაში რაციონალურად გამოვლინდება სისტემის ან მასში შემავალი თითოეული ელემენტის ფუნქციონირებისათვის. ერგონომიკული ტექნიკური ექსპლუატაციისათვის აუცილებელია ადამიანის, როგორც ცენტრალური მმართველი ობიექტისათვის, გონების კონცენტრირება საერთო ამოცანის შესრულებისათვის გათვალისწინებულ საკითხებზე, ისე რომ არ იყოს გამოტოვებული რაიმე სახის, თუნდაც უმნიშვნელო ელემენტები, იმდენად რამდენადაც მცირეხარისხვანი ცდომილებათა საერთო ჯამურმა მაჩვენებელმა შესაძლოა მნიშვნელოვნად იმოქმედოს დასახული ამოცანის მიზანსა და საბოლოო შედეგზე. შექმნილ სტრესულ გარემოს ერთვის ადამიანის ნერვული დაძაბულობა, რაც ცხადია, უარყოფითად მოქმედებს ამოცანაში დასმული შედეგებამდე მისვლის

გზებზე. თანამედროვე საჰაერო ხომალდის მართვისა და კონტროლის მოდული ასახულია სურათზე. იხ.ნახ.3.6.2.



ნახ. 3.6.2. საჰაერო ხომალდის მართვის მოდული ადამიანის კონტროლის გათვალისწინებით მოყვანილი ილუსტრაციის განხილვიდან გამომდინარე შეგვიძლია ვიმსჯელოთ და აღვნიშნოთ, რომ საჰაერო ხომალდის მართვის მოდულში გამოიყენება უამრავი კრემალიერი, ბერკეტი, ღილაკი და ტუმბლერი. მათი გამოყენების ნაწილი ავტომატიზებული ან ნახევრად ავტომატიზებულია, რაც გარკვეულწილად ამაღლებს ერგონომიულობის მაჩვენებელს. ვაწყდებით ადამიანისა და კომპიუტერული, გამოთვლითი ტექნიკის ერთმანეთთან შეკავშირების ამოცანას[54]. თანამედროვე ერგონომიკის დარგში მოღვაწე მეცნიერების ნაწილი, მოწინავე ავტო მწარმოებლები და კიბერნეტიკულ ნანოტექნოლოგიებზე სპეციალიზებული საწარმოები გარკვეულწილად თანხმდებიან ერთ, მეტად საინტერესო საკითხზე: ადამიანის მიერ

შესრულებულ ან შესასრულებელ ოპერაცია-ამოცანას ასრულებს უშუალოდ ადამიანის გონება, დამხმარე საშუალებების გარეშე. ასევე ფუნქციონირებს თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკა, დამოუკიდებლად. მას ენიჭება ამოცანა და ის იწყებს ამ ამოცანაზე მუშაობას. საქმე მდგომარეობს იმაში, რომ მანქანა იყენებს დისკრეტულ ენას, ალგორითმებს, კანონზომიერებას, მათემატიკურ გამოთვლებს დროის განსაზღვრულ და საჭირო მომენტში. ამ ყველაფერს ერთვის ის, რომ ამოცანების, გამოთვლების წარმოება შესაძლებელია უსასრულოდ და დაუღალავად, რაც რადიკალურად განსხვავდება ადამიანის გონების შესაძლებლობებისაგან. ყველაზე დიდ სირთულეს მეცნიერები აწყდებიან მაშინ, როდესაც ცდილობენ მანქანისა და ადამიანის გონებრივი შესაძლებლობების გაერთიანებას. ადამიანი მაინც რჩება ძირითადი მართვის მოდულის როლში, რომელშიც ცდომილების ალბათობა მეტია ვიდრე გამოთვლით ტექნიკაში. გამოსავალი მდგომარეობს იმაში, რომ ჩვენს ხელთ არსებული საჰაერო, საზღვაო თუ სახმელეთო ტრანსპორტი სრულიად გადავიყვანოთ ავტომატური ექსპლუატაციის რეჟიმში, ცხადია იმ პირობით, რომ შეიქმნება გაცილებით უსაფრთხო, მაღალი საიმედოობის, ერგონომიკული და მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის მქონე ქვესისტემები, რომელთა ჯამური გამოყენებით შესრულდება საერთო ამოცანა. ერთ-ერთი დამხმარე სისტემა წარმოდგენილია ვირტუალური საჰაერო სამარშრუტო გზების სახით, რომელშიც ვირტუალური საჰაერო სამარშრუტო ბადე და ბადის წიბოების თანაკვეთა წარმოადგენს კოსმოსურ-თანამგზავრული სანავიგაციო სისტემის ვირტუალურ-კოორდინირებულ სივრცულ წერტილს (იხ.ნახ.3.6.3.). გაცილებით მარტივდება საჰაერო ხომალდის მართვის ამოცანა არა მარტო ადამიანისათვის, არამედ გამოთვლითი მანქანებისათვისაც. ამ ყოველივეს შერწყმა VR (Virtual Reality) ვირტუალური რეალობის ტექნოლოგიასთან მიგვიყვანს ან გაცილებით დაგვაახლოვებს სასურველ შედეგსა და გადადგამს უდიდეს ნაბიჯს მომავლის ტექნოლოგიებისაკენ.

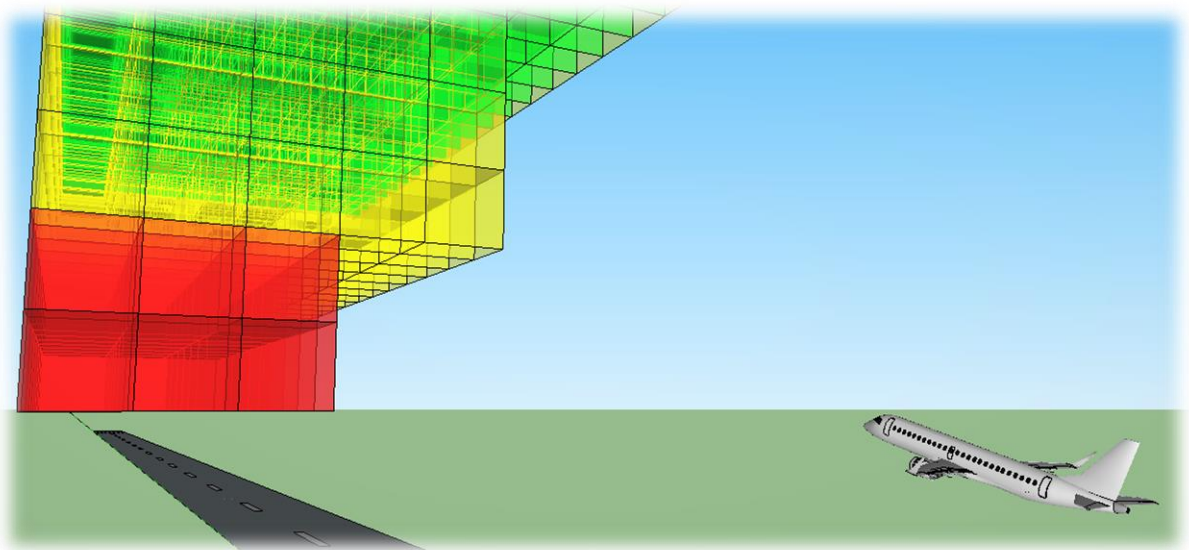


ნახ.3.6.3. ვირტუალურ-კოორდინირებული საჰაერო სივრცე

განვიხილოთ სისტემის ფუნქციონირების მოდელი და შევაფასოთ უსაფრთხოების მაჩვენებლიანობა: კოსმოსური თანამგზავრების ჯგუფი დროის განსაზღვრულ ინტერვალში გენერირებს და დედამიწის მიმართულებით ასხივებს მიმღებ მოწყობილობასთან (თვითმფრინავი, ავტომობილი, მობილური ტელეფონი და ა.შ.) სინქრონიზირებულ სიგნალებს, რომელიც აღიქმება ობიექტით ადგილმდებარეობიდან გამომდინარე და ობიექტზე არსებული გამოთვლითი მოწყობილობა შედეგის სახით გასცემს ადგილმდებარეობის სამგანზომილებიან კოორდინატს [55]. ე.ი. შესაძლებელია, წინასწარ განისაზღვროს სხვა ნებისმიერი კოორდინატი, თუ კი სისტემა მიყვება იგივე სახის ალგორითმს, მაგრამ ერთგვარ უკუსვლით. კოორდინატების წინასწარი დადგენა გვაძლევს საშუალებას ინდივიდუალურად განვსაზღვროთ ყოველი საჰაერო ხომალდისათვის ინდივიდუალური სამარშრუტო ხაზი დროის კონკრეტული მომენტისა და ამინდის პირობებისათვის შესაბამისი ეშელონი. აგრეთვე გასათვალისწინებელია, რომ ყოველი საჰაერო ხომალდი, ცხადია აღჭურვილი უნდა იყოს თანამგზავრული სიგნალების მიმღები მოწყობილობით და თუ ამ მიმღებ გადამწოდებს განვალაგებთ ფიუზელაჟის ოპტიმალურ ადგილებზე, გამოთვლითი პროგრამის მეშვეობით შესაძლებელია გავწეროთ კანონი, რომლის მიხედვითაც ფრენის მართვის კომპიუტერი გასცემს ბრძანებას დროის მითითებულ მომენტში ფიუზელაჟზე არსებული X გადამიწოდი დაამთხვიოს საჰაერო სივრცეში არსებულ A კოორდინატს. ვინაიდან ეს ყოველივე

წინასწარ იქნება ცნობილი ფრენის მართვის კომპიუტერი ალგორითმული პროგრამის მხარდაჭერით წინასწარ დაიწყებს აეროდინამიკული ზედაპირების შემზადება-მომართვას XA ამოცანის შესასრულებლად.

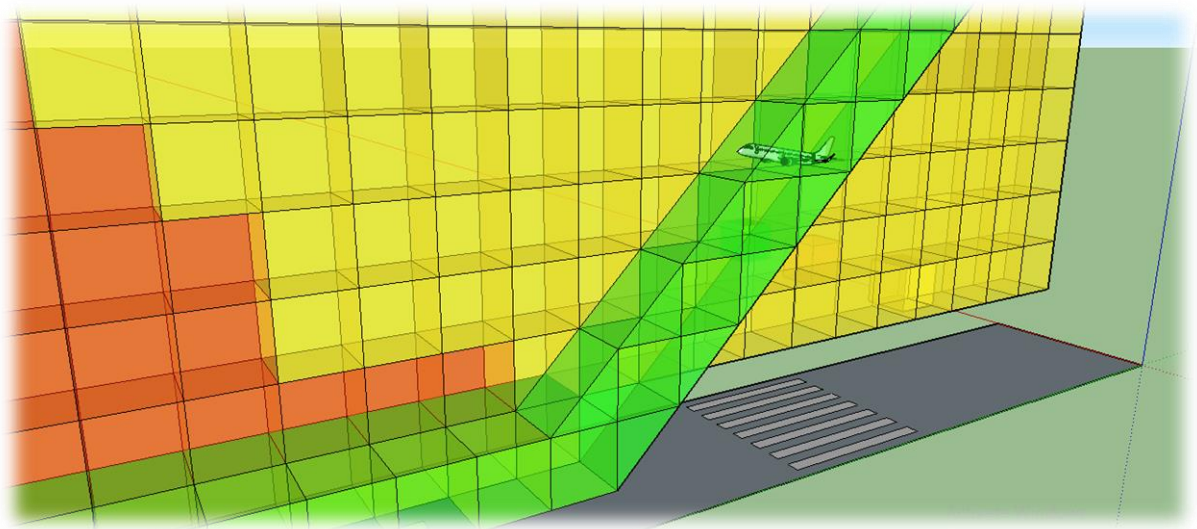
იმდენად, რამდენადაც სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით საავიაციო შემთხვევების 70% ფიქსირდება აფრენა-დაფრენის ეტაპზე, მნიშვნელოვანია განსაკუთრებული ყურადღება დავუთმოთ აეროდრომის მიმდებარე საჰაერო სივრცეს და უსაფრთხოდ უზრუნველვყოთ საჰაერო ხომალდის ე.წ. კრუიზში გასვლა. (კრუიზი - საჰაერო ხომალდის ფრენის ეტაპი აფრენასა და დაფრენას შორის). ჩამოყალიბებული კონცეფციის გათვალისწინებით მიიღება საჰაერო სივრცის ვირტუალური, გაზრდილი უსაფრთხოების მოდელი. იხ.ნახ.3.6.4.



ნახ. 3.6.4. აეროდრომის მოდელირებული საჰაერო სივრცე

სურათზე ნაჩვენებია საჰაერო სივრცე პირობითად შეგვიძლია დავახარისხოთ ფერების მიხედვით. ასეთი მოდელი ამარტივებს სივრცის შრეების ერთმანეთისაგან გარჩევადობას, როგორც საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟის წევრებისათვის, ასევე საჰაერო მოძრაობის მართვის მეთვალყურისათვის. ამავდროულად აღნიშნული მოდელი მყისიერად გვამძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ და ერთმანეთისაგან გავმიჯნოთ გადატვირთული, ნაკლებად დატვირთული და თავისუფალი საჰაერო დერეფნები, ემელონები. აღსანიშნავია უსაფრთხოების გაზრდილი მაჩვენებელიც, რომლის მიხედვითაც მფრინავი ან ავია მეთვალყურე განსაკუთრებულ სიფრთხილე-

ყურადღებას გამოიჩენს ხომალდის ავია სივრცის სპეციფიკურ ზონებში მოხვედრისას. ასევე ნაჩვენები მოდელი შესაძლებლობას გვაძლევს წინასწარ გამოვკვეთოთ ერთმანეთისაგან სასურველი სამარშრუტო დერეფნები, რაც ცხადია გაანეიტრალებს მათ და განტვირთავს ავია დერეფნებს, ეს კი აისახება თვითმფრინავების კონცენტრაციის კლებით, რაც შეამცირებს რისკების წარმოქმნის ალბათობას. ნახატზე 3.6.5. ნაჩვენებია საჰაერო ხომალდი, რომელიც გადასულია დაფრენის ეტაპზე კონკრეტული ე.წ. „მწვანე“ სივრცული დერეფნის გამოყენებით. საჰაერო სივრცის ფერების მიხედვით წარმოდგენის გზით შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ წითელი ფერის სივრცე ამკრძალავია და ხომალდებს ეკრძალებათ აღნიშნული ფერის სივრცეში გადაადგილება. ყვითელი ფერის სივრცე ამცნობს გადატვირთულობას და მოუწოდებს ყურადღებისა და სიფრთხილისაკენ, ხოლო მწვანე საჰაერო სივრცე გვატყობინებს სივრცეში თავისუფლად გადაადგილების ნებადართულობას [58],[65],[66].



ნახ. 3.6.5. საჰაერო სივრცის ზონები და დაფრენის მწვანე დერეფანი

მოყვანილი კონცეფციის მოდელი უამრავ ახალ შესაძლებლობას იძენს უპილოტო და ავტომატურად პილოტირებადი საჰაერო აპარატების განვითარების დარგში, იმდენად რამდენადაც არა მარტო კანონმდებლობით იზღუდება საფრენად დაუშვებელი სივრცეები, არამედ ტექნიკურადაც. ეს კი შეუძლებელს ან შემაფერხებელს ხდის არასანქცირებული ფრენების შესრულებას.

IV. ძირითადი დასკვნები

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 ექვსის 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.

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

დანართი 1. საავიაციო დანიშნულების საჰაერო სივრცე და სივრცეთა დანიშნულებისამებრ გამოყენების კლასიფიკაცია

საჰაერო სივრცე (**AIRSPACE**) აირს ატმოსფეროს ნაწილი, რომელიც განლაგებულია დედამიწის გარკვეულ მონაკვეთის თავზე. თვითმფრინავების მართვის გასამარტივებლად, ცას ყოფენ სექტორებად, იგივე კლასებად. თითოეული კლასის სივრცეში ფრენები ამ კონკრეტული კლასის სივრცისადმი დამახასიათებელ კანონებს ექვემდებარება. მაგალითად, არსებობს ასეთი მცნება ვიზუალური ფრენის წესები - VFR (**VISUAL FLIGHT RULERS**), ამ წესებს თავისი მინიმალური მეტეოროლოგიური პირობები აქვთ, ესენია მინიმალური ჰორიზონტალური მხედველობა და მინიმალური ღრუბლების სიმაღლე. იმ კლასის საჰაერო სივრცეებში, სადაც ნებადართულია ვიზუალური ფრენები, ამინდი უნდა აკმაყოფილებდეს ვიზუალური ფრენების წესებში მოყვანილ მოთხოვნილებებს. ზოგიერთ საჰაერო სივრცეში აუცილებელია რადიო-სატელეფონო კავშირი საჰაერო მოძრაობის კონტროლსა, ანუ დისპეტჩერსა და ამ სივრცეში მყოფ საფრენი აპარატის ეკიპაჟს შორის. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ზოგიერთი კლასის საჰაერო სივრცეს ჰყავს საჰაერო მოძრაობის კონტროლი, დისპეტჩერი - ATC (**AIR TRAFFIC CONTROL**), მათი ვალდებულებაა აკონტროლონ და რეგულირება გაუწიონ საფრენი აპარატების მოძრაობას მათ პასუხისმგებლობის ქვეშ მყოფ საჰაერო სივრცეში. ეკიპაჟები კი ვალდებულნი არიან ზუსტად დაიცვან იმ კლასის საჰაერო სივრცის კანონები [6],[26].

საჰაერო სივრცის კლასიფიკაცია

საჰაერო სივრცეს ყოფენ შვიდ კლასად საერთაშორისო ნორმების თანახმად: A, B, C, D, E, F და G კლასის სივრცეები. აღნიშნული კლასებიდან კონტროლირდება ხუთი კლასის სივრცე. ესენია: A, B, C, D და E. როდესაც საჰაერო მოძრაობის კონტროლი (დისპეტჩერი) აკონტროლებს საჰაერო სივრცეს, ეს ნიშნავს იმას, რომ ეს კონტროლირებადი საჰაერო სივრცეა (**CONTROLLED AIRSPACE**). ამგვარ კლასის სივრცეებში საფრენად აუცილებელია თვითმფრინავმაც და ეკიპაჟმაც

დააკმაყოფილოს გარკვეული მოთხოვნები. კონტროლირებად სივრცეში საჰაერო მოძრაობის კონტროლი (დისპეტჩერი) თავის მონიტორზე (ეკრანზე) ხედავს მის მიერ კონტროლირებად სივრცეში მყოფ საფრენ აპარატებს და აკონტროლებს მათ მოძრაობას. თუ ეს საფრენი აპარატები აღჭურვილნი არიან სპეციალური მოწყობილობით, ე.წ. მეორადი რადართ, მაშინ დისპეტჩერების მონიტორზე ჩანს ინფორმაცია ამ აპარატების შესახებ. კერძოდ, მათი ნომერი, ფრენის სიმაღლე, ფრენის სიჩქარე და საწვავის რაოდენობა.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ხუთი კონტროლირებადი ზონისა, არსებობს კიდევ ორი არაკონტროლირებადი ზონა, ესენია F კლასისა და G კლასის არაკონტროლირებადი საჰაერო სივრცეები (**UNCONTROLLED AIRSPACE**). F კლასის საჰაერო სივრცე არის ე.წ. ფაკულტატიური საჰაერო სივრცე. ამ კლასის სივრცეში, კონტროლირებადი სივრცისგან განსხვავებით, სადაც საჰაერო კონტროლის (დისპეტჩერის) მითითებები აუცილებლად შესასრულებელია ეკიპაჟებისთვის, დისპეტჩერი არ იძლევა მითითებებს, ის ეკიპაჟს მხოლოდ კონსულტაციას უწევს და ეკიპაჟზეა დამოკიდებული რამდენად გაითვალისწინებს ის ამ კონსულტაციებს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ F კლასის საჰაერო სივრცეში საჰაერო კონტროლი ვერ ხედავს საფრენ აპარატს და შესაბამისად არც მისი მოძრაობის გაკონტროლება შეუძლია. სამაგიეროდ მას აქვს რადიოკავშირი ეკიპაჟთან, ამდენად შეუძლია გარკვეული ინფორმაცია მიაწოდოს მას.

G კლასის საჰაერო სივრცეში კონტროლი (დისპეტჩერი) არც აკონტროლებს საფრენ აპარატს და არც რადიოკავშირშია მათთან.

როგორც უკვე ვთქვით საჰაერო სივრცის შვიდ კლასად დაყოფა ხდება საერთაშორისო ნორმების მიხედვით, მაგრამ ეს არ ნიშნავს, რომ ყველა ქვეყანაში საჰაერო სივრცე უნდა იყოს დაყოფილი შვიდ კლასად. ყოველი სახელმწიფო თავისი მოთხოვნების მიხედვით, ანუ იმის მიხედვით, თუ რამდენადაა დატვირთული მათი საჰაერო სივრცე, ირჩევს შესაბამის კლასებს.

საჰაერო სივრცის კლასიფიკაციის ძირითადი მიზანია ინსტრუმენტალური და ვიზუალური ფრენის კანონებით მოძრავ საფრენი აპარატების სეპარაცია - დამორიშორება უსაფრთხო მანძილით. ნებისმიერი ქვეყნის კანონმდებლობით

პილოტს, ან ეკიპაჟს, რომლებიც დაშვებულნი არ არიან ინსტრუმენტალურ ფრენებზე, უფლება აქვთ აწარმოონ ფრენები მხოლოდ ვიზუალურ პირობებში, ანუ მაშინ, როდესაც ჰორიზონტალური მხედველობა და ღრუბლების სიმაღლე შეესაბამება იმ მინიმუმს, რომელიც აკმაყოფილებს მოცემული საჰაერო სივრცის კლასის მოთხოვნილებებს. თუ თქვენ ხართ პილოტი, რომელიც დაშვებულია იფრინოს ინსტრუმენტალურ პირობებში, მაშინ თქვენ არ გეხებათ ჰორიზონტალური მხედველობისა და ღრუბლების სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობა რომელიც კლასის საჰაერო სივრცეში არ უნდა იმყოფებოდეთ. თუ პილოტი ვიზუალურად ფრინავს და ამინდი გაუარესდა და აღარ აკმაყოფილებს ვიზუალური ფრენებისთვის საჭირო მინიმუმს, მაშინ ეს პილოტი, თუ დაშვებულია ინსტრუმენტალურ ფრენებზე, უნდა გადავიდეს ინსტრუმენტალური ფრენების კანონებით ფრენაზე და თუ არ არის დაშვებული ინსტრუმენტალურ ფრენებზე, მაშინ ვალდებულია მოახდინოს დაშვება უახლოეს აეროდრომზე და შეწყვიტოს საფრენო დავალებების შესრულება ამინდის გამოკეთებამდე.

ახლა მოკლედ განვიხილოთ თითოეული კლასის საჰაერო სივრცე.

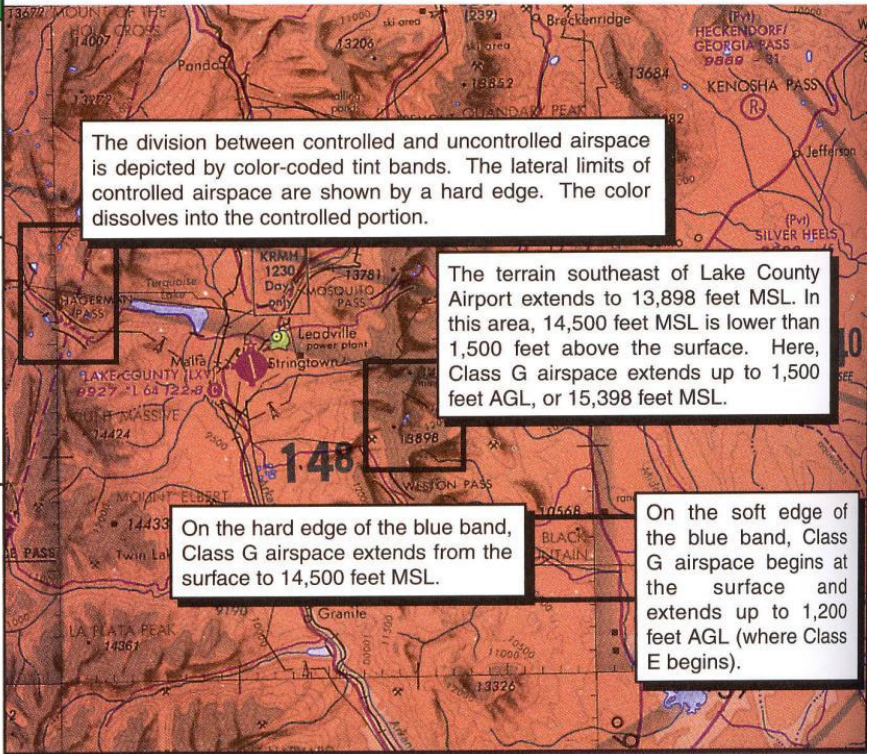
G კლასის საჰაერო სივრცე

G კლასის საჰაერო სივრცე (არაკონტროლირებადი).

ჩვეულებრივ ATC (AIR TRAFFIC CONTROL), საჰაერო მოძრაობის კონტროლი (დისპეტჩერი) ამ კლასის საჰაერო სივრცეში არ ახორციელებს არავითარ კონტროლს. ეკიპაჟები, რომლებიც G კლასის სივრცეში იმყოფებიან არ ამყარებენ რადიო სატელეფონო კონტროლს ATC-თან. ამიტომ ისინი თავად არიან პასუხისმგებელი როგორც საერთოდ საჰაერო სივრცის გამოყენების კანონების დაცვაზე, ასევე კონკრეტულად უსაფრთხო დისტანციის შენარჩუნებაზე.

ავიაციის დასაწყისში მთლიანად საჰაერო სივრცე იყო არაკონტროლირებადი. დღეს საჰაერო მოძრაობა იმდენადაა გაზრდილი, რომ ნებისმიერ ქვეყანაში საჰაერო სივრცის უმეტესი ნაწილი კონტროლირებადი.

Airspace Features	Class G
VFR Min. Vis. and Distance from Clouds 1,200 ft AGL or less (Regardless of MSL Altitude)	Day 1 s.m. Clear of Clouds Night 3 s.m. 500 ft Below 1,000 ft Above 2,000 ft Horizontal
VFR Minimum Visibility	Below 10,000 ft MSL – Day 1 s.m. Night 3 s.m. At or Above 10,000 ft MSL – 5 s.m. (above 1,200 ft AGL)
VFR Minimum Distance from Clouds	Below 10,000 ft MSL – 500 ft Below 1,000 ft Above 2,000 ft Horizontal (above 1,200 ft AGL) At or Above 10,000 ft MSL – 1,000 ft Below 1,000 ft Above 1 s.m. Horizontal (above 1,200 ft AGL)
Minimum Pilot Qualifications	Student Pilot Certificate
VFR Entry and Equipment Requirements	None
ATC Services	VFR Traffic Advisories on Request (workload permitting)



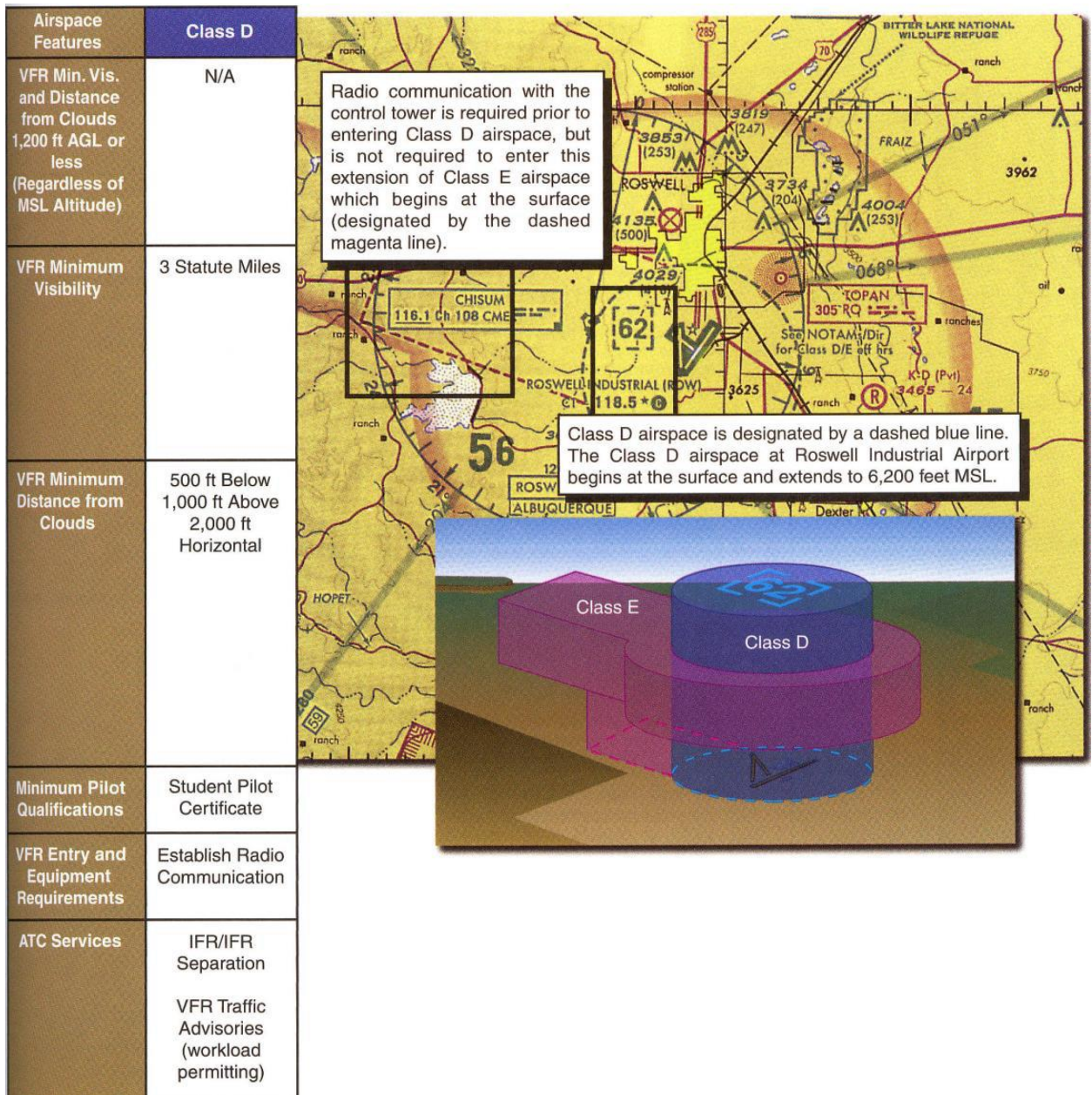
ნახ. დ1. G კლასის საჰაერო სივრცის სახელმძღვანელო რუკა

E კლასის საჰაერო სივრცე

ამ კლასის საჰაერო სივრცეში შედის ყველა დამტკიცებული საჰაერო ტრასა (მარშუტი). მათზე ფრენა შეიძლება წარმოებდეს, როგორც ვიზუალურ ფრენის წესებით - VFR, ასევე ინსტრუმენტალური ფრენის წესებით - IFR. თუ ტრასა (მარშუტი) გადის G კლასის საჰაერო სივრცეში, მაშინ რადიოკავშირო საჰაერო კონტროლთან (ATC) აუცილებელი არ არის, მაგრამ როდესაც იგი კონტროლირებად სივრცეს კვეთს კავშირი დისპეტჩერთან აუცილებელია.

D კლასის საჰაერო სივრცე

აეროპორტი რომელსაც აქვს სამართავი კოშკი (TOWER), მაგრამ არ ახორციელებს რადარულ კონტროლს (ისე როგორც ხდება B და C კლასის საჰაერო სივრცეებში) განეკუთვნება D კლასის საჰაერო სივრცეს. ე.ი. ასეთი აეროდრომი იმყოფება D კლასის სივრცეში. ასეთ აეროდრომზე სამართავი კოშკი ახორციელებს საჰაერო მოძრაობის თანმიმდევრობას და ვიზუალური და ინსტრუმენტალური ფრენის წესების მოძრავ საჰაერო ხომალდების დაშორიშორებას, ამის სამართავი კოშკის დისპეტჩერი ახორციელებს თავისი იურიდიული პასუხისმგებლობის ზონაში, ანუ D კლასის საჰაერო სივრცეში. ეს სივრცე შემოიფარგლება შემდეგი საზღვრებით: ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მისი რადიუსია 4 ს.მ. (საზღვაო მილი), ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში - დედამიწის ზედაპირიდან 2400 ფუტის სიმაღლემდე (დაახლოებით).



ნახ. დ2. D კლასის საჰაერო სივრცის სახელმძღვანელო რუკა

როგორც ნახაზიდან ჩანს, მას აქვს ცილინდრის ფორმა. საფრენი აპარატების ეკიპაჟები, როდესაც D კლასის სივრცეში იმყოფებიან, ვალდებული არიან იქონიონ ორმხრივი რადიო-სატელეფონო კავშირი კომპის დისპეტჩერთან.

ზოგიერთ აეროდრომზე, რომელიც D კლასის ზონაში იმყოფება, სამართავი კომპი დღე-ღამის მხოლოდ გარკვეულ საათებში მუშაობს. როდესაც კომპი არ მუშაობს D კლასის საჰაერო სივრცე გადაიქცევა G კლასის სივრცედ; იმ შემთხვევაში თუ კი მასზე საჰაერო მარშრუტი გადის, იგი გადაიქცევა E კლასის საჰაერო სივრცედ.

თუ თქვენ მიფრინავს მარშუტზე, რომელიც G კლასის საჰაერო სივრცეში იმყოფება და თქვენ გზაზე იმყოფება D კლასის საჰაერო სივრცე, უნდა ეცადოთ აუაროთ მას გვერდი, ხოლო თუ რაიმე მიზეზების გამო გვერდის ავლა შეუძლებელია, მაშინ D კლასის სივრცეში შესვლამდე უნდა დაამყაროთ ორმხრივი რადიო კავშირი კომპთან და სთხოვოთ უფლება მისი სივრცის გადაკვეთის შესახებ.

C კლასის საჰაერო სივრცე

კონტროლირებადი საჰაერო სივრცის განმსაზღვრელი ფაქტორებია: უსაფრთხოება, ამ სივრცეში მოძრავი საჰაერო ხომალდების მოთხოვნილებების დაკმაყოფილება და საჰაერო მოძრაობის ინტენსიურობა. ყველა ამ მოთხოვნილებებს ზუსტად აკმაყოფილებს C კლასის საჰაერო სივრცე. C კლასის საჰაერო სივრცეში ATC (საჰაერო მოძრაობის კონტროლი, დისპეტჩერი) აწარმოებს რადარულ (რადიოლოკაციურ) ზედამხედველობა-მომსახურებას ყველა საფრენ აპარატზე, რომელიც ამ კლასის სივრცეში იმყოფება, განურჩევლად იმისა, აწარმოებს იგი ფრენებს ვიზუალური თუ ინსტრუმენტალური წესებით. C კლასის საჰაერო სივრცეში მყოფი ყველა საფრენი აპარატის ეკიპაჟი ვალდებულია ჰქონდეს ორმხრივი რადიო-სატელეფონო კავშირი ATC -სთან, შეასრულოს ზუსტად მისი ინსტრუქციები და მოახსენოს მას თავისი ადგილმდებარეობა და სიმაღლე; ხოლო ფრენის რეჟიმის შეცვლის შემთხვევაში (მარშუტის შეცვლა, სიმაღლის შეცვლა, ან სიჩქარის შეცვლა) აუცილებლად შეათანხმოს ეს დისპეტჩერთან (ATC) და მიიღოს ნებართვა მისგან შესაბამისი ცვლილების შესახებ. C კლასის საჰაერო სივრცეში შესვლის წინ ნებისმიერი საფრენი აპარატის ეკიპაჟი ვალდებულია დაამყაროს ორმხრივი რადიოკავშირი დისპეტჩერთან, რომელიც ამ სივრცეს აკონტროლებს.

C კლასის საჰაერო სივრცის ზომებია: ჰორიზონტალურ სიბრტყეში 5 ს.მ. (საზღვაო მილი), ვერტიკალურ სიბრტყეში - 4000 ფუტი, მისი შეღწეული ზონის ზომებია: ჰორიზონტალურ სიბრტყეში 5-10 საზღვაო მილი, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში 1200 ფუტიდან 4000 ფუტამდე აეროდრომის ზედაპირიდან.

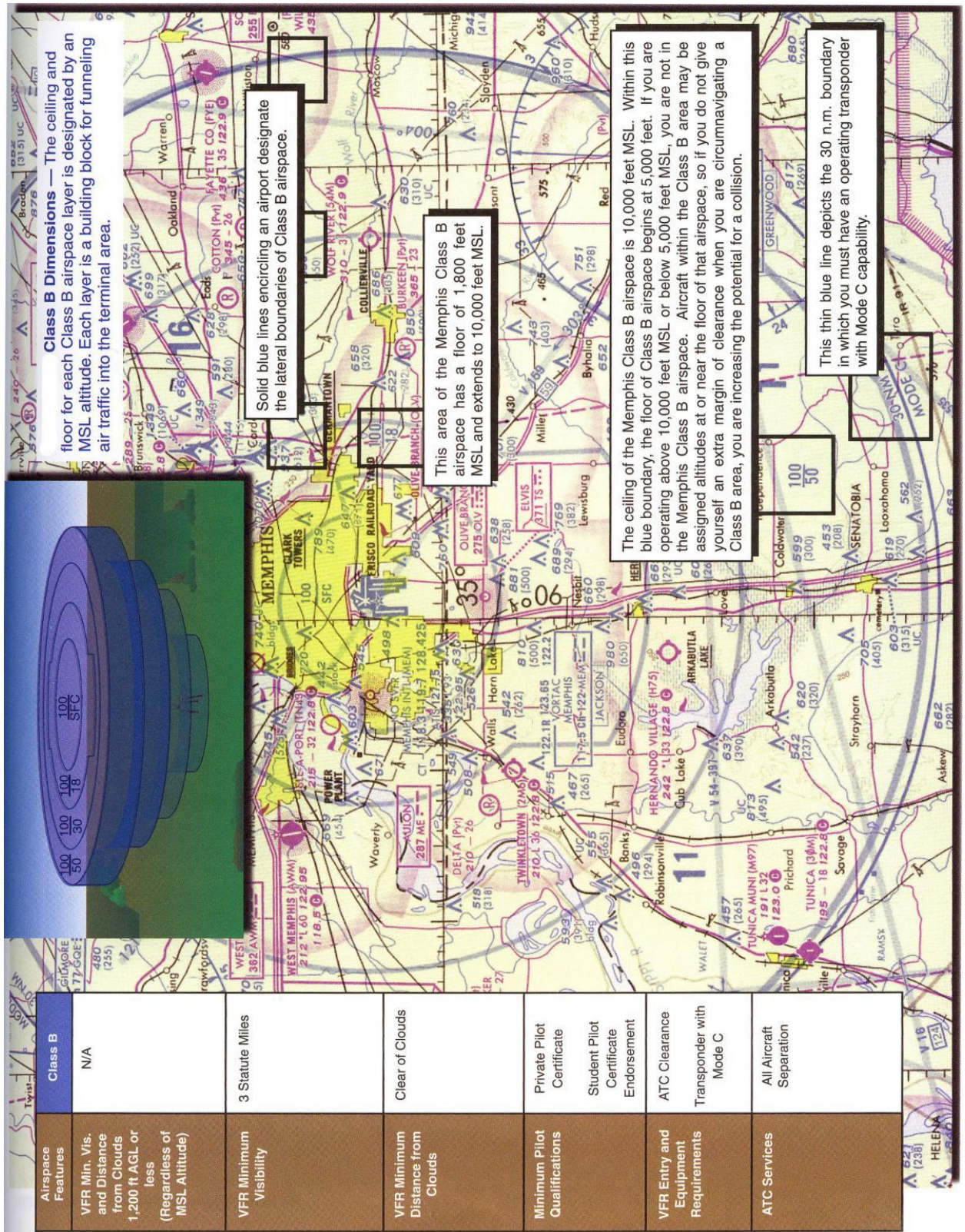
ამასთან ისიც უნდა გვახსოვდეს, რომ როგორც D ასევე C და B კლასის საჰაერო სივრცეები არ არის დოგმატური, ანუ ისინი შეიძლება იცვლებოდეს, რათა უკეთესად მოერგოს კონკრეტული აეროდრომის მოთხოვნილებებს.

Airspace Features	Class C	<p>If you are flying into a satellite airport within Class C airspace, such as Somerville, you must be in contact with ATC while you are in the Class C airspace. The radar service provided to you will be discontinued early enough for you to change to the CTAF (122.9) at Somerville Airport. When departing a satellite airport, you should contact ATC as soon as practicable after takeoff.</p> <p>The outer area associated with Class C airspace extends 10 n.m. beyond the shelf area. VFR pilots are not required to contact ATC prior to entering the outer area, but it is helpful to do so. For approach, departure, or overflights, ATC normally provides the same radar services in the outer area as it does within the Class C airspace.</p> <p>3 Statute Miles</p> <p>500 ft Below 1,000 ft Above 2,000 ft Horizontal</p> <p>Solid magenta circles represent the boundaries of Class C airspace. The shelf area of Grand Rapids Class C airspace extends from 2,000 feet MSL to 4,800 feet MSL.</p> <p>The core area begins at the surface and extends to 4,800 feet MSL.</p>
VFR Min. Vis. and Distance from Clouds 1,200 ft AGL or less. (Regardless of MSL Altitude)	N/A	
VFR Minimum Visibility	3 Statute Miles	
VFR Minimum Distance from Clouds	500 ft Below 1,000 ft Above 2,000 ft Horizontal	
Minimum Pilot Qualifications	Student Pilot Certificate	
VFR Entry and Equipment Requirements	Establish Radio Communication Transponder with Mode C	
ATC Services	IFR/IFR Separation IFR/VFR Separation VFR Traffic Advisories (workload permitting)	

ნახ. დვ. C კლასის საჰაერო სივრცის სახელმძღვანელო რუკა

B კლასის საჰაერო სივრცე

მსოფლიოში მრავლადაა აეროპორტები, რომლებიც გამოირჩევიან საჰაერო მოძრაობის განსაკუთრებულად მაღალი ინტენსიურობით. როგორც წესი აეროდრომების თავზე განლაგებულია B კლასის საჰაერო სივრცე. ხშირია შემთხვევები, როდესაც B კლასის საჰაერო სივრცეში იმყოფება რამდენიმე აეროდრომი და ამ აეროდრომის მიახლოებისა და აეროდრომიდან გასვლის სქემების გადაფარვა ხდება ამ კლასის სივრცეში.



ნახ. 4. B კლასის საჰაერო სივრცის სახელმძღვანელო რუკა

B კლასის საჰაერო სივრცეში ოპერირებისთვის საჰაერო ხომალდი ალჭურვილი უნდა იყოს რადიო სატელეფონო ალჭურვილობით, რომელიც უზრუნველყოფს ორმხრივ

რადიოკავშირს საფრენ აპარატის ეკიპაჟსა და ATC-ს (დისპეტჩერს) შორის, მას უნდა ჰქონდეს მეორადი ლოკაციის მოწყობილობა, რომელსაც შეუძლია ფუნქციონირება C რეჟიმში და უნდა იყოს დაკომპლექტებული VOR რადიო კომპასით. ეს უკანასკნელი აუცილებელია იმ საფრენი აპარატებისათვის, რომლებიც აწარმოებენ ფრენებს ინსტრუმენტალური ფრენის წესებით.

A კლასის საჰაერო სივრცე

მთელი საჰაერო სივრცე ორ ნაწილადაა დაყოფილი, ქვედა და ზედა საჰაერო სივრცეები. საქართველოში, ისევე როგორც ევროპის ქვეყნების უმრავლეს ნაწილში, შერჩეულია რომელიმე ემელონი, რომელიც ითვლება საზღვრად ქვედა და ზედა საჰაერო სივრცეებს შორის. საქართველოში ასეთ გამყოფ ემელონად მიღებულია 140-ე ემელონი, ანუ 14000 ფუტი (4550 მეტრი). ამ ემელონის ზევით მდებარე სივრცე 600-ე ემელონის ჩართვით, (60000 ფუტი, ან 18000 მეტრი) ითვლება ზევითა საჰაერო სივრცედ, რომელსაც საჰაერო სივრცის კვალიფიკაციით A კლასის საჰაერო სივრცე ეწოდება. ეს საჰაერო სივრცე სხვებისაგან იმით განსხვავდება, რომ ვიზუალური ფრენები აქ აკრძალულია. ე.ი. A კლასის საჰაერო სივრცეში ფრენებისათვის პილოტს სჭირდება ინსტრუმენტალური ფრენების ნებართვა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ის უნდა ფლობდეს შესაბამის კვალიფიკაციას და უფლებას აწარმოოს ინსტრუმენტალური ფრენები. გარდა ამისა A კლასის საჰაერო სივრცეში მოძრაობისათვის საფრენი აპარატიც უნდა იყოს აღჭურვილი შესაბამისი მოწყობილობით. მას უნდა გააჩნდეს: რადიოსატელეფონო მოწყობილობა უწყვეტი რადიოკავშირისათვის ეკიპაჟსა და ATC-ს (საჰაერო მოძრაობის კონტროლი) შორის, იმიტომ რომ A კლასის საჰაერო სივრცეში ფრენები წარმოებს მხოლოდ ინსტრუმენტალური წესებით, ჩვენ კი ვიცით, რომ ინსტრუმენტალური ფრენის დროს ორმხრივი რადიოკავშირი აუცილებელია. გარდა რადიოკავშირისა თვითმფრინავს უნდა ჰქონდეს მეორადი რადიოლოკაციის მოწყობილობა.

A კლასის საჰაერო სივრცეში გადის ყველა ე.წ. რეაქტიული მარშრუტები (JET ROUTES). რეაქტიული თვითმფრინავების მარშრუტებისათვის გამოყოფილია სიმაღლეები A კლასის საჰაერო სივრცის მინიმალური ემელონიდან 450-ე ემელონამდე (45000 ფუტი,

ანუ 14000 მეტრი). ამ მარშრუტებზე ფრენა წარმოებს წინასწარ შეთანხმებული ფრენის გეგმის, ანუ FLIGHT PLAN-ის მიხედვით.

სპეციალური გამოყენების საჰაერო სივრცე

ამ სივრცეში აქტიურობას აწარმოებენ ისეთი სტრუქტურები და ორგანიზაციები, რომლებიც არ განიხილებიან კომერციული ავიაციის შემადგენელ ნაწილებად. მაგალითად: თავდაცვის სამინისტრო, საკვლევი ინსტიტუტები, რომლებიც შეისწავლიან კოსმონავტიკის საკითხებს, ავია-სპორტული ორგანიზაციები და ა.შ. როგორც წესი ასეთ საჰაერო სივრცეებში სამოქალაქო ავიაციის ფრენები შეზღუდული ან აკრძალულია. ამ სივრცეებში ფრენები (თუ ფრენები ნებადართულია) რეგულირდება სპეციალური წესებით.

სპეციალური გამოყენების საჰაერო სივრცეები იყოფა შემდეგ სახეობებად: **გამაფართოებელი ზონები, სამხედრო აქტიურობის ზონები - MOA (MILITARY OPERATION AREAS), საგანგაშო ზონები, შეზღუდული ზონები და აკრძალული ზონები**, გარდა ამისა არსებობს ე.წ. **კონტროლირებადი ცეცხლის ზონები და სახელმწიფო უსაფრტხოების ზონები**. განვიხილოთ ეს ზონები.

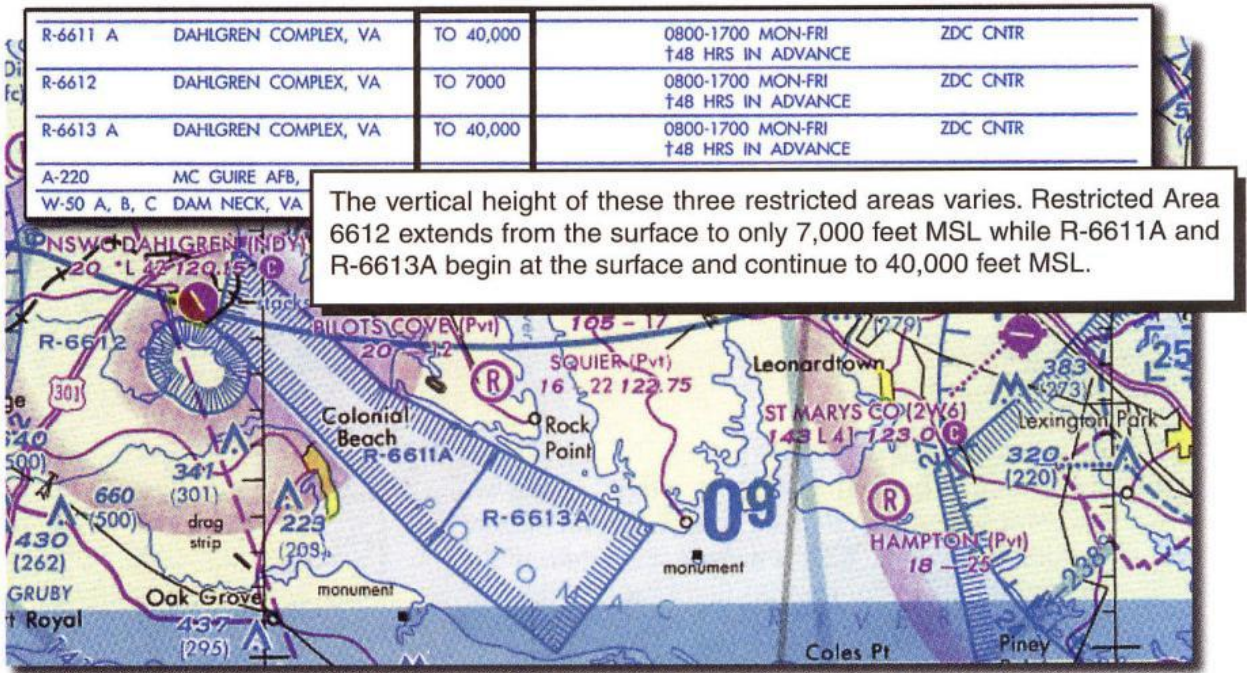
გამაფართოებელი ზონები - ეს არის ზონები დედამიწის ზედაპირზე, რომლებიც მოთავსებულნი არიან გარკვეულ ფარგლებში და რომელთა თავზე აფრენა ამ ზონების აქტიურობაში არამონაწილე საფრენი აპარატებისათვის შეიძლება გარკვეულ საფრთხეს წარმოადგენდეს. ისინი აუცილებლად არიან მონიშნულნი აერონავიგაციურ რუკებზე. ასეთი ზონები შეიძლება მდებარეობდნენ ასევე საზღვაო აკვატორიებზე.

სამხედრო აქტიურობის ზონები - MOA (MILITARY OPERATION AREAS) ეს არის საჰაერო სივრცის ის ნაწილი, რომელშიც მიმდინარეობს სამხედრო წვრთნები ან სამხედრო მანევრები. სამხედრო აქტიურობის ზონებს, როგორც წესი აქვთ ეგრეთ წოდებული „იატაკი“ და „ჭერი“. ეს არის მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლე დედამიწის სიმაღლიდან, ან ოკეანის საშუალო დონიდან, რომელშიც მოქცეულია ეს ზონა. თუ რომელი ბარომეტრული ზონიდან ხდება ამა თუ იმ კონკრეტული სამხედრო აქტიურობის ზონის „იატაკის“, ან „ჭერის“ ათვლა მითითებულია ამ ზონის ინსტრუქციაში. სამხედრო აქტიურობის ზონის საზღვრები და მისი ინსტრუქციები

მოცემულია იმ საჰაერო სივრცის აერონავიგაციური პუბლიკაციის ინფორმაციის სახელმძღვანელოებში, რომელ საჰაერო სივრცეშიც ეს ზომები მდებარეობენ. მრავალ ქვეყანაში ინსტრუმენტალური ფრენები სამხედრო აქტიურობის ზონებში აკრძალულია. რაც შეეხება ვიზუალურ ვრენებს, MOA-ში ისინი ნებადართულია მაშინ, როდესაც MOA არ მუშაობს (არ არის აქტიური). MOA (MILITARY OPERATION AREAS) ანუ სამხედრო აქტიურობის ზონის მუშაობის თაობაზე, ამ რაიონის მახლობლად მყოფ ეკიპაჟებს, რომლებიც ვიზუალურ ფრენებს აწარმოებენ, ინფორმაციას აწვდის საჰაერო მოძრაობის კონტროლი, ანუ დისპეტჩერი.

საგანგაშო ზონები (WARNING AREA). ეს არის საჰაერო სივრცის ნაწილი, რომელიც მოთავსებულია გარკვეულ საზღვრებში, როგორც ჰორიზონტალურ, ასევე ვერტიკალურ სიბრტყეებში, რომელიც შეიცავს გარკვეულ საფრთხეს, (ფრენის უსაფრთხოების თვალსაზრისით) იმ საფრენი აპარატებისათვის, რომლებიც ამ ზონაში აღმოჩნდნენ და რომელთა ფრენები არ არის დაკავშირებული ამ ზონის აქტიურობასთან. საგანგაშო ზონები გამოსახულნი არიან აერონავიგაციურ რუკებზე, რომ საფრენი აპარატების ეკიპაჟებს, რომელთა საფრენოსნო დავალება არ უკავშირდება ამ ზონის აქტიურობას, საგანგაშო ზონაში როგორც ვიზუალური ასევე ინსტრუმენტალური ფრენები ნებადართულია გარკვეული პირობების დაცვით. ამ ზონებში ფრენის რეჟიმი აღწერილია აერონავიგაციური ინფორმაციის კრებულებში. საგანგაშო ზონები შეიძლება იმყოფებოდნენ როგორც ხმელეთის ზედაპირზე, ასევე აკვატორიებზე.

შეზღუდული ზონები. (RESTRICTED AREAS) - ამ სახის ზონები ნავიგაციურ რუკებზე აღინიშნება ლათინური ასოთი **R** და მისი საზღვრებიც აღინიშნება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახატზე ქვევით.



ნახ. დ5. შეზღუდული საჰაერო სივრცეების საილუსტრაციო რუკა

აერონავიგაციური ინფორმაციის პუბლიკაციებში (AIP) მოცემულია აღწერილობა ამ ზონის საზღვრების შესახებ; იმ პოტენციური საფრთხის შესახებ, რაც მოსალოდნელია ამ ზონაში ფრენისას; ინფორმაცია დროის შესახებ, როდესაც აქ ფრენა აკრძალულია და იმ შეზღუდვების თაობაზე, რომლებიც შეიძლება ფრენის სიმაღლეებს შეეხოს. ამ ზონაში ფრენის უფლებას იმ საფრენი აპარატებისათვის, რომლებიც არ მონაწილეობენ შეზღუდული ზონის აქტიურობაში, იძლევა ის ორგანო ან სააგენტო, რომელიც აწარმოებს ზედამხედველობას მოცემულ ზონაზე.

აკრძალული ზონები (PROHIBITED AREAS). ასეთი სახის ზონების არსებობა დაკავშირებულია დედამიწის ზედაპირზე არსებული ისეთი სახის რაიონებთან, რომელთა თავზე ნებისმიერი სახის საფრენი აპარატის გამოჩენა გარკვეულ საფრთხეს უქმნის ან თვითონ ამ რაიონს, ან უშუალოდ საფრენ აპარატს. ასეთ ზონებს შეიძლება განეკუთვნებოდნენ სახელმწიფო მნიშვნელობის მქონე ობიექტები, რომელთა თავზე საჰაერო სივრცეში ნებისმიერმა აპარატმა ნებით ან უნებლიედ შეიძლება შექმნას ხიფათი (მაგალითად, ატომური რადიოსადგური, მსხვილი ქიმიური კომბინატი, ასაფეთქებელი საშუალებების მსხვილი საწარმოები), შეიძლება ეკუთვნოდნენ ნაკრძალები, მსხვილი დასასვენებელი ან სამკურნალო კომპლექსები და ა.შ.

რადიონავიგაციურ რუკებზე აკრძალული ზონები აღნიშნება ლათინური ასოთი „D“ და მათი საზღვრები აღნიშნულია სხვადასხვა სახის გეომეტრიული ფორმებით (წრე, სამკუთხედი, მრავალკუთხედი). აკრძალული ზონების აღწერილობა მოცემულია იმ ქვეყნის აერონავიგაციური ინსტრუქციების პუბლიკაციებში (AIP), რომელსაც ისინი მიეკუთვნებიან.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. „საჰაერო ხომალდების რადიოელექტრონული მოწყობილობები“ - ს.ტეფნაძე, ა.რურუა, ფ.კოგანი; სსუ, თბილისი 2010.
2. „ელექტრომაგნიტური ეკოლოგია“ - ვ.ზურაბიშვილი, თ.სვანიძე; სტუ, თბილისი 2018.
3. „საავიაციო რადიოლოკაციის თეორიული საფუძვლები და სისტემები“ - ფ.კოგანი, დ.ჯამასპიშვილი, ი.გოზალიშვილი; სსუ, თბილისი 2009.
4. „ელექტრომაგნიტური თავსებადობა“ - ვ.ზურაბიშვილი, თ.სვანიძე; სტუ, თბილისი 2018.
5. „საჰაერო რადიონავიგაციის საფუძვლები“ - ს. ტეფნაძე, რ. ებრალიძე, ნ. თიკანაშვილი; სსუ, თბილისი 2018.
6. „საჰაერო ნავიგაცია“ - თ.ტოროშელიძე; სსუ.
7. „საზღვაო ნავიგაცია“ - შ.კუნჭულია; შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი 2010.
8. „ფრენის მართვის ავტომატური სისტემები“ - რ. ებრალიძე; სსუ.
9. „აეროპორტების რადიოელექტრონული სისტემები და მოწყობილობები“ - ფ. კოგანი; სსუ.
10. „თანამგზავრული სისტემები“ - ვ. პაპუნაშვილი; სსუ.
11. “Global Positioning System (GPS) for Pilots” – Sarina Houston; November 2018.
12. “Principles of GPS” – Carl Carter; February 1997.
13. “Essentials of Satellite Navigation” – Jean-Marie Zogg; U-blox, February 2009.
14. “Earth’s Atmosphere: Composition, Climate and Weather” – Tim Sharp, October 2017.
15. “Study of ADS-B Data Evaluation” – Zhang Jun, Liu Wei; Aviation data communication corporation, Beijing 2011.
16. “Aircraft Technology Roadmap to 2050” – IATA, Geneva.
17. “The Future Of Air Traffic Control” – Christopher D. Wickens, Anne S. Mavor; Washington, D.C. 1998.

18. "Satellites: Orbits and Missions" – Michel Capderou; France 2005.
19. "Space Junk: The dangers of polluting earth's orbit" – Karean R. Young; USA 2016.
20. "Planetary Science" – George H.A. Cole, Michael M. Woolfson; UK 2002.
21. "Future Transport In Cities" – Brian Richards; USA and Canada 2001.
22. «Управление воздушным движением на воздушных трассах и местных воздушных линиях» - Д.А. Князевский, М.В. Стионов; Ульяновск 2010.
23. «Перспективные лазерные технологии» - И.Ю. Честнов, С.И. Аракелян; Министерство образования и наук Российской Федерации; Владимир 2014
24. «Высокоточное навидение упрямляемого оружия в лазерном лучевом канале» - Ю.И. Зеленюк; Журнал «Образования армии и флота» 2011г.
25. «Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике солнца» – Россиская академия наук; Институт солнечно-земной физики; Новосибирск 2001г.
26. «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» - Федеральные авиационные правила 2009.
27. „Спутниковые системы позиционирования” – Р. В. Загретдинов; Каз. Федер. Ун.; Казань 2014.
28. „Основы математического модерирования “ – С. В. Звонарев; Издательство Уральского университета; Екатеринбург 2019.
29. „Математическое моделирование “ – Е. Н. Коржов; Издательско-полиграфический центр Воронежского гос. Университета 2012.
30. „Математика “ – К. Л. Самаров; 2009.
31. „Методика построения и анализ полей точности глонасс в заданной зоне воздушного пространства “ – О. Н. Скрыпник; Р. О. Арефьев; Н. Г. Астраханцева.
32. „Математическое моделирование технических систем“ – В. В. Аюпов; ИПЦ „прокрость,, Пермь 2017.
33. „Основы спутниковой навигации “ – Jean-Marie Zogg; 2001.
34. „Теория графов“ – Д. В. Капров
35. „Обобщенная теория моделирования“ книга 1 – А. Е. Кононюк; Освита Украины; Киев 2012.

36. „Обобщенная теория моделирования“ книга 3 - А. Е. Кононюк; Освита Украины; Киев 2012.
37. „Авиационная климатология “ – Г. Я. Наровлянский; Гидрометеорологическое издательство; Ленинград 1968.
38. „Погода и полёты самолётов и вертолётов “ – П. Д. Астапенко; А. М. Баранов; И. М. Шварев; Гидрометеоиздат; Ленинград 1980.
39. „Основы моделирования дискретных систем “ – Т. И. Лиев; Санктпетербург 2009.
40. „Математическое моделирование полётного цикла гражданского воздушного судна для задач авиационной экологии“ – А. С. Тарасов; 2010.
41. „Математическое моделирование посадки самолёта ИЛ-76ТД90ВД в Антарктиде“ – М. С. Кубланов; К. О. Чернигин; 2016.
42. „Математическое моделирование“ – Г. С. Хакимзянов; Л. Б. Чубаров; П. В. Воронина; Новосибирск 2014.
43. „Спутниковые системы и технологии позиционирования “ – Н. Б. Хахулина; Воронеж 2017.
44. „Методика имитационного моделирования процессов управления потоками прилетающих и вылетающих воздушных судов при уд в районе аэродрома “ – А. В. Алёшин; В. И. Алёшин; Н. В. Бабаев; Г. А. Крыжановский; Научный вестник; МГТУ ГА 2011.
45. „Алгоритмы приёма сигналов навигационных спутников на борту космического аппарата с использованием коррелятора “ – Д. А. Тучин; Москва 2018.
46. „Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки “ – Воронеж 2015.
47. „Сравнительный анализ систем GPS и GLONASS “ – А. В. Вишнёв; М. Ю. Долидудко; 2010.
48. „ Элементы теории графов “ – В. Н. Бурков; Д. А. Новиков.
49. „Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. Примеры изадачи “ – Е. В. Алексеева; новосибирск 2012.

50. „Методы математического моделирования “ – А. Е. Умнов; 3-е издание испр. И доп. Москва 2012.
51. „Воздушным движением управление “ – Энциклопедия кругосвет
52. „Математическое моделирование задач лётной эксплуатаций воздушных судов на взлёте и посадке “ – М. С. Кубланов; МГТУ ГА 2013.
53. „Организация системы управления воздушным движением “ – В. Стинков; В. А. Казаков; Ульяновск 2010.
54. „Сборник лучших докладов студенческой научно-технической конференции МГТУ ГА, посвящённой 95-летию гражданской авиации России “- Москва 2018.
55. „Имитационное операционное моделирование процессов функционирования сложных авиационных систем и комплексов управления “ – Л. В. Вишнякова; О. В. Дектярёв; А. В. Слатин; ИММОД 2011.
56. „ Практическое применение систем глонасс и GPS “ – А. В. Самаганов
57. „Материалы международного семинара по сокращению количества авиационных происшествий при заходе на посадку и посадке (ALAR Tool Kit – руководство по ALAR) “ – Москва 2003.
58. „ Моделирование систем “ – С. П. Бобков; Д.О. Бытев; Иваново 2008.
59. „Математическое моделирование, методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов “ – М. С. Кубланов; издание третье; Москва 2004.
60. „Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. “ – А. А. Самарский; А. П. Михайлов; Физматлит; 2001.
61. „Руководство по лётной эксплуатации самолёта Ан-124-100 “ – издание 2003.
62. „Обобщённая теория моделирования “ – А. Е. Кононюк; Освита Украины; 2012.
63. „Основы математического моделирования “ – С. В. Звонарёв; Издательство Уральского университета; Екатеринбург 2019.
64. „Математическое моделирование технических систем “ – В. В. Аюпов; ИПЦ „прокрость“ ; Пермь 2017.

65. „Элементы теории графов. Динамическое программирование. Сетевое планирование. “ – К. Л. Самаров; 2009.
66. „Математическое моделирование “ – Е. Н. Коржов; Издательско-полиграфический центр Воронежского гос. университета; 2012.
67. „Алгоритмы приёма сигналов навигационных спутников на борту космического аппарата с использованием коррелятора “ – Д. А. Тучин; Москва 2018.