



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ნიკა თიკანაშვილი

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა
ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის
მიზნით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამის დასახელება და კლასიფიკატორის შიფრი
„საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაცია 0716“

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფესორი სერგო ტეფნაძე
პროფესორი იგორ კაბაშკინი

თბილისი 2019

ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
საინჟინრო ფაკულტეტსა და რიგის ტრანსპორტისა და
ტელეკომუნიკაციების კვლევის და განვითარების დეპარტამენტში

წარდგენილია საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სადისერტაციო
საბჭოში

რეცენზენტები: პროფესორი სიმონ ხოშტარია
პროფესორი ვანო ზურაბიშვილი

დისერტაციის დაცვის დრო და ადგილი:

2019 წლის 19 დეკემბერი, 14:00 საათი, საქართველოს საავიაციო
უნივერსიტეტის საკონფერენციო დარბაზი.

სწავლული მდივნის ხელმოწერა:_____

სარჩევი

აბრევიატურების ნუსხა	6
ნაშრომის სტრუქტურა და შემადგენლობა.....	8
ნაშრომის აპრობაცია	8
შესავალი.....	10
თავი I საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში შემავალი სანავიგაციო ობიექტების მუშაობის პრობლემების ტაქსონომია	19
1.1. საჰაერო ხომალდების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის არსებული რადიონავიგაციური მოწყობილობების მუშაობის ეფექტურობის შეფასება.....	19
1.1.1. VOR რადიოშუქურის სიზუსტის ამაღლების ძირითადი გზები.....	22
1.1.2 მანძილის რადიონავიგაციური საზომი DME-ს დახმარებით დახრილი მანძილის გაზომვა.....	24
1.1.3. საჰაერო ხომალდების ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემის ILS-MLS მუშაობის ეფექტურობის შედარება	26
1.1.4. მიმყვანი რადიოსადგურის მუშაობის ეფექტურობის განსაზღვრა	27
1.2. სახმელეთო რადიოლოკაციური სისტემების გამოყენება საჰაერო მოძრაობის მართვის მიზნით	32
1.2.1. სატრასო მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგური.....	33
1.2.2. სატრასო და აეროკვანძური მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურები.....	35
1.2.3. სააეროდრომო მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგური	36
1.2.4. დაფრენის რადიოლოკაციური სადგური.....	37
1.2.5. საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგური.....	39
1.2.6. მეტეოროლოგიური რადიოლოკაციური სადგური.....	40
1.2.7. კომბინირებული მიმოხილვისა და დაფრენის რადიოლოკაციური სადგური	40
1.2.8. მეორადი რადიოლოკაციური სადგურები.....	41
1.3. რადიოლოკაციური სადგურების ძირითადი საექსპლუატაციო მახასიათებლები	43
1.3.1. აღმოჩენის ზონა.....	43
1.3.2. სივრცის მიმოხილვის სიჩქარე	45
1.3.3. გარჩევის უნარი	46
1.3.4. სიზუსტე.....	48
1.3.5. საიმედოობა	50
1.3.6. ხელშეშლებისადმი მდგრადობა.....	51

1.4. რადიოლოკაციური სადგურების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები.....	52
1.4.1. ტალღის სიგრძე.....	52
1.4.2. ტალღის სიგრძის გავლენა ანტენის გეომეტრიულ ზომებზე.....	52
1.4.3. ტალღის სიგრძის გავლენა კუთხური გარჩევის უნარზე.....	53
1.4.4. ტალღის სიგრძის გავლენა რადიოლოკაციური სადგურის სიზუსტეზე კუთხური კოორდინატების მიხედვით.....	53
1.4.5. ტალღის სიგრძის გავლენა ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ქვედა ფურცლის მდებარეობაზე ვერტიკალურ სიბრტყეში.....	54
1.4.6. ტალღის სიგრძის გავლენა ჰიდრომეტეორების აღმოჩენაზე	55
1.4.7. ტალღის სიგრძის გავლენა რადიოლოკაციური სადგურის ენერგეტიკულ მაჩვენებელზე.....	55
1.4.8. ანტენების მიმართულობის დიაგრამები.....	57
1.4.9 გადამცემის სიმძლავრე	59
1.4.10 მიმღების მგრძნობიარობა	60
1.4.11 გასხივებული იმპულსების განმეორების სიხშირე და ხანგრძლივობა	61
1.5 რადიოლოკაციური და რადიონავიგაციური სადგურების საექსპლუატაციო ტექნიკური მახასიათებლების საერთაშორისო ნორმები	62
1.5.1 მოკლე ცნობები ICAO-ს შესახებ.....	62
1.5.2 ICAO-ს ნორმები დაფრენის სისტემების პარამეტრებისათვის	63
1.5.3 გლისადის რადიოშუქურების პარამეტრების ნორმები.....	65
1.5.4 მომნიშნავი რადიოშუქურების პარამეტრების ნორმები.....	66
1.5.5 დაფრენის რადიოშუქურული სისტემის სერტიფიკაცია.....	67
1.5.6 ICAO-ს ნორმები დაფრენის რადიოლოკაციური სადგურებისთვის.....	69
1.5.7 ICAO-ს ნორმები სააეროდრომო რადიოლოკაციური სადგურებისათვის.....	71
1.5.8 ICAO-ს ნორმები მეორადი რადიოლოკაციური სადგურებისთვის.....	71
თავი II საერთაშორისო სტრატეგიული გეგმის შესაბამისად, საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის ანალიზი.....	73
2.1. საჰაერო სივრცის ორგანიზება	73
2.2. სანავიგაციო ამოცანების ავტომატური გადაწყვეტის გზები.....	75
2.3. საჰაერო ხომალდების სანავიგაციო მომსახურების ალტერნატიული რადიოსამაუწყებლო ტექნოლოგია ADS-B, ADS-C და მულტილატერაციული MLAT სისტემა	79
2.3.1. ADS-B სისტემის უპირატესობები და დადებითი მხარეები.....	81
2.3.2. ADS-C სისტემის უპირატესობები	85
2.3.3. მულტილატერაციული MLAT სისტემა	86
MLAT სისტემის უპირატესობები	93
2.4. თანამედროვე მეთოდოლოგიის გამოყენება დაფრენის ტრაექტორიების გაუმჯობესებისათვის SBAS/GBAS.....	94

2.4.1. SBAS ავიონიკის შედარება არსებულ მოწყობილობებთან.....	96
2.5. 4D ტრაექტორიაზე დაფუძნებული ოპერაციები საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში	99
2.5.1. ტრაექტორიის განსაზღვრა	101
2.5.2. საჰაერო ხომალდის დინამიკა.....	102
2.5.3. ფრენის მართვის სისტემა.....	103
2.5.4. საჰაერო ხომალდის მდებარეობა.....	103
2.5.5. კონფლიქტების აღმოჩენა და მოგვარება	105
 თავი III საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ონტოლოგიური მოდელის გამოყენება საიმედოობის გაუმჯობესების მიზნით	107
3.1. საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობა.....	107
3.1.1. საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩასიათებლები.....	109
3.1.2 საიმედოობის კოეფიციენტები	115
3.1.3. სხვადასხვა დანიშნულების აპარატურის საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩასიათებლები	123
3.1.4 საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ელემენტების საიმედოობა.....	125
3.2 საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობის ამაღლება	128
3.2.1 როული სისტემების საიმედოობისადმი წაყენებული მოთხოვნები.....	128
3.2.2. საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობის ამაღლების მეთოდები	129
3.3. საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების რეკომენდაციები, საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა შერჩევისა და კვალიფიკაციის ამაღლების საკითხებში	134
3.3.1. ICAO - ს რეკომენდაციები.....	134
3.3.2. EUROCONTROL - ის რეკომენდაციები.....	136
3.4. საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების კვლევა და რეკომენდაციები ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით	138
 გამოყენებული ლიტერატურა.....	145

აბრევიატურების ნუსხა

აბრევიატურა	განმარტება ინგლისურად	განმარტება ქართულად
ATM	Air Traffic Management	საჰაერო მოძრაობის მართვა
ADF	Automatic Direction Finder	ავტომატური რადიოკომპასი
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	ავტომატური დამოკიდებული თვალყურის დევნების სისტემა - სამაუწყებლო
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contract	ავტომატური დამოკიდებული თვალყურის დევნების სისტემა-საკონტრაქტო
BADA	Base of Aircraft Data	საჰაერო ხომალდების მონაცემთა ბაზა
DME	Distance Measuring Equipment	დახრილი მანძილის საზომი
DVOR	Doppler VOR	ყოველმხრივ მიმართული დოპლერული აზიმუტური რადიომუქურა
EC	European Commission	ევროპული კომისია
EUR	Eurocontrol	ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაცია
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator	ჰორიზონტალური ვითარების ელექტრონული ინდიკატორი
FMC	Flight Management Computer	ფრენის მართვის კომპიუტერი
FAA	Federal Aviation Administration USA	ამერიკის ფედერალური საავიაციო ადმინისტრაცია
GANP	Global Air Navigation Plan	საჰაერო ნავიგაციის გლობალური გეგმა
GBAS	Ground Based Augmentation System	სატელიტურ ნავიგაციაზე დაფუძნებული დაფრენის სისტემა
GNSS	Global Navigation Satellite System	გლობალური სანავიგაციო სატელიტური სისტემა
GPS	Global Positioning System	გლობალური პოზიციონირების სისტემა
G/S	Glide Slope	საგლისადო რადიომუქურა
GCA	Ground Command Approach	მიწიდან კომანდების მიხედვით დაფრენის მართვის

		სისტემა
ICAO	International Civil Aviation Organisation	სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია
ILS	Instrument Landing System	დაფრენის სახელსაწყო სისტემა
LOC	Localizer	საკურსო რადიოშუქურა
MLS	Microwave Landing System	მიკროტალღური დაფრენის სისტემა
NextGen	Next Generation Air Transportation System	ახალი თაობის საჰაერო ტრანსპორტის სისტემა
PAR	Precision Approach Radar	დაფრენის რადიოლოკატორი
RDDMI	Radio Direction Distance Magnetic Indicator	კომბინირებული რადიომაგნიტური ინდიკატორი
SESAR	Single European Sky ATM Research	ერთიანი ევროპული ცის საჰაერო მოძრაობის მართვის კვლევა
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	დაფრენის უზრუნველყოფის სატელიტური სისტემა
SRE	Surveillance Radar Equipment	სააეროდრომო რადიოლოკაციური სადგური
TRSB	Time Reference Scanning Beam	დროში მოცემული მიმართულობის დიაგრამის სკანირება
TAS	True Airspeed	ჭეშმარიტი სიჩქარე
UAV	Unmanned Air Vehicles	უპილოტო საფრენი აპარატები
VOR	Very High Frequency Omni-Directional Radio Range	ზემაღალი სიხშირის ყოველმხრივ მიმართული აზიმუტური რადიოშუქურა
4DT	4D Trajectory	4D ტრაექტორია
ადზ		ასაფრენ-დასაფრენი ზოლი
სხ		საჰაერო ხომალდი

ნაშრომის სტრუქტურა და შემადგენლობა

სადოქტორო დისერტაცია შედგება შესავალისაგან, 3 თავისაგან და შეიცავს 37 ნახაზს, 15 ცხრილს, გვერდების ჯამური რაოდენობაა 145, გამოყენებული ლიტერატურული წყარო 35.

ნაშრომის აპრობაცია

კვლევის შედეგები წარმოდგენილ იქნა ფართო სამეცნიერო საზოგადოების წინაშე 11 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე, სამუშაო შეხვედრაზე, სიმპოზიუმსა და ფორუმზე: თბილისში, რიგაში, ტალინში, ვილნიუსში, ათენში, ლას-პალმასში, ალჟირსა და ბარსელონაში, კერძოდ:

- საერთაშორისო საავიაციო ფორუმი, 13 ივნისი 2019 წ. რიგა, ლატვია;
- საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა XIII საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, 28-29 მაისი 2019 წ. თბილისი, საქართველო;
- საერთაშორისო კონფერენცია საჰაერო ტრანსპორტი & რეგიონის განვითარება „ATARD 2019“, 23-26 მარტი 2019 წ. ლას-პალმასი, ესპანეთი;
- სამუშაო შეხვედრა თემაზე საჰაერო ტრანსპორტი & რეგიონის განვითარება, 8-9 ნოემბერი 2018წ, ათენი, საბერძნეთი;
- ევროპის VII საერთაშორისო საავიაციო კონფერენცია „EAC-2018“, 6-7 ნოემბერი 2018 წ. ათენი, საბერძნეთი;
- საჰაერო ტრანსპორტირების კვლევის რიგით VIII საერთაშორისო სიმპოზიუმი „ICRAT'18“, 25-29 ივნისი 2018 წ. ბარსელონა, ესპანეთი;
- საერთაშორისო სამეცნიერო და საგანმანათლებლო კონფერენცია განათლების აქტუალურ პრობლემებზე „MIP 2018“, 23-25 მარტი 2018 წ. რიგა ლატვია;
- საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „RatSif 2017“, 8-10 დეკემბერი 2017 წ. რიგა, ლატვია;
- რიგით IV საჰაერო მოძრაობის მართვის გლობალური გეგმის საერთაშორისო ფორუმი „Digital Transport Days“, 8-10 ნოემბერი 2017წ. ტალინი, ესტონეთი;
- საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია მექანიკასა და აერონავტიკაში „CIMA 2016“, 18-21 ოქტომბერი 2017 წ. ალჟირი, ალჟირი;
- საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სტუდენტთა X ღია სამეცნიერო კონფერენცია, 25-26 მაისი 2016წ. თბილისი, საქართველო.

კვლევის შედეგები პუბლიკაციების სახით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ჟურნალში, მათ შორის მაღალრეიტინგულ, ციტირებად და რეფერირებად ჟურნალებში (გამოქვეყნებული მასალები ნაშრომს თან ერთვის დანართის სახით);

კვლევის განხორციელებისას მიღებულია კვლევითი გრანტი დოქტორანტებისათვის, საქართველოსა და ლატვიის მთავრობებს შორის განათლებისა და მეცნიერების სფეროში შეთანხმების ფარგლებში, გრანტის გამცემი ლატვიის განათლების განვითარების სააგენტო;

კვლევის შედეგების წარდგენა კორპორაცია “Boeing”-ის და ამერიკის ფედერალური ადმინისტრაციის (FAA) ერთობლივად ორგანიზებულ დოქტორანტთა საერთაშორისო სიმპოზიუმზე სრულად დაფინანსდა ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციის (EUROCONTROL) კვლევის დეპარტამენტის მიერ;

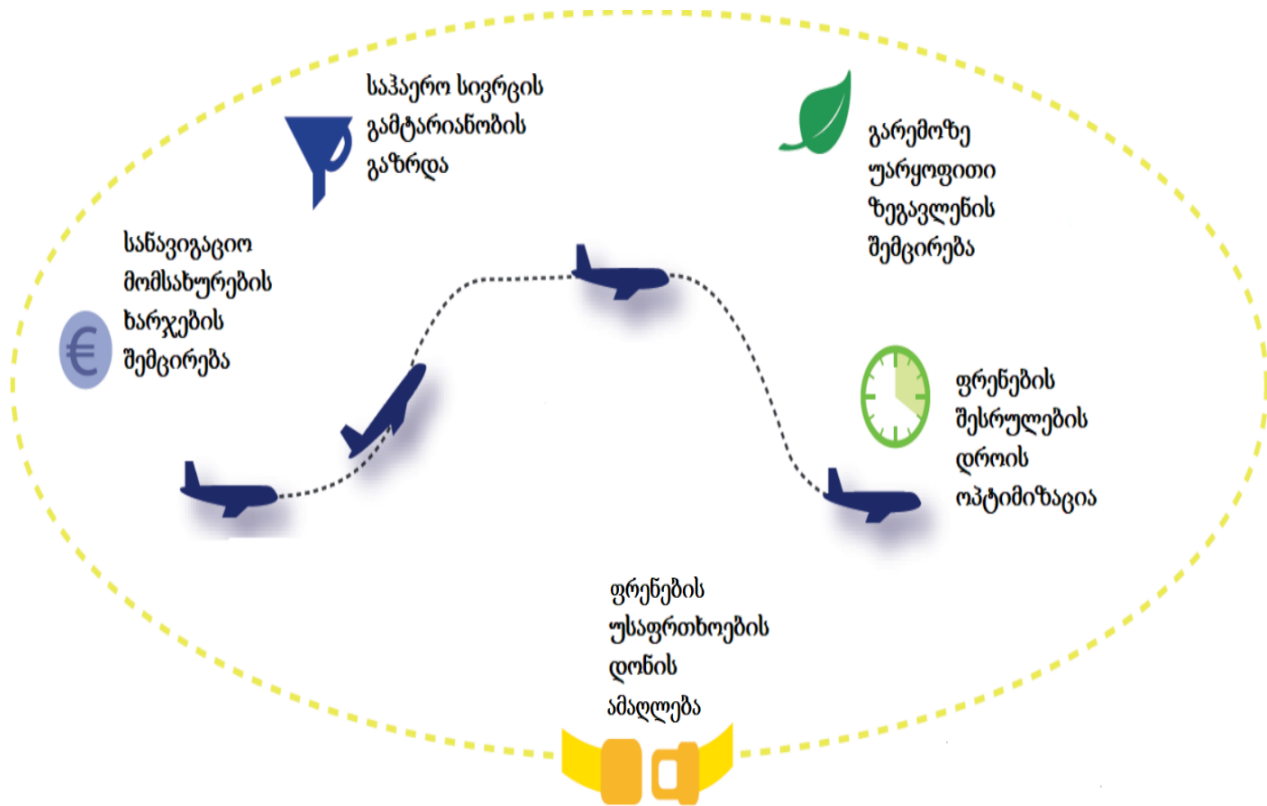
კვლევის პროცესში რეალური მონაცემების დამუშავებისა და გათვალისწინების მიზნით, 3 თვის განმავლობაში განხორციელდა ინტენსიური ვიზიტები ადგილობრივ დონეზე „საქაერონავიგაციაში“, ხოლო 4 თვის განმავლობაში რეგულარულად, რიგის საერთაშორისო აეროპორტში არსებული სანავიგაციო პროვაიდერის ბაზაზე;

„კვლევა [PHDF-18-213] განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით“.

შესავალი

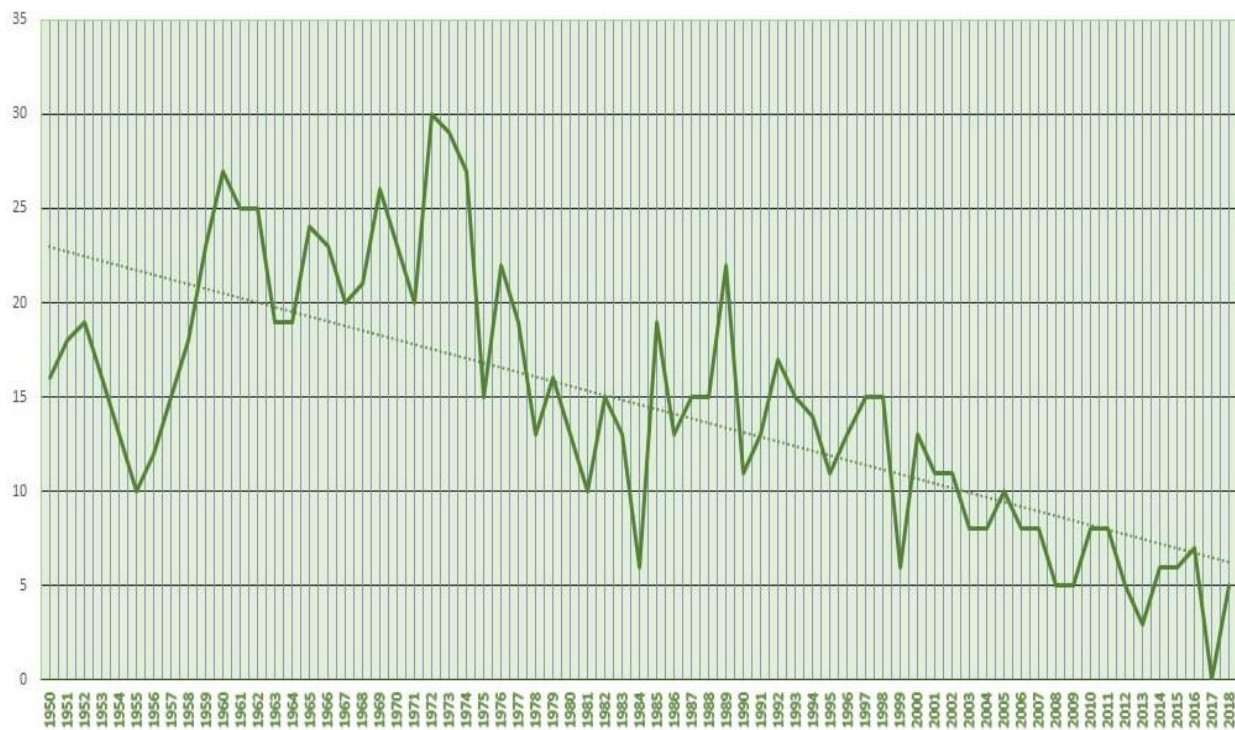
სამოქალაქო ავიაციის საქმიანობის მოკლე მიმოხილვა, საავიაციო შემთხვევების, ინციდენტებისა და კატასტროფების გამომწვევი მიზეზების ანალიზი

სამოქალაქო ავიაცია ყველაზე დინამიურ სატრანსპორტო სფეროს წარმოადგენს. მსოფლიოში ფრენების ინტენსივობის მუდმივი ზრდა ახალი გამოწვევების წინაშე აყენებს საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციებს, რაც აიძულებს მათ მუდმივ მზადყოფნაში დახვდნენ თანამედროვე საჰაერო გადაყვანა-გადაზიდვების უსაფრთხოებისადმი წაყენებულ გაზრდილ მოთხოვნებს. ფრენების რაოდენობისა და სიხშირის ზრდა საჰაერო მოძრაობის მართვის პროცესში ყველაზე დიდ პრობლემას საჰაერო ხომალდების აფრენისა და დაფრენის ეტაპებზე ქმნის. ზემოხსენებული ფაქტორი უარყოფით როლს ითამაშებს ფრენების რაოდენობის ზრდის ტენდენციაზე იმ შემთხვევაში, თუ უახლოეს მომავალში არ მოხდება აეროპორტებისა და მართვის სისტემების შესაბამისი მოდერნიზება. აღნიშნული პრობლემის წარმატებით გადაჭრის მიზნით სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციას (ICAO) შემუშავებული აქვს 2016-2030 წლების გლობალური საჰაერო ნავიგაციის სამოქმედო გეგმა (GANP) (ნახ.1), რომლის პრიორიტეტულ მიმართულებებს წარმოადგენს: სანავიგაციო ხარჯების შემცირება, საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის გაზრდა, გარემოზე უარყოფითი გავლენის შემცირება, ფრენების შესრულების დროის ოპტიმიზაცია, უსაფრთხოების დონის ზრდისკენ მუდმივი სწრაფვა. აღნიშნულის განხორციელებისათვის საჭიროა ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა და შემდეგი ღონისძიებების გატარება: ფრენის სიმაღლეების გაზრდით თვითმფრინავებს შორის ფრენის ეშელონების სიდიდის გაზრდა, რაც, თავის მხრივ, აამაღლებს საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობას; სატელიტური ნავიგაციის გამოყენებით ფრენების მარშრუტების შემცირება ეკონომიკური მაჩვენებლისა და ფრენების შესრულების დროის ოპტიმიზაციის მიზნით; დაფრენის ტრაექტორიების გაუმჯობესების შედეგად დასახლებულ პუნქტებზე მოქმედი უარყოფითი გავლენების (გამონაბოლქვის და ხმაურის) შემცირება. აღნიშნული ტექნოლოგიური ცვლილებები მოსალოდნელია განხორციელდეს გლობალურად, ამავე დროს მათი ლოკალურ დონეზე დაგეგმვა რეგიონების მიხედვით ძალზედ აქტუალურ საკითხად რჩება.

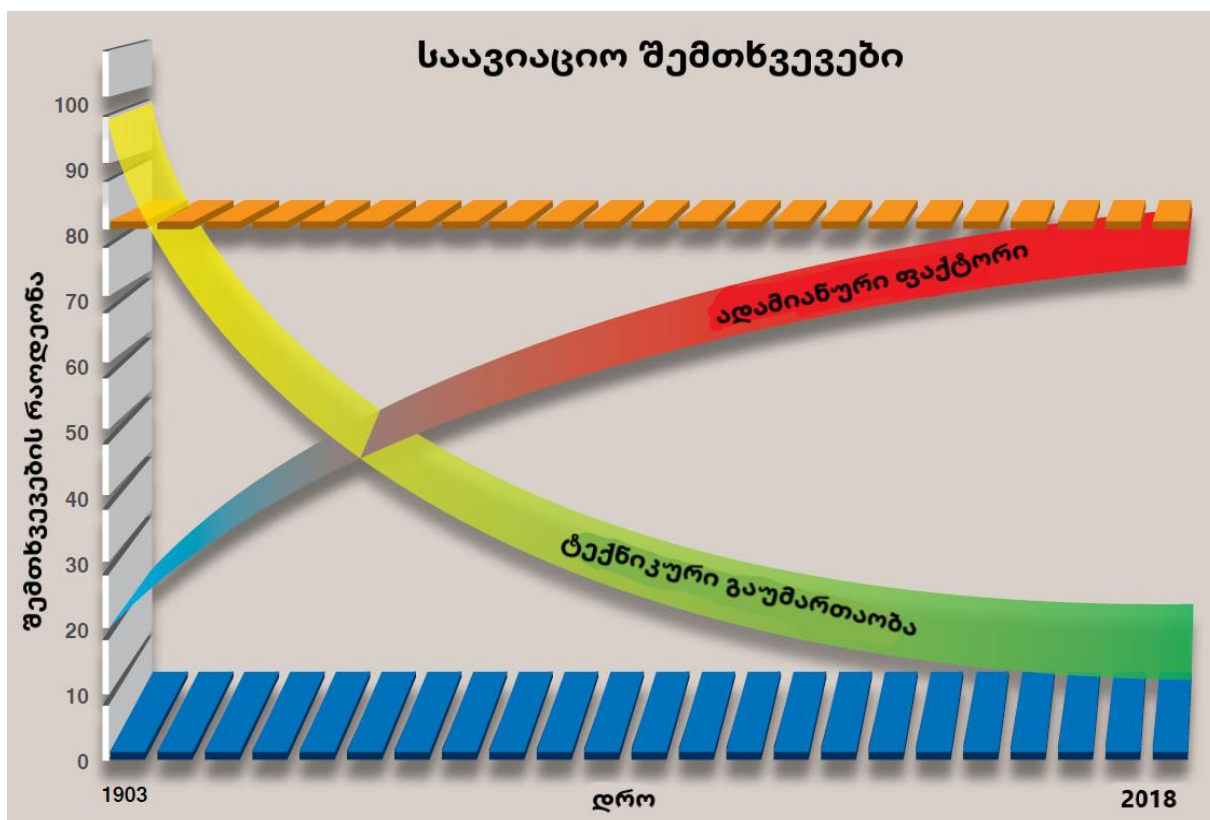


ნახ. 1. ICAO-ს 2016-2030 წლების გლობალური სანავიგაციო სამოქმედო გეგმის პრიორიტეტული მიმართულებები [7]

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის პროცესის პარალელურად განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული შეცდომების შემცირებას. საჰაერო ტრანსპორტი დღეისათვის გადაადგილების ყველაზე უსაფრთხო საშუალებად ითვლება და, როგორც საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების ოფიციალური სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებს, საჰაერო სივრცეში მომხდარი შემთხვევების, ინციდენტებისა და კატასტროფების რაოდენობა ყოველწლიურად მცირდება (ნახ.2). ამერიკის ფედერალური საავიაციო ადმინისტრაციის (FAA) მიერ შემოთავაზებული ანალიზიდან ნათლად იკვეთება, რომ ტექნოლოგიური გაუმართაობით გამოწვეული შემთხვევების რაოდენობა დროში მუდმივად მცირდება, ხოლო ადამიანის შეცდომით გამოწვეული შემთხვევების, ინციდენტებისა და კატასტროფების რიცხვი დღემდე მაღალია (ნახ 3.).



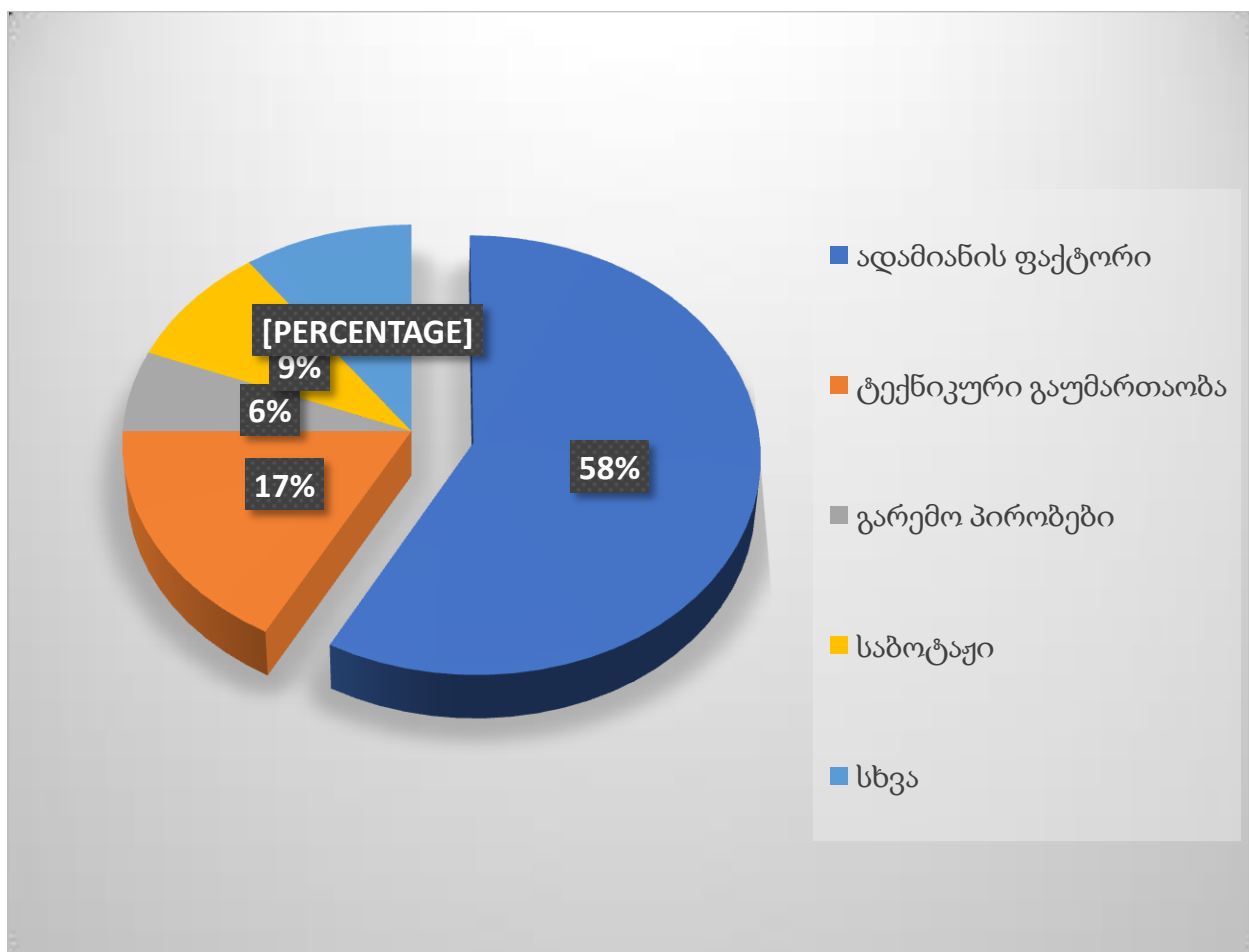
ნახ.2. საავიაციო შემთხვევებისა და ინციდენტების სტატისტიკური ანალიზი [15]



ნახ. 3. ადამიანის ფაქტორებისა და ტექნიკური გაუმართაობების ზეგავლენის დამოკიდებულება ფრენების უსაფრთხოებაზე დროში [16]

საავიაციო შემთხვევების გამომწვევი მიზეზების სტატისტიკურ ანალიზზე დაყრდნობით (ნახ.4) იკვეთება, რომ სხვადასხვა საავიაციო შემთხვევების გამომწვევ მიზეზებს შორის დღემდე ყველაზე მაღალია ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული ინციდენტების პროცენტული რაოდენობა, კერძოდ:

- შემთხვევების და ინციდენტების სრული რაოდენობის 58% - ადამიანის ფაქტორი;
- შემთხვევების და ინციდენტების სრული რაოდენობის 17% - ტექნიკური გაუმართაობა;
- შემთხვევების და ინციდენტების სრული რაოდენობის 10 % - სხვა მიზეზები;
- შემთხვევების და ინციდენტების სრული რაოდენობის 9% - საბოტაჟი;
- შემთხვევების და ინციდენტების სრული რაოდენობის 6% - გარემო პირობები.



ნახ.4 საავიაციო შემთხვევებისა და ინციდენტების გამომწვევი მიზეზების ოფიციალური სტატისტიკური მონაცემები [15]

**საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა შეცდომების შედეგად
გამოწვეული ინციდენტების, შემთხვევებისა და კატასტროფების
გამომწვევი მიზეზების შეფასება**

მსოფლიო საავიაციო პრაქტიკაში უმნიშვნელოვანესი ყურადღება ეთმობა და პრიორიტეტულ ამოცანად რჩება საჰაერო გადაყვანა-გადაზიდვების უსაფრთხოების მაღალი დონის უზრუნველყოფა, რაშიც უმთავრეს როლს საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტები ასრულებენ. ხშირად, სწორედ მათი მაღალი კვალიფიციურობა და შესაბამისი კომპეტენციების ფლობა განაპირობებს სხვადასხვა სახის უბედური შემთხვევების თავიდან აცილებას, თუმცა ასევე ფიქსირდება ფაქტები, რომლებიც პირდაპირ კავშირშია საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტების მიერ დაშვებულ შეცდომებთან, რომლებიც არაერთი საავიაციო ინციდენტის, შემთხვევისა თუ კატასტროფის საფუძველი გამხდარა. მათი არასრული ჩამონათვალი მსოფლიო სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი

1.[15]

თარიღი	ადგილმდებარეობა	ავიაკომპანიის/ავიაკომპანიების დასახელება	კატასტროფის მიზეზი
02/08/1965	ნიუ-იორკი, აშშ	„ამერიკის ავიხაზები“	ორი საჰაერო ხომალდის ფრენა ერთიდაიგივე კურსით ურთიერთსაწინააღმდეგოდ
03/05/1969	სან ხუანი, პუერტო რიკო	„პრინეარი“	საჰაერო ხომალდი სახელსაწყო რეჟიმში ფრენის პირობებში მთას შეეჯახა არასწორად მიღებული კოორდინატების გამო
02/06/1970	სამარყანდი, სსრკ	„აეროფლოტი“	საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერის მხრიდან არასწორი იდენტიფიკაციის მიზეზით საჰაერო ხომალდი მთას შეეჯახა
12/20/1972	ჩიკაგო, აშშ	„ავიაკომპანია დელტა“	გაურკვეველი ინსტრუქციების მიღება ეკიპაჟის მიერ საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერის მხრიდან
09/09/1976	ადლერი, სსრკ	„აეროფლოტი“	შეჯახების თავიდან აცილების

			წესების დარღვევა
08/11/1979	დნეპროდერჟინსკი, სსრკ	„აეროფლოტი“	საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერის მიერ შეჯახების თავიდან აცილების წესების შეცდომით გამოყენება
04/19/1983	ლენინაკანი, სსრკ	„აეროფლოტი“	საჰაერო მოძრაობის მართვის ცენტრის მხრიდან დაშვებული პროცედურული შეცდომა საჰაერო ხომალდის პოზიციის იდენტიფიცირებისას
02/01/1991	ლოს-ანჯელესი, აშშ	„აშშ ეარ/სქაი ვესტ“	საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერმა გასცა ნებართვა დაფრენის შესახებ ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე, რომელზეც იმყოფებოდა სხვა საჰაერო ხომალდი
11/07/1996	ლაგოსი, ნიგერია	„ავიაკომპანია A.D.C“	საჰაერო მოძრაობის მართვის ცენტრის მხრიდან გადაცემული ფრენის არასწორი სიმაღლე
09/26/1997	ბუაჰ ნაზარი, ინდონეზია	“ინდონეზიის ავიახაზები “	საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერის შეცდომა საჰაერო ხომალდის მოძრაობის მართვისას
07/01/2002	იუბენლინგერი, გერმანია	„ბაშკირიის ავიახაზები/DHL“	საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერმა გასცა და შეჯახების თავიდან აცილების ავტომატური სისტემის ინფორმაციის საპირისპირო ბრძანება

საავიაციო შემთხვევების, ინციდენტებისა და კატასტროფების მიმოხილვისა და მათი მოკვლევის ანგარიშების გაცნობის შემდეგ ანალიზის საფუძველზე გამოიკვეთა ძირითადი ფაქტორები, რომლებსაც პირდაპირი ზეგავლენა აქვს საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტების მუშაობის ეფექტურობაზე, ესენია:

1. დადლილობა;
2. სტრესი;
3. გადამეტვირთვა სამუშაოს მოცულობის გაზრდიდან გამომდინარე;
4. ყურადღების მოდუნება;
5. უძილობა;
6. არაეფექტური კომუნიკაცია;

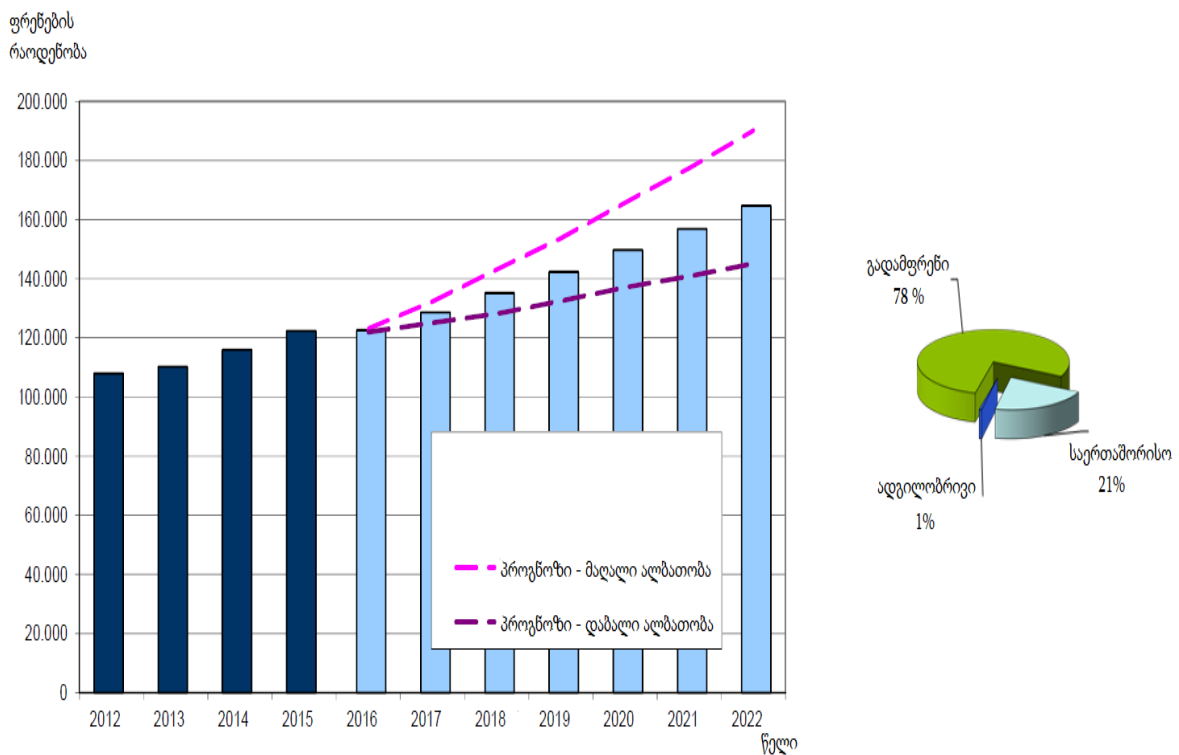
7. ნდობის ფაქტორი გუნდური მუშაობისას.

ხშირ შემთხვევაში, სწორედ ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები ხდება ინდივიდუალურად თუ ჯგუფურად, სხვადასხვა ფატალური შემთხვევების მიზეზი.

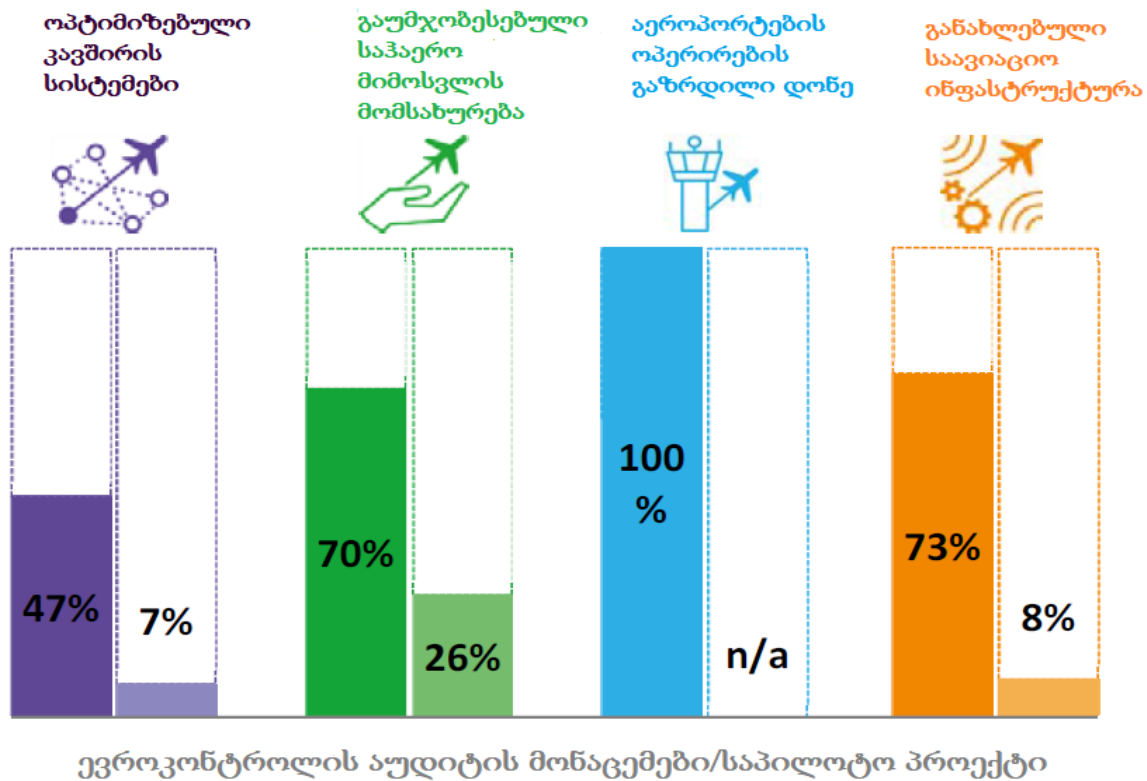
აღნიშნული საკითხი პრობლემურად რჩება დღესაც, ამ მიზნით სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) და ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციის (EUROCONTROL) მიერ შემუშავებულია გრძელვადიანი სტრატეგიული სამოქმედო გეგმა, რომლის რეგიონალურ და ეროვნულ დონეზე დანერგვა, მათ შორის ადამიანური ფაქტორებით გამოწვეული შემთხვევების პრევენციის მიზნით, მეტად აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

საქართველოს საჰაერო სივრცეში გადაყვანა-გადაზიდვების ზრდის ტენდენციის შესახებ EUROCONTROL-ის პროგნოზირებადი ანალიზისა და საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროგრესის პარალელურად, აქტუალურია ადამიანური ფაქტორების გამო გამოწვეული ინციდენტების შემცირების სტრატეგიის შემუშავება.

ნახ.5-სა და ნახ.6-ზე ასახულია საქართველოში საჰაერო მოძრაობის ზრდის ტენდენცია და საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ტექნოლოგიური პროგრესი წლების მიხედვით.



ნახ. 5. საჰაერო მოძრაობის ზრდის ტენდენცია საქართველოში
EUROCONTROL-ის პროგნოზირებადი ანალიზი [10]



ნახ. 6. საქართველოს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ტექნოლოგიური პროგრესი [10]

საქართველოს საჰაერო სივრცეში მომხდარი საავიაციო შემთხვევების და ინციდენტების მოკვლევის ანგარიშები ასეთია:

1. 17.12.2016 წელს ქუთაისის საერთაშორისო აეროპორტში მომხდარი საავიაციო ინციდენტი (დიდთოვლობის დროს აეროდრომის ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე აეროპორტის სატრანსპორტო საშუალების არასანქცირებული შესვლა);
2. 2017 წლის 29 იანვარი - 1 თებერვლის პერიოდში ბათუმის საერთაშორისო აეროპორტში მომხდარი საავიაციო მოვლენები (დიდთოვლობის დროს პერიოდულად ფიქსირდებოდა შპს „საქაერონავიგაცია“-ს სანავიგაციო სისტემების დროებითი მტყუნებები);
3. ავიაკომპანიების „თურქეთის ავიახაზები“-ის და „აზერბაიჯანის ავიახაზები“-ის მიერ ექსპლუატირებულ საჰაერო ხომალდებს A-319-132 და B-767/300 შორის 19.06.2013 წელს საქართველოს საჰაერო სივრცეში „ODILI“ და „TETRO“-ს მონაკვეთზე მომხდარი მნიშვნელოვანი ინციდენტი, მონაცემები მოცემულია ცხრილ 2-ში.

05:58:52	AHY-075	თბილისი AHY-075 დილა მშვიდობისა
	ACC	დილამშვიდობის AHY-075, შეინარჩუნეთ ფრენის დონე 340
	AHY-075	მიღებულია ფრენის დონე 340
05:59:06	THY-384	თბილისი THY-384 მზად ვარ დასაშვებად
05:59:12	ACC	THY-384 მოძრაობის გამო შეგიძლიათ დაეშვათ 350 მდე
05:59:22	THY-384	მიღებულია ვეშვები ფრენის დონე 250 მდე
06:01:30	ACC	THY-384 ვიმეორებ შეინარჩუნე ფრენის დონე 350
	THY-384	ვინარჩუნებ ფრენის დონე 350-ს ჩემი შეცდომაა ვწუხვარ

საჰაერო სივრცეში მომხდარი საავიაციო შემთხვევების და ინციდენტების მოკვლევის ანგარიშებიდან ნათლად ჩანს, რომ ტექნოლოგიურ პროგრესთან ერთად ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების აუცილებლობა ცალსახად პრობლემურ საკითხს წარმოადგენს, ვინაიდან ფიქსირდება რამდენიმე ფაქტი, რომელსაც პირდაპირი გავლენა აქვს ადამიანის მიერ გამოწვეულ შეცდომებთან სანავიგაციო ობიექტების ექსპლუატაციისას, რიგ შემთხვევებში, საკმარისი კომპეტენციის არქონის მიზეზით.

ამრიგად, კვლევის ძირითად მიზანს წარმოადგენს საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა მოსამზადებელ საგანმანათლებლო პროგრამებში საავიაციო ინდუსტრიის თანამედროვე გამოწვევების და ინოვაციური ტექნოლოგიური გარემოს მოთხოვნების ეფექტური გათვალისწინება, რაც ხელს შეუწყობს მომზადებული შევხვედრით ზემოაღნიშნულ გამოწვევებს.

თავი I

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში შემავალი სანავიგაციო ობიექტების მუშაობის პრობლემების ტაქსონომია

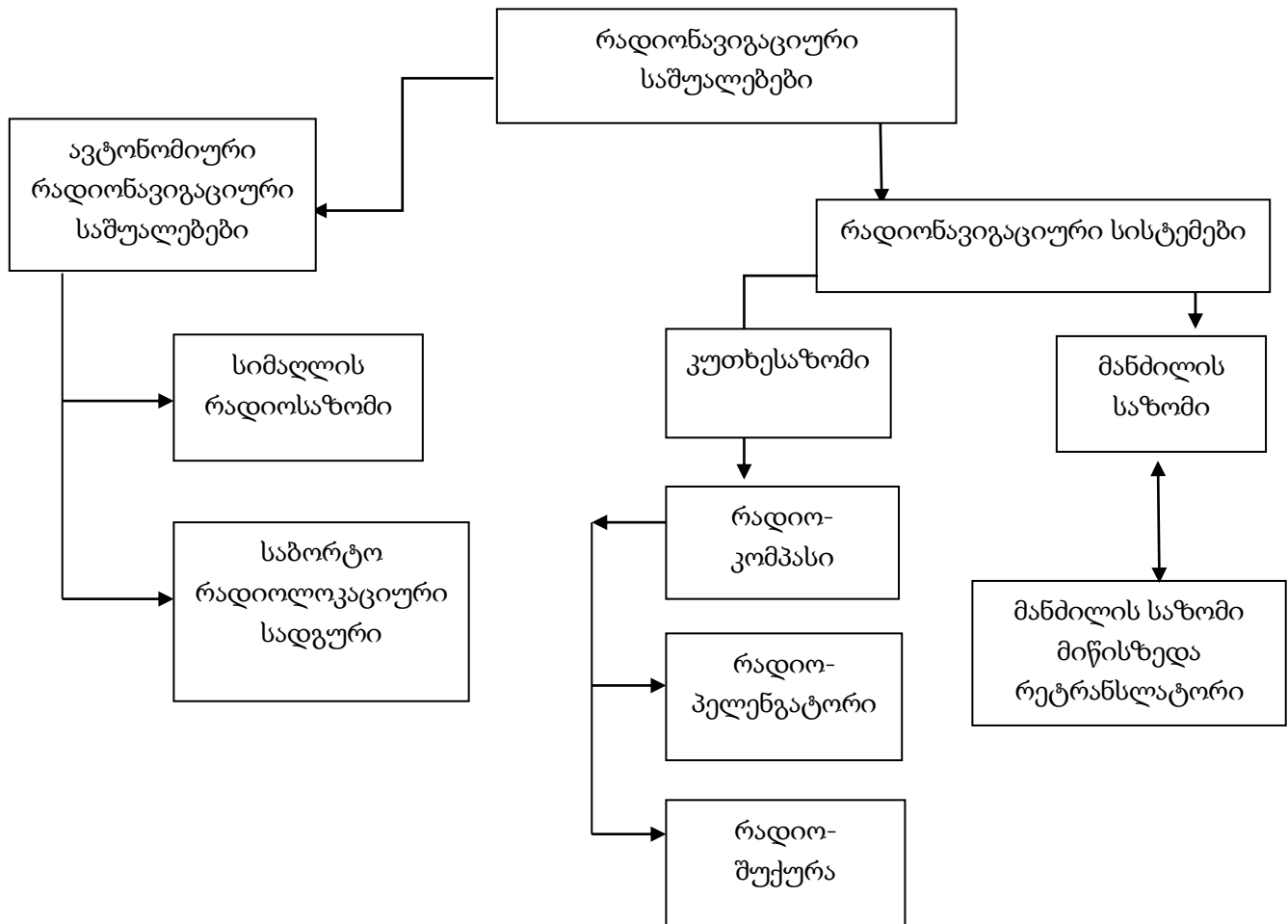
1.1. საჰაერო ხომალდების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის არსებული რადიონავიგაციური მოწყობილობების მუშაობის ეფექტურობის შეფასება [1]

რადიონავიგაცია ეწოდება საჰაერო ნავიგაციის იმ ნაწილს, რომელშიც განიხილება სპეციალური რადიოტექნიკური საშუალებების თეორიისა და მათი საფრენი აპარატების მოძრაობის მართვის მიზნით პრაქტიკული გამოყენების საკითხები. რადიონავიგაციური მოწყობილობები ნავიგაციაში ასრულებს საფრენი აპარატების მოძრაობის სიჩქარისა და კოორდინატების შესახებ იმ ინფორმაციის გადამწოდების როლს ეკიპაჟისათვის ან ავტომატიზებული სანავიგაციო კომპლექსისათვის, რომლებიც ფრენის პროცესში უშუალოდ წყვეტენ სანავიგაციო ამოცანებს. რადიონავიგაციური საშუალებები სანავიგაციო ინფორმაციის შეკრების სხვა ტექნიკური საშუალებებისგან იმით განსხვავდებიან, რომ ისინი მოქმედებენ რადიოტექნიკური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ველების თვისებების გამოყენების საფუძველზე. რადიონავიგაციური საშუალებების მუშაობისათვის საჭირო ელექტრომაგნიტური ველები იქმნება:

მიწისზედა ან ორბიტალური რადიოგადამცემებით, რომლებიც საჰაერო ხომალდის მოწყობილობებისაგან დამოუკიდებლად მუშაობენ (მიმყვანი რადიოშუქურები, რადიოშუქურები, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების გადამცემები) და იმ ელექტრომაგნიტური ენერგიის მიწის ზედაპირიდან არეკვლით, რომელიც საბორტო გადამცემებიდან გამოსხივდება.

ვინაიდან რადიოტალღები ვრცელდება ოპტიკური ხილვადობის პირობებისგან დამოუკიდებლად, რადიონავიგაციური საშუალებები მუშაობის უნარიანია პრაქტიკულად დღისა და ღამის ნებისმიერ მეტეოროლოგიურ პირობებში, რაც მათ უმნიშვნელოვანეს სანავიგაციო თვისებას წარმოადგენს. ამავე დროს ელექტრომაგნიტურ ველზე დამოკიდებულება ზღუდავს ამ საშუალებების შესაძლო გამოყენების სფეროს განსაზღვრული მანძილით გამოსხივების წყაროებიდან, (მოქმედების მანძილით), რომელზეც შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს რადიოსიგნალების დამაკმაყოფილებელი მიღება. როგორც წესი, გამოსხივების წყაროდან დაშორებასთან ერთად, მცირდება მიღებული სანავიგაციო ინფორმაციის სიზუსტე.

საჭაერო ნავიგაციის ტექნიკური საშუალებების სანავიგაციო კლასიფიკაციის ზოგადი პრინციპების შესაბამისად ყველა რადიონავიგაციური საშუალება იყოფა ავტონომიურ რადიონავიგაციურ საშუალებებად და რადიონავიგაციურ სისტემებად. **ავტონომიური რადიონავიგაციური საშუალებები** - ეს ის საბორტო მოწყობილობებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ სანავიგაციო ინფორმაციის მიღებას ელექტრომაგნიტური ველის გამოყენების საფუძველზე, ამ დროს ელექტრომაგნიტურ ველს ქმნის საბორტო რადიოგადამცემები და არ არის დამოკიდებული რომელიმე სახმელეთო სადგურის მუშაობაზე. ავტონომიურ რადიონავიგაციურ საშუალებებს მიაკუთვნებენ: სიმაღლის რადიოსაზომებს და საბორტო მეტეორადიოლოკატორებს. იხ. (ნახ.1.1).



ნახ.1.1. რადიონავიგაციური საშუალებების კლასიფიკაცია

რადიონავიგაციური სისტემები - ეს არის საბორტო და მიწისზედა (ან ხელოვნური თანამგზავრის) რადიოტექნიკური მოწყობილობების ერთობლიობა, რომლებიც მუშაობისას უზრუნველყოფს სანავიგაციო ინფორმაციის მიღებას საჭაერო ხომალდის ბორტზე. სანავიგაციო ინფორმაცია გადაიცემა გეომეტრიული პარამეტრების ფორმით, რომლებიც ახასიათებს საჭაერო ხომალდის მდებარეობას მიწისზედა სადგურების მიმართ (კუთხე, მანძილი ან მათი შეთავსება), რომლის მიხედვითაც

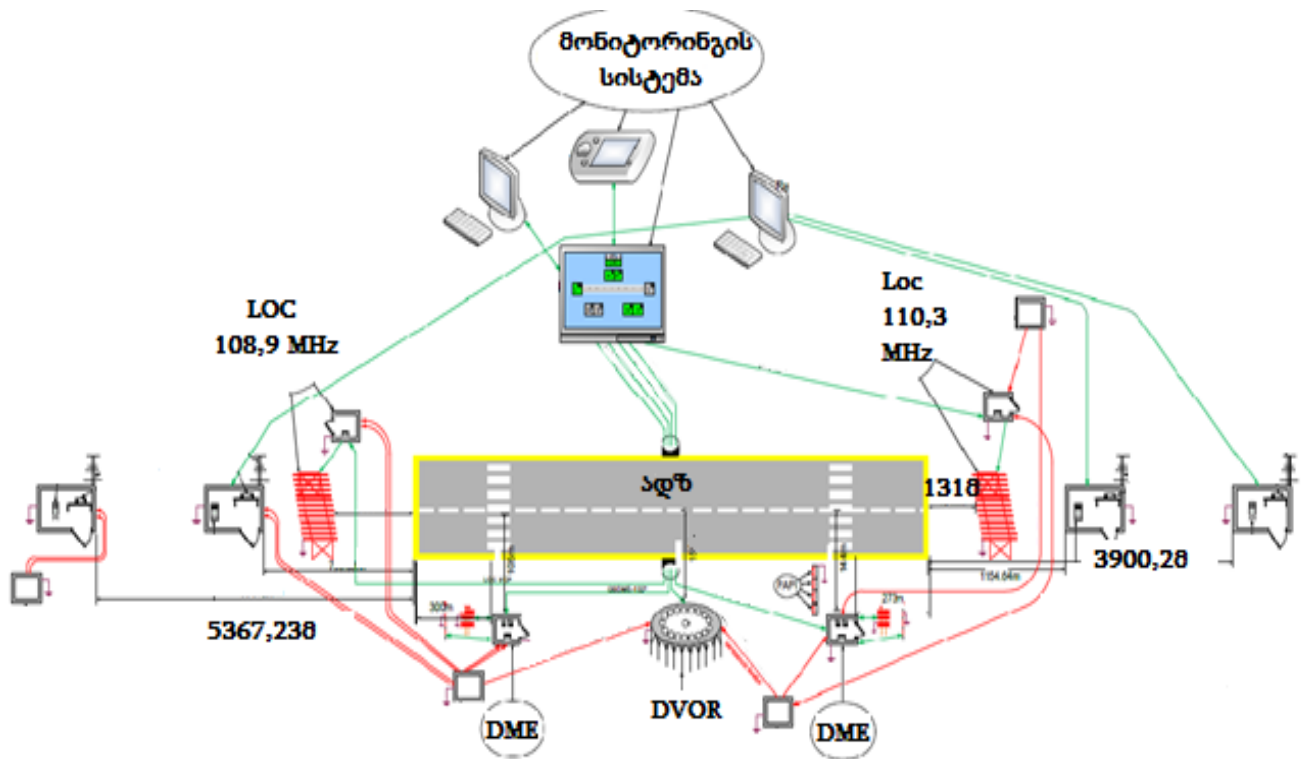
განისაზღვრება საჰაერო ხომალდის ერთი ან რამდენიმე მდებარეობის ხაზი. სისტემის სანავიგაციო თვისებები ძირითადად ხასიათდება გეომეტრიული პარამეტრის სახითა და სიზუსტით, აგრეთვე მიღებული მდებარეობის ხაზის ფორმით. ამ პარამეტრის სახის მიხედვით რადიონავიგაციური სისტემები შეიძლება დაიყოს კუთხმზომ, სიშორის მზომ და კომბინირებულ სისტემებად.

კუთხმზომი სისტემები - საშუალებას იძლევა მივიღოთ საჰაერო ხომალდის პელენგი ან რადიოსადგურის პელენგი, რაც უზრუნველყოფს სხვადასხვა სახის მდებარეობის ხაზის აგებას: საჰაერო ხომალდის ტოლი პელენგების ხაზის; რადიოსადგურის ტოლი პელენგების ხაზის, რომელსაც იმავდროულად ტოლი აზიმუტების ხაზი ეწოდება.

სიშორის საზომი სისტემები - უზრუნველყოფს მანძილის გაზომვას საჰაერო ხომალდიდან მიწისზედა სადგურამდე, რაც საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ტოლი მანძილის ხაზი.

კომბინირებული სისტემები - წარმოადგენს კუთხმზომი და მანძილის მზომი სისტემების გაერთიანებას, კუთხმზომი და მანძილ მზომი სისტემა საშუალებას იძლევა ერთდროულად მივიღოთ მდებარეობის ორი ხაზი - ორთოდრომია და წრე დედამიწის ზედაპირზე.

საჰაერო ხომალდის ბორტზე იმ რადიოტექნიკური საშუალებების არსებობა, რომლებიც უზრუნველყოფს ადგილმდებარეობის პანორამულ მიმოხილვას ოპტიკური ხილვადობისგან დამოუკიდებლად, ძირეულად აუმჯობესებს თვითმფრინავტარების პირობებს სხვადასხვა სანავიგაციო ვითარებაში, ბევრად ზრდის მის სიზუსტესა და საიმედოობას. (ნახ.1.2).



ნახ. 1.2. რადიონავიგაციური მოწყობილობების განლაგება თბილისის საერთაშორისო აეროპორტის აეროდრომზე [1]

1.1.1. VOR რადიოშუქურის სიზუსტის ამაღლების ძირითადი გზები

კუთხმზომი რადიონავიგაციური სისტემების ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეობაა ყოველმხრივ მიმართული აზიმუტური რადიოშუქურა VOR (Very High Frequency Omnidirectional Ragne Beacon), რომელშიც გამოიყენება აზიმუტის გაზომვის ფაზური მეთოდი. ყოველმხრივ მიმართული აზიმუტური რადიოშუქურა (VOR) სიზორის მზომ რადიოშუქურასთან ერთად კომპლექსში ქმნის აერონავიგაციური მოწყობილობის კომპლექსურ რადიოსანავიგაციო სისტემას VOR/DME.

VOR-ის კუთხმზომი არხი შედგება ორი რადიოხაზისაგან „მიწა-ბორტი“ მათგან ერთით (აზიმუტური სიგნალის რადიოხაზით) გადაიცემა ინფორმაცია საჰაერო ხომალდის აზიმუტის შესახებ, მეორეთი - (საყრდენი სიგნალის რადიოხაზით) საყრდენი სიგნალი, რომელთა ფარდობით საჰაერო ხომალდის ბორტზე ხორციელდება მიღებული აზიმუტური სიგნალის ამა თუ იმ პარამეტრის გაზომვა, რომელიც აზიმუტის შესახებ ინფორმაციას ატარებს.

სიგნალი საჰაერო ხომალდის ბორტზე გადაიცემა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მბრუნავი მიმართულობის დიაგრამის დახმარებით, თანაც თვით აზიმუტური ანტენები უძრავია. ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ბრუნვის ხარჯზე საჰაერო ხომალდის ბორტზე მიღებული სიგნალის პარამეტრები დამოკიდებულია

მიმართულობის დიაგრამის კუთხურ მდებარეობაზე. ცნობილია რა აზიმუტური სიგნალის მიღების მომენტში მიმართულობის დიაგრამის კუთხური მდებარეობა და ხორციელდება რა ფაზური გაზომვები, შეიძლება საჰაერო ხომალდის ბორტზე განისაზღვროს მისი აზიმუტი და მიწისზედა VOR შუქურას აზიმუტი საჰაერო ხომალდის მიმართ.

საყრდენი სიგნალის დახმარებით მოინიშნება ეგრეთ წოდებული დროის „ჩრდილოეთი“ მომენტი, ანუ ის მომენტი, როდესაც ანტენის მიმართულობის დიაგრამის მაქსიმუმი ემთხვევა იმ მერიდიანის ჩრდილოეთ მიმართულებას, რომელიც VOR რადიო-შუქურაზე გადის. რა თქმა უნდა, საყრდენი სიგნალის პარამეტრები არ უნდა იყოს დამოკიდებული მიღების წერტილის კუთხურ მდებარეობაზე. ამ სიგნალის გადაცემა ყველა თვითმფრინავზე უნდა ხორციელდებოდეს ერთდროულად, ამიტომ საყრდენი სიგნალის გამოსხივება ხორციელდება არამიმართული ანტენით.

მოძრავი ანტენა ბრუნავს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში 1800 ბრ/წთ (30ჰც) სიჩქარით. რის შედეგად რადიოშუქურას მუშა ზონის ნებისმიერ წერტილში სახეზეა ამპლიტუდა-მოდულირებული სიგნალი, რომლის შემომვლელის სიხშირე 30 ჰერცია და ფაზა დამოკიდებულია აზიმუტზე:

$$U = U_m[1 + m \cos(\Omega t - \alpha)] \cos \omega t,$$

სადაც m მოდულაციის კოეფიციენტი; Ω - მოძრავი ანტენის ბრუნვის სიხშირე; α - საჰაერო ხომალდის აზიმუტი; ω - მაღალი სიხშირის რხევების კუთხური სიხშირე.

ახლო ნავიგაციის სისტემის განვითარება მიმდინარეობს ძირითადად სანავიგაციო პარამეტრების გაზომვის სიზუსტის ამაღლების გზით, რაც ნაკარნახევია საჰაერო ხომალდების სიჩქარისა და საჰაერო მოძრაობის მართვის სიხშირის ზრდით.

აზიმუტის გაზომვის მაღალი სიზუსტისას საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტე დამოკიდებულია მანძილის სიდიდეზე მიწისზედა ყოველმხრივ მიმართული აზიმუტური რადიოშუქურის განლაგების ადგილამდე. მაგალითად, 75კმ მანძილზე აზიმუტის გაზომვის 1° ცდომილებისას, ადგილის განსაზღვრის ცდომილება შეადგენს დაახლოებით ± 1 კმ, ხოლო აზიმუტის გაზომვის $3-3,5^\circ$ ცდომილებისას დაახლოებით $\pm 4,5$ კმ.

ფაზური კუთხმზომი რადიოშუქურების ცდომილებების ძირითადი წყაროა რომელიმე საგნებიდან არეკლილი სიგნალები. ფაზის გაზომვის თანამედროვე მეთოდებისას ინსტრუმენტული ცდომილებები შეიძლება დაყვანილ იქნეს მინიმუმამდე, ხოლო ფლუქტუაციური ცდომილებები კი მნიშვნელოვნად შემცირებული აზიმუტური სიგნალის რადიოხაზის ენერგეტიკის გაზრდით.

VOR რადიოშუქურას სიზუსტის ამაღლება ხორციელდება დოპლერის ეფექტის გამოყენებით, რომლის დახმარებით არსებითად შეიძლება შემცირდეს ის ცდომილებები, რომლებიც ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლითაა გამოწვეული.

ამჟამად არსებობს VOR რადიოშუქურების რამდენიმე მოდიფიკაცია. ზოგიერთი მათგანის ცდომილებები მოყვანილია ცხრილში 1.1.

რადიოშუქურას დასახელება	აზიმუტის გაზომვის ცდომილება, გრად.	შენიშვნა
VOR	2,5	P-Precision
DVOR	1,5	
PDVOR	0,8	
PDVOR(H)	0,5	
PDVOR(M)	0,3	

VOR რადიოშუქურების კლასიფიკაცია ცდომილებების მიხედვით

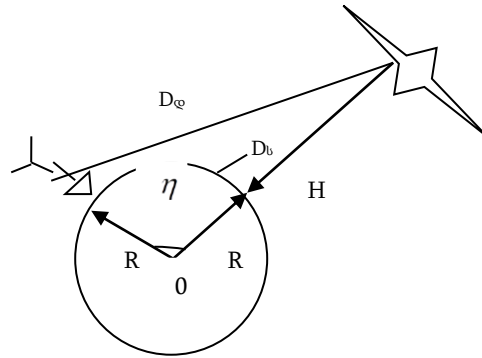
DVOR (Doppler VOR) რადიოშუქურებში, რომლებსაც დოპლერულ ფაზურ რადიოშუქურებს უწოდებენ, ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი სიგნალების ზეგავლენის შემცირების მიზნით გამოიყენება დოპლერის ეფექტი. ადგილობრივი საგნებიდან რადიოტალღების არეკვლის შედეგად მახინჯდება მოძრავი ანტენის მიმართულობის დიაგრამა.

1.1.2 მანძილის რადიონავიგაციური საზომი DME-ს დახმარებით დახრილი მანძილის გაზომვა

მანძილის რადიონავიგაციური საზომის DME დანიშნულებაა მიწისზედა სადგურიდან საჰაერო ხომალდის ადგილამდე სფერული მანძილის (დედამიწის ზედაპირზე) განსაზღვრა. ტექნიკურად ეს ამოცანა სრულდება საჰაერო ხომალდიდან სადგურამდე და პირიქით („დახრილი“) მანძილის გაზომვით „შეკითხვა-პასუხის“ მეთოდით.

მანძილის რადიონავიგაციური საზომში ორმხრივი რადიოხაზის გამოყენება ზღუდავს მის გამტარიანობის უნარს. ეს ნაკლი არ აქვს მანძილის საზომს, რომელშიც გამოიყენება შეუკითხავი მოქმედების პრინციპი. ასეთი საზომები ამჟამად დამუშავების ეტაპზეა. იგულისხმება, რომ ისინი იმუშავებს გრძელი ტალღების დიაპაზონში და მხოლოდ ერთმხრივი რადიოხაზის გამოყენების ხარჯზე შეუზღუდავი გამტარიანობის უნარი ექნებათ.

მანძილის საზომი სისტემა უზრუნველყოფს ერთი მიწისზედა სადგურის დახმარებით მდებარეობის ხაზის განსაზღვრას, რომელიც წარმოადგენს თვითმფრინავსა და სადგურს შორის ტოლი სფერული მანძილების ხაზს, ანუ „მცირე წრის“ რკალს დედამიწის ზედაპირზე (ნახ.1.3), მაგრამ ტოლი მანძილების ხაზი D_0 არ ემთხვევა უშუალოდ გაზომილ პირდაპირ მანძილს D_d და განისაზღვრება გამოთვლის გზით ფრენის სიმაღლის გათვალისწინებით.



ნახ.1.3. პირდაპირ და სფერულ მანძილებს შორის დამოკიდებულება

სანავიგაციო ამოცანის ამოხსნის საჭირო სიზუსტის მიხედვით გაზომილი პირდაპირი („დახრილი“) მანძილი გადაითვლება ან სფერულ სიშორეში D_s ან, უგულებელვყოფთ რა დედამიწის სფერულობას, ჰორიზონტალურ სიშორეში D .

ვთვლით რა მიწისზედა სადგურის ანტენის სიმაღლეს უსაზღვროდ მცირედ, ნახ.1.3- დან მივიღებთ:

$$D_d^2 = R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos \eta = 2(1 - \cos \eta)(R^2 + RH) + H^2;$$

$$D_d^2 = 4 \sin^2 \frac{\eta}{2} (R^2 + RH) + H^2 \rightarrow \sin^2 \frac{\eta}{2} = \frac{D_d^2 - H^2}{4(R^2 + RH)}$$

არაუმეტეს 600-700 კმ სიშორეებზე სფერული მანძილის რკალი $\eta = \frac{D_s}{R}$ მცირეა.

$$\text{ამიტომ } \sin^2 \frac{\eta}{2} = \sin^2 \frac{D_s}{2R} = \frac{D_d^2}{4R^2} \text{ მაშინ } \frac{D_s^2}{4R^2} = \frac{D_d^2 - H^2}{4(R^2 + RH)}; \rightarrow D_s = \frac{\sqrt{D_d^2 - H^2}}{\sqrt{1 + \frac{H}{R}}}$$

თუ დედამიწის სფერულობას არ გავითვალისწინებთ, მიღებული ფორმულა იძლევა ჰორიზონტალურ სიშორეს:

$$D = \sqrt{D_d^2 - H^2}.$$

DME-ს შემთხვევაში რადიოტალღების გავლის დრო საბორტო შემკითხავიდან მოპასუხემდე (მიწისზედა სადგურამდე) და უკან

$$t_D = \frac{2D_d}{C}$$

სადაც D_d შემკითხავისა და მოპასუხეს შორის მანძილია; C - სინათლის გავრცელების სიჩქარე. მაშასადამე, დახრილი მანძილი საჭიერო ხომალდიდან მიწისზედა სადგურამდე იქნება:

$$D_d = \frac{Ct_0}{2}$$

მიწისზედა და საბორტო DME სისტემა მანძილის სანავიგაციო საშუალებამდე ზომავს მიწისზედა სადგურზე იმპულსური წყვილის გადაცემის და იმ დროითი ინტერვალის გაზომვის მეთოდით, რომელიც მოიცავს დროის შეკითხვის რადიოსიხშირული სიგნალის გასხივების მომენტსა და საპასუხო სიგნალის მიღების მომენტს შორის. ეკიპაჟის კაბინაში განთავსებულია DME-ს მართვის ორი პულტი.

მუშა სიხშირის დაყენება ხდება ავტომატურად VOR სისტემის მომართვასთან ერთად ან ხელით. სიხშირის ხელით დასაყენებლად მართვის პულტზე გათვალისწინებულია ორი სახელური. ხელით დაყენებული სიხშირე აისახება ინდიკაციის ფანჯარაში. მართვის პულტზე ასევე არის VOR/DME რეჟიმის შემოწმების გადამრთველი.

1.1.3. საჰაერო ხომალდების ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემის ILS-MLS მუშაობის ეფექტურობის შედარება [1]

სისტემის საკურსო და გლისადის რადიოშუქურები უწყვეტად უზრუნველყოფს კურსის და გლისადის სიბრტყის ფორმირებას, რომელთა გადაკვეთა იძლევა ადზ-ს პლანირების ხაზს (გლისადას) ანუ დახრილ ხაზს, რომელიც ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან შეადგენს პლანირების (გლისადის) კუთხეს θ .

დაფრენის პირველი ეტაპი - საჰაერო ხომალდის გადაყვანა დასაფრენ კურსზე და ამ კურსით მოძრაობის უზრუნველყოფა (ადზ-ს ღერძზე გამავალ ვერტიკალურ სიბრტყეში) საჰაერო ხომალდის შემდგომი გადაყვანით დაბლა დაშვების რეჟიმში გლისადის რადიოშუქურას მოქმედების ზონაში შესვლისას.

დაფრენის მეორე ეტაპი - ფრენა დასაფრენად შესვლის გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლემდე (დაფრენაზე ან მე-2 წრეზე წასვლაზე გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლე).

დაფრენის მესამე დამამთავრებელ ეტაპზე - გრძელდება კურსისა და გლისადის მიხედვით შესვლა აუცილებელი ვიზუალური ორიენტირებით (I და II კატეგორიის აეროდრომებისათვის) და დაჯდომა ადზ-ს საკონტროლო წერტილში.

დღეს ცნობილი ყველა ტიპის რადიოშუქურული დაფრენის სისტემების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ ანტენური სისტემის მიმართულობის დიაგრამის ხასიათის მიხედვით: დაფრენის სისტემა უძრავი და სკანირებადი ანტენის მიმართულობის დიაგრამით.

დაფრენის სისტემის რადიოშუქურები უძრავი მიმართულობის დიაგრამით მუშაობს მეტრულ დიაპაზონში.

დაფრენის სისტემა რადიოშუქურების სკანირებადი სხივებით წარმოადგენს მიკროტალღურ სისტემას MLS (Microwave Landing System), რომელიც მუშაობს სანტიმეტრულ დიაპაზონში.

მეტრული დიაპაზონის დაფრენის სისტემასთან (ILS) შედარებით (MLS) სისტემას შემდეგი ძირითადი უპირატესობა აქვს: გაზრდილი სიზუსტე და დაბრკოლებებისაგან დაცვა; დიდი საიმედოობა; საჰაერო სივრცის უფრო ფართო დაფარვის უზრუნველყოფა, აფრენის მართვა; გარბენისა და მიწაზე მოძრაობის მართვა. MLS-ის მოწყობილობა მუშაობს 5 გიგაჰერცის დიაპაზონში. ILS სისტემასთან შედარებით MLS სისტემა უზრუნველყოფს წინა სექტორში აზიმუტის მიხედვით გადაფარვას $\pm 60^\circ$ -მდე, ადგილის კუთხის მიხედვით 1° - 20° ფარგლებში.

ყველაზე უფრო გავრცელებულია დაფრენის მიკროტალღური სისტემა სკანირებადი სხივითა და დროის ათვლით. ამ სისტემაში საკურსო და გლისადის

რადიოშუქურები გამოასხივებს ზემაღალი სიხშირის არამოდულირებულ რხევებს. სივრცის მიმოხილვისათვის გამოიყენება ანტენის მიმართულობის დიაგრამის საფეხურებრივი სკანირება სხივის ელექტრონული მართვით.

MLS-ის საბორტო აპარატურა ღებულობს მიწისზედა შუქურების სიგნალს სხივის პირდაპირი და უკუსვლისას. საჰაერო ხომალდის დასხივებებს შორის დროითი ინტერვალები სხივის პირდაპირი და უკუსვლისას საჰაერო ხომალდის აზიმუტის ან ადგილის კუთხის პროპორციულია.

საჰაერო ხომალდის კუთხური ინფორმაცია განისაზღვრება გამოსახულებიდან:

$$\alpha = k^{-1}(T_i - T_0),$$

სადაც α საჰაერო ხომალდის აზიმუტი ან ადგილის კუთხეა; T_i -დროითი ინტერვალი საჰაერო ხომალდის მე- i მდებარეობისათვის (მაგალითად 1,2,3,4) იმ იმპულსებს შორის, რომლებიც მიიღება პირდაპირი და უკუსკანირებისას; T_0 -დროითი ინტერვალი (საყრდენი დრო), როდესაც საჰაერო ხომალდი იმყოფება კურსის ან გლისადის ხაზზე (მდებარეობა 2); K - მასშტაბის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს დროითი ინტერვალის კუთხის მიხედვით ცვლილების ციცაბოებას.

საკურსო რადიოშუქურასათვის თუ საჰაერო ხომალდი იმყოფება 1 წერტილში, მაშინ დროითი ინტერვალი T_1 სხივის პირდაპირი t_1 და უკუსვლისას t_1' დასხივების მომენტებს შორის α_1 კუთხის პროპორციულია. ამ შემთხვევაში $T_1 = T_{\text{პაქს}}$, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ საჰაერო ხომალდი იმყოფება სკანირების ზონის საზღვარზე. თუ საჰაერო ხომალდი იმყოფება 2 წერტილში, მაშინ დროითი ინტერვალი $T_2 = T_0$ (საყრდენი დრო), რაც მიუთითებს იმაზე, რომ $\alpha = 0$ და ა.შ.

ამგვარად, საჰაერო ხომალდის კუთხური მდებარეობის განსაზღვრისათვის სივრცის ნებისმიერ წერტილში, საჭიროა განისაზღვროს დროითი $\Delta T = T_i - T_0$. ეს ამოცანა გადაწყვეტადი ხდება ინფორმაციის დამუშავებით საბორტო კომპიუტერში. კურსის (გლისადის) ხაზიდან საჰაერო ხომალდის გადახრის მხარე განისაზღვრება ΔT დროითი ინტერვალის ნიშნით.

სხვადასხვა ამინდის პირობებში საჰაერო ხომალდის დაფრენის შესაძლებლობის თვალსაზრისით დაფრენის სისტემები კლასიფიცირებულია ICAO-ს მიერ. კლასიფიკაციის საფუძვლად მიღებულია დაფრენის სისტემის საექსპლუატაციო მახასიათებელი, რომლის ქვეშ იგულისხმება სისტემის ის მახასიათებელი, რომელიც უზრუნველყოფს თვითმფრინავებს მმართველი ინფორმაციით დაფრენისათვის, მისი წარმატებით დასრულების მაღალი ალბათობით ამინდის სხვადასხვა პირობებში, მათ შორის ხილვადობის არარსებობის დროსაც.

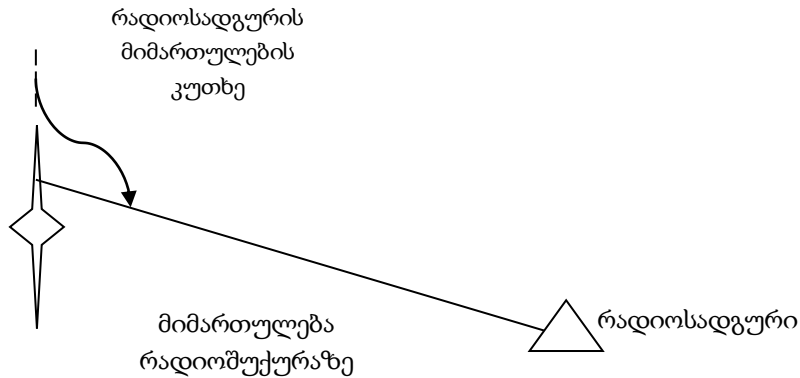
1.1.4. მიმევანი რადიოსადგურის მუშაობის ეფექტურობის განსაზღვრა

მიმევანი რადიოსადგური ეს არის მიწისზედა გადამცემი მოწყობილობა, რომელიც საშუალო ტალღების დიაპაზონში (190÷1749,53კ) მუშაობს და დანიშნულია საბორტო ავტომატურ ADF რადიოკომპასთან (Automatic Direction Finder) ერთობლივი მუშაობისათვის. გადასაწყვეტი ამოცანებისა და ადგილმდებარეობაზე

განთავსების მიხედვით მიმცვანი რადიოსადგური შეიძლება იყოს ცალკეული და დაფრენის.

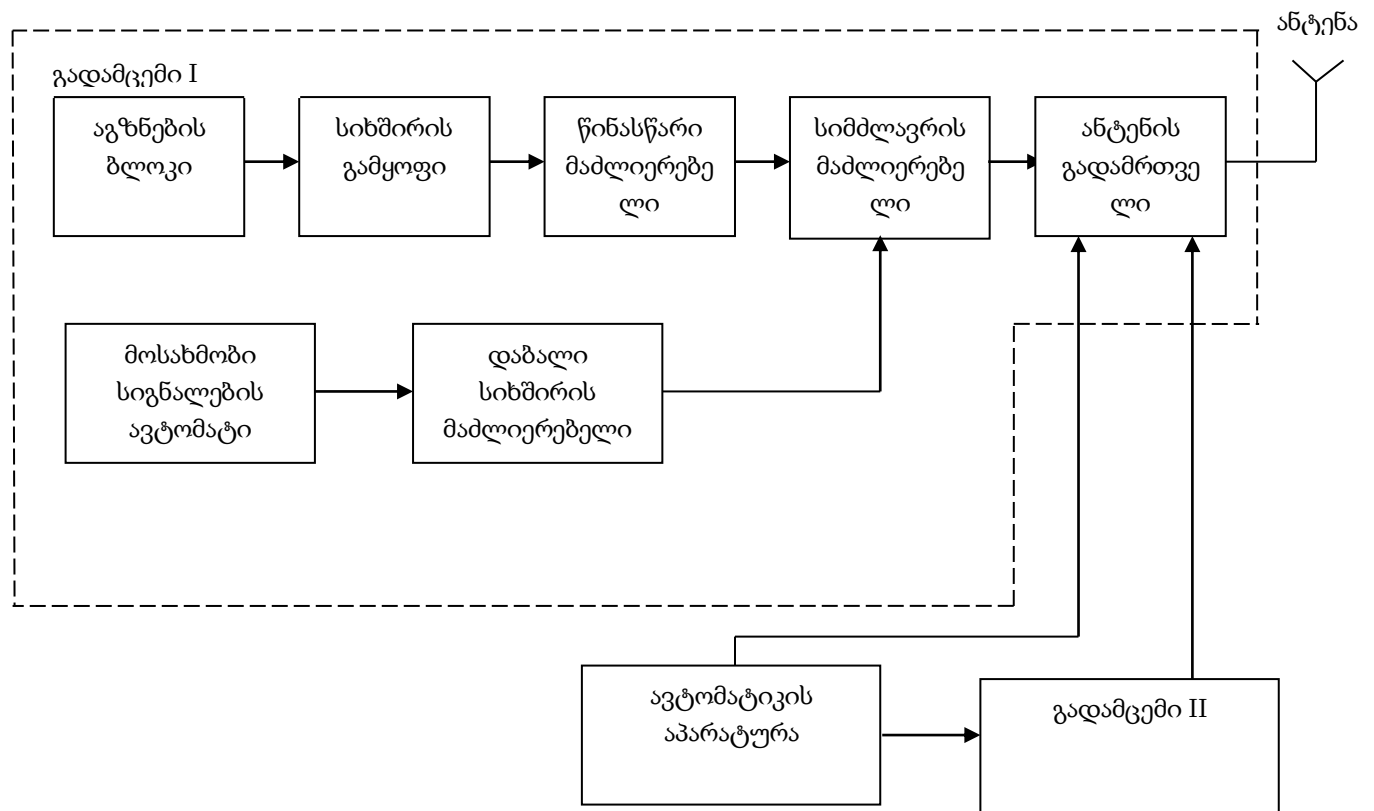
სამოქალაქო ავიაციის აეროპორტებში და ტრასებზე გამოყენებული მიმცვანი რადიოსადგურები განსხვავდებიან გამოსხივებული სიმძლავრის დონით, მატარებელი სიხშირის სტაბილიზაციის ხარისხითა და ავტომატიზაციის დონით.

ზოგადად ავტომატური რადიოკომპასური სისტემა საშუალებას იძლევა უშუალოდ გაიზომოს რადიოსადგურის საკურსო კუთხე, იგივე რადიოსადგურის მიმართულების კუთხე, ანუ კუთხე საჭაერო ხომალდის გრძივ ღერძსა და რადიოსადგურზე მიმართულებას შორის (ნახ.1.4).



ნახ.1.4. რადიოსადგურის მიმართულების კუთხე

მიწისზედა მიმცვანი რადიომუქურას გამარტივებული ფუნქციური სქემა მოყვანილია ნახაზ 1.5-ზე.



ნახ. 1.5. მიმცვანი რადიოშუქურას გამარტივებული ფუნქციური სქემა

მიმცვანი რადიოშუქურას შემადგენლობაში შედის ორი გადამცემი, რომლებიც საერთო ანტენაზე მუშაობს, ავტომატიკის აპარატურა, კვების აგრეგატები და საკონტროლო აპარატურა. გადამცემი მოწყობილობა უზრუნველყოფს მომცვანზე მუშაობას ავტომატიდან მოსახმობი სიგნალების გაცემით. ტონალური მოსახმობის (იდენტიფიკატორის) სიხშირე შეადგენს 1020 ჰც-ს. რადიოსადგურის ძირითად აპარატურას (გადამცემი, ავტომატიკის აპარატურა) 100%-იანი რეზერვი აქვს.

როდესაც რადიოსადგური გამოიყენება დაფრენის სისტემის ILS შორი მიმცვანი რადიოსადგურის სახით, მაშინ ის ჩაირთვება და გამოირთვება დისტანციურად საკომანდო სადისპეტჩერო პუნქტზე დისპეტჩერის პულტიდან.

მთლიანი აპარატურის მუშაობის წესივრულობა კონტროლდება ავტომატურად შესაბამისი გადამწოდების დახმარებით. კონტროლდება ანტენის დენი, მოდულაციის სიღრმე, მოსახმობების არსებობა და გარე ქსელის ძაბვები. მითითებული პარამეტრების საჭირო მნიშვნელობებიდან გადახრის შემთხვევაში ხდება სარეზერვო კომპლექტზე ავტომატური გადართვა.

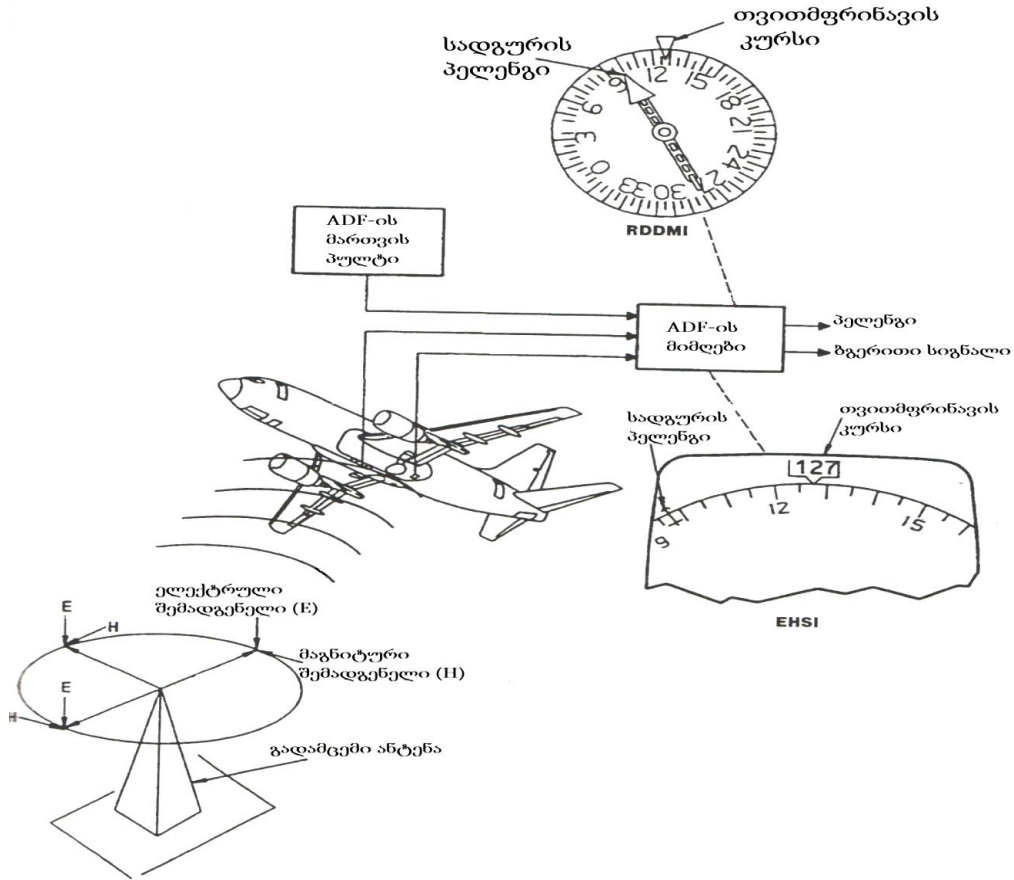
რადიოსადგურის კვების ძირითადი წყაროა სააეროდრომო სამფაზა ქსელი - 380ვ, 50ჰც; სარეზერვო წყარო ავტომატიზებული დიზელ-გენერატორი.

გადამცემი მოწყობილობის ძირითადი შემადგენელი ნაწილებია: ორი რადიოგადამცემი, ანტენის გადამრთველი, ყველგან მიმართული ანტენა და ავტომატიკის აპარატურა. ავტომატიკის აპარატურა უზრუნველყოფს გადამცემის ერთი კომპლექტის მუშაობას, ხოლო მეორე კომპლექტის ცხელ რეზერვში ჩართვას და მათ ავტომატურ გადართვას. თითოეული კომპლექტის გადამცემი შედგება მაღალსიხშირული და დაბალსიხშირული არხებისაგან. საანტენო მოწყობილობა ორივე გადამცემისათვის საერთოა.

მიწისზედა მომცვანი რადიოსადგურების მიერ გამოსხივებულ რადიოტალღებს საბორტო ADF სისტემა გამოიყენებს ამ სადგურის საჰაერო ხომალდის მიმართ ფარდობითი პელენგის (აზიმუტის) განსაზღვრისათვის, აგრეთვე მეტეოინფორმაციისა და სხვა რადიოსამაუწყებლო პროგრამების მისაღებად.

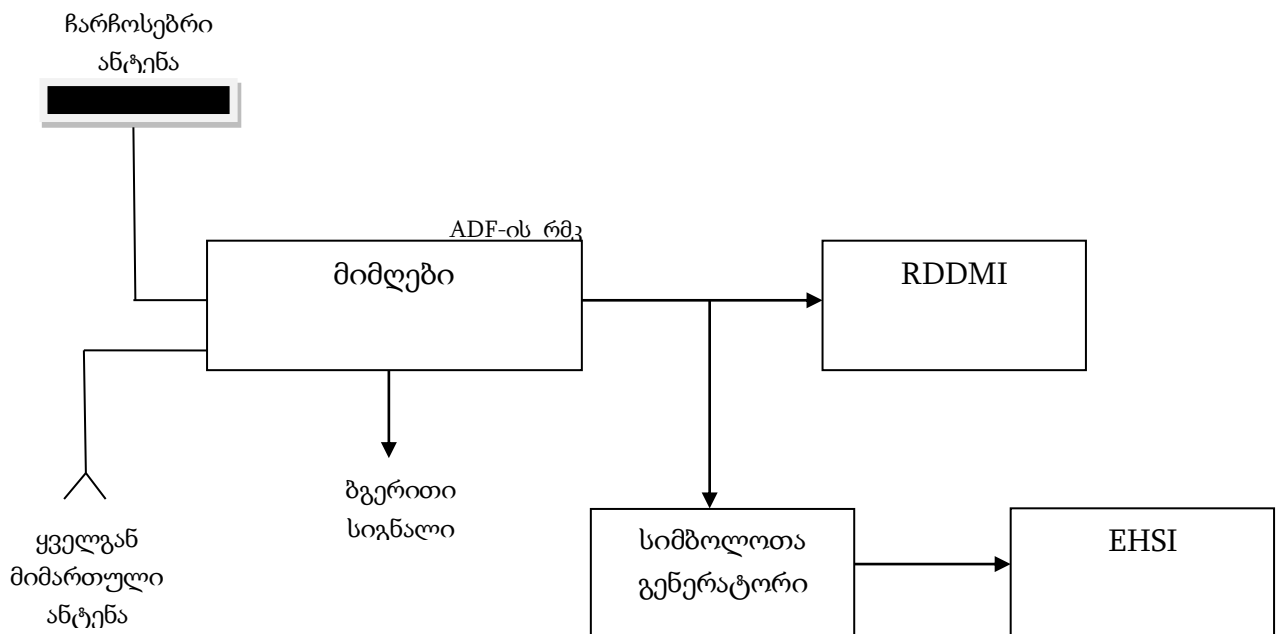
საბორტო ADF სისტემა წარმოადგენს სანავიგაციო საშუალებას, რომელიც ღებულობს ამპლიტუდამოდულირებულ რადიოსიგნალებს და განსაზღვრავს მიწიდან სიგნალების მოსვლის მიმართულებას საჰაერო ხომალდის გრძივი ღერძის მიმართ. ამ სიგნალიდან მიღებული ინფორმაციის მიხედვით მიმართულების რადიომანგნიტურ ინდიკატორზე RDDMI (Radio Direction and Distance Magnetic Indicator) ინდიკატორზე EHSI (Electronic Horizontal Situation Indicator) ინდიკირებული ხდება ფარდობითი პელენგი, ანუ კუთხე თვითმფრინავზე გამავალი მერიდიანის ჩრდილოეთ მიმართულებასა და მიწისზედა მიმცვან რადიოშუქურაზე მიმართულებას შორის. ჯერ უშუალოდ განისაზღვრება რადიოშუქურაზე

მიმართულების კუთხე, შემდეგ მოძრავი საკურსო სკალის გამოყენებით შეიძლება განისაზღვროს პელენგი (ნახ.1.6)



ნახ.1.6. ავტომატური რადიოკომპასი ADF

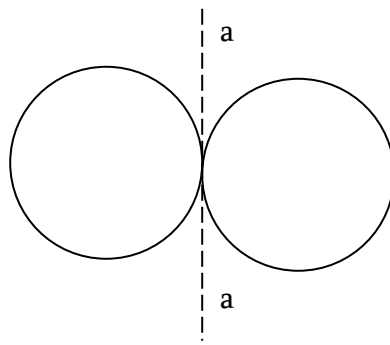
ADF-ის საბორტო აპარატურის ფუნქციური სქემა (გამარტივებული)
წარმოდგენილია ნახაზ 1.7-ზე.



ნახ. 1.7. ADF საბორტო აპარატურის ფუნქციური სქემა

საბორტო ADF-ს აქვს ორი ანტენა: ჩარჩოსებრი და ყველგან მიმართული. ADF-ს გააჩნია მუშაობის ორი რეჟიმი ანტენა “ANT” და “ADF”. ანტენის რეჟიმში მიმღები გამოიყენება ხმოვანი სიგნალების მისაღებად, როგორიცაა მეტეომონაცემების ტრანსლაცია და რადიოშუქურას იდენტიფიკაციის სიგნალი. ამ დროს გამოიყენება მხოლოდ არამიმართული ანტენა. “ADF” რეჟიმში მიმღები ავტომატურად განსაზღვრავს არჩეული მიწისზედა სადგურის პელენგს. ამ დროს მუშაობს როგორც ჩარჩოსებრი ისე არამიმართული ანტენა.

ჩარჩოსებრი ანტენას აქვს „რვიანის“ მაგვარი მიმართულობის დიაგრამა (ნახ 1.8).



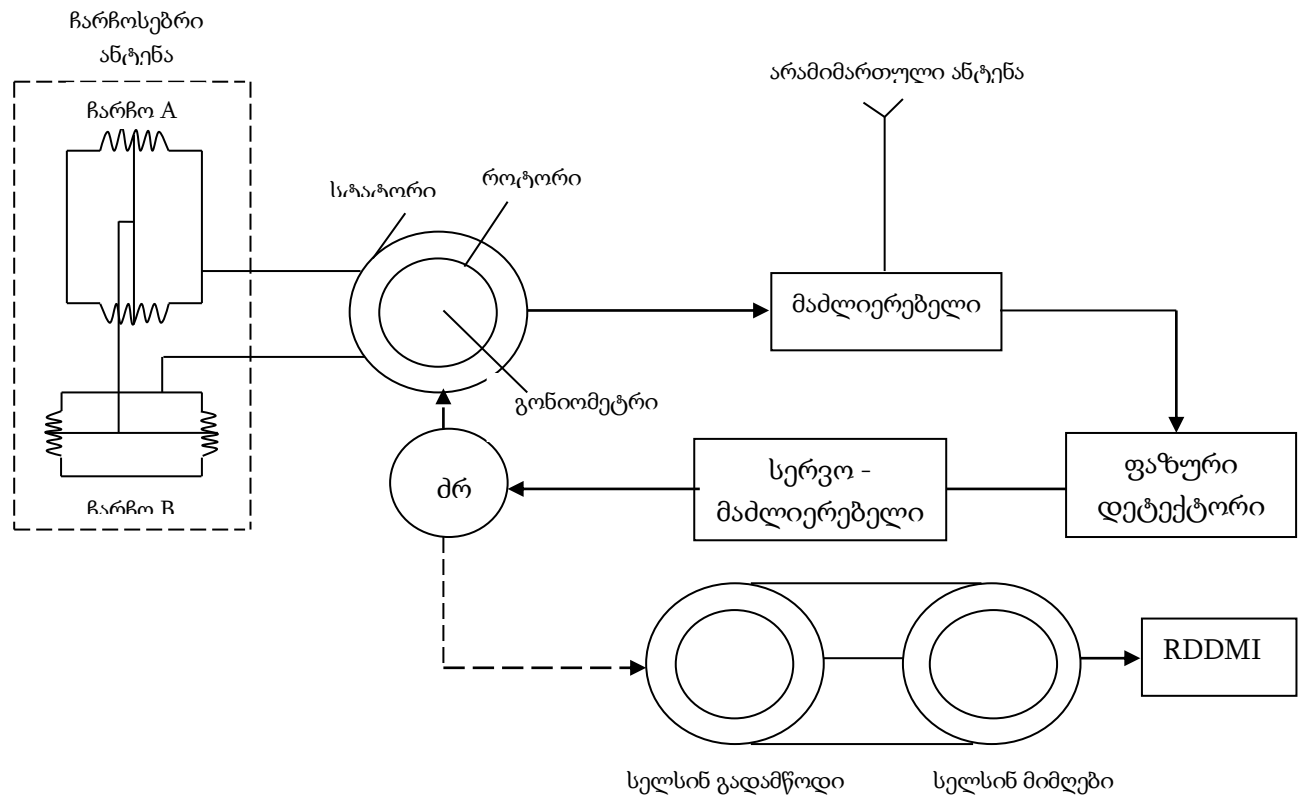
ნახ. 1.8. ჩარჩოსებრი ანტენის მიმართულობის დიაგრამა

ჩარჩოსებრი ანტენის მიმართულობის დიაგრამას აქვს მინიმალური მიღების მიმართულება - ღერძი aa.

სპეციალური სქემა ნახ.1.9-ზე მიმართულობის დიაგრამას აბრუნებს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ისე, რომ ღერძი aa მიმართული იყოს მიწისზედა რადიოშუქურასაკენ. ეს მიმართულება ფიქსირდება პელენგის სახით RDDMI-ზე (Radio Distance Direction Magnetic Indicator) - მაგნიტური რადიომიმართულების ინდიკატორი, შეთავსებული მანძილის საზომთან. RDDMI წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ ისრიან ხელსაწყოს, რომელზეც აისახება ADF-ის მიმართულების კუთხე, აზიმუტი და დახრილი მანძილი DME (Distance Measuring Equipment) რადიოშუქურამდე.

ჩარჩოსებრი ანტენის მიერ მიღებული სიგნალი გონიომეტრის გავლით მიეწოდება მაძლიერებელს. ამავე მაძლიერებელს მიეწოდება არამიმართული ანტენის მიერ მიღებული სიგნალი. გაძლიერების შემდეგ ეს ორი სიგნალი გადაეცემა ფაზურ დეტექტორს. ფაზური დეტექტორის გასასვლელში გვექნება მუდმივი დენის სიგნალი, რომლის პოლარულობა განისაზღვრება იმით თუ სად იმყოფება ADF საჰაერო ხომალდის გრძივი ღერძის მიმართ: მარცხნივ თუ მარჯვნივ. მუდმივი დენის სიგნალი სერვომაძლიერებელში გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება მუდმივი დენის ძრავას, რომელიც ერთდროულად აბრუნებს გონიომეტრის როტორს და RDDMI- ის ისარს მანამ, სანამ ფაზური დეტექტორის გასასვლელში სიგნალი ნულის ტოლი არ

გახდება. ამ დროს ჩარჩოსებრი ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ნულოვანი მიღების ღერძი მიმართული იქნება მიწისზედა ADF სადგურზე და RDDMI-ის ისარი დააფიქსირებს ამ მიმართულებას.



ნახ.1.9. ADF-ის მუშაობის პრინციპის ამსახველი სქემა

1.2. სახმელეთო რადიოლოკაციური სისტემების გამოყენება საჰაერო მოძრაობის მართვის მიზნით [1]

სამოქალაქო ავიაციაში რადიოლოკაციური სისტემების ძირითადი დანიშნულებაა საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურის უზრუნველყოფა ოპერატიული ინფორმაციით საფრენი აპარატების კოორდინატების შესახებ, აგრეთვე განსაზღვრული დამატებითი ინფორმაციით საჰაერო ვითარების შესახებ. რადიოლოკაციური სისტემის ქვეშ იგულისხმება ის ერთობლივად მოქმედი ობიექტები, რომლებიც გაერთიანებულია საერთო ამოცანის შესასრულებლად. აქედან გამომდინარე, თითოეული ცალკეული რადიოლოკაციური სადგური შეიძლება განვიხილოთ როგორც სისტემა, რომელიც შედგება ცალკეული კვანძებისაგან (ანტენები, ტალღსატარი ტრაქტი, გადამცემი, მიმღები), მათგან თითოეული თავის მხრივ შედგება ცალკეული ელემენტებისაგან (რეზისტორები, კონდენსატორები, ტრანზისტორები, მიკროსქემები და ა.შ.).

სამოქალაქო ავიაციის რადიოლოკაციური საშუალებების ზოგადი მიმოხილვისას და მათი კლასიფიკაციისას უფრო მიზანშეწონილია ჩაითვალოს, რომ ყველა რადიოლოკაციური სადგური ან ზოგიერთი მათი ჯგუფი შეადგენს რადიოლოკაციურ

სისტემას, რომელიც სანავიგაციო, საკავშირო, შუქტექნიკურ და სხვა საშუალებებთან ერთად ქმნის ერთიან საინფორმაციო სისტემას, რომელიც საშუალებას იძლევა გადაწყდეს საჰაერო მოძრაობის მართვის, აფრენის, დაფრენის და საჰაერო ხომალდის საფრენ მინდორზე მოძრაობის მართვის ამოცანები. საჰაერო მოძრაობის მართვის რაიონული ცენტრის რადიოლოგაციური საინფორმაციო სისტემა შეიძლება შედგებოდეს, მაგალითად, რამდენიმე სატრასო პირველადი რადიოლოგაციური სადგურისაგან ავტონომიური მეორადი რადიოლოგაციური სადგურისაგან და მეტეორადიოლოგატორისაგან. საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებულ სააეროდრომო სისტემას შეიძლება ემსახურებოდეს რადიოლოგაციური საინფორმაციო სისტემა, რომელიც შედგება რამდენიმე სააეროდრომო რადიოლოგაციური სადგურისაგან, მეორადი და დაფრენის რადიოლოგატორებისაგან. შეიძლება გამოვყოთ დაფრენის რადიოლოგაციური სისტემა, რომელიც შეიცავს აეროდრომისა და დაფრენის რადიოლოგატორებს.

რადიოლოგაციური ტექნიკის განვითარების დამახასიათებელ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული რადიოლოგაციური კომპლექსების შემუშავება, რომლებიც წარმოადგენს პირველადი და მეორადი რადიოლოგაციური სადგურების, რადიოლოგაციური სიგნალების პირველადი დამუშავების აპარატურის, სიგნალების ტრანსლაციის აპარატურის, ინფორმაციის ასახვის მოწყობილობების ერთობლიობას.

რადიოლოგაციური სადგურისაგან განსხვავებით რადიოლოგაციური კომპლექსი ამოცანას უფრო სრული მოცულობით ასრულებს.

საჰაერო მოძრაობის მართვის არსებული და პერსპექტიული რადიოლოგაციური საშუალებების კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს დასახული ამოცანიდან გამომდინარე სხვადასხვა ნიშნების მიხედვით: მიზანთან ურთიერთქმედების პრინციპის მიხედვით (პირველადი, მეორადი, მეორადი სამისამართო შეკითხვით), კონტროლირებადი სივრცის მიმოხილვის ხასიათის მიხედვით (წრიული მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგური, სექტორული და პროგრამული მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგურები), ანტენების მიმართულობის დიაგრამის სკანირების ხერხის მიხედვით (მექანიკური, ელექტრული, შერეული სკანირება), მიზნების კოორდინატების რაოდენობის მიხედვით (ერთ-, ორ- და სამკოორდინატიანი რადიოლოგაციური სადგური), გამოსხივებული სიგნალების ხასიათის მიხედვით (იმპულსური, უწყვეტი მოქმედების, იმპულსური იმპულსშიგა მოდულაციით), საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში დანიშნულების მიხედვით (სატრასო, სააეროდრომო, დაფრენის და ა.შ რადიოლოგაციური სადგურები).

1.2.1. სატრასო მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგური

სატრასო მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგურები 400კმ-მდე მოქმედების სიშორით დანიშნულია ტრასებზე საჰაერო მოძრაობის კონტროლისა და მართვისათვის. მათი დახმარებით მიღებული ინფორმაცია გამოიყენება საჰაერო

მოდრაობის მართვის რაიონული ცენტრების დისპეტჩერების მიერ და, ზოგ შემთხვევაში, მისვლის სადისპეტჩერო პუნქტების დისპეტჩერების მიერ.

სატრასო მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგურები საპაერო მოძრაობის მართვის სამსახურს საშუალებას აძლევს:

- აღმოაჩინოს საპაერო ხომალდი და განსაზღვროს მისი ადგილმდებარეობა;
- აკონტროლოს საპაერო ხომალდების ეკიპაჟების მიერ მოცემული დერეფნების დაცვა და საკონტროლო წერტილების გავლის დრო ტრასაზე და მისვლის ზონაში;
- წინასწარ განსაზღვროს საფრენი აპარატების საშიში მიახლოება;
- აღმოაჩინოს ფრენისათვის საშიში მეტეოწარმონაქმნების ადგილმდებარეობა;
- დახმარება აღმოუჩინოს ეკიპაჟებს მათ მიერ ორიენტირების დაკარგვისას საპაერო ხომალდის კოორდინატების განსაზღვრის და ეკიპაჟისათვის მითითებების გადაცემის გზით, თუ როგორ უნდა მივიდეს საპაერო ხომალდი სივრცის მოცემულ წერტილში;
- გამოიცნოს თვითმფრინავების კუთვნილება და მიიღოს მათ შესახებ დამატებითი მონაცემები თვითმფრინავების მოპასუხესთან მომუშავე აპარატურის გამოყენებით.

თუ სატრასო რადიოლოგატორი დანიშნულია საპაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული ცენტრების ინფორმაციით უზრუნველსაყოფად, მაშინ მის შემადგენლობაში ირთვება მეორადი არხი. ზოგ შემთხვევაში გათვალისწინებულია პირველადი სატრასო რადიოლოგატორის შეუღლება ავტონომიურ მეორად რადიოლოგატორთან. ამგვარად წარმოქმნილი რადიოლოგაციური კომპლექსები თავსდება ან უშუალო სიახლოვეს საპაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემის რაიონული ცენტრთან ან იმყოფება იმ რადიოლოგაციურ პოზიციებზე, რომლებიც განთავსებულია საპაერო მოძრაობის მართვის ცენტრიდან რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე. უკანასკნელ შემთხვევაში რადიოლოგაციური სიგნალები ინფორმაციის პირველადი დამუშავების აპარატურით გარდაიქმნება ციფრულ ფორმატად და გადაიცემა მართვის ცენტრში კავშირის ვიწროზოლიანი ხაზებით.

მოქმედების დიდი სიშორის სატრასო რადიოლოგატორები წარმოადგენს სტაციო-ნარულ ძვირადღირებულ მოწყობილობებს, რომლებიც შესრულებულია ორკომპლექ-ტიანი ორარხიანი პრინციპით. მეორადი არხები ემსახურება თვითმფრინავების მოპა-სუხეებთან მუშაობას და აკმაყოფილებს საერთაშორისო მოთხოვნებს.

მიმღებ-გადამცემი აპარატურის ორი კომპლექტის ერთდროული მუშაობა ერთ ანტენაზე საშუალებას იძლევა მთლიანი რადიოლოგატორის დიდი საიმედოობისას მიღებულ იქნეს საკმაოდ მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. რადიოლო-კატორების ანტენა-ფიდერული ნაწილის აგების ორარხიანი პრინციპი ორი განცალკევებული გადასართავი მიმართულობის დიაგრამებით საშუალებას იძლევა შეიცვალოს მათი მიმოხილვის ზონა დაბრკოლებებითი სიტუაციის მიხედვით, რომლებიც განისაზღვრება ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი

სიგნალებით, ეს კი მნიშვნელოვნად ზრდის მთელი სადგურის დაბრკოლებებისაგან დაცულობას.

პირველადი რადიოლოკატორების მიერ გამოსხივებული იმპულსური სიმძლავრე შეადგენს რამდენიმე მეგავატს. რადიოლოკატორებში ფართოდ გამოიყენება ახალი საელემენტო ბაზა და კომპიუტერული ტექნიკა. რადიოლოკატორების აპარატურის მთლიან შემადგენლობაში მნიშვნელოვან წილს წარმოადგენს ციფრული მიკროპროცესორები, რომლებიც საშუალებას იძლევა მოხდეს სასარგებლო სიგნალების დაბრკოლებებისაგან გაწმენდა. ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი სიგნალების გამორიცხვის მიზნით რადიოლოკაციურ კომპლექსებში გამოიყენება მოძრავი მიზნების სელექციის სისტემა.

ექსპლუატაციის მოხერხებულობის მიზნით ყველა სატრასო რადიოლოკატორში ფართოდ გამოიყენება ჩაშენებული კონტროლის სისტემა, რომელიც აკონტროლებს რადიოლოკატორის ცალკეული მოწყობილობების მუშაობას.

1.2.2. სატრასო და აეროკვანძური მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურები

250 კმ-მდე მოქმედების სიშორის სატრასო და აეროკვანძური მიმოხილვის რადიოლოკაციურ სადგურებს შუალედური ადგილი უჭირავთ მოქმედების დიდი სიშორის სატრასო რადიოლოკატორებსა და სააეროდრომო რადიოლოკატორებს შორის. ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს საჰაერო მოძრაობის მართვისათვის ტრასებზე და მსხვილ აეროკვანძებთან მისვლის ზონაში. ამ რადიოლოკატორების დახმარებით მიღებული ინფორმაცია გამოიყენება რაიონული და მისვლის სადისპეტჩერო პუნქტების დისპეტჩერების მიერ. ფუნქციური ამოცანები, რომლებსაც მოძრაობის სამსახურის დისპეტჩერები წყვეტენ განხილული რადიოლოკატორების ინფორმაციის საფუძველზე, იმ ამოცანების ანალოგიურია, რომლებსაც წყვეტენ დისპეტჩერები, გამოიყენებენ რა შორი მოქმედების სატრასო რადიოლოკატორების ინფორმაციას.

ამ კლასის რადიოლოკატორები შეიძლება იყოს სხვადასხვა ტიპის. ერთ-ერთი ტიპის მიმოხილვის რადიოლოკატორი შეიცავს რამდენიმე მიმღებ-გადამცემს (10 სანტიმეტრი დიაპაზონის) და იმდენივე ტალღსატარ არხს ანტენურ სისტემაში, რომელიც წარმოდგენილია ორი პარაბოლური ამრეკლით. ანტენის მიმართულობის დიაგრამას ვერტიკალურ სიბრტყეში აქვს ექვსი ან ხუთი ცალკეული ურთიერთგადამფარავი ფურცელი, რომლებიც უზრუნველყოფს სივრცის მიმოხილვას ვერტიკალურად 30°-მდე. თითოეული მიმღებ-გადამცემი თავის სიხშირეზე მუშაობს.

მეორე ტიპის მიმოხილვის რადიოლოკაციური კომპლექსი შეიძლება ეკუთვნოდეს სატრასო და აეროსაკვანძო რადიოლოკატორებს.

კომპლექსი შედგება ორი ერთმანეთისაგან დამორებული აპარატურის ჯგუფისაგან, რომლებიც განთავსებულია ძირითად შენობაში და საკომანდო-სადისპეტჩერო პუნქტზე. რადიოლოკაციური კომპლექსის პირველადი არხის ანტენას

აქვს ორსხივიანი მიმართულობის დიაგრამა ვერტიკალურ სიბრტყეში. მთელი კონტროლირებადი სივრცე დაყოფილია ახლო და შორ ზონებად, თანაც, ახლო ზონაში იმპულსების განმეორების სიხშირე მეტია, ვიდრე შორში. პირველადი არხი შეიცავს სამ გადამცემ და სამ მიმღებ მოწყობილობას, რომლებიც მუშაობს სხვადასხვა მატარებელ სიხშირეზე. თითოეული მიმღები მოწყობილობის შესასვლელში სიგნალი შეიძლება მიეწოდოს ანტენის, როგორც ზედა სხივიდან, ისე ქვედა სხივიდანაც. ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ორსხივიანი აგებულება, მიმღებ-გადამცემის სამ მატარებელ სიხშირეზე მუშაობა, ციფრული დამუშავების სისტემის არსებობა საშუალებას იძლევა რადიოლოკატორის მოქმედების სიშორის მთელი ზონა დაიყოს ოთხ უბნად, რომლებშიც სიგნალების არჩევა და დამუშავება ხდება სასარგებლო სიგნალების აღმოჩენის ოპტიმალური მახასიათებლის მიღების პირობიდან გამომდინარე.

რადიოლოკაციური კომპლექსის მეორადი არხი უზრუნველყოფს იმ თვითმფრინავებთან მუშაობას, რომლებიც აღჭურვილია ICAO-ს ნორმების შესატყვისი საბორტო მოპასუხეებით.

პირველადი და მეორადი არხების რადიოლოკაციური სიგნალები მუშავდება ინფორმაციის პირველადი დამუშავების აპარატურით და ციფრულ ფორმატში ვიწროზოლიანი კავშირის არხებით მიეწოდება სადისპეტჩერო-საკომანდო პუნქტს.

1.2.3. სააეროდრომო მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგური

სააეროდრომო მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურის დანიშნულებაა საჰაერო მოძრაობის კონტროლი და მართვა აეროდრომის რაიონში და საფრენი აპარატების გაყვანა დაფრენის რადიოლოკატორის მოქმედების ზონაში.

სააეროდრომო მიმოხილვის სადგურების დახმარებით მიღებული ინფორმაცია გამოიყენება საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერების მიერ.

სააეროდრომო მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურის ტექნიკური მახასიათებლები უნდა უზრუნველყოფდეს საფრენი აპარატების კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტესა და გარჩევის უნარს საერთაშორისო ნორმების თანახმად. სააეროდრომო სადგურმა უნდა აღმოაჩინოს და განსაზღვროს მიზნების ადგილმდებარეობა მცირე სიმაღლეებზე და რადიოლოკაციური სადგურიდან ახლო დაშორებაზე. სააეროდრომო რადიოლოკატორების მოქმედების მაქსიმალური სიშორის მოთხოვნები დიფერენცირებულია და დამოკიდებულია სადგურის კონკრეტულ დანიშნულებაზე და აეროპორტის კლასზე. მსხვილი აეროპორტებისათვის საჰაერო სივრცის რთული ორგანიზაციით და ფრენების დიდი ინტენსიურობით უნდა გამოვიყენოთ დაახლოებით 150 კმ მოქმედების სიშორის სააეროდრომო მიმოხილვის რადიოლოკატორი.

ნაკლებად მსხვილ აეროპორტებში მიზანშეწონილია დაყენებული იყოს სააეროდრომო რადიოლოკატორი, რომლის მოქმედების მაქსიმალური სიშორე შეადგენს დაახლოებით 80კმ. იმისათვის, რომ წრის დისპეტჩერი უზრუნველყოფილი

იყოს საჭირო ინფორმაციით, საკმარისია ICAO-ს რეკომენდაციების შესაბამისად გვექონდეს რადიოლოკატორი 46 კმ მოქმედების სიშორით.

150-კილომეტრიანი მოქმედების სიშორის რადიოლოკატორი მუშაობს ტალღაზე, რომლის სიგრძე შეადგენს რამდენიმე ათეულ სანტიმეტრს, რაც მას ხდის არამოწყვლადს ჰიდრო-მეტეო წარმონაქმნებისაგან არეკვლებისათვის და ამავე დროს საშუალებას იძლევა ანტენის რაციონალური ზომებისას მივიღოთ საკმაოდ ვიწრო მიმართულობის დიაგრამა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

რადიოლოკატორის გადამცემი მოწყობილობა შესრულებულია მაგნეტრონზე, რომელიც უზრუნველყოფს იმპულსურ სიმძლავრეს 230-250 კვტ. სადგურს აქვს 100%-იანი რეზერვი.

ანტენის დასაცავად არასასურველი მეტეოროლოგიური პირობებისაგან ის განთავსებულია რადიოგამჭვირვალე საფარის ქვეშ.

1.2.4. დაფრენის რადიოლოკაციური სადგური

დაფრენის რადიოლოკაციური სადგურის დანიშნულებაა საფრენი აპარატების მიერ კურსის მოცემული ხაზის და პლანირების გლისადის დაცვაზე კონტროლი მიწიდან დაფრენის უკანასკნელ სწორზე, აგრეთვე დაფრენის მართვა ეკიპაჟისათვის იმ კომანდების გადაცემის გზით, რომლითაც ხდება საჰაერო ხომალდის დაბლა დაშვების ტრაექტორიის კორექტირება.

დაფრენის რადიოლოკატორი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც დაფრენის უზრუნველყოფის ავტონომიური საშუალება ან როგორც დაფრენის კონტროლის საშუალება იმ აეროპორტში, რომელიც აღჭურვილია დაფრენის რადიოშუქურული სისტემით. პირველ შემთხვევაში დისპეტჩერი სრულად ხელმძღვანელობს დასაფრენად შესვლას, მეორე შემთხვევაში - მხოლოდ აკონტროლებს შესვლას და საჭირო შემთხვევაში ეკიპაჟს ინფორმირებას უკეთებს საჰაერო ხომალდის კურსის ხაზისა და პლანირების გლისადის მიმართ მდებარეობის შესახებ.

სამოქალაქო ავიაციის აეროპორტებში დაფრენის რადიოლოკატორის გამოყენების საჭიროება და მიზანშეწონილობა მისი გამოყენების ხასიათის მიუხედავად განპირობებულია რადიოლოკატორის რიგი უპირატესობებით დაფრენის რადიოშუქურულ სისტემებთან შედარებით.

დაფრენის რადიოლოკატორის უპირატესობები შემდეგია:

- მათი ფუნქციონირება არ არის დამოკიდებული საბორტო მოწყობილობაზე;
- რადიოლოკატორი საშუალებას იძლევა უწყვეტად ვადევნოთ თვალი მიწიდან მოახლოებადი საჰაერო ხომალდის ტრაექტორიის ევოლუციებს მის დაჯდომამდე, აგრეთვე თვალი ვადევნოთ ყველა საფრენ აპარატს დაფრენის ზონაში (ამ შემთხვევაში შეჯახების რისკი შეიძლება მინიმუმებული იქნეს);
- დაფრენის რადიოლოკატორი საფრენი აპარატების თანამიმდევრული დაფრენის (მანძილის მიხედვით მცირე მონაკვეთებით) დამაკმაყოფილებელ კონტროლს უზრუნველყოფს იმ შემთხვევაში, როდესაც ამინდის გაუარესება, საწვავის

უკმარისობა, საჰაერო ხომალდის დაზიანება და სხვა ფაქტორები საჭიროდ ხდის უსაფრთხო და სწრაფ დაფრენას;

- დაფრენის რადიოლოკატორის სიზუსტე ნაკლებადაა დამოკიდებული ამინდის ცვალებადობაზე, მიწის ზედაპირის თოვლის საფარის ცვლილებაზე, ადგილმდებარეობის რელიეფზე და სხვა ფაქტორებზე;
- საბრუნო მოწყობილობით აღჭურვილ დაფრენის რადიოლოკატორს შეუძლია უზრუნველყოს დაფრენა ნებისმიერი მიმართულებიდან, მათ შორის რადიოშუქურული სისტემით არა აღჭურვილიდან;
- დაფრენის რადიოლოკატორი საშუალებას იძლევა ფოტორეგისტრირებულ იქნეს დაფრენა, რაც საჭიროა ფრენების გარჩევისათვის, საავიაციო შემთხვევების მოკვლევი-სათვის დისპეტჩერებისა და მფრინავი შემადგენლობის სწავლებისათვის და ა.შ. დაფრენის რადიოლოკატორის ძირითადი ნაკლია მისი მცირე ეფექტურობა, როგორც დაფრენის ავტონომიური საშუალების, რომელიც დაკავშირებულია უპირველეს ყოვლისა საჰაერო ხომალდის კოორდინატების შესახებ ინფორმაციის ვიზუალური მოხსნის დიდ შეცდომებთან, დაფრენის დისპეტჩერის მიერ კომანდების შემუშავების სუბიექ-ტივიზმთან და მნიშვნელოვან დროსთან, რომელიც საჭიროა გადაწყვეტილების მიღებისა და საჰაერო ხომალდის ბორტზე კომანდების გადაცემისათვის.

ამყამად სამოქალაქო ავიაციაში დაფრენის რადიოლოკატორი გამოიყენება ძირითადად, როგორც დაფრენის უზრუნველყოფის საკონტროლო საშუალება და როგორც სარეზერვო საშუალება შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე დაფრენის ძირითადი რადიოშუქურული სისტემებისათვის.

დაფრენის რადიოლოკატორის დახმარებით მიღებული ინფორმაციის მომხმარებელია დაფრენის სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერი, დაფრენის სისტემის სადისპეტჩერო პუნქტების დისპეტჩერი და ადგილობრივი საჰაერო ხაზების ადგილობრივი სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერი.

დაფრენის რადიოლოკატორებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები მდგომარეობს საჰაერო ხომალდის დაფრენის მოცემული ტრაექტორიიდან აზიმუტისა და ადგილის კუთხის მიხედვით გადახრის მაქსიმალურად შესაძლო სიზუსტის მიღებაში, აგრეთვე ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის დასაწყისიდან მიზნამდე დახრილი სიშორის განსაზღვრაში.

დაფრენის რადიოლოკატორი წარმოადგენს სამკოორდინატიან რადიოლოკაციურ სადგურს ორი ანტენური სისტემის მიმართულობის დიაგრამის მექანიკური სკანირებით ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში.

დაფრენის რადიოლოკატორის გადამცემი და მიმღები მოწყობილობები მიუერთდება ხან კურსის ანტენასთან, ხან გლისადის ანტენასთან, ხოლო მიმღები მოწყობილობის გასასვლელი სინქრონულად გადაირთვება იმავე ტაქტით

ინდიკატორზე ხან საკურსო, ხან გლისადის გამოსახულების ასახვისათვის. კურსისა და გლისადის არხების გადართვის სიხშირე შეადგენს 1 ჰერცს.

ამრიგად, სამკოორდინატიანი დაფრენის რადიოლოკაციური სადგური ფაქტიურად წარმოადგენს ორი ორკოორდინატიანი რადიოლოკაციური სადგურის შეერთებას, რომელთა მიმღებ-გადამცემი აპარატურა გაერთიანებულია და თანამიმდევრულად მუშაობს ხან კურსის არხთან, ხან გლისადის არხთან.

1.2.5. საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგური

საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურის დანიშნულებაა საფრენი მინდვრის მიმოხილვა ცუდი ხილვადობის პირობებში. ამ რადიოლოკატორის დახმარებით მიღებული ინფორმაცია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მიმოსვლის სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერის მიერ და სასტარტო სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერის მიერ.

რადიოლოკატორის ინდიკატორზე ჩანს იმ თვითმფრინავების განლაგება, რომლებიც იმყოფებიან სადგომებზე, მიმოსვლის ბილიკებზე, ასაფრენ-დასაფრენ ზოლზე, აგრეთვე ავტომობილებისა და სხვა სახის ტრანსპორტის გადაადგილება საფრენ მინდვრებზე.

ძირითადი მოთხოვნა, რომელიც წაყენებულია საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკატორის მიმართ, ეს არის საფრენი მინდვრისა და მასზე მყოფი ობიექტების რადიოლოკაციური გამოსახულების რაც შეიძლება მეტი გარჩევის უნარის მიღება ამინდის ნებისმიერ პირობებში. ყველაზე მეტად ამ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს ტალღათა სიგრძის მილიმეტრულ დიაპაზონში მომუშავე რადიოლოკაციური სადგურები.

მაგნეტრონული ტიპის გადამცემი გამოიმუშავებს ზონდირების იმპულსებს, რომლებიც უზრუნველყოფს ლოკატორის მოქმედების სიშორეს დაახლოებით 10 კმ.

ზონდირების იმპულსების გასხივებისათვის და არეკვლილი სიგნალების მისაღებად გამოიყენება ცალკე ანტენები, რომლებიც განთავსებულია ერთიმეორეს ზემოთ. ანტენების ბრუნვის სიხშირე შეადგენს 36 ბრუნი/წთ. ანტენების მიმართულობის დიაგრამის სიგანე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში შეადგენს 14 წუთს, ვერტიკალურში-18°.

საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკატორი ჩვეულებრივ მოთავსებულია აეროპორტის რომელიმე მაღალ შენობაზე, ანტენები დახურულია რადიოგამჭირვალე საფარით.

რადიოლოკატორის გამოყენების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით შემუშავებულია რადიოლოკატორული სიგნალების სატელევიზიოდ გარდაქმნის სპეციალური აპარატურა.

რადიოლოკატორის მოდიფიკაცია ითვალისწინებს იმპულსების ხანგრძლივობის შემცირებას 0,02-0,03 მკწმ-მდე, იმპულსების განმეორების სიხშირის ზრდას და ანტენის ბრუნვის სიჩქარის მნიშვნელოვან გაზრდას (200 ბრ/წმ-მდე).

1.2.6. მეტეოროლოგიური რადიოლოკაციური სადგური

მეტეოროლოგიური რადიოლოკაციური სადგურის დანიშნულებაა ჭექა-ქუხილის კერების და კოკისპირული ნალექების აღმოჩენა და თვალის დევნება, აგრეთვე მათი გადაადგილების სიჩქარისა და მიმართულების განსაზღვრა.

მეტეორადიოლოკატორები დიდ დახმარებას უწევს მოძრაობის სამსახურის დისპეტჩერებს ფრენის უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში ტრასაზე, აეროდრომის ზონაში, აგრეთვე დაფრენისას და აფრენისას რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში. მეტეორადიოლოკატორებისადმი წაყენებული მოთხოვნები განისაზღვრება იმ ობიექტების სპეციფიკით, რომლებთანაც ეს რადიოლოკატორები მუშაობს. რადიოლოკატორმა უნდა მიუთითოს იმ მეტეოწარმონაქმნების ადგილმდებარეობა და განსაზღვროს ძირითადი პარამეტრები, რომლებიც საფრენი აპარატების ფრენისათვის საშიშია.

მეტეოწარმონაქმნების სახეობებისა და ხასიათიდან გამომდინარე რადიოლოკატორების ძირითადი ტაქტიკური და ტექნიკური მახასიათებლების არჩევისას საჭირო გახდა ორარხიანი, ხოლო, ზოგ შემთხვევაში, სამარხიანი სადგურების შექმნა, ვინაიდან ერთი არხი ვერ დააკმაყოფილებდა ყველა იმ მოთხოვნებს, რომლებიც მეტეოროლოგიური რადიოლოკაციური სადგურებისადმი წაყენებული.

ეს მეტეორადიოლოკატორები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მეტეოროლოგიური წარმონაქმნების ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ჭრილი, ღრუბლების ზედა და ქვედა საზღვარი, მოსული ნალექების ინტენსიურობა და ღრუბლების წყალშემცველობა, მეტეოროლოგიური წარმონაქმნების განვითარების ტენდენცია. ისინი აგრეთვე განსაზღვრავს ტროპოსფეროს თერმოდინამიკურ მდგომარეობას (კონვექციის ზონებს, ჰაერის აღმავალ ნაკადებს, ტროპოპაუზის სიმაღლეს და ა.შ).

რადიოლოკატორს აქვს ორი დამოუკიდებელი არხი. ერთი არხი მუშაობს 8მმ ტალღაზე, მეორე-3,2სმ ტალღაზე. პირველი არხი გამოიყენება ღრუბლების ქვედა საზღვრის სიმაღლის განსაზღვრისათვის, რომელიც იმყოფება ლოკატორიდან 10 კმ-ის მანძილზე და იძლევა კოკისპირულ ნალექებს, აგრეთვე მკვრივი ღრუბლების ზედა საზღვრის განსაზღვრისათვის, რომლებიც წვრილ ნალექებს იძლევა. მეორე არხი გამოიყენება კოკისპირული ნალექებისა და ჭექა-ქუხილის აღმოსაჩენად 300 კმ რადიუსში.

რადიოლოკატორში გამოიყენება ორდიაპაზონიანი პარაბოლური ანტენა. ორივე არხისთვის ანტენის მიმართულობის დიაგრამა სიმეტრიულია და აქვს სიგანე პირველი არხისთვის 13 წუთი, მეორე არხისთვის 44 წუთი.

1.2.7. კომბინირებული მიმოხილვისა და დაფრენის რადიოლოკაციური სადგური

კომბინირებული რადიოლოკატორი ერთდროულად ასრულებს სააეროდრომო და დაფრენის რადიოლოკატორების ფუნქციებს ადგილობრივი საჰაერო ხაზების

აეროპორტებში. ასეთი ტიპის რადიოლოკატორის შექმნის საჭიროება და შესაძლებლობა განისაზღვრება ადგილობრივი საჰაერო ხაზების მცირე აეროპორტების მუშაობის სპეციფიკური პირობებით. ასეთი აეროპორტების უმრავლესობის რადიოლოკაციური უზრუნველყოფის თავისებურებანი შემდეგია:

- ადგილობრივი საჰაერო ხაზების მცირე აეროპორტები ემსახურება ისეთ თვითმფრინავებს, რომელთაც აქვს შედარებით მცირე სიჩქარე და ფრენის მცირე სიმაღლეები;
- ადგილობრივი საჰაერო ხაზების ზოგიერთ აეროპორტში არ არის სტაციონარული ასაფრენ-დასაფრენი ზოლი და თვითმფრინავების დაფრენის კურსი შეიძლება ოპერატიულად შეიცვალოს 360°-ის საზღვრებში ქარის მიმართულებისა და საფრენი მინდვრის ცალკეული უბნის ზედაპირის მდგომარეობის მიხედვით;
- ადგილობრივი სადისპეტჩერო პუნქტების დისპეტჩერთა სამტატო შემადგენლობა, განსაკუთრებით მოძრაობის მცირე ინტენსიურობის აეროპორტების, შეზღუდულია;
- ადგილობრივი საჰაერო ხაზების აეროპორტების რენტაბელობის გაზრდის მიზნით ფრენების უზრუნველყოფის რადიოტექნიკური საშუალებების ღირებულება, აგრეთვე მათი ექსპლუატაციის ხარჯები შედარებით მცირე უნდა იყოს;
- ადგილობრივი საჰაერო ხაზების აეროპორტების ტექნიკური პერსონალის რიცხოვნობა და კვალიფიკაცია ჩვეულებრივ არასაკმარისია რადიოტექნიკური საშუალებების დიდი კომპლექსების მომსახურებისათვის. ასეთი აეროპორტების თავისებურებანი გათვალისწინებულ იქნა შესაბამისი რადიოლოკატორის შექმნისას, რომელიც ახორციელებს სივრცის უწყვეტ მიმოხილვას აეროდრომის ზონაში 50კმ-მდე მანძილზე და იმავდროულად საშუალებას იძლევა თვითმფრინავების დაფრენის მართვისა, თანაც დაფრენის მიმართულება ოპერატიულად შეიძლება იცვლებოდეს.

რადიოლოკატორის აპარატურის ძირითადი ნაწილი განთავსებულია ანტენის შენობაში ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის გვერდით და მუშაობს მომსახურე პერსონალის იქ მუდმივად ყოფნის გარეშე. აპარატურის ამ ნაწილის ჩართვა, გამორთვა და მუშაობის უნარის კონტროლი ხორციელდება დისტანციურად.

რადიოლოკატორის საიმედოობის ზრდის მიზნით მის აპარატურაში ფართოდ გამოიყენება კაჟბადის ტრანზისტორები, ტირისტორები, ინტეგრალური სქემები.

1.2.8. მეორადი რადიოლოკაციური სადგურები

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემებში მეორადი რადიოლოკაციური სადგურების დანიშნულებაა საჰაერო ხომალდის კოორდინატების განსაზღვრა, აგრეთვე იმ დამატებითი ინფორმაციის მიღება, დეკოდირება და გარდაქმნა, რომელიც საბორტო რადიოლოკაციური მოპასუხიდან მოდის.

პირველადი რადიოლოკაციური სადგურები, რომელთა მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია მიზნების კოორდინატების განსაზღვრაზე ამ მიზნებიდან არეკვლილი ენერგიის რაღაც ნაწილის მიღების გზით, არ იძლევა საშუალებას

გადაწყვეტილ იქნეს მოძრაობის მართვის მთელი რიგი ამოცანებისა საჰაერო მოძრაობის დიდი სიმკვრივისა და ინტენსიურობის პირობებში. საჰაერო მოძრაობის მართვისათვის გამოყენებული პირველადი რადიოლოკაციური სისტემების მთავარი ნაკლია მათი მცირე ინფორმატულობა: პირველადი რადიოლოკატორები განსაზღვრავს, როგორც წესი, მიზნის მხოლოდ ორ კოორდინატს: დამატებითი ინფორმაცია ბორტის (რეისის) ნომრის, ბარომეტრული, ანუ აბსოლუტური სიმაღლის, საწვავის მარაგის, საბორტო სისტემების ფუნქციონირების მდგომარეობის შესახებ ამ შემთხვევაში მიწაზე გადაიცემა კავშირის ჩვეულებრივი არხებით საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟისა და მოძრაობის სამსახურის დისპეტჩერებს შორის რადიოგაცვლის დროს. გარდა ამისა, პირველად რადიოლოკატორებს აქვს არასაკმარისი მოქმედების მანძილი, განსაკუთრებით ცუდი მეტეოპირობებისას. არეკვლილი სიგნალების მნიშვნელოვანი ფლუქტუაციები ართულებს რადიოლოკაციური ინფორმაციის დამუშავებას საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების ავტომატიზებულ სისტემებში.

ICAO-ს მიერ სტანდარტიზებულ იქნა შეკითხვისა და პასუხის სიხშირეები და შემკითხავის ანტენის მიმართულობის დიაგრამის გვერდითი ფურცლების ჩახშობის სისტემის მახასიათებლები. დადგინდა მოთხოვნები იმ სიგნალებისადმი, რომლებიც შეიცავს ინფორმაციას საჰაერო ხომალდის რეისის ნომრის და ფრენის სიმაღლის შესახებ.

ამჟამად მსოფლიოს ავიაკომპანიების თვითმფრინავების უმრავლესობა აღჭურვილია ისეთი მოპასუხეებით, რომლებიც აკმაყოფილებს საერთაშორისო ნორმებს. საერთაშორისო კლასის ყველა აეროპორტს აქვს ავტონომიური ან ჩაშენებული მეორადი რადიოლოკატორები.

რადიოლოკატორის მოწყობილობის შემადგენლობაში შედის გადამცემები, რომლებიც უზრუნველყოფს თვითმფრინავების მოპასუხეების შეკითხვას და შემკითხავის ანტენის გვერდითი ფურცლების სიგნალების ჩახშობას 1030 მგჰც სიხშირეზე. გადამცემები აგებულია ჰეტეროდინ-ამგზნების მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის გაძლიერების პრინციპის მიხედვით.

საპასუხო სიგნალების მიღება ხორციელდება მიმღებებით, რომლებიც მუშაობს ICAO-ს სიხშირეზე 1090 მგჰც, მიმღებში გამოიყენება პასუხის მიხედვით გვერდითი ფურცლების სიგნალთა ჩახშობის ფაზური მეთოდი.

რადიოლოკატორში გამოყენებულია ორდიაპაზონიანი პარაბოლური ანტენა რუპორული ტიპის დამასხივებლით. ამ ანტენის დახმარებით ხდება ვიწრო მიმართულობის დიაგრამის ფორმირება, რომლის დანიშნულებაა შეკითხვების გადაცემა და საპასუხო სიგნალების მიღება და სუსტად მიმართული დიაგრამის ფორმირება, რომელიც შეკითხვისა და პასუხის მიხედვით გვერდითი ფურცლების სიგნალების ჩახშობას ემსახურება.

სიგნალთა დამუშავების აპარატურა უზრუნველყოფს ინფორმაციის ICAO-ს სტანდარტების მიხედვით დეკოდირებას, კოორდინატთა ნიშნულების გამოყოფას და

ინფორმაციის გადაცემას ინფორმაციის პირველადი დამუშავების საბოლოო აპარატურაზე. იქიდან კი საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებულ სისტემაზე.

რადიოლოკატორების მოქმედების სიშორე საფრენ აპარატებთან მუშაობისას, რომლებიც მოპასუხეებითაა მოწყობილი, შეადგენს არანაკლებ 400კმ.

ICAO-ს კოდებით შეკითხვისას მოპასუხე, გარდა კოორდინატების შესახებ ინფორმაციისა, მიწაზე გადასცემს შეტყობინებას ბორტის ნომრის, აბსოლუტური ან ფარდობითი სიმაღლის, საწვავის ნარჩენის შესახებ, საჭიროების შემთხვევაში შეუძლია გადასცეს უბედურების სიგნალი.

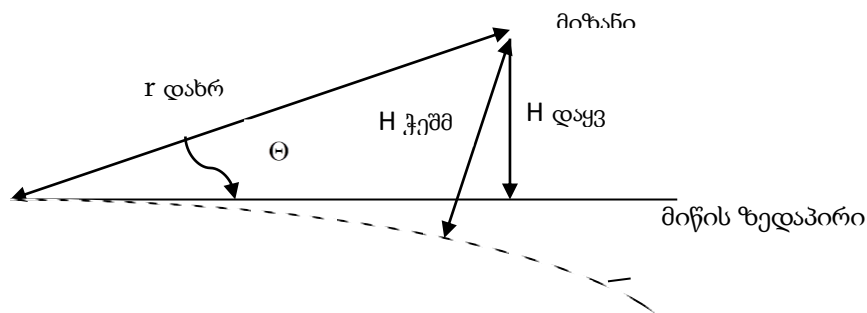
მოპასუხეების ახალ მოდიფიკაციებს აქვთ ნაკლები გაბარიტული ზომები, მასა და უფრო მაღალი საიმედოობა თანამედროვე საელემენტო ბაზის გამოყენების ხარჯზე.

1.3. რადიოლოკაციური სადგურების ძირითადი საექსპლუატაციო მახასიათებლები [1,3,4]

1.3.1. აღმოჩენის ზონა

რადიოლოკაციური სადგურის აღმოჩენის ზონა ეწოდება იმ სივრცეს, რომლის საზღვრებში სადგური აღმოაჩენს მიზანს მოცემული ალბათობით.

აღმოჩენის ზონა აიგება „დახრილი სიშორე - დაყვანილი სიმაღლე“ კოორდინატებში (ნახ.1.10). დაყვანილი სიმაღლის ტერმინის ქვეშ უნდა გავიგოთ საჰაერო ხომალდის განთავსების სიმაღლე მიწის ზედაპირის იმ მხეხის მიმართ, რომელიც გავლებულია რადიოლოკაციური სადგურის ანტენის განთავსების წერტილიდან.



1.10. საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის დაყვანილი სიმაღლის ცნება

დაყვანილი სიმაღლე $H_{დაყვ}$ ჭეშმარიტ სიმაღლესთან $H_{ჭეშმარიტი}$ დაკავშირებულია მიახლოებითი გამოსახულებით:

$$H_{დაყვ} = H_{ჭეშმარიტი} - \frac{r_{დახრ}^2}{R},$$

სადაც $r_{დახრ}$ მიზანამდე დახრილი სიშორეა; R -დედამიწის რადიუსი. აღმოჩენის ზონისადმი მოთხოვნების ფორმირებისას ჩვეულებრივ განსაზღვრავენ მოქმედების მაქსიმალურ და მინიმალურ სიშორეს (R_{max} , R_{min}), აღმოჩენის ზონის მინიმალურ და

მაქსიმალურ კუთხეს ვერტიკალურ სიბრტყეში ($\theta_{min}, \theta_{max}$), საჰაერო ხომალდის აღმოჩენის მაქსიმალურ ჭეშმარიტ სიმაღლეს ($H_{ჭეშმ, max}$).

თანამედროვე რადიოლოკაციური სადგურებისათვის დამახასიათებელია მოქმედების მაქსიმალური სიშორის შემდეგი მნიშვნელობები: სატრასო სადგურებისათვის-300-400კმ; საკვანძოებისათვის-150-250კმ; დასაფრენისათვის-20კმ; საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკატორებისათვის-8კმ-დან 10კმ-მდე, მეტეოლოკატორებისათვის-10-300კმ; კომბინირებული რადიოლოკატორებისათვის წრიული მიმოხილვის რეჟიმში-50კმ, დაფრენის რეჟიმში-15კმ, მეორადისთვის-200-400კმ. წრიული მიმოხილვის რადიოლოკატორების ადგილის მინიმალური კუთხე შეადგენს $0,3-0,5^\circ$, მაქსიმალური- $20-40^\circ$.

რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მინიმალური სიშორე თეორიულად განისაზღვრება იმპულსის ხანგრძლივობით τ_i , ანტენური გადამრთველის აღდგენის დროით τ_a , და ინდიკატორული მოწყობილობის სიშორის მიხედვით გარჩევის უნარით δ_r :

$$R_{min} = \frac{c}{2}(\tau_1 + \tau_a) + \delta_r.$$

სინამდვილეში უმეტეს შემთხვევაში რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მინიმალური სიშორის განმსაზღვრელ გარემოებას წარმოადგენს რადიოლოკაციური სადგურის ეკრანის ნათება ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი სიგნალებით და ანტენური სისტემის მიმართულობის დიაგრამის ფორმა სკანირების სიბრტყის პერპენ-დიკულარულ სიბრტყეში.

სხვადასხვა დანიშნულების რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მინიმალური სიშორე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია იმ ადგილმდებარეობის კონკრეტულ პირობებზე, რომელზეც სადგურია განთავსებული. სატრასო სადგურებისათვის მინიმალური სიშორე შეიძლება აღწევდეს 5-10კმ, სააეროდრომებისათვის 1-3კმ, დაფრენის სადგურებისათვის 0,5-1კმ, საფრენი მინდვრის მიმოხილვის სადგურებისათვის 50-100მ.

რადიოლოკაციური სადგურების მოქმედების სიშორის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, ადგილის ზღვრული კუთხე და მიზნების აღმოჩენის მაქსიმალური სიმაღლე რადიოლოკაციური სადგურების ბევრი კლასისათვის რეგლამენტირებულია სხვადასხვა საერთაშორისო ნორმებით.

რადიოლოკატორის აღმოჩენის ზონა მოწმდება მისი ექსპლუატაციაში შეყვანისას, კაპიტალური რემონტის შემდეგ და მორიგი საფრენოსნო შემოწმებისას. საფრენოსნო შემოწმების წინ რადიოლოკატორზე ტარდება ტექნიკური მომსახურება. ამ დროს რადიოლოკატორის პარამეტრები ყენდება ტექნიკური ნორმების შესაბამისად.

სატრასო რადიოლოკატორების ექსპლუატაციაში შეყვანისას რადიოლოკატორის ანტენა უნდა დაყენდეს ისეთნაირად, რომ მიმართულობის დიაგრამის ქვედა ფურცლის მაქსიმუმი განთავსებული იყოს ჰორიზონტის მიმართ ოპტიმალური კუთხით. ამ ოპტიმალური კუთხის არჩევანი შეზღუდულია იმ ტერიტორიის

ზემაღალი სიხშირით დასხივების ზღვრულად დასაშვები ნორმების დაცვის მოთხოვნებით, რომელიც რადიოლოგატორის დაყენების ადგილს გარს ერტყმის.

სააეროდრომო რადიოლოგატორების აღმოჩენის ზონის საფრენოსნო შემოწმებისას უნდა განისაზღვროს საფრენი აპარატების ფრენის კონტროლის შესაძლებლობა მათ მიერ დაფრენისწინა მანევრების შესრულებისას. სწორკუთხა მარშრუტზე აღინიშნება ის უბნები, რომლებზეც არ არის უზრუნველყოფილი რადიოლოგაციური კონტროლი.

მეორადი რადიოლოგატორების აღმოჩენის ზონის საფრენოსნო შემოწმება ტარდება მუშაობის იმ რეჟიმებში, რომლებიც შეესაბამება საერთაშორისო ნორმებს. ამ შემთხვევაში სპეციალური თვითმფრინავების ფრენები ხდება ორ სხვადასხვა სიმაღლეზე, და გარდა ამისა, ფრენების ორი სიმაღლის იმიტირება ხდება საჰაერო ხომალდის მოპასუხის მიმღებ ტრაქტში შესაბამისი ჩაქრობების შეყვანის გზით.

დაფრენის რადიოლოგატორის აღმოჩენის ზონა მოწმდება მისი ექსპლუატაციაში შეყვანისას, კაპიტალური რემონტის ან იმ ცალკეული კვანძების რემონტის შემდეგ, რომლებიც ზონის ცვლილებაზე ახდენს გავლენას. შემოწმებას ექვემდებარება რადიოლოგატორის ორივე კომპლექტი: ძირითადი და სარეზერვო.

1.3.2. სივრცის მიმოხილვის სიჩქარე

რადიოლოგაციური სადგურის სივრცის მიმოხილვის სიჩქარის არჩევა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, მათ შორის ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიფართოზე ϕ_a , მიმოხილვის სექტორზე $\Delta\phi$, იმ იმპულსების საჭირო რაოდენობაზე, რომლებიც აირეკვლება მიზნიდან ერთი მიმოხილვისას და მოქმედების მაქსიმალურ სიშორეზე R_{max} . წრიული მიმოხილვის სადგურებისათვის სივრცის სრული მიმოხილვის პერიოდი $T_{\text{მომ}}$ შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$T_{\text{მომ}} = t_{\phi} \frac{360^\circ}{\phi_i},$$

სადაც t_{ϕ} დროა, რომელიც საჭიროა იმისათვის, რომ ანტენა მობრუნდეს ისეთი კუთხით, რომელიც ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგნალის ტოლია. ეს დრო შეიძლება ასე განისაზღვროს

$$t_{\phi} = nT_p,$$

სადაც T_p იმპულსების განმეორების პერიოდია; n - იმპულსების რაოდენობა არეკვლილი სიგნალების დასტაში.

იმპულსების განმეორების პერიოდი ასე განისაზღვრება:

$$T_p \geq \frac{2R_{max}K_{\text{მარ}}}{c},$$

სადაც c სინათლის სიჩქარეა, $K_{\text{მარ}}$ -მარაგის კოეფიციენტი;

გამოდის, რომ

$$T_{\text{მომ}} \geq \frac{2K_{\text{მარ}}nR_{0max}}{\phi_a c}.$$

სივრცის მიმოხილვის პერიოდის არჩევისას საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს აგრეთვე შემდეგი გარემოებანი:

ანტენის ბრუნვის ან რხევის სიხშირის შემცირებისას მცირდება ანტენის და საანტენო ამძრავის აეროდინამიკური და მექანიკური დატვირთვები.

ანტენის ბრუნვის სიხშირის ზრდისას უკეთესი ხდება ინდიკატორის ეკრანიდან ინფორმაციის აღქმის პირობები, იზრდება გამოსახულების სიკაშკაშე და მოძრავი მიზნების ნიშნულების გადაადგილების შერწყმულობა;

ზოგიერთ შემთხვევაში ინდიკატორის ეკრანზე მიზნების ნიშნულების სწრაფი გადაადგილებისას, მაგალითად, დაფრენის რადიოლოკატორების, ანტენის ბრუნვის ან რხევის (ქანაობის) პერიოდი ძირითადად განისაზღვრება ინფორმაციის განახლების სიჩქარისადმი წაყენებული მოთხოვნებით. ინფორმაციის განახლების მინიმალურად დასაშვები სიჩქარე ამ შემთხვევაში რეგლამენტირებულია სპეციალური ნორმებით.

სხვადასხვა დანიშნულების რადიოლოკატორებისათვის დამახასიათებელია სივრცის მიმოხილვის პერიოდის შემდეგი მნიშვნელობები:

სატრასოსთვის-10-20 წმ, საკვანძოსთვის-5-10 წმ, სააეროდრომოსათვის-4-6 წმ, დასაფრენისთვის-1-1,25 წმ, საფრენი მინდვრის მიმოხილვისათვის 0,3-1,7 წმ, მეტეო-რადიოლოკატორებისთვის მიმოხილვის პროგრამა და დრო შეიძლება ფართო ზღვრებში შეიცვალოს. მეორადი რადიოლოკატორების სივრცის მიმოხილვის პერიოდი განისაზღვრება შესაბამისი პირველადი რადიოლოკაციური სადგურის მიმოხილვის პერიოდით.

1.3.3. გარჩევის უნარი

განასხვავებენ რადიოლოკაციური სადგურის გარჩევის უნარს სიშორის მიხედვით და კუთხური კოორდინატების მიხედვით. საერთო შემთხვევაში რადიოლოკაციური სადგურის რეალური გარჩევის უნარი სიშორის მიხედვით შემდეგი გამოსახულებით გამოითვლება:

$$\delta_R = \delta_{R_{pot}} + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_{R_i} = \gamma_R \delta_{R_{pot}},$$

სადაც $\delta_{R_{pot}}$ პოტენციური გარჩევის უნარია, რომელიც განისაზღვრება სიგნალის ფორმითა და სიგნალის ენერგიის ხმაურის ენერგიასთან შეფარდებით; δ_{R_i} -გარჩევის უნარის გაუარესება სიგნალის დამუშავების მოწყობილობის i - იან კვანძში; γ_R - სიშორის მიხედვით პოტენციური გარჩევის უნარის გაუარესების კოეფიციენტი.

ყველაზე გავრცელებული სწორკუთხა იმპულსების შემთხვევაში და ინდიკატორში

$$\delta_R \approx \frac{C \tau_n}{2} + \frac{D_m d_l}{D_{ind}} \quad \begin{array}{l} \text{წრფივი გაშლის გამოყენებისას} \\ \text{გამოსახულება ასეთ სახეს} \\ \text{მიიღებს:} \end{array}$$

სადაც D_m სიშორეა, რომელიც შეესაბამება არჩეული მასშტაბისას ინდიკატორის ეკრანის მუშა დიამეტრს D_{ind} ; d_i -ინდიკატორის ეკრანზე ლაქის ნათების დიამეტრი.

ზოგჯერ რადიოლოკაციური სადგურის გარჩევის უნარს გამოსახავენ ფარდობით ერთეულებში:

$$\frac{\delta_R}{D_M} \approx \frac{C\tau_n}{2D_M} + \frac{1}{k},$$

სადაც $K=D_{ind}/d_i$ ინდიკატორის ფარდობითი გარჩევის უნარია და რიცხობრივად იმ მნათობი ლაქების რაოდენობის ტოლია, რომლებიც ინდიკატორის ეკრანის მუშა დიამეტრზე თავსდება.

როგორც ზემოთ მოცემული ფორმულები აჩვენებს, სადგურის გარჩევის უნარი დამოკიდებულია ბევრ პარამეტრზე, მათ შორის ისეთებზეც, რომლებსაც შეუძლია ოპერატიულად შეიცვალოს ექსპლუატაციის პროცესში. ამიტომ გარჩევის უნარის რაოდენობრივი შეფასებისას ჩვეულებრივ დათქმულია ის პირობები, რომლის დროსაც სადგური მუშაობს.

კუთხური კოორდინატების მიხედვით რადიოლოკაციური სადგურის რეალური გარჩევის უნარი შეიძლება ასეთი განტოლების სახით გამოისახოს:

$$\delta_\phi = \delta_{\phi_{პოტ}} + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_{\phi_i} = \gamma_\phi \delta_{\phi_{პოტ}} = \gamma_\phi \phi_A,$$

სადაც, δ_ϕ გარჩევის უნარის გაუარესებაა რადიოლოკაციური სადგურის მე- i კვანძში; γ_ϕ - კუთხური კოორდინატების მიხედვით პოტენციური გარჩევის უნარის გაუარესების კოეფიციენტი; ϕ_A -ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანე სკანირების სიბრტყეში.

პრაქტიკული მიზნებისათვის უფრო მოხერხებულია ფორმულა

$$\delta_\phi = \phi_A + \phi_{ind} = \phi_A + \frac{D_{ind} 360}{2\pi r k},$$

სადაც ϕ_{ind} ინდიკატორის კუთხური გარჩევის უნარია; r -მანძილი გაშლის ცენტრიდან მიზნის ნიშნულამდე ინდიკატორის ეკრანზე.

როგორც მოყვანილი ფორმულიდან ჩანს, რადიოლოკაციური სადგურის კუთხური გარჩევის უნარი მიზნის ადგილმდებარეობაზეა დამოკიდებული. ამიტომ რადიოლოკაციური სადგურის კუთხური გარჩევის უნარის რაოდენობრივი შეფასებისას საჭიროა მიეთითოს r/D_{ind} ფარდობითი მანძილი მიზნამდე ინდიკატორის ეკრანზე. ჩვეულებრივ თვლიან, რომ მიზნის ნიშნული იმყოფება გაშლის ცენტრიდან მაქსიმალურ დაშორებაზე. მაშინ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც გაშლის ცენტრი ეკრანის ცენტრში მდებარეობს $r/D_{ind}=0,5$, ხოლო ეკრანის ბოლოში წანაცვლებული ცენტრისათვის $r/D_{ind}=1$.

კუთხური გარჩევის უნარისათვის შესაბამისი ფორმულები ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\delta_c = \phi_A + \frac{360^\circ}{\pi k},$$

$$\delta_{\phi_{wan}} = \phi_A + \frac{360^\circ}{2\pi k}.$$

მიახლოებითი მნიშვნელობები, რომლებიც რადიოლოკაციური სადგურის კუთხური გარჩევის უნარს ახასიათებს, შემდეგია: სატრასო და საკვანძოსათვის - 0,8-1,5°; სააეროდრომოსათვის-2-6°; დაფრენის-0,8-1°; მეტეორადიოლოკატორის-0,3-1° და მეორადი რადიოლოკატორის-4-6°.

1.3.4. სიზუსტე

რადიოლოკაციური სადგურის სიზუსტე ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, მათ შორის გასხივებული იმპულსების პარამეტრებზე, ხმაური/სიგნალი ფარდობაზე, მიმღები ტრაქტის გამტარიანობის ზოლზე, ინდიკატორის პარამეტრებზე, მიმყოლი სისტემების სელსინთა ხარისხზე, ინფორმაციის ამოკითხვის ხერხზე და ა.შ.

გაზომვის საერთო ცდომილება იყოფა პოტენციურად, რომელიც რადიოლოკაციური სადგურის ზღვრულ სიზუსტეს განსაზღვრავს ზონდირების იმპულსების მოცემული პარამეტრებისას და ცდომილებად, რომელსაც განაპირობებს ყველა დანარჩენი ფაქტორი.

სიშორის გაზომვის შედეგობრივი ცდომილებაა:

$$\delta_R = \xi_R \delta_{Rp} = \xi_R \frac{c\tau_n}{2\sqrt{\pi q}},$$

სადაც δ_R სიშორის გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილებაა; δ_{Rp} -სიშორის გაზომვის პოტენციური ცდომილების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა; c -სინათლის სიჩქარე; τ_n -იმპულსების ხანგრძლივობა; q -ფარდობა სიგნალი/ხმაური სიმძლავრის მიხედვით.

პრაქტიკული მიზნებისათვის უფრო მოხერხებულია გამოვიყენოთ გამოსახულება, რომელიც განსაზღვრავს სიშორის გაზომვის საერთო ცდომილებას:

$$\delta_R = \sqrt{\delta^2_{Rp} + \sum_{i=1}^{i=m} \delta_{Rpi}^2 + \sum_{\tau=1}^{\tau=n} \delta^2_{Rt}}$$

სადაც δ_{Rpi} -ის ცდომილებაა, რომელიც განპირობებულია რადიოტალღების გავრცელების სიჩქარის ცვლილებით და მათი ტრაექტორიის გამრუდებით; δ_{Rt} -ცდომილება, რომელიც გამოწვეულია რადიოლოკაციური სადგურის მე- t კვანძში სიზუსტის გაუარესებით.

სიშორის გაზომვის ჯამური ცდომილების ცალკეული შემადგენელების საორიენტურო მნიშვნელობები თანამედროვე სატრასო რადიოლოკაციური სადგურებისათვის, რომლებიც დაახლოებით 400კმ მანძილით დაშორებულ მიზნებზე მუშაობს, შემდეგია:

1. პოტენციური ცდომილება $\delta_p=100$ მ;
2. რადიოტალღის გავრცელებასთან დაკავშირებული ცდომილება $\delta_{Rpi}=30$ მ;
3. ზონდირების იმპულსის დროითი მდებარეობის ინდიკატორის გაშლის საწყისთან შეთავსების უზუსტობა $\delta_i=15$ მ;
4. რადიოლოკაციური სადგურის ცალკეულ არხებში სიგნალთა დაყოვნების შეთანხმების უზუსტობა $\delta_2=15$ მ;

5. საყრდენი კვარცული გენერატორის ცდომილება, რომელიც სიშორის მასშტაბური ნიშნულების ფორმირებას ახდენს, $\delta_3 = 15\text{მ}$.

შედეგობრივი ცდომილება $\delta_{R\Sigma} = 175\text{მ}$.

კუთხური კოორდინატის გაზომვის ცდომილებაა:

$$\delta_\phi = \xi_\phi \delta_{\phi p} = \xi_\phi \frac{\phi_A}{\sqrt{\pi q}},$$

სადაც ξ_ϕ პოტენციური კუთხური აზიმუტის გაუარესების კოეფიციენტი; ϕ_A -ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანე სკანირების სიბრტყეში.

პრაქტიკული მიზნებისათვის მოხერხებულია გამოვიყენოთ შემდეგი ფორმულა:

$$\delta_\phi = \sqrt{\delta^2_{\phi p}} + \sum_{j=1}^{j=m} \delta^2_{\phi p j} + \sum_{i=1}^{i=n} \delta^2_{\phi j}.$$

მოვიყვანოთ აზიმუტური კუთხის გაზომვის საშუალო კვადრატული ცდომილების ცალკეული შემადგენლების საორიენტაციო მნიშვნელობები სატრასო რადიოლოკაციური სადგურისათვის, რომელიც მუშაობს სადგურიდან 400 კმ-ით დაშორებულ მიზნებთან

1. პოტენციური ცდომილება $\delta_3 = 13'$;
2. ადგილმდებარეობაზე სადგურის ორიენტირების უზუსტობით გამოწვეული ცდომილება $\delta_1 = 0,7'$;
3. საანტენო მოწყობილობების ელექტრული და ოპტიკური ღერძების შეთავსების უზუსტობით გამოწვეული ცდომილება $\delta_2 = 5'$;
4. ცდომილება, რომელიც გამოწვეულია ანტენის კუთხური მდებარეობის სიგნალის გადამწოდის არათანაბარი მოძრაობით და ლუფტით $\delta_3 = 1,45$;
5. ცდომილება, რომელიც გამოწვეულია კუთხური ინფორმაციის გადაცემის დისკრეტულობით $\delta_4 = 3'$;
6. ცდომილება, რომელსაც ადგილი აქვს აზიმუტური მასშტაბის ნიშნულების იმპულსების ფორმირებისას $\delta_5 = 5,2'$.

შედეგობრივი ცდომილება $\delta_{\phi\Sigma} \approx 9'$.

აზიმუტისა და სიშორის სიზუსტე მოწმდება მორიგი საფრენოსნო შემოწმებისას.

დაფრენის რადიოლოკატორების დასაშვები ცდომილებები განისაზღვრება ICAO-ს ნორმებით. ამ რადიოლოკატორების სიზუსტე აზიმუტისა და ადგილის კუთხის მიხედვით მოწმდება მორიგი საფრენოსნო შემოწმებისას; სიშორის მიხედვით სიზუსტის შემოწმება ხდება აღმოჩენის ზონის შემოწმებასთან ერთად. დაფრენის რადიოლოკაციური სადგურების საკურსო და გლისადის ანტენების კუთხური ნიშნულების მომართვა მოწმდება ინსტრუმენტურად ტექნიკური მომსახურებისას. კურსისა და გლისადის მიხედვით კუთხური ნიშნულების მომართვის სისწორის შეფასება ხდება აგრეთვე ყოველი ცვლის წინ ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი

დამახასიათებელი ნიშნულების გამოსახულების მიხედვით. მოცემული გამოსახულებები ედრება საკონტროლო ფოტოგრაფიებს. მეორადი რადიოლოკაციური სადგურების სიზუსტე სიშორისა და აზიმუტის მიხედვით მოწმდება სპეციალური თვითმფრინავების დახმარებით საფრენოსნო შემოწმების დროს ან რეისული თვითმფრინავების მიხედვით.

1.3.5. საიმედოობა

რადიოლოკაციური სადგურის საიმედოობის ქვეშ იგულისხმება მისი თვისება შეასრულოს მოცემული ფუნქციები, იცავს რა დადგენილ საექსპლუატაციო მაჩვენებლებს იმ მოცემულ ზღვრებში, რომლებიც შეესაბამება მოცემული რეჟიმებისა და გამოყენების, ტექნიკური მომსახურების, რემონტის, შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობებს. საიმედოობა კომპლექსური თვისებაა და ხასიათდება უმტყუნობის, ხანგრძლივი სამსახურის, სარემონტოდ ვარგისობის მაჩვენებლებით.

რადიოლოკაციური სადგურის მუშაობის უმტყუნობის დახასიათებისათვის ყველაზე ხშირად გამოიყენება ისეთი მაჩვენებლები, როგორიცაა უმტყუნო მუშაობის ალბათობა და ნამუშევარი მტყუნებაზე.

პირველი მაჩვენებელი წარმოადგენს იმის ალბათობას, რომ მოცემული ნამუშევრის ზღვრებში მტყუნება არ მოხდება.

უმტყუნო მუშაობის სტატისტიკური ალბათობა განისაზღვრება დროის t მომენტამდე უმტყუნოდ მომუშავე ობიექტების რიცხვის ფარდობით იმ ობიექტების რიცხვთან, რომლებიც მუშაობის უნარიანი იყო დროის საწყის მომენტში $t=0$.

მტყუნებაზე ნამუშევარი ეწოდება აღდგენას დაქვემდებარებული ობიექტის ნამუშევრის ფარდობას მისი მტყუნების რიცხვის მათემატიკურ მოლოდინთან ან ნამუშევრის განმავლობაში. მტყუნებაზე სტატისტიკური ნამუშევარი განისაზღვრება აღდგენას დაქვემდებარებული ობიექტის ჯამური ნამუშევრის ფარდობით ამ ობიექტის მტყუნებათა ჯამურ რიცხვთან.

თანამედროვე რადიოლოკაციური სადგურებისათვის მტყუნებაზე ნამუშევარი შეადგენს 800-1200 საათს. ხანგამძლეობის მაჩვენებლის სახით ჩვეულებრივ გამოიყენება ისეთი ცნებები, როგორიცაა ტექნიკური რესურსი და სამსახურის ვადა.

ტექნიკური რესურსი განისაზღვრება ობიექტის ნამუშევრით ექსპლუატაციის დაწყებიდან იმ ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე, როდესაც ობიექტის შემდგომი ექსპლუატაცია უნდა შეწყდეს მოცემული პარამეტრების დადგენილ ზღვრებს გარეთ გასვლის გამო. რადიოლოკაციური სადგურის სამსახურის ვადა განისაზღვრება ექსპლუატაციის კალენდარული ხანგრძლივობით (მისი დასაწყისიდან ზღვრული მდგომარეობის დადგომამდე).

რადიოლოკაციური სადგურების ტექნიკური რესურსი ჩვეულებრივ უდრის 100,000 საათს.

რემონტს დაქვემდებარებული მაჩვენებლის სახით უფრო ხშირად გამოიყენება ისეთი მახასიათებლები, როგორიცაა აღდგენის საშუალო დრო, რომელიც შეიცავს მტყუნების აღმოჩენაზე, მტყუნების მიზეზების ძებნასა და მტყუნების შედეგების

აღმოფხვრაზე დახარჯულ დროს. ვინაიდან რადიოლოგაციურ სადგურებს აქვთ ჩაშენებული კონტროლისა და უწყისიერობების აღმოფხვრის განშტოებული აპარატურა, აღდგენის დრო შეადგენს 20-40წთ. რემონტს დაქვემდებარებულობა აგრეთვე ხასიათდება ეკონომიკური მახასიათებლებით: რემონტის ღირებულებით, აღდგენის ღირებულების კოეფიციენტით.

1.3.6. ხელშეშლებისადმი მდგრადობა

ხელშეშლებისადმი მდგრადობა, ანუ ხელშეშლებისაგან დაცულობა ეწოდება რადიოლოგაციური სადგურის უნარს, შეინარჩუნოს თავისი საექსპლუატაციო მახასიათებლები სხვადასხვა სახის ხელშეშლებისას. მდგრადობის შეფასების მიზნით ერთნაირი კრიტერიუმი გამოიმუშავებული არ არის, ჩვეულებრივ იყენებენ კერძო მაჩვენებლებს. ასე, მაგალითად, რადიოლოგაციური სადგურის დაცულობის ხარისხი ადგილობრივი საგნების ხელისშემშლელი სიგნალების ზემოქმედებისაგან ხასიათდება ხელშეშლებისქვეშა ხილვადობის კოეფიციენტით. ხელშეშლებისქვეშა ხილვადობის კოეფიციენტის $K_{\text{ხ.შ.}}$ ქვეშ იგულისხმება ხელშეშლის სიგნალის სიმძლავრის $P_{\text{ხ.შ.}}$ ისეთი მაქსიმალური ფარდობა სასარგებლო სიგნალის სიმძლავრესთან $P_{\text{ს.შ.}}$ რადიოლოგაციური სადგურის მაღალ-სიხშირული ნაწილის შესასვლელში, რომლის დროს გასასვლელში უზრუნველყოფილია სასარგებლო სიგნალების აღმოჩენის მოცემული სტატისტიკური პარამეტრები. ხელშეშლებისქვეშა ხილვადობის კოეფიციენტი ჩვეულებრივ გამოისახება დეციბელობით:

$$k_{x,q} = 10 \lg \frac{P_x}{P_{s \text{ შ.შ.}}}$$

ხელშეშლებისქვეშა ხილვადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა თანამედროვე რადიოლოგაციური სადგურებისათვის შეადგენს 14-28 დბ. მოძრავი მიზნების მიდევ-ნების სისტემის ხარისხი ფასდება ჩახშობის კოეფიციენტით. ჩახშობის კოეფიციენტი უჩვენებს, მოძრავი ობიექტებიდან არეკვლილი სიგნალი რამდენჯერ მცირდება მისი საკომპენსაციო მოწყობილობაში გავლისას იმ პირობით, რომ საკომპენსაციო მოწყობილობის გადაცემის კოეფიციენტი მოძრავი მიზნების სიგნალთათვის ერთის ტოლია. თანამედროვე რადიოლოგაციური სადგურებისათვის ჩახშობის კოეფიციენტი უდრის 20-30 დბ. სხვადასხვა გვარის ხელშეშლებისათვის არსებობს კერძო მაჩვენებლები, რომლებიც რადიოლოგაციური სადგურის ხელშეშლებისადმი მედეგობას ახასიათებს: სინქრონული ხელისშემშლელის ჩახშობის კოეფიციენტი, ჰიდროწარმონაქმნებიდან არეკვლილი სიგნალების ჩახშობის კოეფიციენტი და ა.შ. ზოგადად ორი სადგურიდან ხელშეშლებისაგან უფრო დაცულად ითვლება ის, რომელშიც ხელშეშლის ზემოქმედება იწვევს საექსპლუატაციო მაჩვენებლის უფრო ნაკლებ გაუარესებას.

1.4. რადიოლოკაციური სადგურების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები [1,3,4]

1.4.1. ტალღის სიგრძე

რადიოლოკაციური სისტემის ოპტიმიზაცია ყველაზე ხშირად იწყება იმ ტალღის სიგრძის შერჩევისაგან, რომელზეც რადიოლოკაციურმა სადგურმა უნდა იმუშაოს. ტალღის სიგრძე სიშორის ფორმულაში უშუალოდ არ შედის, მაგრამ მის არჩევაზე დამოკიდებულია ამ ფორმულაში შემავალი ყველა პარამეტრის მნიშვნელობა. ტალღის ოპტიმალური სიგრძე აირჩევა ურთიერთსაწინააღმდეგო მოთხოვნებს შორის კომპრო-მისის საფუძველზე.

მიზნების ეფექტური ამრეკლავი ფართობის დამოკიდებულება ტალღის სიგრძეზე მოხერხებულია განვიხილოთ სფეროსათვის, რომლის რადიუსია r . თუ სფერო-მიზნის ზომები ტალღის სიგრძესთან შედარებით მცირეა ($r \ll \lambda$), მაშინ მიზნის ეფექტური ფართობის ტალღის სიგრძის მიმართ იცვლება მეოთხე ხარისხის უკუპროპორციულად ($S_{\text{ეფ}} = a\lambda^{-4}$). რეზონანსულ არეში, სადაც მიზნის ზომები ტალღის სიგრძის თანაზომადია, ეფექტური ამრეკლი ფარდობითი სიდიდე დამოკიდებულია მათ კონკრეტულ თანაფარდობაზე და იცვლება ჩაქრობადი პერიოდული კანონის მიხედვით λ -ს შემცირებისას. ოპტიკურ არეში, სადაც მიზნის ზომები ბევრად აღემატება ტალღის სიგრძეს ($r \gg \lambda$), მიზნის ეფექტური ამრეკლი ფართობი არაა დამოკიდებული ტალღის სიგრძეზე [$S_{\text{ეფ}} \neq f(\lambda)$]. მითითებული დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევა გაკეთდეს გარკვეული დასკვნები იმ დიაპაზონზე, რომელშიც რადიოლოკაციურმა სადგურმა უნდა იმუშაოს. თუ ლაპარაკია საფრენი აპარატების აღმოჩენის სადგურებზე, საჭიროა ისე შევარჩიოთ ტალღის სიგრძე, რომ ამ ტიპის მიზნებისათვის ადგილი ჰქონდეს რეზონანსულ ან ოპტიკურ არეკვლას.

მეტეოროლოკატორი უფრო მაღალ სიხშირეზე უნდა მუშაობდეს. ამავე ლოკატორისათვის, გავითვალისწინებთ რა დამოკიდებულებას ($S_{\text{ეფ}} = a\lambda^{-4}$), შეიძლება რეკომენდებულ იქნეს რადიოლოკაციური სადგურის მუშაობის ორსიხშირიანი რეჟიმი მეტეოწარმონაქმნების ხასიათის შესახებ დამატებითი ინფორმაციის მისაღებად (მსხვილწვეთებიანი, წვრილწვეთებიანი და ა.შ).

ტალღის ოპტიმალური სიგრძის არჩევისას განსაკუთრებული სიძნელეები წარმოიშობა სატრასო სადგურებისათვის, როდესაც საჰაერო ხომალდის ცუდი მეტეოპირობებისას და დიდ მანძილზე აღმოჩენის მაღალ ალბათობასთან ერთად დამატებით ამოცანას წარმოადგენს ფრენებისათვის საშიში მეტეოწარმონაქმნების აღმოჩენა.

1.4.2. ტალღის სიგრძის გავლენა ანტენის გეომეტრიულ ზომებზე

პარაბოლური სარკული ანტენებისათვის, რომლებიც ხშირად გამოიყენება რადიო-ლოკაციურ სადგურებში, სამართლიანია შემდეგი მიახლოებითი განტოლება:

$$S_a = \frac{D\lambda^2}{54\pi k_g}$$

სადაც D ანტენის მიმართულებითი მოქმედების კოეფიციენტი, S_a -ანტენის გეომეტრიული ზედაპირი; k_g -ანტენის გაშლილობის გამოყენების კოეფიციენტი, რომელიც ადგენს კავშირს ანტენის გეომეტრიულ და ეფექტურ ზედაპირს შორის

($S_{aef} = k_g S_a$), ჩვეულებრივ $k_g=0,4 \div 0,7$. თუ მოცემულია ანტენის მაქსიმალურად დასაშვები ზომები S_a , კუთხური გარჩევის უნარი და მიმოხილვის ზონა იმ სიბრტყეში, რომელიც სკანირების სიბრტყის პერპენდიკულარულია, ანუ მოცემულია ანტენის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტი D_1 , მაშინ შეიძლება დაიწეროს:

$$\lambda_{მაქს} = \sqrt{\frac{4\pi k_g S_a მაქს}{D_1}}$$

ანტენის ზომების შემცირების, მისი კონსტრუქციის გაუმჯობესებისა და ღირებულების კლების მიზნით ტალღის სიგრძე სასურველია შევამციროთ.

1.4.3. ტალღის სიგრძის გავლენა კუთხური გარჩევის უნარზე

რადიოლოკაციური სადგურის კუთხური კოორდინატების მიხედვით გარჩევის უნარი შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

$$\delta\phi = \gamma_\phi \delta\phi_p \approx \gamma_\phi \psi_a,$$

სადაც $\delta\phi$ სადგურის კუთხური ϕ კოორდინატის მიხედვით რეალური გარჩევის უნარია; γ_ϕ -გარჩევის უნარის გაუარესების კოეფიციენტი ($\gamma_\phi \approx 1,5$); $\delta\phi_p$ -სადგურის პოტენციური გარჩევის უნარი კუთხური კოორდინატის მიხედვით; ψ_a - ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანე სკანირების სიბრტყეში, თუ მხედველობაში მივიღებთ იმას, რომ სარკული ანტენებისათვის სამართლიანია ფარდობა

$$\varphi_a = 60 \frac{\lambda}{d_a}$$

სადაც d_a ანტენის გაშლის კოეფიციენტი შესაბამის სიბრტყეში, მივიღებთ

$$\lambda = \frac{\delta_\phi d_a}{60 d_\phi}$$

ამგვარად, სადგურის კუთხური კოორდინატების მიხედვით გარჩევის უნარის გაუმჯობესების თვალსაზრისით სასურველია ანტენის მოცემული ზომებისას შევამციროთ ტალღის სიგრძე.

1.4.4. ტალღის სიგრძის გავლენა რადიოლოკაციური სადგურის სიზუსტეზე კუთხური კოორდინატების მიხედვით

კუთხური კოორდინატების მიხედვით რადიოლოკაციური სადგურის სიზუსტე შეიძლება განისაზღვროს გამოსახულებით:

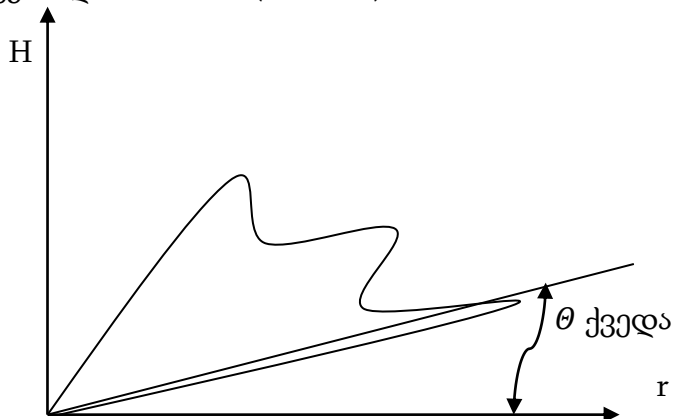
$$\delta\phi = \xi_\phi \delta\phi_p,$$

სადაც $\delta\phi$ კუთხური კოორდინატების გაზომვის ცდომილების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობაა; $\xi\phi$ -პოტენციური სიზუსტის გაუარესების კოეფიციენტი ($\xi\phi = 1,1 \div 1,5$); $\delta\phi_p$ - კუთხური კოორდინატის გაზომვის პოტენციური ცდომილების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა.

კუთხური კოორდინატების გაზომვის სიზუსტის ამაღლებისათვის ანტენის მოცე-მული ზომებისას ასევე საჭიროა ტალღის სიგრძის შემცირება.

1.4.5. ტალღის სიგრძის გავლენა ანტენის მიმართულობის დიაგრამის ქვედა ფურცლის მდებარეობაზე ვერტიკალურ სიბრტყეში

რადიოლოკაციური სადგურის მუშაობისას დაბალ სიმაღლეზე მფრენ მიზნებთან, ანუ იმ ობიექტებთან, რომლებიც მდებარეობს მცირე ადგილის კუთხით, ანტენის მიმართულობის დიაგრამა ვერტიკალურ სიბრტყეში განიცდის მნიშვნელოვან დამახინჯებას. ეს მოვლენა განპირობებულია პირდაპირი და მიწის ზედაპირიდან არეკვლილი ტალღების ინტერფერენციით, ამ დროს მიმართულობის დიაგრამას აქვს შეჭრილი ხასიათი (ნახ.1.11).



ნახ.1.11. ანტენის რეალური მიმართულობის დიაგრამა ვერტიკალურ სიბრტყეში

მიმართულობის დიაგრამის ფურცლების რიცხვი n_{θ} დამოკიდებულია ანტენის დაკიდების სიმაღლეზე და ტალღის სიგრძეზე:

$$n_{\theta} = \frac{2_{chA}}{\lambda}$$

მიმართულობის დიაგრამის ქვედა ფურცლების მაქსიმუმის ადგილის კუთხე ამ შემთხვევაში განისაზღვრება შემდეგი მიახლოებით დამოკიდებულებით:

$$\theta \text{ ქვედა} \approx \frac{\lambda}{4_{chA}}.$$

ეს გამოსახულება უჩვენებს: იმისათვის, რომ მიმართულობის დიაგრამის ქვედა ფურცელი „მივაჭიროთ“ მიწას, საჭიროა ან გავზარდოთ ანტენის დაკიდების სიმაღლე, ან შევამციროთ ტალღის სიგრძე. ამ დროს, მართალია, ფურცლების რაოდენობა იზრდება და მათი ზომები ვერტიკალურ სიბრტყეში ვიწროვდება.

1.4.6. ტალღის სიგრძის გავლენა ჰიდრომეტეორების აღმოჩენაზე

ფრენების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფის ერთ-ერთი ამოცანა მდგომარეობს იმ მეტეოროლოგიური ზონების კოორდინატების განსაზღვრაში, რომლებიც ფრენისათვის საშიშია. ეს ზონები მოიპოვება ან სპეციალური მეტეორადიოლოკატორის დახმარებით ან სატრასო და საკვანძო ლოკატორების დახმარებით, რომელთა ინდიკატორების ეკრანზე მიზნების ნიშნულებთან ერთად აისახება ჭექა-ქუხილის ღრუბლების, წვიმის, თოვლის და ა.შ. ზონები.

სხვადასხვა მეტეოწარმონაქმნებიდან სიგნალების არეკვლის ინტენსიურობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ ტალღის ზღვრული სიგრძის $\lambda_{\text{ზ}}$ ხარისხობრივი დამოკიდებულებით ნალექების მოსვლის ხასიათსა და სიჩქარეზე: ზღვრული ტალღის სიგრძის $\lambda_{\text{ზ}}$ (სმ) დამოკიდებულება მეტეოპირობებზე ასეთია:

- ჭექა-ქუხილის და ქულა-საწვიმარი ღრუბლები 25
- ძლიერი წვიმა (16მმ/სთ) 10
- ნისლი ჰორიზონტალური მხედველობით 30მ 10
- საშუალო ძალის წვიმა (4მმ/სთ) 3
- წვრილი წვიმა (0,25მმ/სთ) 1,8
- ნისლი ჰორიზონტალური მხედველობით 600მ 1

1.4.7. ტალღის სიგრძის გავლენა რადიოლოკაციური სადგურის ენერგეტიკულ მაჩვენებელზე

რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორე შეიძლება მიახლოებით განისაზღვროს რადიოლოკაციის სიშორის გამარტივებული განტოლების ერთ-ერთი მოდიფიკაციის დახმარებით:

$$R_{0max} = \sqrt[4]{\frac{P_{იმპ} S_{აფფ}^2 S_{მიზნ.ეფ}}{4\pi P_{ზღვრ. min} \lambda^2}}.$$

განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორის მოცემული მნიშვნელობისას კავშირი საჭირო სიმძლავრესა და ტალღის სიგრძეს შორის გამოიხატება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$P_{იმპ} = \beta \lambda^2.$$

მეორე მხრივ, თუ გავითვალისწინებთ ატმოსფეროში რადიოტალღების შთანთქმას, მაშინ რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების რეალური მაქსიმალური სიშორის გამოსახულება R_{pmax} შეიძლება შემდეგნაირად დაიწეროს:

$$R_{pmax} = R_{0max} 10^{-0,05\beta(\lambda)R_{pmax}},$$

სადაც R_{0max} რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორეა რადიოტალღების შთანთქმის გაუთვალისწინებლად; $(\beta\lambda)$ - ატმოსფეროში ტალღების შთანთქმის კოეფიციენტი.

შთანთქმის კოეფიციენტის დამოკიდებულებას ტალღის სიგრძეზე აქვს მონოტონურად კლდებადი ხასიათი. ასე, მაგალითად, წვიმის 4მმ/სთ ინტენსიურობისას ეს დამოკიდებულება დაახლოებით ასეთია:

λ , სმ..... 0,5 0,8 3,2 10,

$\beta(\lambda)$ დმ/კმ..... 2,0 1,0 0,06 0,0015.

ამრიგად, ტალღის სიგრძის λ ზრდისას ატმოსფეროში რადიოტალღების შთანთქმა მცირდება. რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების რეალური მოცემული სიშორის უზრუნველსაყოფად ამ შემთხვევაში მოითხოვება გადამცემის ნაკლები სიმძლავრე, ვიდრე მცირე ტალღის სიგრძისას λ .

გამოთვლები გვიჩვენებს, რომ თითოეული მოქმედების სიშორისათვის შეიძლება განისაზღვროს ტალღის სიგრძის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც საჭირო სიმძლავრე მინიმალური იქნება.

თუ ტალღის სიგრძეს ავიღებთ ოპტიმალურზე მეტს, მაშინ საჭირო გასხივების სიმძლავრე იზრდება შედარებით მცირედ. თუ ტალღის სიგრძეს ავიღებთ ოპტიმალურზე ნაკლებს, მაშინ გადამცემის სიმძლავრე მკვეთრად იზრდება.

რადიოლოკაციური სადგურის ტალღის სიგრძის არჩევისას გათვალისწინებული უნდა იყოს ის, რომ შესაძლებელია თუ არა ამისათვის საჭირო ზემაღალი სიხშირის ხელსაწყოების დამზადება, აგრეთვე ისეთი ფაქტორები, როგორიცაა რადიოსაშუალებების ელექტრონული შეთავსებადობა, სიხშირეების განაწილების საკითხებში საერთაშორისო შეთანხმებები და ა.შ.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება ჩამოვყალიბოთ რეკომენდაციები სხვადასხვა რადიოლოკაციური სადგურებისათვის ტალღის სიგრძის შერჩევის თაობაზე, აგრეთვე მოვიყვანოთ ზოგიერთი ტიპური მონაცემი, რომლებიც ახასიათებს ტალღების დიაპაზონის გამოყენებას სხვადასხვა დანიშნულების რადიოლოკატორებისათვის.

სატრასო რადიოლოკატორებისათვის სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია (ICAO) რეკომენდაციას იძლევა გამოვიყენოთ ტალღები 50, 23 და 10სმ სიგრძის.

სააეროდრომო რადიოლოკაციური სადგურები მუშაობს 35 და 10სმ ტალღებზე.

ყველა დაფრენის რადიოლოგკატორი მუშაობს 3,2 სმ ტალღაზე ამავე ტალღაზე მუშაობს ის მიმოხილვა-დასაფრენი რადიოლოგკატორი, რომლის დანიშნულებაც ადგილობრივი საჰაერო ხაზების აეროპორტების მომსახურება.

საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოგაციური სადგურები მუშაობს 8მმ ტალღაზე, მათთვის ეს ტალღა არის ოპტიმალური. ტალღის სიგრძის შემცირება იწვევს რადიოლოგაციური სადგურის მოქმედების სიშორის მკვეთრ შემცირებას და მიზნების აღმოჩენის ალბათობის შემცირებას ცუდი მეტეოპირობებისას.

ტალღის სიგრძის ზრდა უარყოფითად მოქმედებს აზიმუტის მიხედვით გარჩევის უნარზე.

ორარხიანი მეტეოროლოგიური რადიოლოგაციური სადგურები მუშაობს 8მმ და 3,2 სმ ან 3,2 სმ და 10სმ ტალღებზე, ერთარხიანები-3,2სმ ტალღაზე. სადგურის ერთდროული მუშაობა ორ სიხშირეზე საშუალებას იძლევა დამატებითი ინფორმაცია მივიღოთ მეტეოობიექტების ფიზიკური მდგომარეობის შესახებ.

ტალღების ის დიაპაზონი, რომელზეც მეორადი რადიოლოგკატორები მუშაობს, მკაცრად რეგლამენტირებულია საერთაშორისო ნორმებით. ეს იმით აიხსნება, რომ მეორადი რადიოლოგაციური სადგურები იმ აქტიური რადიოლოგაციური სისტემის მხოლოდ ნაწილს შეადგენს, რომელშიც ასევე შედის საჰაერო ხომალდის მოპასუხეები. საერთაშორისო ნორმებით გათვალისწინებულია შეკითხვის გადაცემა 29სმ ტალღაზე და პასუხის - 27,5სმ ტალღაზე.

1.4.8. ანტენების მიმართულობის დიაგრამები

ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანის არჩევა რადიოლოგაციური სადგურის დაპროექტების საპასუხისმგებლო ეტაპია.

მიმართულობის დიაგრამის სიგანე აირჩევა ურთიერთსაწინააღმდეგო მოთხოვნებს შორის კომპრომისის საფუძველზე.

განვიხილოთ ჯერ ის მოთხოვნები, რომლებიც განსაზღვრავს მიმართულობის დიაგრამის სიგანის არჩევას სკანირების სიბრტყეში.

როგორც აღნიშნულია ზემოთ, რადიოლოგაციური სადგურის კუთხური გარჩევის უნარი და კუთხური სიზუსტე დაკავშირებულია მიმართულობის დიაგრამის სიგანესთან სკანირების სიბრტყეში, რაც უფრო ვიწროა მიმართულობის დიაგრამა, მით უფრო დიდია სადგურის გარჩევის უნარი და სიზუსტე.

მიმართულობის დიაგრამის შევიწროებისას იზრდება სადგურის მოქმედების სიშორე. რადიოლოგაციური სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორე იზრდება ანტენის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტის ზრდასთან ერთად, რომელიც, თავის მხრივ, იზრდება მიმართულობის დიაგრამის სიგანის შემცირებისას ჰორიზონტალურ ϕ და ვერტიკალურ θ სიბრტყეებში:

$$D = \frac{4\pi}{\phi_a \theta_a}.$$

მეორე მხრივ, მიმართულობის დიაგრამის შევიწროება ანტენის განსაზღვრული ბრუნვის სიჩქარისას იწვევს იმ იმპულსების რიცხვის შემცირებას, რომლებიც მიზნიდან აირეკლება და მამასადამე, მიზნის აღმოჩენის ალბათობისა და რადიოლოკატორის მოქმედების სიშორის შემცირებას მიმართულობის დიაგრამის მეტისმეტად დავიწროებისას იზრდება მიზნების გამოტოვების ალბათობა.

მიმართულობის დიაგრამის სიგანის შერჩევისას საჭიროა მხედველობაში ვიქონიოთ ის, რომ მისი სიგანის შემცირებისკენ სწრაფვა იწვევს ანტენის გეომეტრიული ზომების ზრდას, აქედან გამომდინარე ყველა შედეგით: ანტენაზე აეროდინამიკური დატვირთვის გაზრდას, საანტენო ამძრავის ენერგიის ხარჯის ზრდას, ღირებულების, წონის ზრდას და ა.შ. ამ მხრივ არახელსაყრელია, სხვა ტენდენციაც: რაც უფრო ვიწროა ანტენის მიმართულობის დიაგრამა, მით უფრო მეტია, როგორც წესი, გვერდითი ფურცლების დონე.

ანტენის მიმართულობის დიაგრამის შერჩევისას სკანირების სიბრტყის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ძირითადად სამ ფაქტორს:

1. ანტენის კოეფიციენტის და, მამასადამე, რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების სიშორის ზრდა მიმართულობის დიაგრამის სიგანის შემცირებისას;
2. ჰიდრომეტეორებიდან არეკვლილი სიგნალების ზეგავლენის შემცირება მეტეოწარმონაქმნის ეკვივალენტური ამრეკლი ფართობის შემცირების ხარჯზე ანტენის მიმართულობის დიაგრამის შევიწროებისას;
3. მთელი მოცემული საჰაერო სივრცის მიმოხილვის საჭიროება ანტენის დამატებითი დახრის ან მობრუნების გარეშე. სკანირების სიბრტყის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში ანტენების მიმართულობის დიაგრამების დამახასიათებელი განსაკუთრებულიობაა მათი რთული კონფიგურაცია, როგორც წესი, ეს არის $\cos ec^2 \theta$ ტიპის ან სხვა რომელიმე რთული დამოკიდებულების კონფიგურაცია. მიმართულობის დიაგრამის ამა თუ იმ ფორმის არჩევა განპირობებულია სწრაფვით მოცულ იქნეს საჰაერო სივრცის ის ნაწილი, სადაც შეიძლება იმყოფებოდეს გასაკონტროლებელი საფრენი აპარატები და ამავე დროს რაციონალურად იქნეს გამოყენებული რადიოლოკატორის ენერგეტიკული პოტენციალი. ანტენის მიმართულობის დიაგრამის არჩევაზე უფრო მეტ გავლენას ახდენს სწრაფვა შემცირდეს ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლილი ხელშეშლები. იმავდროულად რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების დიდი სიშორის უზრუნველყოფა იმ მიზნების მიხედვით, რომლებიც საჰაერო სივრცის ქვედა ემელონებში იმყოფება.

ზოგიერთ თანამედროვე რადიოლოკაციურ სადგურში გათვალისწინებულია სპეციალური გადამრთველები, რომლებიც ანტენის მიმართულობის დიაგრამის კონფიგურაციას ცვლის ადგილობრივი საგნებიდან არეკვლების ხასიათისა და სიდიდის მიხედვით.

სხვადასხვა დანიშნულების რადიოლოკაციური სადგურის ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანის დამახასიათებელი მნიშვნელობები სკანირების

სიბრტყეში შემდეგ ზღვრებში დევს: სატრასო და საკვანძოებისათვის $-0,7-1^{\circ}$; სააეროდრომოსათვის $-2-4^{\circ}$; დასაფრენისათვის $-0,65-0,8^{\circ}$; საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკატორებისათვის $-0,2-0,25^{\circ}$; მეორადი რადიოლოკატორებისათვის ≈ 4 .

სკანირების სიბრტყის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში ანტენის მიმართულობის დიაგრამის სიგანის მნიშვნელობების მოყვანა მიზანშეუწონელია, რამდენადაც ამ სიბრტყეში დიაგრამებს რთული კონფიგურაცია აქვთ და ისეთი პარამეტრი, როგორც მიმართულობის დიაგრამის სიგანეა, არასრულად ახასიათებს ანტენის თვისებებს.

1.4.9 გადამცემის სიმძლავრე

გადამცემის $P_{\text{გ}}$ სიმძლავრე მიმღების მგრძნობიარობასთან $P_{\text{მიმღ,მინ}}$ და ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტთან G ერთად განსაზღვრავს რადიოლოკაციური სადგურის ეგრეთ წოდებულ ენერგეტიკულ პოტენციალს, რომელზეც სხვა მოცემული A პარამეტრებისას დამოკიდებულია რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორე:

$$R_{\text{მახ}} = A \sqrt{\frac{P_{\text{მ}}}{P_{\text{მიმღ,მინ}} G}}.$$

მოქმედების სიშორის გაზრდისათვის პრინციპულად სულერთია, გაიზრდება გადამცემის სიმძლავრე ან გაუმჯობესდება მიმღების მგრძნობიარობა. პრაქტიკაში ორივე ეს შესაძლებლობა გამოიყენება.

იმპულსური სიმძლავრის ზრდა შეიძლება მოხდეს ცნობილ ზღვრამდე. შემზღუდველ ფაქტორებს წარმოადგენს: ფიდერული ტრაქტის ელექტრული სიმტკიცე; გადამცემა მოწყობილობის ღირებულება და საექსპლუატაციო ხარჯების სიდიდე; უსაფრთხოების ტექნიკით დასაშვები ზემაღალი სიხშირული და რენტგენული გამოსხივების დონე. იმისათვის, რომ გადაილახოს ეს შეზღუდვები, ბევრ მძლავრ რადიოლოკაციურ სადგურში გამოიყენება ერთ ანტენაზე მომუშავე, რამდენიმე გადამცემა. იმისათვის, რომ ტალღსატარი ტრაქტი არ გადაიტვირთოს, გადამცემები ხშირად მუშაობს მცირე დროითი ძვრით ზონდირების იმპულსებს შორის და სიხშირის წანაცვლებით. ზოგიერთ შემთხვევაში საჭირო ხდება გამოვიყენოთ ფართო ზონდირების სიგნალები შიდა იმპულსური სიხშირული მოდულაციით და ვავიწროვოთ ისინი მიღების ბოლოში სიშორის მიხედვით დამაკმაყოფილებელი გარჩევის უნარის აღდგენის მიზნით.

რამდენადაც ყველა მიწისზედა რადიოლოკაციურ სადგურში გამოიყენება მიზნების კოორდინატების განსაზღვრის იმპულსური მეთოდი, ჩვეულებრივ გასხივებული სიმძლავრის დახასიათებისათვის შემოღებულია იმპულსური სიმძლავრის ცნება, რომლის ქვეშ იგულისხმება იმპულსის განმავლობაში ის საშუალო სიმძლავრე, რომელსაც გადამცემა გასცემს ტალღსატარის სისტემაში. რადიოლოკაციური სადგურების გადამცემის იმპულსური სიმძლავრის საორიენტაციო მნიშვნელობებია: სატრასო და საკვანძო რადიოლოკატორებისათვის -

ერთეული მეგავატი; სააეროდრომოსათვის-ასეული კილოვატები; დასაფრენი და მიმოხილვა - დასაფრენისათვის-150 კილოვატი; საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკატორისათვის-ათეული კილოვატი; მეტეორადიოლოკატორებისათვის - ათეული კილოვატიდან 1 მეგავატამდე; მეორადი რადიოლოკატორებისათვის-20 კილოვატი. ამ დროს სატრასო და საკვანძო რადიოლოკაციურ სადგურებს აქვთ, როგორც წესი, აგების მრავალარხიანი სტრუქტურა, რომელიც ითვალისწინებს რამდენიმე გადამცემს ერთ ანტენაზე ერთდროულად მუშაობისას.

1.4.10 მიმღების მგრძნობიარობა

რადიოლოკაციური სადგურის მგრძნობიარობის ქვეშ იგულისხმება მიმღების უნარი გააძლიეროს და გამოჰყოს სუსტი არეკვლილი სიგნალები ხმაურის ფონზე. განასხვავებენ მგრძნობიარობის ორ ცნებას: ზღვრულს და რეალურს.

ზღვრული მგრძნობიარობა ხასიათდება სიგნალის იმ მინიმალური სიმძლავრით $P_{ზღვრ.}$ მიმღების შესასვლელში, რომლის დროს მის გასასვლელში უზრუნველყოფილია სიგნალის და ხმაურის სიმძლავრეების ტოლობა. რეალური მგრძნობიარობის ქვეშ იგულისხმება სიგნალის ისეთი მინიმალური სიმძლავრე $P_{ზღვრ. min}$ მიმღების შესასვლელში, რომლის დროსაც გასასვლელში იქმნება რადიოლოკაციური სადგურის ნორმალური მუშაობისათვის საჭირო სიგნალის დონის გადამეტება ხმაურის დონეზე. რეალური მგრძნობიარობა ზღვრულ მგრძნობიარობასთან დაკავშირებულია განსხვავებულობის კოეფიციენტის მეშვეობით:

$$P_{მიმღ. min} = a P_{ზღვრ.}$$

ჩვეულებრივ რადიოლოკაციური სადგურის ტექნიკური მაჩვენებლის სახით გამოიყენება არაზღვრული, არამედ რეალური მგრძნობიარობის მნიშვნელობა, თანაც ხშირად ფარდობით ერთეულებში (დეციბელი).

$$B = \log g \frac{P_0}{P_{მიმღ. min}},$$

სადაც P_0 სიმძლავრის ასათვლელი დონეა, რომელიც 1 ვატის ან 1 მილივატის ტოლი აირჩევა.

ზემოჩამოთვლილი პარამეტრების გარდა, რადიოლოკაციური სადგურების მიმღების მგრძნობიარობის დახასიათებისათვის ხშირად გამოიყენებენ ისეთ ცნებებს, როგორიცაა ხმაურის კოეფიციენტი და ეფექტური ხმაურის ტემპერატურა.

ხმაურის კოეფიციენტი K_{Σ} უჩვენებს, თუ ფარდობა სიგნალი/ხმაური მიმღების შესასვლელში რამდენჯერ მეტია იმავე ფარდობაზე მის გასასვლელში:

$$K_{\text{ბმ}} = \frac{P_{\text{ს.შეს}} / P_{\text{ბმ.შეს}}}{P_{\text{ს.გას}} / P_{\text{ბმ.შეს}}}$$

ეფექტური ხმაურის ტემპერატურის ცნება ეფუძნება დაშვებას, რომ თითქოს მიმღები იდეალურია, ხოლო მასში წარმოქმნილი დამატებით ხმაურს მიაკუთვნებენ მიმღების შესასვლელს და თვლიან, რომ მისი წარმოქმნა გამოწვეულია შესასვლელი წრედების ტემპერატურის დამატებითი ზრდით, ეფექტური ხმაურის ტემპერატურა ხმაურის კოეფიციენტთან დაკავშირებულია თანაფარდობით:

$$T_{\text{ეფ}} = T_0(K_{\text{ბმ}} - 1)$$

სადაც T_0 ჩვეულებრივ მიღებულია 29° ტოლად.

მიმღების მაღალი მგრძნობიარობის მისაღებად რადიოლოკაციური სადგურების უმრავლესობაში გამოიყენებენ ზემოაღნიშნულ სიხშირეების მცირეხმაურიან შესასვლელ მაძლიერებელს. საორიენტაციოდ მოქმედების დიდი რადიუსის მქონე რადიოლოკაციური სადგურებისათვის მიმღების ხმაურის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს 2,5-3დბ.

უნდა აღინიშნოს, რომ სწრაფვა იმისკენ, რომ ხმაურის კოეფიციენტი დაყვანილ იქნეს 2 დეციბელამდე, არ შეიძლება ჩაითვალოს მიზანშეწონილად, ვინაიდან მიმღების მგრძნობიარობის შემდგომი ზრდა იწვევს დიდ მატერიალურ ხარჯებს და მთელი რადიოლოკაციური სადგურის საექსპლუატაციო საიმედოობის გაუარესებას. ამ დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ მიმღების ასეთი მაღალი მგრძნობიარობისას რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების რეალური სიშორე მნიშვნელოვნად იქნება დამოკიდებული არა მიმღების ფლუქტუაციურ ხმაურზე, არამედ იმ გარე ხელშეშლებზე, რომელთა დონე აეროდრომის რაიონში საკმაოდ დიდია.

1.4.11 გასხივებული იმპულსების განმეორების სიხშირე და ხანგრძლივობა

ზონდირების იმპულსების განმეორების სიხშირის არჩევაზე შემდეგი ფაქტორები ახდენენ გავლენას.

საკაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის საჭიროა, რომ მიზნე-ბიდან არეკვლილი რადიოტალღები ასწრებდნენ მიმღების შესასვლელში მოსვლას ახალი ზონდირების იმპულსის გასხივების დაწყებამდე. ეს პირობა ასეთი სახით შეიძლება წარმოვადგინოთ:

$$F_{\text{განმ}} \leq \frac{C}{2R_{\text{მაქს}}k_{\text{თად}}},$$

სადაც $K_{\text{თად}}$ თადარიგის კოეფიციენტია, რომელიც დაახლოებით 2-ის ტოლია.

მეორე მხრივ, რაც უფრო დიდია იმპულსების განმეორების სიხშირე, მით უფრო მეტი იმპულსი იქნება მიღებული მიზნიდან ერთი მიმოხილვისას. მაშასადამე, გაიზრდება მიმღების რეალური მგრძნობიარობა, გაუმჯობესდება კუთხური კოორდინატების განსაზღვრის სიზუსტე.

კომპრომისული გადაწყვეტილების შედეგად განისაზღვრა იმპულსების განმეორების შემდეგი დამახასიათებელი მნიშვნელობები: სატრასო სადგურებისთვის 250-დან 500ჰც-მდე, საკვანძო სადგურებისთვის-330-1000ჰც; სააეროდრომოსათვის 500-1000ჰც, დაფრენის სადგურისათვის-2,4-3კჰც, საფრენი მინდვრის მიმოხილვის რადიოლოკაციური სადგურებისათვის 0,5-10კჰც, მეტეორადიოლოკატორებისათვის-250-6500ჰც. მეორადი რადიოლოკატორების იმპულსების განმეორების სიხშირე ჩვეულებრივ იმ პირველადი სადგურების იმპულსების განმეორების სიხშირეს შეესაბამება, რომლებთანაც შეუღლებულია მეორადი რადიოლოკატორები.

იმპულსების ხანგრძლივობის არჩევაზე გავლენას ახდენს ორი ძირითადი ფაქტორი: ზონდირების იმპულსის ხანგრძლივობის ზრდისას, მუდმივი იმპულსური სიმძლავრისას, იზრდება იმპულსის ენერგია, რაც იწვევს მიმღების რეალური მგრძნობიარობის ზრდას და საბოლოოდ რადიოლოკაციური სადგურის მოქმედების მაქსიმალური სიშორის გაზრდას; იმპულსის ხანგრძლივობის ზრდისას უარესდება სადგურის გარჩევის უნარი სიშორის მიხედვით.

კომპრომისის საფუძველზე მიღებულია ზონდირების იმპულსების ხანგრძლივობის შემდეგი მნიშვნელობები: სატრასო რადიოლოკაციური სადგურებისათვის-2-3,5მკწმ, საკვანძოსათვის-1,2-3 მკწმ, სააეროდრომოსათვის-1-2,4 მკწმ, დასაფრენი ლოკატორისათვის-0,4-0,5 მკწმ, საფრენი მინდვრის მიმოხილვის ლოკატორისთვის -0,002-0,005მკწმ, მეტეორადიოლოკატორისთვის 0,45-2,1მკწმ.

1.5 რადიოლოკაციური და რადიონავიგაციური სადგურების საექსპლუატაციო ტექნიკური მახასიათებლების საერთაშორისო ნორმები [1]

1.5.1 მოკლე ცნობები ICAO-ს შესახებ

ICAO (International Civil Aviation Organisation), როგორც სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია, ახორციელებს საერთაშორისო თანამშრომლობას სამოქალაქო ავიაციის სფეროში იმ მიზნით, რომ უზრუნველყოფილ იქნეს საერთაშორისო საჰაერო მიმოსვლის უსაფრთხოება, რეგულარობა და ეფექტურობა. პირველი სხდომა საერთაშორისო საჰაერო მიმოსვლის განვითარების საკითხზე შედგა ჩიკაგოში 1944 წელს. ამ სხდომაზე მიღებულ იქნა ჩიკაგოს კონვენცია საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის შესახებ. კონვენცია შედგება ოთხი ნაწილისაგან და შეიცავს:

- საერთაშორისო სამოქალაქო ავიაციის მოღვაწეობის ზოგად პრინციპებს, დებულებებს საერთაშორისო აერონავიგაციის, რეგულარული და არარეგულარული საერთაშორისო მიმოსვლის შესახებ, იმ მოთხოვნებს, რომლებსაც საფრენი აპარატები უნდა აკმაყოფილებდეს;
- სამოქალაქო ავიაციის სფეროში საერთაშორისო თანამშრომლობის მიზნებსა და ამოცანებს, ორგანიზაციის სტრუქტურასა და შემადგენლობას, ორგანიზაციის წევრებისა და ხელმძღვანელი ორგანოების მოვალეობებსა და უფლებებს;
- საერთაშორისო საჰაერო გადაზიდვების ნორმების რეგლამენტაციას, ნაციონალური ავიასატრანსპორტო დაწესებულებების ანგარიშგებისა და ინფორმაციის საკითხებს მათი საქმიანობის სხვადასხვა ასპექტებში, მათ შორის აეროდრომების მშენებლობისა და რეკონსტრუქციის, მათი მიწისზედა აეროსანავიგაციო საშუალებებით აღჭურვის და ა.შ;
- სხვადასხვა საკითხებს, რომლებიც ეხება ორგანიზაციის საქმიანობის ფინანსურ და იურიდიულ მხარეს. ICAO-ს ორგანიზაციული სტრუქტურა მიღებულ იქნა ასამბლეის პირველ სესიაზე 1947 წელს მონრეალში. ICAO-ს ძირითადი ორგანოებია ასამბლეა, საბჭო და სამდივნო.

ICAO-ს საბჭოს მუდმივი ორგანოებია აეროსანავიგაციო კომისია და ოთხი კომიტეტი, რომლებიც თავის მხრივ შედგება განყოფილებებისა და ექსპერტთა ჯგუფებისაგან. ერთ-ერთმა ექსპლუატაციის ექსპერტთა ჯგუფმა მნიშვნელოვანი სამუშაო ჩაატარა დაფრენისას უსაფრთხოების ამაღლების მეთოდების გამოკვლევის საკითხებში. ასე, მაგალითად, ამ ჯგუფის ექსპერტთა აზრით ILS ტიპის მეტრული დიაპაზონის დაფრენის სისტემა ვერ აკმაყოფილებს მზარდ მოთხოვნებს, ვინაიდან უფრო მკაცრ დაფრენის მინიმუმებზე გადასვლისას დაფრენის სისტემებისაგან მოითხოვება დიდი სიზუსტე და ფუნქციური შესაძლებლობების ფართო წრე. გარდა ამისა, დაფრენის სისტემების ტექნიკური მახასიათებლები უნდა შეირჩეს ახალი ტიპის პერსპექტიული საფრენი აპარატების წარმოჩენის გათვალისწინებით. რიგი წლების განმავლობაში ICAO-ს ექსპერტთა ჯგუფი მუშაობას ატარებს დასაფრენად შესვლის პერსპექტიული არავიზუალური სისტემის დამუშავების საკითხებში. დღეს ICAO-ს საქმიანობის ძირითადი მიზანია საერთაშორისო საჰაერო ნავიგაციის პრინციპებისა და პრაქტიკის შემუშავება და საერთაშორისო საჰაერო მიმოსვლის დაგეგმარებისა და განვითარების ხელშეწყობა.

1.5.2 ICAO-ს ნორმები დაფრენის სისტემების პარამეტრებისათვის

საკურსო რადიომუქურების პარამეტრების ნორმები

საკურსო რადიომუქურა (LOC) უნდა მუშაობდეს 108-111,975 მგჰც სიხშირეთა დიაპაზონში. დასაშვებია მატარებელი სიხშირის ნომინალური მნიშვნელობებიდან გადახრა არაუმეტეს $\pm 0,005\%$. საკურსო რადიომუქურა უნდა ასხივებდეს ჰორიზონტალურად პოლარიზებულ რხევებს. საჰაერო ხომალდის კურსის ხაზზე ყოფნისას

$\pm 20^0$ დაგვერდებისას საკურსო შუქურას ანტენის მიერ გამოსხივებული ვერტიკალური შემადგენელი არ უნდა აღემატებოდეს 0,016%-ს პირველი კატეგორიის შუქურასათვის, 0,008%-ს მეორე კატეგორიის შუქურასათვის და 0,005%-ს მესამე კატეგორიის შუქურასათვის.

მოქმედების ზონა. საკურსო რადიოშუქურამ უნდა უზრუნველყოს დამაკმაყოფილებელი მუშაობა იმ საჰაერო ხომალდის ტიპური საბორტო მოწყობილობებისა, რომელიც იმყოფება დაფრენაზე შესვლის მიმართულებით, საკურსო რადიოშუქურადან 46 კმ მანძილზე $\pm 10^0$ სიგანის სექტორის ფარგლებში და 31,5 კმ მანძილზე $\pm 35^0$ სექტორის საზღვრებში. ვერტიკალურ სიბრტყეში საკურსო რადიოშუქურას სიგნალების მიღების შესაძლებლობა უზრუნველყოფილ უნდა იქნეს ჰორიზონტთან 7^0 -იანი კუთხის სექტორში 300 მეტრზე მეტ სიმაღლეზე დედამიწის ზედაპირზე იმ ყველაზე მაღალ წერტილთან შედარებით, რომელიც საკურსო რადიოშუქურას მოქმედების ზონაში იმყოფება.

კურსის სექტორის სიგანე. დადგენილია ისეთი, რომ იმ წერტილებში, რომლებიც იმყოფება გლისადის კუთხით ჰორიზონტალური სიბრტყიდან 15მ სიმაღლეზე კურსის სექტორის ხაზური სიგანე უნდა იყოს 210მ.

ველის დამაბულობა. საკურსო რადიოშუქურას მოქმედების ზონის საზღვრებში ველის დამაბულობა უნდა იყოს არანაკლებ 40 მკვ/მ. გლისადის ხაზის გასწვრივ კურსის სექტორის ზღვრებში 18,5კმ მანძილზე და 60მ სიმაღლეზე ველის დამაბულობა უნდა იყოს არანაკლებ 90 მკვ/მ I კატეგორიის სისტემებისათვის, იზრდება რა II კატეგორიის სისტემებისათვის 200 მკვ/მ-მდე 15მ სიმაღლეზე და იგივე 200 მკვ/მ 6მ სიმაღლეზე III კატეგორიის სისტემებისათვის.

კურსის ხაზის მდებარეობა. საკურსო რადიოშუქურას ექსპლუატაციაში შეყვანისას კურსის ხაზს ამთხვევენ ასაფრენ-დასაფრენ ზოლს. დასაშვებია ღერძიდან გადახრა არაუმეტეს $\pm 10,5^0$ მ I - კატეგორიის სისტემებისათვის, $\pm 7,5^0$ მ - II კატეგორიის სისტემებისათვის და ± 3 მ - III კატეგორიის სისტემებისათვის.

საკურსო რადიოშუქურას მახასიათებლის დახრილობა. დახრილობის მაქსიმალურად დასაშვები გადახრა ნომინალური მნიშვნელობიდან შეადგენს არაუმეტეს ± 17 %-ს I და II კატეგორიის საკურსო რადიოშუქურებისათვის და ± 10 %-ს - III კატეგორიის რადიოშუქურასათვის. დახრილობის ნომინალური მნიშვნელობა შეესაბამება 210მ კურსის სექტორის ხაზურ სიგანეს ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ზღურბლიდან.

მამოდულირებელი ძაბვები. მატარებელი სიხშირის ამპლიტუდური მოდულაციის სიღრმე 90 და 150 ჰც სიხშირის ძაბვებით კურსის ხაზის გასწვრივ უნდა იმყოფებოდეს 18-22% ზღვრებში I და II კატეგორიის საკურსო რადიოშუქურებისათვის და 19-21% - III კატეგორიის შუქურასათვის. დასაშვებია ნომინალური მნიშვნელობებიდან გადახრა $\pm 2,5^0$; $\pm 1,5^0$ და ± 1 % შესაბამისად I, II და III კატეგორიის საკურსო რადიოშუქურებისათვის.

90 და 150 ჰც მამოდულირებელი ძაბვები ისე უნდა იყოს ფაზირებული, რომ საბორტო რადიომიმღების მაღალსიხშირული სიგნალის დეტექტირებისას ისინი

ნულს უნდა გადიოდნენ ერთი და იმავე მიმართულებით 150 ჰც ძაბვის პერიოდის 20⁰-იან ზღვრებში I და II კატეგორიის საკურსო რადიოშუქურასათვის და 10⁰ III კატეგორიის შუქურასათვის.

კონტროლირებადი პარამეტრები უნდა უზრუნველყოფდეს საკონტროლო მოწყობილობის მიერ საკურსო რადიოშუქურას უწყისივრობის შესახებ გამაფრთხილებელი სიგნალის გაცემას და მუშა კომპლექტის ავარიულ გამორთვას სარეზერვო კომპლექტებზე გადასვლით.

მითითებული სიგნალები უნდა გაიცეს, თუ: კურსის ხაზის წანაცვლება ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ღერძის მიმართ აღემატება $\pm 10,5 \pm 7,5 \pm 6$ მ. შესაბამისად I, II და III კატეგორიის საკურსო რადიოშუქურებისათვის ან გამომავალი სიმძლავრე ნომინალზე 50%-ით ნაკლებია;

საკურსო რადიოშუქურას მახასიათებლის დახრილობა შეიცვალა 17%-ზე მეტით ნომინალური მნიშვნელობიდან.

დროის დაყოვნება ავარიული სიტუაციის წარმოქმნის მომენტსა და საკურსო რადიოშუქურას მუშა კომპლექტის გამორთვის მომენტს შორის არ უნდა იყოს მეტი, ვიდრე 10,5, 5 და 2 წამი შესაბამისად I, II და III კატეგორიისათვის.

1.5.3 გლისადის რადიოშუქურების პარამეტრების ნორმები

სიხშირული დიაპაზონი და მატარებელი სიხშირის სტაბილურობა. გლისადის რადიოშუქურები (G/S) უნდა მუშაობდეს 328,6-335,4 მგჰც დიაპაზონში. დასაშვებია მატარებელი სიხშირის ნომინალიდან გადახრა არაუმეტეს 0,0005%.

პოლარიზაცია. გლისადის რადიოშუქურა უნდა ასხივებდეს ჰორიზონტალურად პოლარიზებულ სხივებს.

მოქმედების ზონა. გლისადის რადიოშუქურამ უნდა უზრუნველყოს ტიპური საბორტო მოწყობილობის მუშაობა, როდესაც საჰაერო ხომალდი იმყოფება დასაფრენად შესვლის მიმართულებით 18,5 კმ მანძილზე და $\pm 10^0$ სექტორში ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ღერძიდან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, ხოლო ვერტიკალურ სიბრტყეში იმ სექტორში, რომელიც შეზღუდულია გლისადის კუთხის θ წილებით 0,45 და 1,75.

გლისადის ნახევარსექტორის სიგანე დადგენილია: (0,07-0,14) მ⁰ ზღვრებში I კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურასათვის; 0,12 მ⁰ ტოლი II კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურასათვის. III კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურასათვის ნახევარსექტორის ზედა და ქვედა ნაწილების სიგანე უნდა იმყოფებოდეს (0,12 $\pm$ 0,02) მ⁰ ზღვრებში.

ველის დამაბულობა. გლისადის რადიოშუქურას მოქმედების ზონის ზღვრებში უზრუნველყოფილ უნდა იქნეს ველის დამაბულობა არანაკლებ 400მკვ/მ 30მ სიმაღლემდე I კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურასათვის და 15მ სიმაღლემდე II და III კატეგორიებისათვის.

გლისადის ხაზის მდებარეობა. გლისადის რადიოშუქურას ექსპლუატაციაში შეყვანისას გლისადის ხაზი დგება მ ნომინალური კუთხით. გლისადის რადიოშუქურა უნდა უშვებდეს მ კუთხის რეგულირება 2-4° ზღვრებში ჰორიზონტის მიმართ. ექსპლუატაციის პროცესში დასაშვებია გლისადის კუთხის გადახრა არა უმეტეს $\pm 0,075$ მ I და II კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურებისათვის და არაუმეტეს $\pm 0,04$ III კატეგორიისათვის.

გლისადის რადიოშუქურას მახასიათებლის დახრილობა. დასაშვებია დახრილობის ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრა არაუმეტეს $\pm 25,20$ და 15% შესაბამისად I, II და III კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურებისათვის.

მამოდულირებელი ძაბვები. მატარებელი სიხშირის ამპლიტუდური მოდულაციის სიღრმე თითოეული 90 ან 150 ჰც სიხშირის ძაბვით გლისადის ხაზზე უდრის 40%. დასაშვებია მამოდულირებელი სიხშირეების ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრა $\pm 2,5 \pm 1,5$ და $1,0 \pm 1$ შესაბამისად I, II და III კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურებისათვის.

90 და 150 ჰც მამოდულირებელი ძაბვები ისე უნდა იყოს ფაზირებული, რომ მაღალსიხშირული სიგნალის საბორტო მიმღებში დეტექტირების შემდეგ ისინი ნულს გადიოდნენ ერთი და იმავე მიმართულებით 150 ჰც-იანი ძაბვის პერიოდის 20° ზღვრებში I და II კატეგორიის და 10°-ის III კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურებისათვის.

კონტროლირებადი პარამეტრები. საკონტროლო მოწყობილობამ უნდა უზრუნველყოს გლისადის რადიოშუქურას უწყისივრობის შესახებ გამაფრთხილებელი სიგნალის გაცემა და რადიოშუქურას მუშა კომპლექტის ავარიული გამორთვა სათადარიგო კომპლექტზე გადასვლით, თუ:

გლისადის კუთხის წანაცვლება აღემატება გლისადის კუთხის მ ნომინალური მნიშვნელობა 0,075-ს;

გამომავალი სიმძლავრე ნომინალურის 50%-ზე ნაკლებია;

გლისადის რადიოშუქურას მახასიათებლის დახრილობა შეიცვალა $\pm 25\%$ -ზე მეტად ნომინალური მნიშვნელობიდან (II და III კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურები-სათვის). დროში დაყოვნება ავარიული სიტუაციის წარმოქმნის მომენტსა და მუშა კომპლექტის ავარიული გამორთვის მომენტს შორის უნდა იყოს ნაკლები I კატეგორიის გლისადის რადიოშუქურასათვის და 2-ჯერ II და III კატეგორიის რადიოშუქურებისათვის.

1.5.4 მომნიშნავი რადიოშუქურების პარამეტრების ნორმები

მატარებელი სიხშირე და მისი სტაბილურობა. მომნიშნავი რადიოშუქურები უნდა მუშაობდეს 75 მგჰც სიხშირეზე. დასაშვებია მატარებელი სიხშირის ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრა არაუმეტეს $\pm 0,001\%$.

პოლარიზაცია. მომნიშნავი რადიოშუქურა უნდა ასხივებდეს ჰორიზონტალურად პოლარიზებულ რხევებს.

მოქმედების ზონა. მომნიშნავი რადიოშუქურები უნდა ქმნიდეს სიგნალებს, რომლებიც უზრუნველყოფს ტიპური საბორტო მომნიშნავი რადიომიმღების მუშაობას საჰაერო ხომალდის გლისადით დაბლა დაშვებისას 3⁰იანი კუთხით შორი მომნიშნავი რადიოშუქურას თავზე 600 ± 200 მ უბანზე, შუა მომნიშნავი რადიოშუქურას თავზე - 300 ± 100 მ, ახლო მომნიშნავი რადიოშუქურას თავზე - 150 ± 50 მ.

ველის დაძაბულობა. მოქმედების ზონის ზღვრებში ველის დაძაბულობა უნდა იყოს არა ნაკლებ 1,5 მკვ/მ და უნდა იზრდებოდეს საჰაერო ხომალდის გლისადის გასწვრივ დადაბლებისას არა ნაკლებ 3 მკვ/მ-მდე.

მამოდულირებელი ძაბვები. მოდილაციის სიხშირეები: შორი მომნიშნავი რადიოშუქურას-400ჰც, შუა მომნიშნავი რადიოშუქურას-1300ჰც, ახლო მომნიშნავი რადიოშუქურას (მისი არსებობისას)-300ჰც. მამოდულირებელი სიხშირეების ნომინალური მნიშვნელობიდან დასაშვები გადახრა არა უმეტეს $\pm 2,5\%$.

მატარებელი სიხშირის მოდულაციის სიღრმე უნდა იყოს $94 \pm 4\%$.

მომნიშნავი რადიოშუქურების ამოცნობა უზრუნველყოფილია მატარებელი სიხშირის მანიპულაციის კოდით შესაბამისი სიხშირეებით: შორი მომნიშნავი რადიოშუქურასათვის - 2 ტირე წამში, შუა მომნიშნავისათვის ორი ტირისა და 6 წერტილის უწყვეტი მონაცვლეობა, ახლო მომნიშნავისათვის წამში 6 წერტილი. დასაშვებია მანიპულაციის სიჩქარის გადახრა არაუმეტეს 15%.

კონტროლირებადმა პარამეტრებმა უნდა უზრუნველყოს საკონტროლო მოწყობილობების მხრიდან გამაფრთხილებელი სიგნალების გაცემა შემდეგი უწყისივრობებისას: მოდულაციის ან მანიპულაციის შეწყვეტა, გასხივებული სიმძლავრის შემცირება 50%-ზე მეტად.

1.5.5 დაფრენის რადიოშუქურული სისტემის სერტიფიკაცია

სერტიფიკაცია არის სისტემის პარამეტრების მოქმედ საექსპლუატაციო ნორმებთან შესაბამისობის დადგენის პროცესი. მთლიანობაში მოთხოვნების ერთობლიობის მიხედვით სერტიფიცირებას ექვემდებარება სამოქალაქო ავიაციის აეროდრომები, საფრენი აპარატები, სხვადასხვა მოწყობილობა და, კერძოდ, დაფრენის სისტემა. დაფრენის სისტემების სერტიფიცირება ხდება განსაზღვრული მეთოდით, ამ დროს შესაბამისი კატეგორია ენიჭება განსაზღვრული ვადით. დაფრენის მოწყობილობის ტექნიკური პარამეტრების ვარგისობის მოქმედ ნორმებთან შეუსაბამობის შემთხვევაში შემდგომი შემოწმებებისას დაფრენის სისტემის კატეგორია მცირდება.

ცხრილ 1.2-ში და 1.3-ში მოცემულია შესაბამისად კურსისა და გლისადის რადიოშუქურების მოდულირებული სიგნალების პარამეტრები, რომლებიც რეგლამენტირებულია ICAO-ს მოთხოვნებით.

სხვადასხვა კატეგორიის დაფრენის სისტემების დამუშავებისა და დაყენების მიზანშეწონილობა განისაზღვრება ბევრი მნიშვნელოვანი ფაქტორით და პირველ

რიგში - მოცემული სახის მოწყობილობის პრაქტიკული საჭიროებითა და ეკონომიკური ხარჯებით.

ცხრილი 1.2

სიგნალთა პარამეტრები	რადიოშუქურას კატეგორია		
	I	II	III
მატარებელი სიხშირის ძაბვის მოდულაციის სიღრმე 90ჰც და 150ჰც სიხშირეებისათვის კურსის ხაზის გასწვრივ, %	20 ± 2	20 ± 2	20 ± 1
90ჰც და 150ჰც სიგნალებში ჰარმონიკების საერთო შემცველობა, %	10	10	10
90ჰც და 150ჰც მოდულაციის სიხშირეების გადახრა ნომინალური მნიშვნელობიდან, %	$\pm 2,5$	$\pm 1,5$	± 1
მოდულაციის სიხშირეების 90ჰც და 150ჰც ფაზის მიხედვით, შეუთანხმებლობა, გრადუსი	20	20	10
მოქმედების ზონა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, კმ: კურსის ხაზის მიმართ $\pm 10^\circ$ -იან სექტორში კურსის ხაზის მიმართ $\pm 35^\circ$ -იან სექტორში ვერტიკალურ სიბრტყეში მოქმედების ზონა, გრადუსი	46 31 -	46 31 0-7	46 31 -
კურსის ხაზის ადზ-ის დასაწყისში დაყენების სიზუსტე ადზ-ს ღერძის მიმართ, მეტრი	$\pm 10,5$	$\pm 7,5$	± 3
კურსის სექტორის სიგანე 15მ. სიმაღლეზე ადზ-ს დასაწყისში, მეტრი	210	210	210
კურსის ხაზის წანაცვლების ავარიული მნიშვნელობა ადზ-ს დასაწყისში, მეტრი	10,5	7,5	6
გამომავალი სიმძლავრის შემცირების ავარიული მნიშვნელობა, %	50	20	20

ცხრილი 1.3

სიგნალთა პარამეტრები	რადიოშუქურას კატეგორია		
	I	II	III
ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მოქმედების ზონა $\pm 8^\circ$ სექტორში ადზ-ს ღერძის მიმართ, კმ.	18	18	18
მოქმედების ზონა ვერტიკალურ სიბრტყეში, გრადუსი	$1.75\theta_0$	$1.75\theta_0$	$1.75\theta_0$
გლისადის კუთხის დაყენების სიზუსტე, გლისადის მონომინალური კუთხის მნიშვნელობები	$\pm 0,075$	$\pm 0,075$	$\pm 0,075$

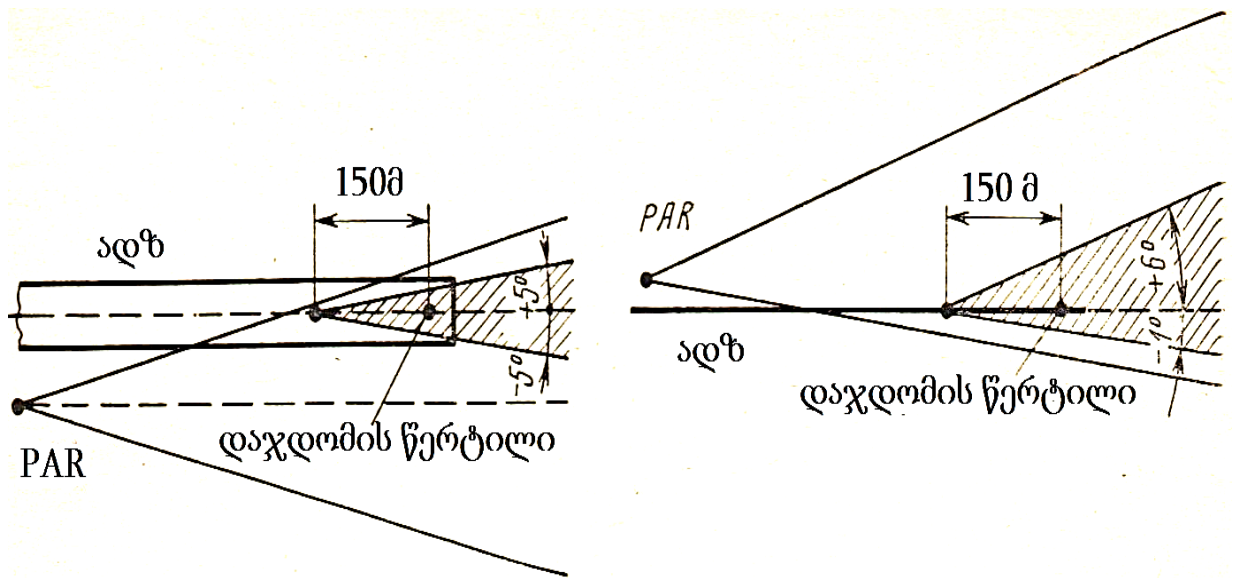
გლისადის ნახევარსექტორის სიგანე გლისადის ნომინალური კუთხის θ_0 მნიშვნელობებში			
გლისადის ქვემოთ	0,14	0,12	0,12
გლისადის ზემოთ	0,14	0,12	0,12
გლისადის კუთხის ცვლილების ავარიული მნიშვნელობა θ_0 მნიშვნელობებში	0,075	0,075	0,075
გამომავალი სიმძლავრის შემცირების ავარიული მნიშვნელობა, %	50	20	20

1.5.6 ICAO-ს ნორმები დაფრენის რადიოლოკაციური სადგურებისთვის

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია ICAO ადგენს ნორმებს დაფრენის რადიოლოკატორების PAR (Precision Approach Radar) მახასიათებლებისათვის. იგულისხმება, რომ ეს რადიოლოკატორი სააეროდრომო რადიოლოკაციურ სადგურთან SRE (Surveillance Radar Equipment) ერთად შეიძლება შედიოდეს მიწიდან კომანდების მიხედვით დაფრენის მართვის სისტემების შემადგენლობაში (GCA-Ground Command Approach) ან გამოიყენება ავტონომიურად.

ICAO-ს ნორმების შესაბამისად დაფრენის რადიოლოკატორის აღმოჩენის ზონა შემდეგნაირად განისაზღვრება: დაფრენის რადიოლოკატორმა უნდა მიუთითოს საჰაერო ხომალდი, რომლის არეკვლის ფართობი 15მ^2 და მეტია და რომელიც იმყოფება ისეთ სივრცეში, სადაც სახეზეა აზიმუტის მიხედვით შეზღუდვა 20° -იანი და ადგილის კუთხის მიხედვით 7° -იანი სექტორით ლოკატორის ანტენიდან არანაკლებ 17კმ მანძილზე.

ამავე დროს მიეთითება რადიოლოკატორის ადგილზე განთავსების ზოგიერთი შეზღუდვები: დაფრენის რადიოლოკატორი უნდა დაყენდეს ისეთნაირად, რომ ის მთლიანად უნდა მოიცავდეს სექტორს, რომლის საწყისი იმყოფება ისეთ წერტილში, რომელიც დაჯდომის წერტილიდან იმყოფება 150მ მანძილზე ასაფრენ-დასაფრენი (ადზ) ზოლის იმ ბოლოს მიმართულებით, რომელთანაც საჰაერო ხომალდი ჩერდება გარბენისას (ნახ.1.12)



ნახ.1.12. PAR-ის განთავსება ICAO-ს მოთხოვნების შესაბამისად

ამ სექტორის აზიმუტის მიხედვით კუთხე უნდა შეადგენდეს $\pm 5^\circ$ ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ღერძის მიმართ, ხოლო ადგილის კუთხის მიხედვით -1° -დან $+6^\circ$ -მდე. ამ დროს სივრცის მიმოხილვა ჰორიზონტალურ სიბრტყეში შეიძლება მოხდეს ან სიმეტრიულად კურსის პარალელური ხაზის მიმართ ($\pm 10^\circ$) ან არასიმეტრიულად ($+15^\circ \div -5^\circ$).

დაფრენის რადიოლოკატორის საჭირო სიზუსტე ადგილის კუთხის მიხედვით განისაზღვრება ICAO-ს მოთხოვნების თანახმად შემდეგნაირად: საჰაერო ხომალდის ვერტიკალურ სიბრტყეში დაფრენის მოცემული ტრაექტორიიდან გადახრის მაქსიმალური დასაშვები ცდომილების განსაზღვრისას ის არ უნდა აღემატებოდეს ანტენიდან მიზნამდე მანძილის $0,4\%$ -ს ან 6 მეტრს იმის მიხედვით, თუ რომელია ამ სიდიდეებიდან მეტი.

დაფრენის რადიოლოკატორის სიზუსტე სიშორის მიხედვით განისაზღვრება დაჯდომის წერტილიდან საფრენ აპარატამდე მანძილის ჩვენების ცდომილებით. მაქსიმალური ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს 30 მეტრს პლუს დაჯდომის წერტილიდან მიზნამდე მანძილის 3% .

დაფრენის რადიოლოკატორის გარჩევის უნარისადმი წაყენებულია საკმაოდ რბილი მოთხოვნები. ICAO-ს ნორმების თანახმად აზიმუტის მიხედვით $0,6^\circ$ და სიშორის მიხედვით 120მ , გარკვეული მოთხოვნები წაყენება, აგრეთვე დაფრენის რადიოლოკატორის დახმარებით მიღებული ინფორმაციის ასახვის ფორმას, ინფორმაცია აზიმუტისა და ადგილის კუთხის მიხედვით ისე უნდა აისახოს, რომ შესაძლებელი იყოს თავისუფლად ვადევნოთ თვალი საჰაერო ხომალდის დაბლა დაშვების მოცემული ტრაექტორიიდან მარცხნივ ან მარჯვნივ, ზევით და ქვევით გადახრას. ინფორმაცია საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ განისაზღვროს საჰაერო ხომალდის ადგილი სხვა საფრენი აპარატებისა და წინაღობების მიმართ. ინდიკაციის სისტემა, აგრეთვე უნდა უშვებდეს იმის შესაძლებლობას, რომ განისაზღვროს საგზაო

სიჩქარე და ფრენის მოცემული ტრაექტორიიდან დაცილების ან მასთან მიახლოების სიჩქარეები. ინფორმაცია მთლიანად უნდა ახლდებოდეს ყოველწამიერად მაინც.

1.5.7 ICAO-ს ნორმები სააეროდრომო რადიოლოკაციური სადგურებისათვის

სააეროდრომო რადიოლოკაციური სადგური (SRE) უნდა აკმაყოფილებდეს ICAO-ს მიერ რეკომენდებულ ნორმებს. ნორმებით რადიოლოკაციური სადგურის მახასიათებლების მიმართ დადგენილია შემდეგი მოთხოვნები.

აღმოჩენის ზონა. სააეროდრომო რადიოლოკატორმა საფრენი აპარატები უნდა აღმოაჩინოს პირდაპირი მხედველობის ზონაში 40 კმ მანძილზე და 2,4კმ სიმაღლეზე.

სიზუსტე. მიზნის ნიშნულის მდებარეობის განსაზღვრის ცდომილება აზიმუტის მიხედვით არ უნდა იყოს $\pm 2^\circ$ -ზე მეტი. სიშორის ინდიკაციის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს მიზნამდე მანძილის 3%-ს ან 150 მეტრს, იმის მიხედვით თუ ამ სიდიდეებიდან რომელია მეტი. სადგურის აზიმუტის მიხედვით გარჩევის უნარი არ უნდა იყოს 4%-ზე უარესი.

სიშორის მიხედვით გარჩევის უნარი არ უნდა იყოს მიზნამდე მანძილის 1%-ზე უარესი ან 230, იმის მიხედვით, თუ ამ სიდიდეებიდან რომელია მეტი.

საკაერო ხომალდის აზიმუტისა და სიშორის შესახებ ინფორმაცია უნდა ახლდებოდეს ყოველ 4 წამში.

გარდა ზემოთ მითითებული ნორმებისა, ICAO-ს დოკუმენტები აგრეთვე შეიცავს სურვილს საერთაშორისო შეთანხმების მონაწილე ქვეყნების მიმართ, შეძლებისდაგვარად შემცირდეს ის ხელშეშლები, რომლებიც გამოწვეულია მიწიდან, ღრუბლებიდან და ნალექებიდან არეკვლით. ამ დროს რაოდენობრივი მოთხოვნები განსაზღვრული არ არის.

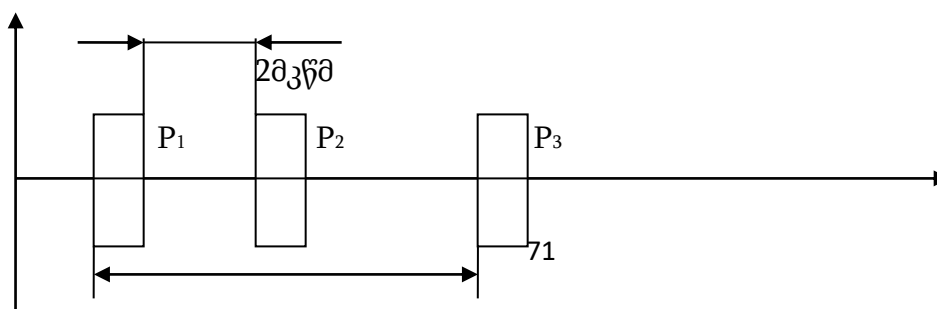
1.5.8 ICAO-ს ნორმები მეორადი რადიოლოკაციური სადგურებისთვის

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციამ დაადგინა ნორმები და შეიმუშავა მთელი რიგი რეკომენდაციებისა მეორადი რადიოლოკატორების SSR (Secondary Surveillance Radar) საექსპლუატაციო და ზოგიერთი ტექნიკური მახასიათებლებისათვის.

აქტიური პასუხის რადიოლოკაციური სისტემებისათვის დადგენილია აღმოჩენის ზონა. ეს ზონა უზრუნველყოფილ უნდა იქნეს ნებისმიერი მეტეოროლოგიური პირობებისას და ყველა აზიმუტზე.

შეკითხვის სიგნალები უნდა გაიგზავნოს $1030 \pm 0,2$ მგჰც სიხშირეზე, საპასუხო-
 1090 ± 3 მგჰც სიხშირეზე.

შეკითხვის სიგნალი უნდა შედგებოდეს ორი იმპულსისაგან P_1 და P_3 (ნახ.1.13).



A

t

8მკწმ

2მკწმ

B

t

ნახ.1.13. ICAO-ს შეკითხვის კოდების სტრუქტურა

დამატებითი მართვის იმპულსი P_2 დანიშნულია გვერდითი ფურცლების ჩახშობისათვის და შეიძლება გადაიცეს საჭიროების შემთხვევაში P_1 შეკითხვის იმპულსის შემდეგ. P_1 და P_3 იმპულსებს შორის ინტერვალს განსაზღვრავს შეკითხვის კოდი τ_3 .

ამჟამად გამოიყენება ორი შეკითხვის კოდი A და B. კოდური ინტერვალებით 8 და 21 მკწმ შესაბამისად. შეკითხვის იმპულსების ხანგრძლივობა უდრის $0,8 \pm 0,1$ მკწმ. როდესაც გამოიყენება P_2 იმპულსი, მაშინ ინტერვალს P_1 და P_2 შორის უნდა შეადგენდეს $2 \pm 0,15$ მკწმ.

A კოდის დანიშნულებაა საჰაერო ხომალდის ამოცნობა. ამ კოდით შეკითხვისას საბორტო მოპასუხემ მიწაზე უნდა შეატყობინოს საჰაერო ხომალდის რეისის ნომერი.

B შეკითხვის კოდი გამოიყენება იმ სიმაღლის შესახებ მონაცემების მისაღებად, რომელზეც საჰაერო ხომალდი იმყოფება. ამ კოდით შეკითხვისას მოპასუხე მიწაზე გადასცემს, ბარომეტრული სიმაღლის საზომის ჩვენებას ზღვის დონიდან (1013,2 მბარი).

რამდენადაც რადიოლოკაციური სადგურის მეორადი არხის ნორმალური ფუნქციონირება დამოკიდებულია არა მარტო მიწისზედა აპარატურაზე, არამედ საბორტოზეც, ამიტომ საჭიროა, რომ შემკითხავისა და მოპასუხის პარამეტრები ურთიერთშეთანხმებული იყოს. ამიტომ ICAO-ს ნორმები დგინდება არა მარტო საექსპლუატაციო, არამედ აგრეთვე რადიოლოკატორების ტექნიკურ მახასიათებლებზეც.

ICAO-ს ნორმები ადგენს მოთხოვნებს საპასუხო კოდების სტრუქტურაზე, გადასაცემი ინფორმაციის ხასიათსა და მოცულობაზე.

აქტიური რადიოლოკაციური სადგურის დახმარებით მიღებული ინფორმაცია პირობითად შეიძლება დაიყოს კოორდინატულ და დამატებით ინფორმაციად. კოორდინატული ინფორმაცია (დახრილი სიშორე, აზიმუტი) უმნიშვნელოვანესია მოძრაობის სამსახურის დისპეტჩერებისთვის, ის შეიძლება მიღებულ იქნეს რადიოლოკაციური სადგურის პირველადი არხების დახმარებითაც, თუმცა მეორადი რადიოლოკატორის გამოყენება ხელს უწყობს იმას, რომ ეს ინფორმაცია დისპეტჩერს წარედგინოს ყველაზე უფრო უეჭვო და საიმედო სახით.

აქტიური რადიოლოკაციური სადგურების გამოყენების პირველ პერიოდში მათგან მოითხოვებოდა მხოლოდ კოორდინატული ინფორმაციის მიღება. საჭაერო მოძრაობის სიმკვრივის ზრდასთან ერთად თვითმფრინავების ფრენების რეჟიმების შესახებ დამატებითი ინფორმაციის მნიშვნელობა (რეისის ნომერი, ფრენის სიმაღლე და ა.შ) გაიზარდა. საჭაერო მოძრაობის სამსახურის სადისპეტჩერო შემადგენლობის მუშაობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თავისი დროის დაახლოებით 50-60% დისპეტჩერი ხარჯავს ეკიპაჟებისაგან ინფორმაციის შეგროვებაზე, 30-40% დროისა მიდის გადაწყვეტილების შემუშავებაზე და დროის 10-20% იხარჯება კომანდების გადაცემაზე.

თავი II

საერთაშორისო სტრატეგიული გეგმის შესაბამისად, საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის ანალიზი

2.1. საჭაერო სივრცის ორგანიზება [4,5]

საფრენი აპარატების საჭაერო სივრცეში მართვა წარმოადგენს რთულ პროცესს და ბევრად განსაზღვრავს სამოქალაქო ავიაციის ეფექტურობას.

საჭაერო მოძრაობის ინტენსიურობის ზრდა მოითხოვს, როგორც რადიოტექნიკური საშუალებების, ისე ფრენის მართვის ორგანიზების უწყვეტ სრულყოფას.

საჭაერო მოძრაობის ორგანიზების ძირითადი სახელმძღვანელო დოკუმენტია ფრენების წარმოების დაგეგმვა, რომლის თანახმად საჭაერო მოძრაობის მართვას ახდენს სადისპეტჩერო სამსახური.

სადისპეტჩერო სამსახური განაგებს საჭაერო ტრასებს, აეროდრომების რაიონებსა და ადგილობრივი საჭაერო ხაზების ზონებს.

აეროდრომის რაიონში შედის საჭაერო დერეფნები და აფრენისა და დაფრენის ზონები.

ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად დაწესებულია ვერტიკალური, გრძივი და გვერდითი ემელონირების წესები. ვერტიკალური ემელონირებისას ემელონებს შორის მინიმალური მანძილი უნდა შეადგენდეს: 300 მეტრს, 600

მეტრიდან 6000 მეტრამდე ფრენის სიმაღლეებისათვის; 600 მეტრს 6000 მეტრიდან 9000 მეტრამდე სიმაღლისთვის; 1000 მეტრს 9000 მეტრიდან და ზემოთ სიმაღლეებისათვის.

ზედა და ქვედა საჰაერო სივრცის ზღვარი, როგორც წესი, წარმოადგენს აეროდრომის რაიონის ზედა საზღვარს (6000მ). აეროდრომის რაიონის რადიუსი დაახლოებით 150 კმ-ის ტოლია. აეროდრომის რაიონში ფრენა სრულდება ეშელონების ცვლილებით (დაბლა დაშვება ან სიმაღლის აღება).

აფრენისა და დაფრენის ზონა წესდება 25-30 კმ-ის რადიუსში. იმ სივრცის არეს, რომელიც მოთავსებულია აეროდრომის რაიონის საზღვარსა და აფრენისა და დაფრენის ზონას შორის, მისვლის ზონა ეწოდება.

სამოქალაქო ავიაციის აეროპორტებში საჰაერო მოძრაობის მართვას ახორციელებს აეროპორტის მოძრაობის სადისპეტჩერო სამსახური, რომელშიც შედის: რაიონული სადისპეტჩერო პუნქტი, მისვლის სადისპეტჩერო პუნქტი, სატრასო სადისპეტჩერო პუნქტი, ადგილობრივი საჰაერო ხაზების სადისპეტჩერო და სააეროდრომო სადისპეტჩერო პუნქტი.

სააეროდრომო სადისპეტჩერო პუნქტის შემადგენლობა უზრუნველყოფს საჰაერო ხომალდებისა და ეკიპაჟების მომზადებას ფრენისათვის. სხვა დანარჩენი სადისპეტჩერო პუნქტის ხელმძღვანელები კი ორგანიზებას უწევენ საჰაერო ხომალდების ფრენებს, მათთვის განსაზღვრულ ზონებში. რაიონული სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერი ხელმძღვანელობს ფრენების მართვას აეროდრომის ზონაში შესვლამდე, შემდგომ მართვის ვალდებულება გადაეცემა ზონის დისპეტჩერს, ზონის დისპეტჩერი კი უზრუნველყოფს საჰაერო ხომალდების ფრენების მართვის ორგანიზებას და გადასცემს ფრენის ხელმძღვანელ დისპეტჩერს (900 ან 1200მ სიმაღლემდე). დიდი დატვირთვისას აეროდრომის ზონა იყოფა ზონაში შესვლის სექტორებად და თითოეულ სექტორში მოძრაობას მართავს ცალკეული დისპეტჩერი, რომელსაც თავისი კავშირის სიხშირე აქვს. წრის დისპეტჩერი თვითმფრინავების ფრენას მართავს წრის ზედა ზღვრიდან მეოთხე მოზრუნებამდე. მეოთხე მოზრუნების შესრულების შემდეგ წრის დისპეტჩერი მართვას გადასცემს დაფრენის დისპეტჩერს, რომელიც აკონტროლებს საჰაერო ხომალდის მოძრაობას მეოთხე მოზრუნებიდან ადზ-ზე დაფრენამდე. სასტარტო სადისპეტჩერო პუნქტის დისპეტჩერი უზრუნველყოფს ადზ-ს მდგომარეობას, მეტეოპირობების ცვლილების კონტროლს და ვიზუალურად აკონტროლებს დაფრენის პროცესს მის ბოლო ეტაპზე.

საჰაერო ხომალდის ფრენის ნებისმიერი ეტაპისთვის მისი მოძრაობის მართვის პროცესი შეიძლება დავეყოთ შემდეგ ოპერაციებად:

- საჰაერო ვითარების შესახებ ინფორმაციის შეკრება და ინდიკაცია;
- ინფორმაციის დამუშავება და ანალიზი მეტეოროლოგიური და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით;
- საჰაერო ხომალდის ეკიპაჟისათვის კომანდების გადაცემა და მათი შესრულების კონტროლი.

სამოქალაქო ავიაციის საჰაერო ხომალდების პარკის რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ზრდა, იწვევს საჰაერო მოძრაობის ინტენსიურობისა და ხარისხობრივი მაჩვენებლის ზრდას, რაც თავის მხრივ ახალ მოთხოვნებს უყენებს უსაფრთხოდ ფრენების მართვის პროცესებს, უსაფრთხოების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით ვინაიდან იმ ინფორმაციის მოცულობა, რომელიც დისპეტჩერმა უნდა დაამუშაოს, მნიშვნელოვნად იზრდება. დისპეტჩერთა შემადგენლობის დატვირთვის შესამცირებლად და ფრენების უსაფრთხოების ასამაღლებლად ფრენის ზონები იყოფა სექტორებად ფრენების მიმართულების მიხედვით, ე.ი იზრდება საჰაერო მოძრაობის მართვის დისპეტჩერთა შემადგენლობის რიცხვი, მაგრამ ეს ზომები საშუალებას იძლევა მხოლოდ რამდენადმე შევამციროთ დისპეტჩერის სამუშაოს დაძაბულობა და არ წყვეტს ყველა იმ პრობლემას, რომელიც საჰაერო მოძრაობის მართვასთანაა დაკავშირებული, ამიტომ გამოიყენება საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატური სისტემები.

საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატური სისტემების ტექნიკური რეალიზაცია სერიოზულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატური სისტემების გამოყენება მნიშვნელოვნად განსხვავდება ხელით მართვისაგან ან ნახევრად ავტომატურისაგან, ამიტომ სისტემის ცალკეული ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლამ შეიძლება გამოიწვიოს მართვის მთელი პროცესის დარღვევა. აქედან გამომდინარე, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობას, კერძოდ, რადიონავიგაციური და რადიოლოკაციური სისტემების საიმედოობას.

2.2. სანავიგაციო ამოცანების ავტომატური გადაწყვეტის გზები

ნავიგაციის არც ერთი ცალკე აღებული ტექნიკური საშუალება არ არის უნივერსალური არც გადასაწყვეტი ამოცანების მოცულობის მიხედვით, არც მისი გამოყენებით ნავიგაციური ვითარების შეფასებისათვის სხვადასხვა პირობებში. ამიტომ თვითმფრინავტარების პრაქტიკით მისი განვითარების ჯერ კიდევ პირველ ეტაპებზე გამომუშავებულ იქნა სანავიგაციო სამუშაოს ძირითადი პრინციპი, რაც მდგომარეობს სხვადასხვა, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი სანავიგაციო საშუალებების ერთობლივ გამოყენებაში.

ამ პრინციპის ძირითადი იდეაა ოპერაციების ყველაზე უფრო ზუსტი და საიმედო შესრულების მიღწევა სანავიგაციო ინფორმაციის ერთი გადამწოდის ნაკლოვანებების მეორის უპირატესობებით კომპენსაციის ხარჯზე. მაგალითად, საჰაერო ხომალდის დედამიწის მიმართ ადგილსამყოფელის (გრძედისა და განედის) გამოთვლა ფრენისას ხდება, როგორც ინერციალური სისტემის გამოყენებით, ასევე რადიოტექნიკური საშუალებებით. მათი შედარების შედეგად გამოითვლება კორექცია.

მიწოდებული დიდი მოცულობის ინფორმაციისას მისი დამუშავების პროცესში წარმოქმნილი სირთულეები გადაილახება საზომი, გამოთვლითი და ლოგიკური ოპერაციების ყოველმხრივი ავტომატიზაციით.

საპაერო მოძრაობის ინტენსიურობის ზრდა ახალ მოთხოვნებს უყენებს ნავიგაციის სიზუსტეს ჰაერში საპაერო ხომალდების შეჯახების გამორიცხვის მიზნით საპაერო ტრასების გადაკვეთისას, აგრეთვე აეროდრომის ზონაში მოსული საპაერო ხომალდების მიღების უზრუნველსაყოფად. ზუსტი ნავიგაცია არის მთავარი ფაქტორი, რომელიც საშუალებას იძლევა გავზარდოთ საპაერო ტრასების გამტარიანობის უნარი უფრო მეტად მკვერივი გვერდითი, ვერტიკალური და გრძივი ეშელონირების ხარჯზე.

ფრენების ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლების მიზნით შორი რეისების ორგანიზება ხდება ოპტიმალური მარშრუტის არჩევით. ასეთი მარშრუტები უფრო რთულია სანავიგაციო უზრუნველყოფისათვის ჩვეულებრივ ორთოდრომიულ ტრასებთან შედარებით და მოითხოვს სპეციალურ ზომებს მათი წარმატებით შესრულებისათვის. ეკონომიკის გავლენა ვლინდება აგრეთვე საფრენოსნო ეკიპაჟის შემცირების ტენდენციებში, რაც ითხოვს ეკიპაჟის მეთაურის უზრუნველყოფას ავტომატური საბორტო და მიწისზედა ტექნიკური საშუალებებით.

ფრენის ნებისმიერ შესაძლო პირობებში უდიდესი საიმედოობისა და სიზუსტის უზრუნველყოფისათვის თანამედროვე საპაერო ხომალდის ბორტზე საჭიროა გვექონდეს რამდენიმე დამოუკიდებელი ფრენის პარამეტრების გადამწოდი, რომლებიც სხვადასხვა მოქმედების პრინციპით მუშაობს, ხოლო მიმდინარე კოორდინატების განსაზღვრა მოვახდინოთ, როგორც დამოუკიდებელი განსაზღვრის მეთოდებით, ისე გამოთვლის მეთოდითაც. სანავიგაციო ინფორმაციის შეკრების არხების რიცხვის ზრდა მიიღწევა, აგრეთვე ზოგიერთი ერთნაირი გადამწოდების დუბლირების გზით.

თვითმფრინავების მოძრაობის ტრაექტორიისა და დროითი მახასიათებლების თავისებურებანი მოითხოვს ყველა გამოთვლითი და ლოგიკური ოპერაციების დაუყოვნებლივ შესრულებას დროის რეალურ მასშტაბში ან წინსწრებითაც კი (ფრენის მსვლელობის პროგნოზირება) და ამით განისაზღვრება მაღალი ოპერატიულობის საჭიროება ინფორმაციის შეკრებისა და დამუშავების დროს.

გაზრდილი მოთხოვნები წარედგინება აგრეთვე პილოტირებასაც, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს ფრენის რეჟიმის რეგულირების ხარისხი, განსაკუთრებით გარდამავალი პროცესების ხარისხი:

- სიმდოვრე (აპერიოდულობა);
- ხანმოკლეობა (მცირე დროის მუდმივა);
- ასტატიზმი (გარდამავალი პროცესების დამთავრების შემდეგ სისტემური შეცდომის არარსებობა);
- მდგრადობა.

ამ ამოცანების შესრულების მიზნით საჭიროა საპაერო ხომალდის ძრავების მართვის ბერკეტების და მართვის ორგანოების მდებარეობის შეცვლაზე გადაწყვეტილების მიღების ოპერატიულობისა და სიზუსტის გაზრდა.

აღნიშნული მოთხოვნების რეალიზაცია იწვევს საინფორმაციო პროცესების გართულებას საპაერო ხომალდის ბორტზე, მათი მოცულობისა და ტემპის მკვეთრად ზრდას. კურსის, სიმაღლის, სიჩქარის, დრეიფის კუთხისა და სხვა სიდიდეების შესახებ ინფორმაციის შეკრების საშუალებების განვითარებასა და სრულყოფასთან დაკავშირებით ეკიპაჟი ღებულობს საწყისი მონაცემების ისეთ მოცულობას, რომლის სრულად გამოყენება ნავიგაციის ამოცანების „ხელით“ ხერხებით გადაწყვეტისას შეუძლებელია, როდესაც ძირითადი გამოთვლითი და ლოგიკური ოპერაციები სრულდება შტურმანის ან პილოტის მიერ. ეს გამოწვეულია ადამიანის შეზღუდული შესაძლებლობით მართვის პროცესში ინფორმაციის დამუშავებისას.

საავიაციო ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ადამიან - ოპერატორს აქვს ინფორმაციის აღქმისა და გამოთვლითი ოპერაციების შესრულების არასაკმარისი სიჩქარე. ამ დროს საწყისი მონაცემების ხელსაწყოების სკალებიდან და ეკრანიდან ათვლის პროცესი იძულებით მარტივდება, ვინაიდან ადამიანი ვერ ასწრებს რეალიზება გაუკეთოს უწყვეტად მიმდინარე ინფორმაციას და ამიტომ ოპერირებს სანავიგაციო სიდიდეების ზოგიერთი მნიშვნელობით. თვით გასაშუალება ამ დროს სრულდება დაახლოებით, რაც მნიშვნელოვნად ამახინჯებს ფრენის ჭეშმარიტ სურათს. მაგალითად, გზის „ხელით“ ათვლისას კურსი, საპაერო სიჩქარე და ქარი ითვლება მუდმივებად, თუმცა ფაქტიურად ისინი იცვლება.

ადამიანის არასაკმარისი სწრაფქმედება გამორიცხავს სანავიგაციო ამოცანების გადაწყვეტას იმ ზუსტი ანალიტიკური დამოკიდებულების მიხედვით, რომლებიც საწყის მონაცემებსა და საბოლოო შედეგებს აკავშირებენ, გვიწევს მათი შეცვლა მიახლოებითი ფარდობებით.

იმ პირობებში, როცა იზრდება ცვლადპარამეტრებიანი რეჟიმების წილი (კურსის ცვლილება, აჩქარების არსებობა) ასეთი გამარტივება იწვევს დიდ შეცდომებს თვითმფრინავის ადგილის განსაზღვრაში და სანავიგაციო ამოცანების გადაწყვეტაში ზოგადად.

ადამიანის, როგორც მართვის სისტემაში ერთერთი რგოლის, სხვა ნაკლად უნდა აღინიშნოს დაღლილობა არაერთგვაროვანი ოპერაციების შესრულებისას, მცირე ოპერატიული მეხსიერება.

ყველა ეს ნაკლოვანება განსაკუთრებით ვლინდება ფრენის იმ ეტაპებზე, სადაც სანავიგაციო და საპილოტაჟო ამოცანები მჭიდროდ გადაჯაჭვულია ერთმანეთში (მარშრუტზე რთული მანევრირებისას და დასაფრენად შესვლისას).

ნავიგაციისა და თვითმფრინავების პილოტირების სრულყოფის მიზნით ავტომატიზაციის გამოყენება ეფუძნება გამოთვლითი ტექნიკის მთელ რიგ უპირატესობებს ადამიან-ოპერატორთან შედარებით ნავიგაციის ზოგადი ლოგიკური სქემის ამოცანების გადაწყვეტისას.

ეს უპირატესობანი შემდეგია: გამოთვლითი და ლოგიკური ოპერაციების შესრულების მაღალი სიჩქარე, დიდი ოპერატიული მეხსიერება, გარე სიგნალებზე სწრაფი რეაქცია, „დაღლილობის“ არარსებობა. ამგვარად, სანავიგაციო ამოცანების

გადაწყვეტა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ავტომატური და ავტომატიზებული მართვა ადამიანის მონაწილეობითა და კონტროლის ქვეშ. ამ დროს ნავიგაციის ავტომატიზაციის ძირითადი ამოცანებია:

პირველადი ინფორმაციის შეკრება ყველა ამ პირობებში გამოყენებული გადამწოდებიდან;

მიღებული მონაცემების ოპტიმალური ხერხებით დამუშავება;

სანავიგაციო ამოცანის სრული (სამი კოორდინატის მიხედვით) გადაწყვეტა ზუსტი ანალიტიკური დამოკიდებულებების გამოყენებით სხვადასხვა გადამწოდების ოპტიმალური კომპლექსური გამოყენების საფუძველზე;

ყველა გამოთვლითი და ლოგიკური ამოცანების გადაწყვეტა დროის რეალურ მასშტაბში;

გარე პირობებისა და საჰაერო ხომალდის მოძრაობის სანავიგაციო ელემენტების მკაფიო და ოპერატიული ავტომატური ინდიკაციის უზრუნველყოფა; ფრენის ეკონომიურობის ამაღლება.

საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაგეგმვისა და სრულყოფის ამოცანა დღეს წარმოადგენს ძალზე აქტუალურ ამოცანას, რაც ძირითადად განპირობებულია საჰაერო მოძრაობის ინტენსიურობის ზრდით, მაღალსიჩქარიანი საჰაერო ხომალდების არსებობით, რამაც გამოიწვია სწორედ საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემების შექმნის აუცილებლობა რომლის მიზანს უპირველეს ყოვლისა წარმოადგენს ფრენების უსაფრთხოების ამაღლების მიღწევა.

საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებულმა სისტემებმა უნდა დააკმაყოფილოს ევროკონტროლის და ICAO-ს სტანდარტები, და ასევე სახელმძღვანელო მითითებები საჰაერო მოძრაობის მომსახურების სფეროში. მოცემული სისტემა საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს საჰაერო მოძრაობის მართვის მომსახურების უახლესი ტექნოლოგიური მიღწევები და თავის თავში შეიცავს მახასიათებლებს, რომლებიც მიღებულია გამოკვლევების შედეგად ევროკონტროლის მიერ „ადამიანი-მანქანა“ ინტერფეისთან მიმართებაში სახელმძღვანელოდ საჰაერო მოძრაობის ავიადისპეტჩერებისთვის.

საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემა ითვალისწინებს ურთიერთქმედებას რადიოლოკაციური ფორმატების სხვადასხვა ტიპებთან და დაკვირვების მრავალპოზიციურ სისტემებთან საჰაერო მოძრაობის მომსახურებისათვის. საჰაერო მოძრაობის მართვის ავტომატიზებული სისტემა იყენებს ინოვაციურ ტექნოლოგიებს საჰაერო მოძრაობის მართვის სფეროში.

ავტომატიზაცია და მისი დანერგვა საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში იწვევს საჰაერო მოძრაობის მართვის ეფექტურობისა და ფრენების უსაფრთხოების დონის ამაღლებას, უზრუნველყოფს საჰაერო მოძრაობის მართვის ამოცანის გადაწყვეტაში ჩართული ადამიანური შეცდომების აღბათობის შემცირებას და საჰაერო მოძრაობის მართვის საიმედოობის ამაღლებას.

2.3. საჰაერო ხომალდების სანავიგაციო მომსახურების ალტერნატიული რადიოსამაუწყებლო ტექნოლოგია ADS-B, ADS-C და მულტილატერაციული MLAT სისტემა [6,8,17,24, 27]

ADS-B არის ტექნოლოგია, რომელიც ფუნდამენტურად ცვლის სივრცეში საჰაერო ხომალდების თვალყურის დევნების მიდგომებს. ის წარმოადგენს NextGen-ის ქვაკუთხედს საჰაერო მიმოსვლის მოდერნიზაციის პროგრამაში.

ADS-B ახალი თაობის თვალყურის დევნების სისტემაა, რომელიც საჰაერო ხომალდის პოზიციას განსაზღვრავს GPS სატელიტური ნავიგაციის საშუალებით და ციფრული მონაცემების სახით ავტომატურად გადასცემს საჰაერო მოძრაობის მართვის ცენტრს.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) შეგვიძლია შემდეგნაირად გავშიფროთ:

Automatic - გულისხმობს ინფორმაციის ავტომატურ გადაცემას პილოტებისა და ოპერატორების ჩარევის გარეშე;

Dependant- გულისხმობს დამოკიდებულებას GPS-ზე ან სხვა სისტემაზე;

Surveillance- თვალყურის დევნება;

Broadcast- ნიშნავს, რომ ინფორმაციის გადაცემა და მიღება თითოეული საჰაერო ხომალდისათვის შესაძლებელია, თუ ისინი აღჭურვილნი არის შესაბამისი მოწყობილობებით.

ADS-B უზრუნველყოფს საჰაერო ხომალდების ავტომატურ კონტროლს, როდესაც კოორდინატები განისაზღვრება GPS ნავიგაციის საშუალებით. GPS განსაზღვრავს ადგილმდებარეობას და ყველა საჭირო ინფორმაციას საჰაერო ხომალდის შესახებ და გადასცემს საჰაერო მოძრაობის მართვის ცენტრს.

სისტემა ახორციელებს მუშაობას, პრინციპით: „ყველა ხედავს ყველას“, რომელიც საშუალებას იძლევა თავიდან იქნეს აცილებული კონფლიქტური სიტუაცია ფრენის დროს. მას შემდეგ, რაც ADS-B შეტყობინება გაიგზავნება სამაუწყებლო რეჟიმში, ინფორმაციის მიღება და დამუშავება შეუძლია ყველა შესაბამის მიმღებ მოწყობილობას, როგორც მიწისზედა სადგურებზე, ასევე სხვა საჰაერო ხომალდებზე განთავსებულს.

ADS-B მუშაობს სატელიტების სიგნალებისა და საჰაერო ხომალდის ავიონიკის გამოყენებით, საჰაერო ხომალდის მონაცემების დამუშავების და მათი საჰაერო მოძრაობის მართვის მეთვალყურეებისთვის უწყვეტად და რეალურ დროში გადასაცემად. ADS-B სისტემა ქმნის ზუსტ სურათს საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის, სიჩქარის, სიმაღლისა და სხვა პარამეტრის შესახებ. ეს მონაცემები გადაეცემა მიწისზედა სადგურებს, შემდეგ კი საჰაერო მოძრაობის მართვის მეთვალყურეებს. ჰაერში მყოფი სხვა სათანადოდ აღჭურვილი საჰაერო

ხომალდი ასევე იღებს ამ მონაცემებს, რაც ამაღლებს მფრინავების სიტუაციური ცნობიერების ხარისხს.

ADS-B შემადგენელი კომპონენტებია:

GNSS სატელიტების ერთობლიობა - მონაცემები მუდმივად იგზავნება თანამგზავრებიდან საჰაერო ხომალდის საბორტო GPS მოწყობილობებზე, სადაც ხდება მისი დამუშავება და შემდეგ ADS-B მიწისზედა სადგურებისთვის გადაცემა, ვინაიდან ADS-B სატელიტზე დაფუძნებული სისტემაა;

მიწისზედა სადგურები - მიიღებენ სატელიტურ მონაცემებს და გადასცემენ მათ საჰაერო მოძრაობის მართვის მეთვალყურეებს;

სახელსაწყო ფრენის წესებით ოფიციალურად დამოწმებულია WAAS-ით აღჭურვილი GPS მიმღები. WAAS წარმოადგენს ფართო არეალის მიმოხილვის სისტემას (The Wide Area Augmentation System). ამჟამად ის არის ყველაზე ზუსტი ადგილმდებარეობის განმსაზღვრელი საშუალება;

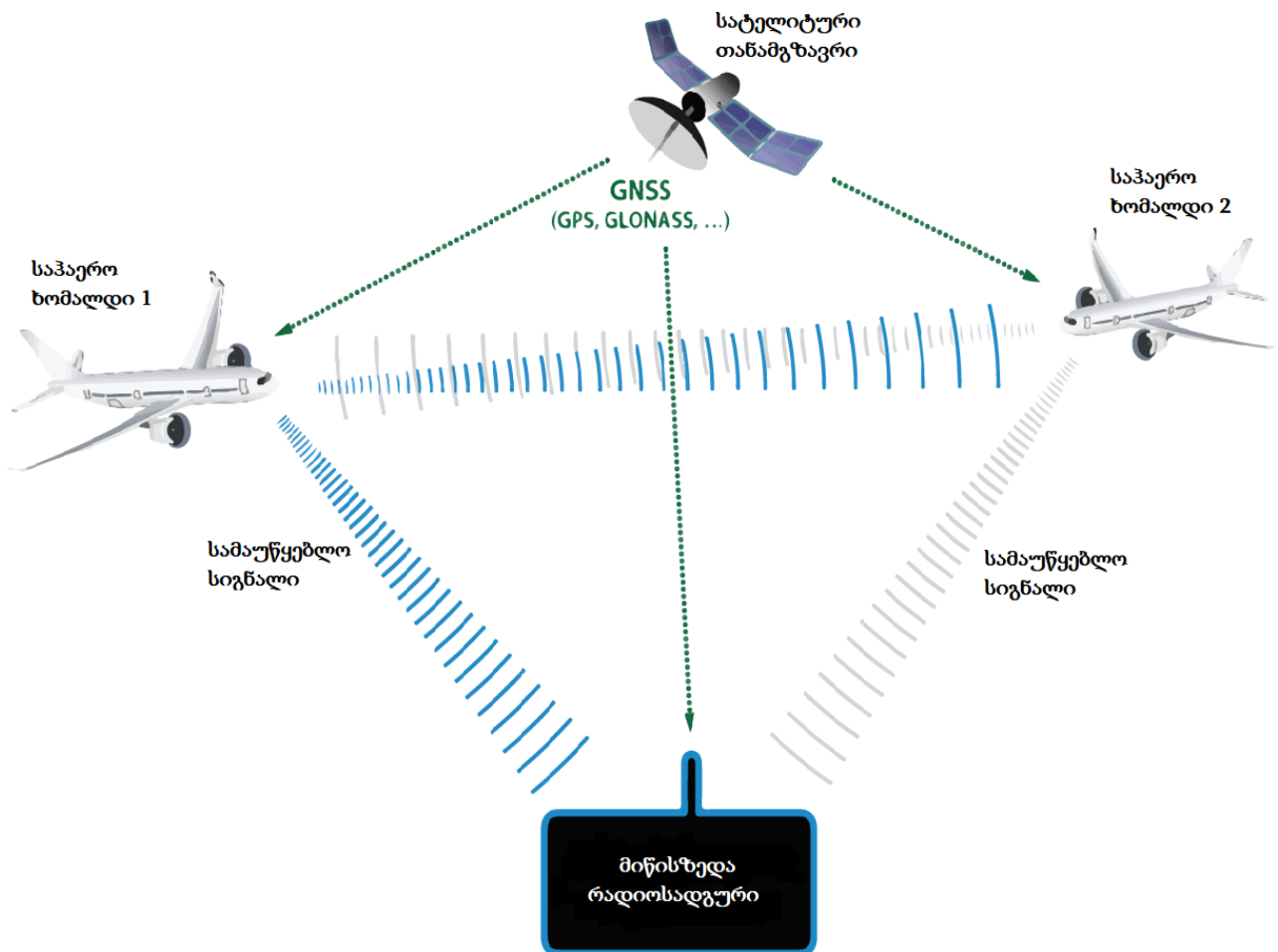
1090 მჰც მონაცემების გადამცემი რეჟიმ S-ის ტრანსპონდერები ან 978 მგჰც UAT არსებული ტრანსპონდერების გამოყენებისთვის.

ADS-B-ს ახასიათებს უფრო მაღალი განახლების სიხშირე (ყოველ წამში ერთხელ) ვიდრე სხვა რადარებს, რომლებიც განახლებას ახორციელებენ ყოველ 4.8 წამში ერთხელ ტერმინალურ სივრცეში და 12 წამში ერთხელ სამარშუტო საჰაერო სივრცეში.

ADS-B სისტემა ეყრდნობა ავიონიკის 2 კომპონენტს: GPS ნავიგაციის წყაროს, რათა მიიღოს ნავიგაციის შედეგები და საკომუნიკაციო ხაზს (Datalink) ინფორმაციის გაცვლის მიზნით, რათა ჰქონდეს კომუნიკაცია როგორც მიწისზედა სადგურებთან, ისე სხვა საჰაერო ხომალდებთან. შესაბამისად, ADS-B იყენებს ჩვეულებრივ გლობალური სანავიგაციო სატელიტური სისტემის ტექნოლოგიას GNSS (Global Navigation Satellites System) და შედარებით მარტივ საკომუნიკაციო ბმულს, როგორც მის ფუნდამენტურ კომპონენტებს. საჰაერო ხომალდი ADS-B მომსახურებით იყენებს GNSS (GPS, GALILEO და ა.შ) მიმღებს, რათა განსაზღვროს ზუსტი ადგილმდებარეობა GNSS-ის მეშვეობით, შემდეგ კი აერთიანებს მას სხვა ისეთ ელემენტებთან როგორიცაა: სიჩქარე, მიმართულება, საჰაერო ხომალდის მიმდინარე სიმაღლე ან სხვა ინფორმაცია მასზე. ეს ყველაფერი შემდეგ გადამცემის მეშვეობით გადაეცემა სხვა საჰაერო ხომალდების ბორტებს.

ADS-B სისტემა ბორტზე შედგება 4 ნაწილისაგან: GPS მიმღები, უნივერსალური მიმღები (UAT) 978 მეგაჰერცზე, ანტენა და მრავალფუნქციური კაბინის ეკრანი, რომელზეც ხდება მიღებული ინფორმაციის ასახვა.

ნახაზზე 2.1 მოცემულია ADS-B-ის მოქმედების ამსახველი სქემა.



ნახ. 2.1 ADS-B-ის მოქმედების ამსახველი სქემა

2.3.1. ADS-B სისტემის უპირატესობები და დადებითი მხარეები

დღეს არსებული სარადარო ტექნოლოგია წარმოდგენილი პირველადი სამეთვალყურეო რადარის სახით (Primary Surveillance Radar-PSR) და მუშაობს საჰაერო ხომალდის კორპუსის რადიო ტალღების მეშვეობით ასახვის პრინციპით, ასევე ასახავს სხვა ობიექტებსაც, როგორიცაა ფრინველები, შენობა-ნაგებობები ან ატმოსფერული დაბრკოლებები, რაც თავის მხრივ, ართულებს საჰაერო ხომალდების აღმოჩენას ავიაშემთვალყურეებისათვის.

რაც შეეხება მეორეულ სამეთვალყურეო რადარებს (Secondary Surveillance Radar-SSR), ამ სისტემაში თითოეული საჰაერო ხომალდი აღჭურვილია ტრანსპონდერით, რომელიც გადასცემს მიწაზე არსებულ რადარებს შესაბამის მონაცემებს.

სარადარო ნავიგაციის სიზუსტე მნიშვნელოვნად იცვლება სიხშირეთა დიაპაზონის, ატმოსფერული პირობების ან მიწისქვეშა სიმაღლეების მიხედვით. მონაცემების განახლების ინტერვალი დამოკიდებულია მექანიკური ანტენების ბრუნვის სიჩქარეზე. ზოგადად, სარადარო ნავიგაცია საჰაერო ხომალდზე ინფორმაციას აწარმოებს დაახლოებით ყოველ 4-12 წამში ერთხელ.

პირველადი რადარები იყენებს ელექტრომაგნიტური ტალღების ასახვის პრინციპს. სისტემა ზომავს დროის სხვაობას ტალღის გასხივებასა და მიზანზე მიღებას შორის, რათა დაადგინოს მანძილი რადარსა და მიზანს შორის. მიზნის ადგილმდებარეობა განისაზღვრება ანტენის აზიმუტის გაზომვით.

მეორადი მეთვალყურეობის რადარი არის სარადარო სისტემა, რომელიც არა მხოლოდ იკვლევს ან ზომავს საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობას, არამედ ასევე მოითხოვს საჰაერო ხომალდისაგან ისეთ დამატებით ინფორმაციას, როგორიცაა მისი იდენტიურობა და სიმაღლე. პირველადი სარადარო სისტემისაგან განსხვავებით SSR შეკითხვის სიგნალებს უგზავნის საჰაერო ხომალდების ტრანსპონდერებს, რომლებიც რეაგირებენ შესატყვისი ინფორმაციით. იმისათვის, რომ SSR-მა მუშაობა შეძლოს, საჰაერო ხომალდი უნდა იყოს აღჭურვილი შესაბამისად და მოახდინოს რეაგირება.

რეჟიმი A/C და შემდეგ რეჟიმი S გამოჩნდა SSR-ის განვითარების პროცესში სამოქალაქო ავიაციაში.

საჰაერო მოძრაობის მომსახურების მიზნებისთვის საჰაერო ხომალდთან კავშირი უნდა განხორციელდეს შემდეგი რეჟიმებით:

ტრანსპონდერები რეჟიმში A იძლევა საჰაერო ხომალდების აღმოჩენის საშუალებას, ხოლო ტრანსპონდერები რეჟიმში C კი ინფორმაციას სიმაღლის შესახებ. შესაბამისად, სადგურები ფლობენ მონაცემებს საჰაერო ხომალდის სამგანზომილებიანი პოზიციის შესახებ და ახდენენ მის იდენტიფიცირებას.

S რეჟიმი არის A/C რეჟიმების გაუმჯობესებული ვერსია. იგი შეიცავს ყველა ფუნქციას, რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს დაკვირვება შერჩეულ მიზნებზე. იგი იყენებს უნიკალურ მისამართს კოდირებულს, 24 ბიტზე (მისი მეშვეობით პასუხი მიიღება მხოლოდ იმ მიმღებ-გადამცემისაგან, რომელსაც კავშირის დამყარების დროს მიენიჭება უნიკალური მისამართი), ასევე ორმხრივ მონაცემთა ბმულს, რომელს მეშვეობითაც შესაძლებელია ინფორმაციის გაცვლა საჰაერო და სახმელეთო სივრცეებს შორის.

რაც შეეხება ADS-B-ს, სისტემა ახდენს ისეთი ინფორმაციის გადაცემას, როგორიცაა: საჰაერო ხომალდების იდენტიფიკაცია (საჰაერო ხომალდის საიდენტიფიკაციო ნომერი, უნიკალური ციფრული კოდი), კოორდინატები, სიმაღლე და სიჩქარე. ADS-B სისტემა აწვდის ავიამეთვალყურეებს რეალური დროის მონაცემებს, რომელებიც უმეტეს შემთხვევაში უფრო ზუსტია, ვიდრე მონაცემები, რომელებიც მიიღება სარადარო სისტემებით. მაგალითად: თუკი მეორადი რადიოლოკატორი ინფორმაციას 4 წამში ერთხელ ანახლებს, ADS-B სისტემის შემთხვევაში ინფორმაციის განახლება ყოველ 1 წამში ხდება. გარდა ამისა, ADS-B სისტემას მეორადი რადიოლოკატორისაგან განსხვავებით არ სჭირდება სიგნალი ხმელეთიდან.

ADS-B სისტემა მნიშვნელოვნად ზრდის ფრენების უსაფრთხოების დონეს. ამ თანამედროვე სისტემისგან მიღებული დაზუსტებული მონაცემების საშუალებით, საჰაერო მოძრაობის კონტროლი – თვითმფრინავების პოზიცირება და განცალკევება –

ხდება უფრო სწრაფად და ეფექტურად. ADS-B საშუალებას იძლევა მარტივად მოხდეს კონფლიქტის აღმოჩენა და თავიდან აცილება.

ADS-B შეტყობინებების პირდაპირ ჰაერი-ჰაერი პრინციპით გადაცემა ხელს უწყობს უახლოესი საჰაერო ხომალდის გამოსახვას ეკრანზე. მასზე ასევე შეიძლება ნაჩვენები იყოს მიმდინარე ამინდის პროგნოზი, რელიეფი, საჰაერო სივრცის სტრუქტურა, დაბრკოლებები, აეროპორტების დეტალური რუკები და ფრენის კონკრეტულ ეტაპზე არსებული სხვა ინფორმაცია.

ADS-B უზრუნველყოფს მრავალი სარგებლის მიღებას, როგორც მფრინავების ისე საჰაერო მოძრაობის მართვის მეთვალყურეებისათვის, რაც ზრდის ფრენის უსაფრთხოებასა და ეფექტურობას, კერძოდ:

1. მოძრაობა - ADS-B სისტემის გამოყენებისას მფრინავს აქვს წვდომა გარშემო მყოფი საჰაერო ხომალდების შესახებ ინფორმაციასთან. ეს ინფორმაცია მოიცავს, სიმაღლეს, მიმართულებას, სიჩქარესა და მანძილს საჰაერო ხომალდამდე.

2. ფრენის შესახებ ინფორმაცია - ფრენის საინფორმაციო მაუწყებლობა (FIS-B - Flight Information Service-Broadcast) UAT-ით აღჭურვილ საჰაერო ხომალდებს გადასცემს ისეთ ინფორმაციას ფრენის შესახებ, როგორიცაა დროებითი ფრენის შეზღუდვები (Temporary Flight Restrictions-TFRs) ან საავიაციო ხელმძღვანელობის მიერ გამოცემულ ცნობებს, რომლებიც ატყობინებენ პილოტებს პოტენციურ რისკებს მარშრუტებსა თუ სპეციფიკურ ადგილებში (NOTAM).

3. დანახარჯები - ADS-B მიწისზედა რადარების მონტაჟი და ექსპლუატაცია საგრძნობლად იაფია, ვიდრე პირველადი და მეორადი სარადარო სისტემების. განსხვავებით ალტერნატიული ფრენის ამინდის მომსახურებისაგან, რომელიც კომერციულადაა შემოთავაზებული, ADS-B-ის მომსახურებითა და მისი სხვა შედეგებით სარგებლობისას გაუქმებულია სააბონენტო გადასახადები.

4. გარემოზე შემცირებული უარყოფითი ზემოქმედება - ADS-B ტექნოლოგია უზრუნველყოფს საჰაერო ხომალდის პოზიციის ზუსტ გამოთვლას. ეს საშუალებას აძლევს ავიაშემთვალყურეს უხელმძღვანელოს საჰაერო მოძრაობას გადატვირთულ საჰაერო სივრცეში ან მის გარეთ, იმაზე მცირე დროში, ვიდრე ადრე იყო შესაძლებელი, ეს ამცირებს საჰაერო ხომალდის დაყოვნების დროს, რის შედეგადაც საჰაერო ხომალდი შეუფერხებლად აგრძელებს სვლას შესაბამისი მიმართულებით, ასევე ADS-B-ის გამოყენებით შესაძლებელია დაფრენის ტრაექტორიების გაუმჯობესება და დროის შემცირებაც, რაც გამოიხატება დადებითი ეფექტის სახით გარემოზე მავნე ზემოქმედებასა და საწვავის მოხმარების ასევე ხმაურის დონის შემცირებაში.

ADS-C საჰაერო საკომუნიკაციო სისტემის სპეციალური მოწყობილობაა, მისი განსაკუთრებული თვისებაა ხომალდის პოზიციის დადგენა ავტომატურ რეჟიმში.

ADS-C (Automatic Dependent Surveillance-Contract) შეგვიძლია შემდეგნაირად გავშიფროთ:

Automatic - გულისხმობს ინფორმაციის ავტომატურ გადაცემას პილოტებისა და ოპერატორების ჩარევის გარეშე;

Dependant- გულისხმობს დამოკიდებულებას GPS-ზე ან სხვა სისტემაზე;

Surveillance- თვალყურის დევნება;

Contract- ნიშნავს, ანტენისგან მიღებული საჰაერო ხომალდის კონკრეტული ადგილმდებარეობის პარამეტრები ეგზავნება სპეციალურ სადგურს, რომელსაც სჭირდება გაანგარიშება.

ADS-C მუდმივად არის ხელმისაწვდომი ნებისმიერი საჰაერო ხომალდისთვის რომელსაც აქვს საჰაერო საკომუნიკაციო და გამოთვლითი სისტემა (ACARS). აქედან გამომდინარე, მიწისზედა რადიოსადგურიდან გაგზავნილ შემკითხავ სიგნალს, საჰაერო ხომალდი ეკიპაჟის ზემოქმედების გარეშე ავტომატურ რეჟიმში მიიღებს და უკან გააგზავნის საპასუხო საინფორმაციო სიგნალს.

ADS-C იყენებს უამრავ სისტემას ბორტზე პოზიციის, სიმაღლის, სიჩქარის და მეტეოროლოგიური მონაცემების ავტომატურად დაფიქსირებისთვის. ეს მონაცემები შეიძლება გაიგზავნოს გამოთვლების მიზნით საჰაერო მოძრაობის მართვის პუნქტში. მიწისზედა სადგურიდან ADS-C სიგნალის გასაგზავნად გამოიყენება:

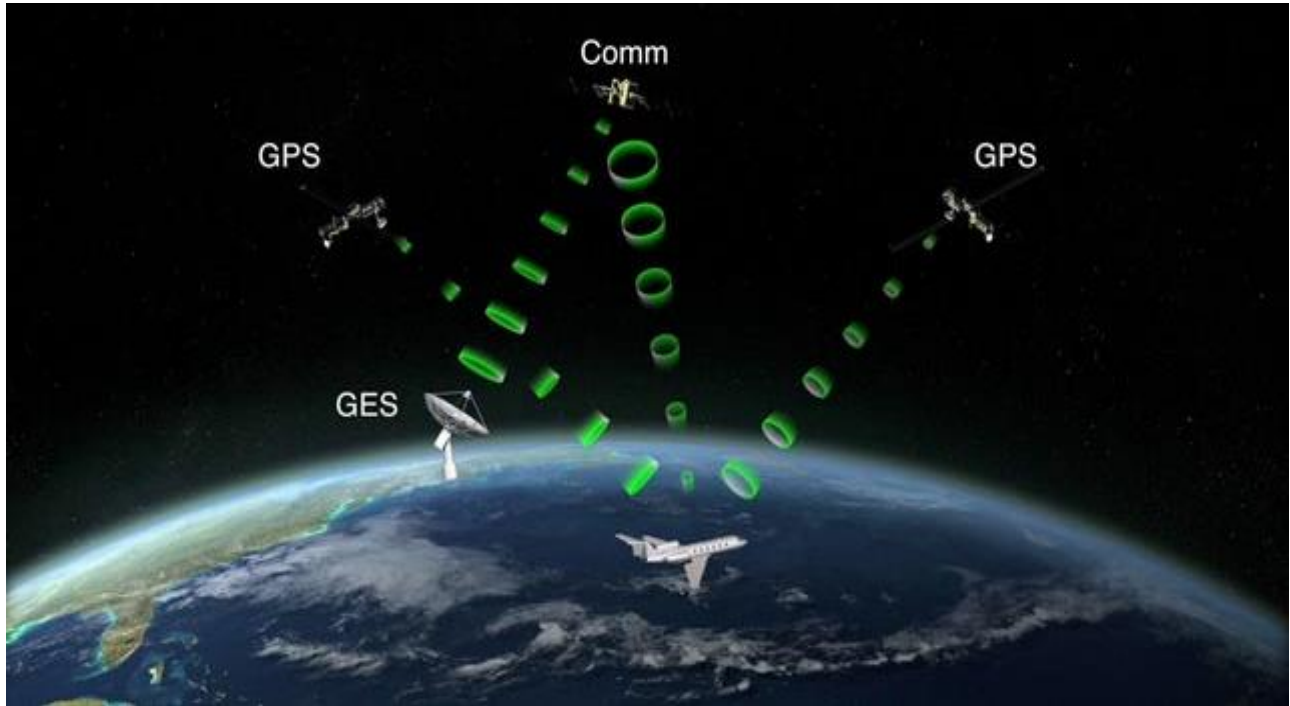
1. ინფორმაცია ადგილმდებარეობის შესახებ თუ საიდანაც იგზავნება სიგნალი;
2. იმ საჰაერო ხომალდის მონაცემები რომელამდეც უნდა მიაღწიოს სიგნალმა;
3. შესაბამისი კოდის შეყვანა საკომუნიკაციო და საანგარიშო სისტემაში (ACARS);
4. ინფორმაციის გაგზავნა.

ამის შემდეგ თუ საჰაერო ხომალდისთვის სიგნალის მიღება ტექნიკურად შესაძლებელია, ის დაიწყებს ADS-C-ზე ადგილმდებარეობის პარამეტრების გაგზავნას სანამ ხაზზე იქნება ბორტი.

ADS-C კონტრაქტიდან სიგნალის გაგზავნის შემდეგ, დაახლოებით 1-2 წუთში საპასუხო სიგნალის გამოგზავნა აუცილებლად უნდა მოხდეს. თუ ეს ყოველივე 2 წუთის განმავლობაში არ მოხდა რეაგირება შემდეგნაირია. ADS-C სისტემას გააჩნია შემოწმების ღილაკი “Message log”, ამ ღილაკზე თითის დაჭერის შემდეგ ეკრანზე უნდა გამოჩნდეს საჰაერო ხომალდი ეს კი ნიშნავს, რომ მოთხოვნა დადასტურებულია.

თუ საჰაერო ხომალდი არ გამოეხმაურა ADS-C კონტრაქტის მოთხოვნას ეს ნიშნავს იმას, რომ არ არის გამართული მონაცემთა ბაზა ფრენის საკომუნიკაციო და გამოთვლითი სისტემისთვის (ACARS).

ADS-C სისტემის მოქმედების ამსახველი სქემა მოცემულია ნახაზზე 2.2.



ნახ. 2.2 ADS-C სისტემის მოქმედების ამსახველი სქემა

მიწისზედა რადიოსადგურიდან შეიძლება იყოს მოთხოვნილი ერთი ან რამდენიმე მნიშვნელობის მატარებელი სიგნალი, ADS კონტრაქტი ახდენს ყველა ტიპის ინფორმაციის და პირობების იდენტიფიცირებას, რის მიხედვითაც არჩევს ხომალდზე გასაგზავნ ინფორმაციას.

საჰაერო მოძრაობის ინტენსივობამ შეიძლება მოითხოვოს ერთდროულად სხვადასხვა ADS-C სიგნალები ერთი საჰაერო ხომალდისაგან, მათ შორის ერთი პერიოდული და ერთი სიტუაციური. ერთდროულად ხუთმა მიწისზედა სადგურმა შეიძლება მოითხოვოს ADS-C სიგნალები ერთი და იმავე საჰაერო ხომალდისგან.

2.3.2. ADS-C სისტემის უპირატესობები

ADS-C-ს გააჩნია სპეციალური კრიტერიუმები მონაცემთა დამუშავებისათვის, რათა უზრუნველყოს საჰაერო მოძრაობის ეფექტური მართვის შენარჩუნება.

ამ მიზნით არსებობს სამი ტიპის ADS კონტრაქტი.

- პერიოდული კონტრაქტი “periodic contract”,
- მოთხოვნის კონტრაქტი “log on”,
- მოქმედებათა კონტრაქტი “event contract”.

ICAO-ს შეფასებამ დაასაბუთა ADS-C ტექნოლოგიის საიმედოობა და საბოლოო დასკვნის საფუძველზე მისი გამოყენების უფლება მიეცა საჰაერო ნავიგაციის ორგანიზაციას (CANSO) და საერთაშორისო საჰაერო სატრანსპორტო ასოციაციას (IATA).

ფედერალურმა საავიაციო ადმინისტრაციამ (FAA) ასევე დაასაბუთა ADS-C-ს გამოყენების სანდოობა საჰაერო მოძრაობის მართვის სამსახურში, მისი საიმედოობა დაადასტურეს ცდით, ICAO-ს სამეთვალყურეო სტანდარტის მიხედვით სრული დატვირთვით 15 წუთის განმავლობაში

ADS-C უზრუნველყოფს საჰაერო სივრცის გაუმჯობესებულ მიმოხილვას, ასევე პილოტებს შორის უკეთეს კავშირს, რაც საშუალებას იძლევა ფრენები შესრულდეს მინიმალური დაშორებებით, რაც იმას ნიშნავს, რომ საჰაერო სივრცე უფრო გამტარუნარიანი და თავისუფალი ხდება.

სატელიტური ტექნოლოგია, რომელიც საჭიროა ADS-C-ს გამართული მუშაობისთვის, დამონტაჟებულია საჰაერო ხომალდების 90%-ზე და ავიახაზების უმრავლესობას უკვე აქვთ შესაძლებლობა, რომ დააკმაყოფილონ ICAO-ს სტანდარტები საბორტო აღჭურვილობის გამოყენებით.

2.3.3. მულტილატერაციული MLAT სისტემა

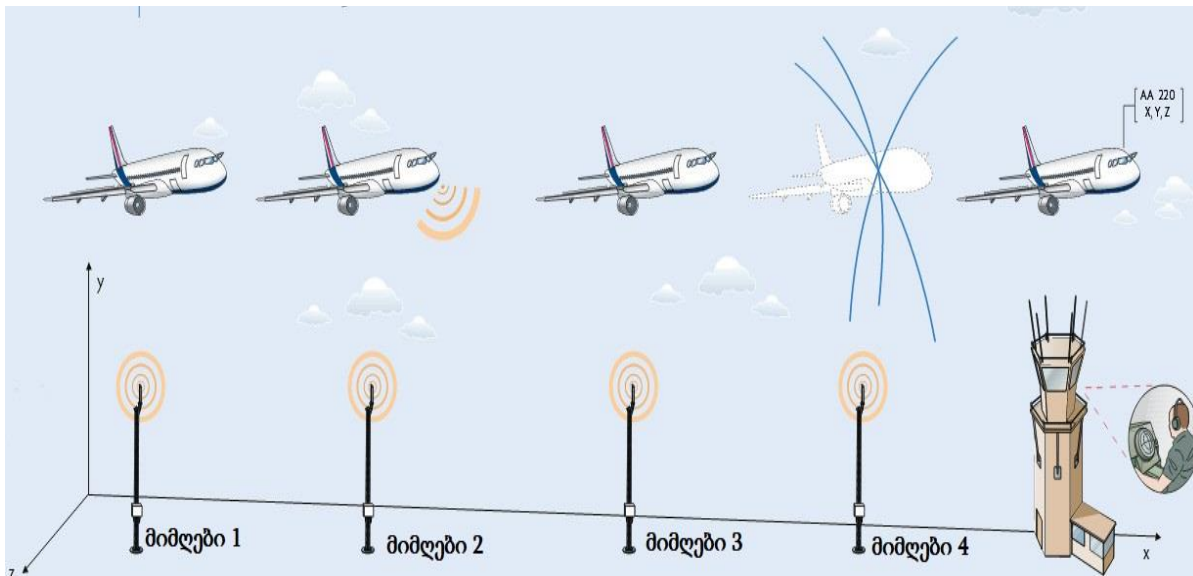
მულტილატერაციული სისტემა (MLAT) წარმოადგენს მრავალპოზიციურ სისტემას, რომელიც შედგება რამდენიმე მიმღები სადგურისაგან, სიგნალების დამუშავების სადგურისაგან და მართვის ცენტრისაგან. მულტილატერაცია იგივე ჰიპერბოლური პოზიცირება არის მდებარეობის განსაზღვრის პროცესი, რომელიც დაფუძნებულია სიგნალის მოსვლებს შორის დროითი სხვაობის გაზომვაზე (TDOA – Time Difference of Arrival). სიგნალი სხივდება იმ ობიექტის მიერ, რომლის კოორდინატებიც უნდა განისაზღვროს და მიიღება მიწისზედა სამი ან მეტი მიმღებით.

ობიექტის მიერ გამოსხივებული სიგნალი მიიღება ორი ერთმანეთისაგან დაშორებული მიმღების მიერ სხვადასხვა დროს, მიღების დრო დამოკიდებულია მანძილზე ობიექტამდე და მიმღებებს შორის. დროითი სხვაობა აღიწერება ჰიპერბოლით, რომელზეც მდებარეობს საჰაერო ხომალდი.

მესამე მიმღები არის განთავსებული პირველი ორი მიმღებისგან მოშორებულ ადგილას, ამიტომ გვექნება კიდევ ერთი დროითი სხვაობის გაზომვის საშუალება. მესამე სადგურით სიგნალის მიღების დროითა და პირველ/მეორე სადგურებით მიღების დროებით შედგენილ ჰიპერბოლას შორის მიიღება კიდევ ერთი ჰიპერბოლა, რომელზედაც ასევე მდებარეობს საჰაერო ხომალდი. ამ ორი ჰიპერბოლის გადაკვეთა გვაძლევს მრუდს, რომელზეც გადაადგილდება საჰაერო ხომალდი.

თუ გვექნება მეოთხე მიმღებიც მაშინ გაჩნდება კიდევ ერთი დროითი ანათვალი, რომლის მეშვეობითაც აგებული მესამე ჰიპერბოლა გადაკვეთს უკვე მიღებულ მრუდს და განსაზღვრავს სივრცეში ობიექტის მდებარეობის კონკრეტულ წერტილს. ამ ხერხით განისაზღვრება ობიექტის ზუსტი მდებარეობა 3D სივრცეში.

MLAT სისტემის მოქმედება გრაფიკულად ნაჩვენებია ნახაზზე 2.3.



ნახ. 2.3 MLAT სისტემის მოქმედების ამსახველი სქემა

მიმღებ სადგურებზე მოსული დროითი ანათვლები დამუშავებისათვის გადაეცემა ცენტრალურ დამუშავების სადგურს, სადაც ხდება მოსული სიგნალების დროის განსაზღვრა TDOA პრინციპით და შემდგომ დგინდება 3 ჰიპერბოლის გადაკვეთის წერტილი.

იმის გამო, რომ ადგილმდებარეობის განსაზღვრის უმთავრეს პარამეტრად გვევლინება სიგნალების მოსვლის დრო, მნიშვნელოვანია, რომ ყველა სადგური, რომელიც იღებს ობიექტიდან წამოსულ სიგნალებს, იყოს დროში სინქრონიზებული. მულტილატერაციულ სისტემებში სინქრონიზაციის მიზნით იყენებენ გლობალური ნავიგაციის სატელიტურ სისტემებს, როგორიცაა GPS და GLONASS. სინქრონიზაციის მეშვეობით შესაძლებელია ძალიან მაღალი სიზუსტით განვსაზღვროთ სიგნალების მოსვლის დრო. დროითი სინქრონიზაცია შესაძლებელია როგორც სისტემაში არსებული ერთი საერთო სინქრონიზატორის გამოყენებით, ასევე ყველა მიმღებ სადგურთან არსებული სინქრონიზატორით.

სისტემის არქიტექტურა და სინქრონიზაციის ტიპი ყოველთვის განისაზღვრება სისტემისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად, როგორიცაა სისტემის განლაგების ადგილმდებარეობა, სიზუსტის მახასიათებელი, შესასრულებელი ფუნქციები.

MLAT სისტემის მახასიათებლები არის შემდეგი:

ერთი სადგურის მოქმედების ზონა:

სიშორე	50 – 80 კმ
აზიმუტი	360°
სიმაღლე	0-დან 20000 მეტრამდე

წარმადობა

500-მდე დაკვირვების ობიექტი

ადგილმდებარეობის განსაზღვრის სიზუსტე:

აეროდრომის ზონაში

10 მ. (0-დან 300 მეტრამდე)

15 – 20 მ. (300-დან - 1000

მეტრამდე)

სატრასო მიმოხილვა

30 მ. (11000 მეტრამდე)

მიმღები:

ტანგენციალური მგრძნობიარობა

- 120 dBm

დინამიკური დიაპაზონი

70 dB

მიღების სიხშირე

1090 MHz

გადამცემი:

იმპულსური სიმძლავრე

700 ვტ.

შეკითხვის სიხშირე

1090 MHz , 1030 MHz

პასიური მულტილატერაციის მიმოხილვითი სისტემა ადგენს საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობას TDOA – Time difference of arrival პრინციპისა და ლატერაციის ალგორითმის გამოყენებით. ასეთ სისტემას აქვს ის უპირატესობა, რომ შეუძლია ადგილმდებარეობის განსაზღვრა 3D სივრცეში. ჰიბრიდული სისტემის TOA/TDOA ლატერაციის ალგორითმით განსაზღვრული საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის სიზუსტე დამოკიდებულია თვით საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობაზე სისტემის საანტენო კონფიგურაციის მიმართ. ჰიბრიდულ სისტემას შეუძლია დაადგინოს კოორდინატები მხოლოდ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ძალიან მაღალი სიზუსტით საანტენო სისტემის თანავარსკვლავედის გარეთ.

პასიური მულტილატერაციული მიმოხილვითი სისტემა (MLAT) ადგენს საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობას ორ ეტაპად. პირველი ეტაპი მოიცავს TDOA პრინციპის გამოყენებით ანტენის წყვილებზე სიგნალის მოსვლის დროების სხვაობის დადგენას. ხოლო, მეორე ეტაპი მოიცავს პირველ ეტაპზე მიღებული გაზომვების შედეგად მიღებული სიდიდეების ჩასმას ალგორითმში, რომელიც განსაზღვრავს საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობას. ამ ალგორითმს ეწოდება ლატერაციის ალგორითმი. საჰაერო ხომალდის სიბრტყეზე ან სივრცეში პოზიციის განსაზღვრა დამოკიდებულია მიმღები ანტენების რაოდენობაზე. სივრცეში პოზიციის განსაზღვრისათვის მინიმუმ ოთხი მიმღები ანტენაა საჭირო. სხვადასხვა ლიტერატურაში შემოთავაზებულია TDOA განსაზღვრის რამდენიმე ტექნიკა, თუმცა ყველაზე გავრცელებულად ითვლება კლასიკურად განსაზღვრის პრინციპი TOA

მეთოდის გამოყენებით. TOA მიიღება ობიექტიდან გამოსხივებული სიგნალიდან, რომელიც მიიღება ანტენებით.

TDOA ზომავს მანძილს ჰიპერბოლური განტოლებების გამოყენებით. N რადიოსადგომის TOA გაზომვით შეგვიძლია ავაგოთ N-1 ჰიპერბოლური განტოლება. ეს განტოლებები არიან არაწრფივად დამოკიდებულნი TDOA გაზომვებსა და საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობას შორის. იმისათვის, რომ გავიგოთ ადგილმდებარეობა, საჭიროა ამ ორ პარამეტრს შორის დავამყაროთ წრფივი დამოკიდებულება.

ლატერალიზაციის ალგორითმის გახსნილი ფორმა მოიცავს ტეილორის მწკრივებს, რათა შევძლოთ შერჩეული საჰაერო ხომალდის პარამეტრებს შორის წრფივი კავშირის დამყარება, თუმცა ამ მეთოდის გამოყენებისას შეიძლება მივიღოთ შეცდომა და საკმაოდ არაზუსტად განვსაზღვროთ კოორდინატები.

ლატერალიზაციის ალგორითმის დახურული ფორმა შესაძლებლობას გვაძლევს მათემატიკური გარდაქმნების შედეგად პარამეტრებს შორის დავამყაროთ წრფივი დამოკიდებულებები, თანაც არ საჭიროებს წინასწარ რომელიმე საჰაერო ხომალდის შესახებ რაიმე ინფორმაციის ცოდნას. ამ მიზეზების გამო პრაქტიკაში მიღებულია სწორედ ლატერალიზაციის ალგორითმის დახურული ფორმა.

განვსაზღვროთ თუ როგორ მიიღება საჰაერო ხომალდის კოორდინატები ჰიბრიდული TOA/TDOA ლატერაციის ალგორითმის გამოყენებით. ჩავთვალოთ, რომ პირველი ეტაპი უკვე გავლილია და ანტენებიდან არის მიღებული დროითი ანათვლები.

ვთქვათ, τ_i არის TOA პრინციპით ჩატარებული გაზომვა, რომელიც არის განსაზღვრული i რადიოსადგომის ანტენის მიერ, რომელთა კოორდინატებიც არის: (x_i, y_i, z_i) . მაშინ, განტოლებას, რომელიც განსაზღვრავს $X = (x, y, z)$ გადამცემიდან ანტენების მიერ მიღებული სიგნალების TOA გაზომვას ექნება სახე:

$$\tau_i = \frac{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}}{c} \quad (1)$$

სადაც $c = 3 \times 10^5$ კმ.

(1) განტოლება ასახავს არაწრფივ დამოკიდებულებას საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობასა (x) და TOA გაზომვას (τ) შორის. ავიყვანოთ განტოლების ორივე მხარე კვადრატში, მაშინ (1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$(\tau_i \times c)^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \quad (2)$$

მე-(2) ფორმულის შემდგომი გამარტივებით გვექნება:

$$(\tau_i \times c)^2 = (x^2 + y^2 + z^2) - (2xx_i + 2yy_i + 2zz_i) + (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \quad (3)$$

ავღნიშნოთ

$$\begin{aligned} \tau_i \times c &= R_i \\ R &= (x^2 + y^2 + z^2) \\ K_i &= (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \end{aligned} \quad (4)$$

თუ (4) ფორმულას შევიტანთ მე-(3) ში მაშინ გვექნება:

$$R_i^2 = R - (2xx_i + 2yy_i + 2zz_i) + K_i \quad (5)$$

4 მიმღები ანტენის შემთხვევაში გვექნება:

$$R_1^2 = R - (2xx_1 + 2yy_1 + 2zz_1) + K_1 \quad (6a)$$

$$R_2^2 = R - (2xx_2 + 2yy_2 + 2zz_2) + K_2 \quad (6b)$$

$$R_3^2 = R - (2xx_3 + 2yy_3 + 2zz_3) + K_3 \quad (6c)$$

$$R_4^2 = R - (2xx_4 + 2yy_4 + 2zz_4) + K_4 \quad (6d)$$

მე-(6) გამოსახულებაში ცვლადი R არის საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობის ფუნქცია, რომელიც არის უცნობი პასიური სისტემისათვის. თუ 6a და 6b განტოლებებს გამოვაკლებთ ერთმანეთს და ასევე 6c და 6d გამოვაკლებთ ერთმანეთს მივიღებთ ორ ტოლობას:

$$\begin{aligned} R_1^2 - R_2^2 &= 2x(x_1 - x_2) + 2y(y_1 - y_2) \\ &+ 2z(z_1 - z_2) + K_1 - K_2 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} R_3^2 - R_4^2 &= 2x(x_3 - x_4) + 2y(y_3 - y_4) \\ &+ 2z(z_3 - z_4) + K_3 - K_4 \end{aligned} \quad (8)$$

მე-(7) და მე-(8) განტოლება წარმოადგენს წრფივ დამოკიდებულებას საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობასა და TOA გაზომვებს შორის, თუმცა ამ ორი განტოლების გამოყენება არ იქნება საკმარისი, რომ დავადგინოთ საჰაერო ხომალდის ადგილმდებარეობა, რადგან გვაქვს 3 უცნობი და ორი ტოლობა. თუ გამოვიყენებთ TDOA მიდგომას, მაშინ უნდა შემოვიღოთ დამატებითი განტოლებები.

ორი სხვადასხვა ანტენიდან TDOA შეგვიძლია მივიღოთ დაწყვილებული ანტენების მიერ თითოეული მათგანის TOA გაზომვების მეშვეობით. მათემატიკურად

i და j ანტენების წყვილებიდან TDOA შეგვიძლია განვსაზღვროთ შემდეგი განტოლებით:

$$\tau_{ij} = \tau_i - \tau_j = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_j)^2}}{c} \quad (9)$$

თუ სისტემა შედგება 4 ანტენისაგან და i=1 და j=2 მაშინ TDOA განსაზღვრისათვის შედგება 4 ჰიპერბოლის განტოლება:

$$\tau_{13} \times c = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} \quad (10a)$$

$$\tau_{14} \times c = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2} \quad (10b)$$

$$\tau_{23} \times c = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} - \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} \quad (10c)$$

$$\tau_{14} \times c = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} - \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2} \quad (10d)$$

მე-(10) ფორმულის გამარტივება მოგვცემს შემდეგნაირ განტოლებებს:

$$a_{134} = x \times b_{134} + y \times c_{134} + z \times d_{134} \quad (11)$$

$$a_{234} = x \times b_{234} + y \times c_{234} + z \times d_{234} \quad (12)$$

სადაც მე-(4) და მე-(5) განტოლებების კოეფიციენტები $1 \leq i \leq 2$ და $3 \leq j \leq 4$ პირობებისთვის არის:

$$a_{i34} = 0.5 \left(R_{i4} - R_{i3} + \frac{K_{i4}}{d_{i4}} - \frac{K_{i3}}{d_{i3}} \right)$$

$$b_{i34} = \left(\frac{x_{3i}}{R_{i3}} - \frac{x_{4i}}{R_{i4}} \right)$$

$$\begin{aligned}
c_{i34} &= \left(\frac{y_{3i}}{R_{i3}} - \frac{y_{4i}}{R_{i4}} \right) \\
d_{i34} &= \left(\frac{z_{3i}}{R_{i3}} - \frac{z_{4i}}{R_{i4}} \right) \\
x_{ji} &= x_j - x_i, \quad y_{ji} = y_j - y_i, \quad z_{ji} = z_j - z_i \\
K_{ij} &= (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) - (x_j^2 + y_j^2 + z_j^2) \quad (13)
\end{aligned}$$

მე-(11) და მე-(12) არის დამატებითი განტოლებები TDOA მეთოდის გამოყენებისას. ამ ტოლობების გაერთიანება მე-(7) და მე-(8) ფორმულებთან მოგვცემს ჰიბრიდული TOA/TDOA ლატერაციის ალგორითმს, რომელიც ნაჩვენებია მატრიცის სახით.

$$Ax=b, \quad (14)$$

სადაც

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) & 2(z_1 - z_2) \\ 2(x_3 - x_4) & 2(y_3 - y_4) & 2(z_3 - z_4) \\ \left(\frac{x_{31}}{R_{13}} - \frac{x_{41}}{R_{14}} \right) & \left(\frac{y_{31}}{R_{13}} - \frac{y_{41}}{R_{14}} \right) & \left(\frac{z_{31}}{R_{13}} - \frac{z_{41}}{R_{14}} \right) \\ \left(\frac{x_{32}}{R_{23}} - \frac{x_{42}}{R_{24}} \right) & \left(\frac{y_{32}}{R_{23}} - \frac{y_{42}}{R_{24}} \right) & \left(\frac{z_{32}}{R_{23}} - \frac{z_{42}}{R_{24}} \right) \end{bmatrix} \quad (15a)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_2^2 - K_1 + K_2) \\ (R_3^2 - R_4^2 - K_3 + K_4) \\ 0.5 \left(R_{14} - R_{13} + \frac{K_{14}}{R_{14}} - \frac{K_{13}}{R_{13}} \right) \\ 0.5 \left(R_{24} - R_{23} + \frac{K_{24}}{R_{24}} - \frac{K_{23}}{R_{23}} \right) \end{bmatrix} \quad (15b)$$

$$\mathbf{x} = [x, y, z]^T \quad (15c)$$

გამომსხივებლის ადგილმდებარეობა შესაძლებელია დადგინდეს მე-14 მატრიცის ინვერტული მატრიცის ამოხსნის შედეგად, რადგან მე-14 გამოსახულება გვაძლევს TOA გაზომვებს და ანტენების განლაგების კოორდინატებს. მატრიცის ამოხსნისათვის უნდა გამოვიყენოთ სინგულარული მნიშვნელობების დაშლის მეთოდი.

ვთქვათ C არის A და b მათემატიკური გამოსახულების ნაზრდი

$$C = [A, b] \quad (16)$$

მაშინ სინგულარული მნიშვნელობების დაშლის მეთოდი გამოვიყენოთ C -სთვის

$$C = U \Sigma V^T = \sum_{i=0}^{n+1} u_i \sigma_i v_i^T \quad (17)$$

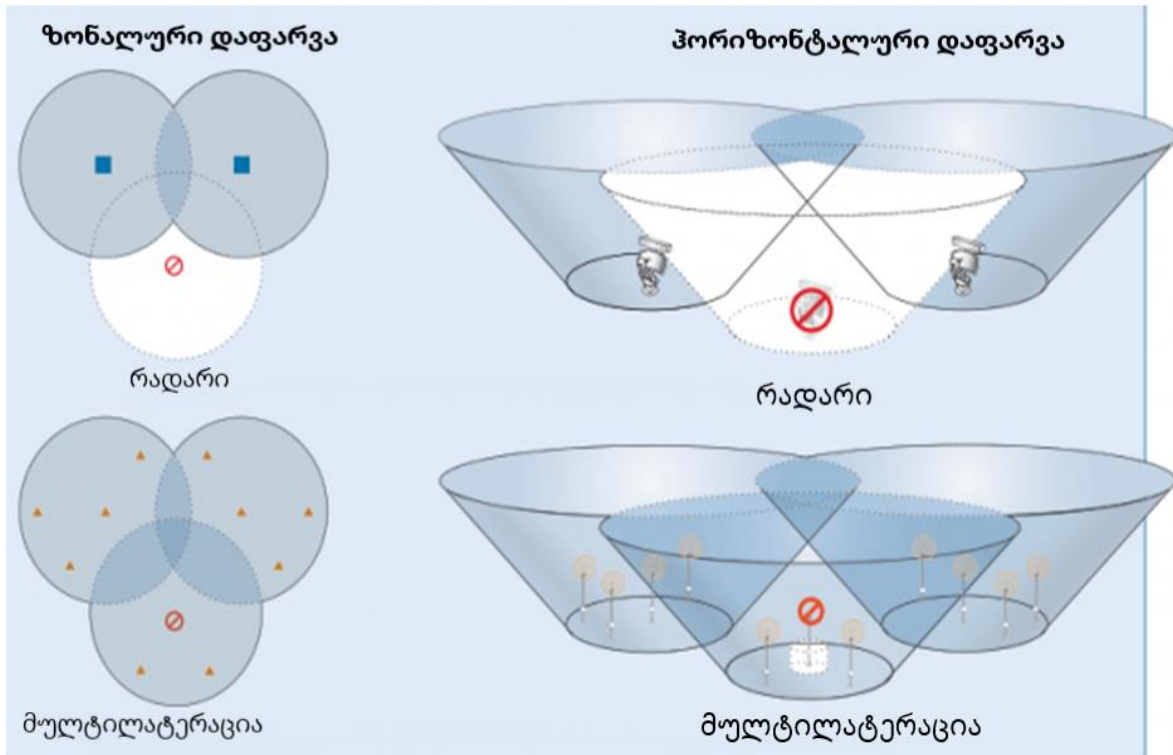
ამ მეთოდით მე-(14) მატრიცის ამონახსნი იქნება

$$x = \frac{-1}{v_{n+1, n+1}} \times [v_{1, n+1} \cdots v_{n, n+1}]^T \quad (18)$$

MLAT სისტემის უპირატესობები

მათემატიკურ გამოთვლებსა და სხვადასხვა ლიტერატურის მონაცემების ანალიზზე დაყრდნობით დგინდება, რომ მულტილატერაციული სისტემის ფართომასშტაბიანი გამოყენება პირველად და მეორეულ რადარებთან შედარებით საგრძნობლად ამცირებს მატერიალურ დანახარჯებს, აადვილებს სისტემის მუშაობისათვის საჭირო ტექნიკური მომსახურების სამუშაოებს და აუმჯობესებს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობისა და ეფექტურობის დონეს.

MLAT სისტემის უპირატესობები გამოიხატება ევროკონტროლისა და ICAO-ს მოთხოვნების დაკმაყოფილებით, ტექნიკურმა ტესტირებამ აჩვენა, რომ მულტილატერაციამ ხარვეზების აღმოჩენაში მანამდე არსებულ სისტემებს საგრძნობლად გადააჭარბა, ეს რიცხვი პროცენტულობით 98%-ს აღწევდა, ასევე გაუმჯობესებული იყო სიზუსტე და მუშაობის ხარისხი.



ნახ. 2.4 რადარის დაფარვის ფიზიკური შეზღუდვები და მათი აღმოფხვრა მულტილატერაციული სისტემის გამოყენებით

2.4. თანამედროვე მეთოდოლოგიის გამოყენება დაფრენის ტრაექტორიების გაუმჯობესებისათვის SBAS/GBAS [17,24,28]

Satellite-Based Augmentation System (SBAS) სატელიტურ ნავიგაციაზე დაფუძნებული დაფრენის გაუმჯობესებული სისტემაა, რომელიც უზრუნველყოფს დაფრენის სისტემის სიზუსტის ზრდას გეოსტაციონარული (GEO) თანამგზავრების გამოყენებით.

მიწისზედა მოწყობილობები შეიცავს ზუსტ სენსორულ სადგურებს, რომლებიც მონაცემებს ღებულობს პირველადი GNSS თანამგზავრებიდან და ინფორმაციის გადამამუშავებელი ცენტრიდან, რომელიც გამოთვლის მთლიანობას, კორექციას და GEO სატელიტის იმ მონაცემებს, რომლებიც ქმნის SBAS სიგნალს სივრცეში (signal-in-space (SIS)). SBAS-ის GEO თანამგზავრები ეყრდნობა SIS-ს, რომ SBAS-ის წევრებს გადასცეს, თავიანთი პოზიცია და დროის შესახებ ინფორმაცია.

ყოველი SBAS უზრუნველყოფს მანძილმზომ სიგნალს, რომელიც გაგზავნილია GEO თანამგზავრების მიერ, დიფერენციალურ შესწორებებს ფართო დიაპაზონში და დამატებით პარამეტრებს, რომლებიც მიზნად ისახავს GNSS მომხმარებლის მთლიანობის გარანტიას.

GEO Ranging: GPS-ის მსგავსი L1 სიგნალების გადაცემა GEO თანამგზავრებისგან მომხმარებლებისთვის ხელმისაწვდომი ნავიგაციის თანამგზავრების რაოდენობის გაზრდის მიზნით.

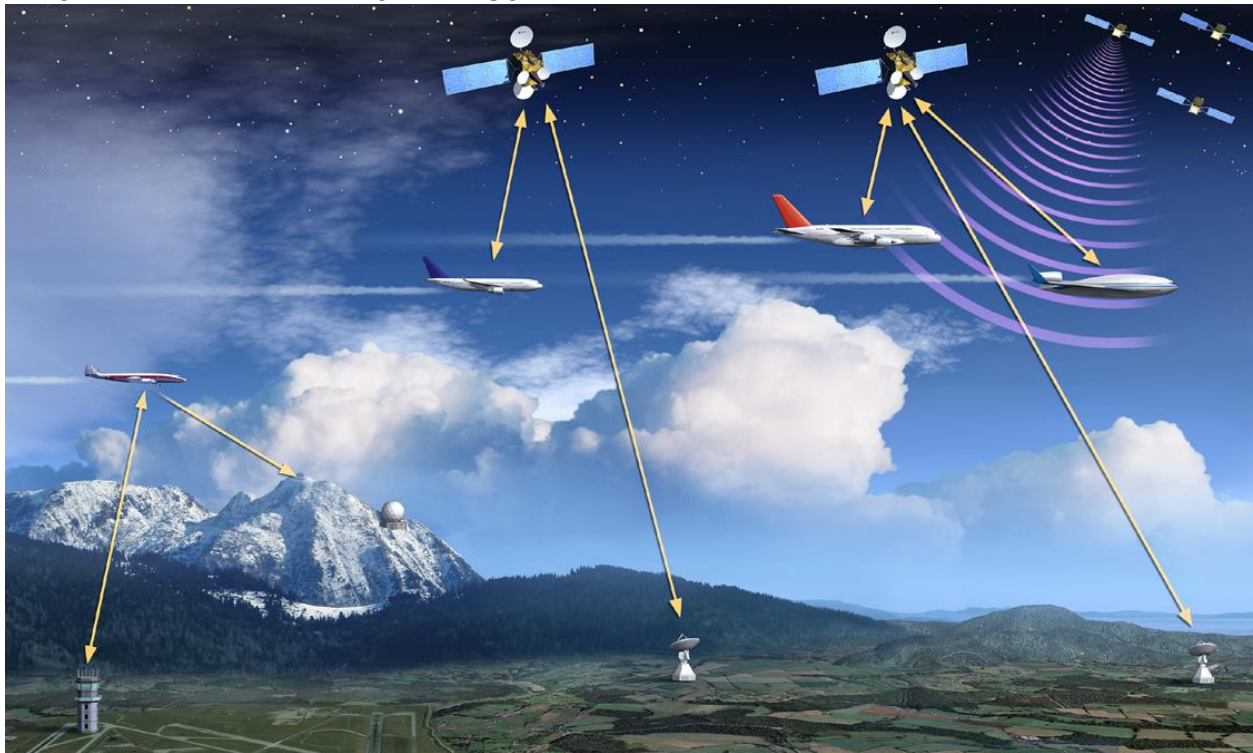
Wide Area Differential (WAD): არსებული GPS / GLONASS / GEO ნავიგაციის მომსახურების დიფერენციალური კორექცია ფართო სივრცეში გამოითვლება ნავიგაციის ამოცანების გადაწყვეტის გასაუმჯობესებლად. ეს მოიცავს შესწორებებს სატელიტურ ორბიტებზე და საათებზე, ასევე უზრუნველყოფს ინფორმაციას, რომ დაადგინოს დაყოვნება რომელიც გამოწვეულია სიგნალის იონოსფეროში გასვლით.

GNSS / სახმელეთო მთლიანობის არხი (GIC): ინტეგრირებული ინფორმაცია ინფორმირება GPS / GLONASS / GEO უსაფრთხო ნავიგაციის მომსახურების შესახებ.

SBAS აწვდის მომხმარებლის კორექციასა და მთლიანობის მონაცემებს, აგრეთვე ზოგიერთ დამხმარე ინფორმაციას (დრო, დეგრადაციის პარამეტრები და ა.შ.) სიგნალის კოდირებით. SBAS- ის მონაცემთა ფორმატის გაგზავნის სპეციფიკა შეიცავს ICAO SARPS დანართი B სივრცეში სიგნალთან დაკავშირებულ ასპექტებს.

SBAS-ის სატელიტი GPS- ის მსგავსად L1 (1574.42 MHz) სიგნალს გადასცემს, მოდულირებულს მყარი / შეძენის ფსევდო შემთხვევითი ხმაურის (PRN) კოდით.

ნახაზზე 2.5 ასახულია სატელიტური ნავიგაციის გამოყენების პრინციპი საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში



ნახ. 2.5 სატელიტური ნავიგაციის გამოყენების პრინციპი საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში

SBAS სისტემის უპირატესობები არსებულ ანალოგებთან მიმართებაში განისაზღვრება შემდეგი გაუმჯობესებული პარამეტრების სახით:

სიზუსტე: როგორც წესი გამოხატულია ნავიგაციის სისტემის შეცდომით Navigation System Error (NSE), როგორც სხვაობა საჰაერო ხომალდის რეალურ პოზიციასა და მიწისზედა მოწყობილობის მიერ გადაცემულ პოზიციას შორის. SBAS უზრუნველყოფს სატელიტური ორბიტისა და საათის მიხედვით კორექციას მომხმარებლებისთვის, იონოსფერული შესაბამისობის გათვალისწინებით.

მთლიანობა: განისაზღვრება ICAO-ს მიერ, როგორც სანდოობის გარანტია, რომელიც შეიძლება გამოიხატებოდეს სისტემის მიერ მოწოდებული ინფორმაციის სისწორეში. SBAS სისტემის შემთხვევაში თუ ნავიგაციის პოზიციის შეცდომა არ აღემატება განსაზღვრულ ზღვარს სანავიგაციო სისტემა არ აფრთხილებს პილოტს აუცილებელზე ნაკლებ დროში, შესაბამისად სისტემის მუშაობის მთლიანობის დარღვევის ალბათობა მაქსიმალურად შემცირებულია.

ხელმისაწვდომობა: SBAS სისტემის სანავიგაციო მომსახურება ხელმისაწვდომია დაგეგმილი ოპერაციის დასაწყისში, როდესაც სიზუსტისა და მთლიანობის მოთხოვნები დაკმაყოფილებულია და ის იზომება იმის გათვალისწინებით თუ რამდენად ხელმისაწვდომია მოცემული სისტემა ნებისმიერი მომხმარებლისთვის ნებისმიერ დროს.

2.4.1. SBAS ავიონიკის შედარება არსებულ მოწყობილობებთან

გლობალური სანავიგაციო სატელიტური სისტემა (GNSS) გახდა საჰაერო ნავიგაციის განუყოფელი ნაწილი. GNSS სიგნალის შეყოვნება იონოსფეროს შრეებში წარმოადგენს ერთ-ერთ სერიოზულ პრობლემას GNSS-ის გამოყენებისას.

Satellite-Based Augmentation System, შემდგომში SBAS არის სისტემა, რომელიც შემუშავებულია იმისათვის, რომ გაზარდოს ნავიგაციის სისტემების ერთობლიობა, იმის ხარჯზე, რომ ხდება დამატებითი სიგნალების ფორმირება გეოსტაციონარული თანამგზავრებიდან და ამით უზრუნველყოფს უფრო მეტად ზუსტ პოზიციურ ინფორმაციებს, ვიდრე ჩვეულებრივი GNSS. SBAS-იდან მიღებული სარგებლის ნახვის შემდეგ განხორციელდა მისი დანერგვა მსოფლიოს სხვადასხვა ნაწილებში, მაგალითად ევროპის კონტინენტი დაფარულია EGNOS სერვისით. SBAS არქიტექტურა შედგება მიწის სეგმენტის, სივრცის სეგმენტისა და მომხმარებლის სეგმენტისგან. მიწის სეგმენტის ძირითადი ნაწილია მონიტორინგის სადგურების კომპლექტი, იმისთვის, რომ მიიღონ GPS სიგნალები, რომლებიც დამუშავდება მომხმარებლებისათვის შეცდომების ზოგიერთი შეფასების მისაღებად. მას შემდეგ, რაც ეს შეფასებები შესრულებულია, ისინი იგზავნება დიფერენცირებული კორექტირების სახით სივრცის სეგმენტიდან მომხმარებლებთან.

მომხმარებლის სეგმენტი, ფაქტობრივად, SBAS-ის მიმღებია, რომელიც საჰაერო ხომალდის ავიონიკის ნაწილია. მონიტორინგის სადგურები აგროვებენ პარამეტრებს

სამი ძირითადი GPS შესწორების გამოსათვლელად და აგზავნიან ავიონიკაში GEO სატელიტების მეშვეობით. SBAS-ის ავიონიკის მოწყობილობები კი შემდეგ გამოთვლის მცდარი მანძილების შესწორებებს და განსაზღვრავს პოზიციას, სიჩქარეს, დროს (PVT) შესაბამისად.

ცხრილი 2.1 გვიჩვენებს ფარდობითი შეცდომის დიაპაზონს, რომელიც განისაზღვრება, როგორც სტატისტიკური განსხვავება მიმდების მიერ გაზომილ მანძილსა და თეორიულ დაშორებას შორის სატელიტის ფაქტობრივი მდებარეობიდან მიმდებამდე.

ცხრილი 2.1

შეცდომის წყარო	GPS	EGNOS
GPS სიგნალი	4.0	2.3
იონოსფერო	2.0 - 5.0	0.5

შეცდომის დიაპაზონი ხასიათდება 2 პარამეტრით. პარამეტრი SREW (სატელიტური ნარჩენი შეცდომა, უკიდურესი მომხმარებლის ადგილმდებარეობისთვის). პარამეტრი UIVD (მომხმარებლის იონოსფერული ვერტიკალური დაგვიანება) ეკუთვნის იონოსფეროს ვერტიკალურ დაყოვნებებს. ეს არის დაყოვნება იმ მომენტში, როდესაც სიგნალი გადის იონოსფეროს შრეს. სხვა შეცდომების წყაროები, როგორიცაა მიმდების ხმაური, ტროპოსფეროში სიგნალების დაყოვნება, ან სიგნალების მრავალმხრივი გავრცელება დამოკიდებულია მიმდების ტიპსა და ხარისხზე. ამ სამი ძირითადი კორექტირებიდან, რომელსაც SBAS უზრუნველყოფს, აუცილებელი და მნიშვნელოვანია იონოსფეროს ფენაში სიგნალის შეფერხების კორექტირების გამოთვლა. ეს შესწორება ხდის SBAS სისტემას იმდენად ზუსტს, რომ ვერტიკალური ფრენისას GPS სტანდარტი მცირდება ± 23 მ-დან ± 4 მ - მდე და საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ SBAS ასაფრენ-დასაფრენ ზოლთან საბოლოო მიახლოების დროს.

Ground Based Augmentation System, იგივე GBAS არის GNSS-ზე დაფუძნებული სისტემა რომელიც მდებარეობს აეროპორტის ტერიტორიაზე. GBAS-ის ავიონიკა აკონტროლებს მთლიანობას და კორექტირებას უწევს აეროპორტში მდებარე მიწისზედა სადგურისგან მიღებულ მონაცემებს. ასეთი შესაძლებლობების არსებობამ ამ სისტემას საშუალება მისცა სანავიგაციო სისტემის მონაცემების სიზუსტე გაეზარდა და საშუალება მიეცა GNSS-ისათვის გამოყენებული ყოფილიყო „ზუსტი მიახლოების“ (precision approach) ფაზაში. GBAS წარმოადგენს რეგიონალურ SBAS-ს. GBAS ამჟამად აკმაყოფილებს I კატეგორიის სანავიგაციო მოთხოვნებს, მაგრამ

დაგეგმილი ტესტის-GAST D-ს სერტიფიცირების მიღების შემდეგ, CAT III- ის უზრუნველყოფის საშუალებაც მიეცემა.

GBAS - ის სანავიგაციო მოთხოვნები აეროპორტების კატეგორიების მიხედვით ნაჩვენებია ცხრილში 2.2.

ცხრილი 2.2

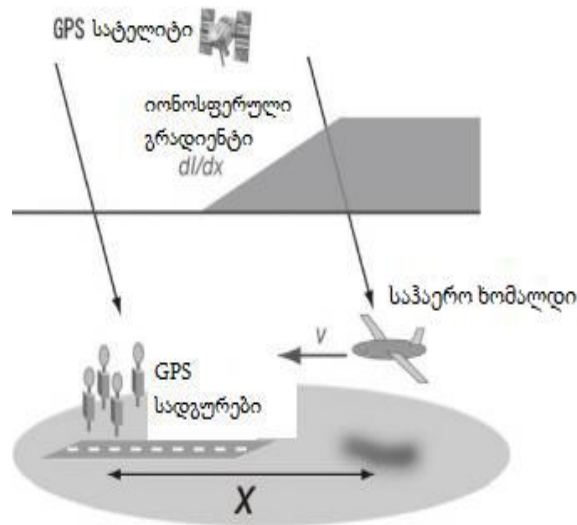
აეროპორტის კატეგორიები	გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლე (DH) (2)	ასაფრენ-დასაფრენ ზოლის ხილვადობა	მინიმალური ხილვადობა
CAT I	არანაკლებ 60მ (200 ფუტი)	არანაკლებ 550მ	800მ
CAT II	60 მეტრზე ნაკლები (200 ფუტი), მაგრამ არანაკლებ 30 მეტრისა(100 ფუტი)	არანაკლებ 350მ	
CAT III A	30 მ-ზე ნაკლები (100 ფუტი) ან არ არის გადაწყვეტილების მიღების სიმაღლე	არანაკლებ 200მ	
CAT III B	15მ-ზე ნაკლები (50 ფუტი) ან არ არის გადაწყვეტილების სიმაღლე	200მ-ზე ნაკლები მაგრამ არანაკლებ 50 მეტრისა	
CAT III B	არ არის გადაწყვეტილების სიმაღლე	არ აქვს შეზღუდვები	

აღნიშნული გარემოებების გამო GBAS წარმოადგენს საერთაშორისო აეროპორტებში უფრო ზუსტ და საიმედო დაფრენის სისტემას და განიხილება როგორც, ILS-ის შესაბამისი შემცვლელი გლობალურ დონეზე.

GBAS, ისევე როგორც SBAS, შედგება 3 ელემენტისგან: სატელიტური თანამგზავრი, მიწისზედა რადიოსადგური და საჰაერო ხომალდის ავიონიკა. მიწისზედა სადგური შედგება ერთი ან მეტი V DB8 ტიპის გადამცემისაგან, სამაუწყებლო ანტენებისგან, რამდენიმე მიმღებისგან და გამომთვლელი ერთეულისაგან, ყველა მათგანი მდებარეობს აეროპორტის მახლობლად.

GBAS ავიონიკა იყენებს მონაცემთა გათანაბრების პროცესებს, რომელსაც მატარებელთა გათანაბრება ეწოდება (მზიდი ტალღები), რაც მიიღწევა მარტივი ალგორითმით სახელწოდებით Hatch filter10. Carrier-smoothing იგი იყენებს მუდმივ დროს-100 წამს შეცდომების გამოსწორების მიზნით. თუ სივრცული იონოსფერული

შეყოვნების გრადიენტი დაემთხვევა ტექსტის საბოლოო მიდგომის სეგმენტის FAS-ის დროს, მაშინ გავლენას მოახდენს GPS თანამგზავრებზე, რომლებიც გადიოდნენ ამ რეგიონში. იონოსფერული გრადიენტი $dI = dx$ გამოხატულია როგორც იონოსფერული დაყოვნების ცვლილება თითოეული ჰორიზონტალური კილომეტრისთვის და ის გამოითვლება მმ/კმ ერთეულებში. იხილეთ ნახაზი 2.6



ნახ.2.6. იონოსფერული გრადიენტი

იმის გათვალისწინებით, რომ იონოსფერული გრადიენტი დროთა განმავლობაში არ იცვლება, ცდომილებათა სპექტრის მაქსიმალური ცვლილება δI გამოიხატება ფორმულით 19

$$\delta I = \frac{dI}{dx}(x + 2\tau v). \quad (19)$$

ფორმულა 19-ის მარჯვენა მხარეს არის იმ შეცდომების (ცდომილების) დიაპაზონი, რომლებიც გამოწვეულნი არის სივრცეში ცვლილებით იონოსფერული დაყოვნებების გამო, მეორე ნაწილი შეესაბამება გადამზიდავის გათანაბრების ეფექტს. τ (100s) არის დროის მუდმივა.

2.5. 4D ტრაექტორიაზე დაფუძნებული ოპერაციები საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში [10, 25, 32]

4D ტრაექტორიის განსაზღვრას სამომავლო საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება. მისი მუშაობის პრინციპებზე დაყრდნობით გადაწყვეტილების მიღებაში მრავალი დამხმარე ავტომატიზებული ინსტრუმენტი გამოიყენება. 4D ტრაექტორიის განსაზღვრის მეშვეობით შესაძლებელია საჰაერო ხომალდის აფრენამდე ვიცოდეთ მისი ზუსტი კოორდინატები ფრენის ნებისმიერ მომენტში, ამავდროულად შესაძლებელია

პოტენციური ინციდენტებისა და კონფლიქტების მოგვარება, გაცილებით ადრე ვიდრე ისინი წარმოიქმნება. ტრაექტორიის პროგნოზირება ძირითადად დამოკიდებულია სხ-ის მონაცემების განსაზღვრაზე. საჭიროა მონაცემების ისე გამარტივება, რომ შესაძლებელი გახდეს ათასობით მარშრუტის სწრაფი განსაზღვრა. ამავდროულად გამოთვლების სიზუსტე დამოკიდებულია საჰაერო ხომალდის გამართულ მუშაობაზეც. ფრენის ერთ-ერთ ყველაზე რთულ ეტაპს დაფრენა წარმოადგენს, საჭიროა დაფრენისას საჰაერო ხომალდების რიგითობის კონტროლი, 4D ტრაექტორიის პროგნოზირება კი ამ პრობლემას ძლიერ ამარტივებს.

დღეისათვის არსებული საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემა ათწლეულების წინათ იქნა შემუშავებული და თავისი ექსპლუატაციისა და ტექნოლოგიურობის შესაძლებლობების მაქსიმუმს ახლო მომავალში მიაღწევს. ამ პრობლემის გადაჭრის მიზნით ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციამ (EUROCONTROL) შეიმუშავა ერთიანი ევროპული ცის საჰაერო მოძრაობის მართვის კვლევის პროექტი (SESAR). თანამედროვე მიდგომები დღეისათვის არსებული საჰაერო სივრცის გამტარუნარიანობის 300%-ით გაზრდის შესაძლებლობას იძლევა, რაც საგრძნობლად შეამცირებს დაყოვნებების დროს, როგორც მიწაზე, ისე ჰაერში და შეამცირებს დანახარჯებს, ასევე საჰაერო სივრცის უფრო ეფექტურად გამოყენების საშუალებას მოგვცემს. პროექტ SESAR-ის მიზნების რეალობაში განსახორციელებლად დიდ როლს სწორედ 4D ტრაექტორიის დანერგვა თამაშობს. 4D ტრაექტორიის კონცეფცია საჰაერო ხომალდებსა და ყველა მიწისზედა საშუალებას შორის ინფორმაციის სწრაფ და საიმედო გადაცემას მოითხოვს, რათა ეფექტურად იქნეს გამოყენებული საჰაერო ხომალდის შესახებ არსებული ინფორმაციის სრული სპექტრი. ამ მიზნით ინერგება ფართო ინფორმაციის მართვის სისტემა (SWIM). SWIM-ის მუშაობის პრინციპი საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ძირითადად 4D ტრაექტორიის გამოყენებაზეა ორიენტირებული. დღეისათვის არსებული 3D ტრაექტორიისგან განსხვავებით 4D ტრაექტორიის უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ ფრენის ნებისმიერი მომენტისთვის შესაძლებელი იქნება საჰაერო ხომალდის ზუსტი ფიზიკური მდებარეობის განსაზღვრა. სამომავლოდ საჰაერო სივრცის მომხმარებლები განსაზღვრავენ მათთვის იდეალურ 4D ტრაექტორიას, შემდეგ კოლექტიური გადაწყვეტილების მიმღები ხელსაწყოები შეადარებენ არსებულ მონაცემებს საჰაერო სივრცისა და აეროპორტის გამტარუნარიანობასთან და განისაზღვრება საბოლოო ტრაექტორია და იქმნება მოქმედების ბადე. მოქმედების ბადე ისე უნდა იყოს ოპტიმიზებული, რომ მაქსიმალურად ეფექტურად იქნეს გამოყენებული აეროპორტის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლები. სწორედ ამიტომ 4D ტრაექტორიის პროგნოზირება მოფრენისა და დასაფრენად შემოსვლის მომენტში ასეთი მნიშვნელოვანი.

4D ტრაექტორია განსაზღვრავს გრძედს, განედს, სიმაღლეს და დროს სამარშრუტო წერტილებში ფრენის ტრაექტორიის გასწვრივ და გვიჩვენებს თუ როგორ იცვლის საჰაერო ხომალდი ტრაექტორიას დროის ნებისმიერ მომენტში, რაც

საშუალებას იძლევა წინასწარ განისაზღვროს საჰაერო სივრცისა და აეროპორტის გამტარუნარიანობა და ზრდის მათი მუშაობის ეფექტურობის დონეს.

2.5.1. ტრაექტორიის განსაზღვრა

საჰაერო ხომალდების მოძრაობის მოდელირების მრავალი განსხვავებული მეთოდი არსებობს, მათ შორისაა: სამიეზო ცხრილები, კინეტიკური მოდელები და კინემატიკური მოდელები.

სამიეზო ცხრილების ინფორმაციის წყაროს საჰაერო ხომალდის ესპლუატანტის მიერ გამოყენებული სიმაღლის მატებისა და შემცირების ცხრილები წარმოადგენენ. ვერტიკალური პროფილი რამდენიმე სიმაღლის მნიშვნელობებადაა დაყოფილი და თითოეულს კონკრეტული მუდმივი სიჩქარე შეესაბამება. სამიეზო ცხრილები, როგორც წესი რეალიზაციისთვის მარტივია მაგრამ ძლიერ არაზუსტ მეთოდს წარმოადგენენ.

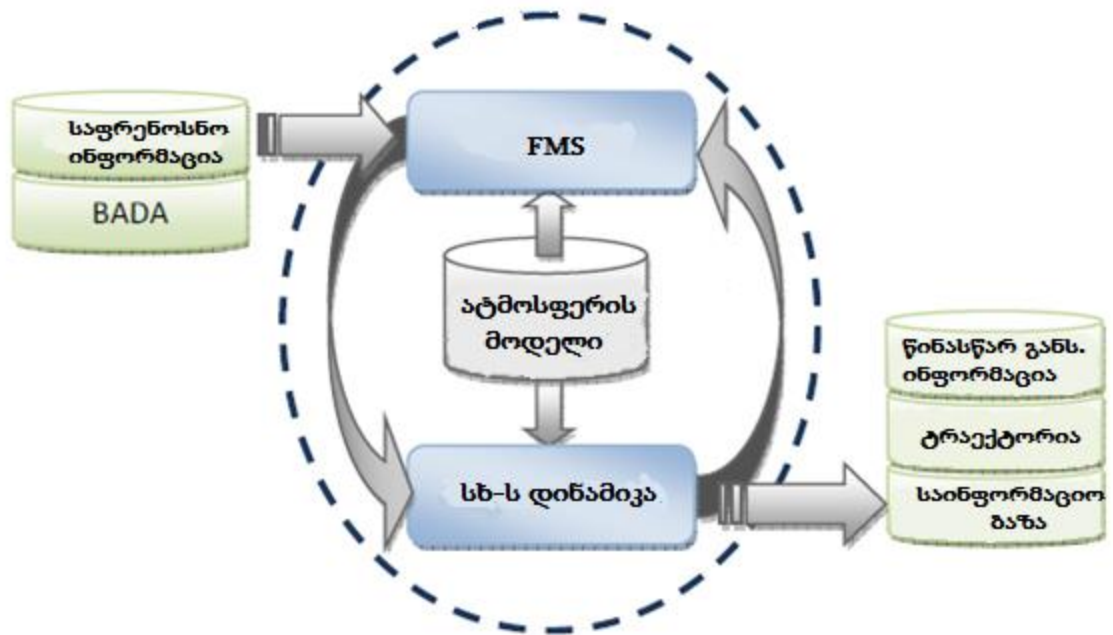
კინეტიკური მოდელი, როგორცაა ევროკონტროლის საჰაერო მონაცემთა ბაზა (BADA), გამოიყენება ფრენის კურსის მცირე კუთხეების დროს, რაც ძლიერ ამარტივებს რთულ დიფერენციალურ გამოთვლებს. კინეტიკური მოდელირება წერტილოვანი მასის მოდელზეა დაფუძნებული.

ნახ.2.6-ზე წარმოდგენილია ტრაექტორიის პროგნოზირების მოდელის მიმოხილვა. ძირითად ნაწილს, ტრაექტორიის მექანიზმი წარმოადგენს, რომელიც ორი უწყეტად ურთიერთმოქმედი სისტემისგან შედგება, ესენია: საჰაერო ხომალდის დინამიკის სისტემა, რომელიც დაფუძნებულია ექვს ცვალებად მდგომარეობაზე.

მეორე კი ფრენის მართვის სისტემას წარმოადგენს, რომელიც საჰაერო ხომალდის კონკრეტული მდებარეობის, ფრენის სცენარის, ექსპლუატაციის პროცედურებისა და შეზღუდვების, ასევე სხვა რიგი ფაქტორების საფუძველზე შემავალი ინფორმაციის სისწორეს უზრუნველყოფს.

ატმოსფერული მოდელი ინფორმაციას გვაწვდის საჰაერო ხომალდის კონკრეტული სიმაღლისთვის ჰაერის ტემპერატურის შესახებ, ინფორმაციას საჰაერო ხომალდის მუშაობის სწორი გამოთვლებისთვის. ატმოსფერულ მოდელს ასევე შეუძლია ინფორმაცია მოგვაწოდოს ქარის სიჩქარესთან დაკავშირებით.

ფრენის სცენარი საჰაერო ხომალდის მიზნის შესახებ ძირითად ინფორმაციას უზრუნველყოფს. იგი შედგება ტრაექტორიის ცვლილების წერტილებისგან, რომლებიც სივრცეში იმ წერტილებს წარმოადგენენ, სადაც იცვლება სხ-ს მდგომარეობა (მაგალითად კურსი, სიჩქარე, სიმაღლე). თითოეული წერტილი დაკავშირებულია მოსვლის სავარაუდო დროსთან, რაც კონკრეტულ წერტილში საჰაერო ხომალდის სიჩქარის გამოთვლის საშუალებას იძლევა. ფრენის განმავლობაში შესაძლებელია ფრენის სცენარის განახლება ახალი ინფორმაციისა და გარემო პირობების ცვლილებების შესაბამისად.



ნახ.2.7 ტრაექტორიის პროგნოზირების მოდელის ფუნქციური სქემა

BADA უზრუნველყოფს მონაცემებსა და საფრენოსნო მახასიათებლების გამოთვლის მეთოდებს ასეულობით ტიპის საჰაერო ხომალდებისთვის. რაც ყველაზე მთავარია, იგი უზრუნველყოფს იმ მეთოდებით, რომლებიც საჭიროა ზუსტი ტრაექტორიის გამოსათვლელად, მეთოდები დაფუძნებულია ავიაკომპანიების საექსპლუატაციო მონაცემებზე.

2.5.2. საჰაერო ხომალდის დინამიკა

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის სიმულაციური მიზნებისთვის საჰაერო ხომალდი შესაძლებელია ადეკვატურად მოდელირებული იქნეს წერტილოვანი მასის მოდელით, ექვსი ცვლადის (x), სამი შესაყვანი ცვლადისა (u) და სამი ხელშემშლელის (w) მეშვეობით.

პირველი სამი ცვლადი მონაცემი წარმოადგენს x და y კოორდინატებსა და სიმაღლეს (h), ამ სამი ცვლადის ცვლილება პროგნოზირებად ტრაექტორიას განსაზღვრავს. დანარჩენი სამი ცვლადი, ესენია: ჭეშმარიტი სიჩქარე (TAS) V , კურსი Ψ და საჰაერო ხომალდის მასა- m .

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6] = [x \ y \ h \ V \ \Psi \ m] \quad (21)$$

შესაყვანი ცვლადებია: ძრავას წევის ძალა (T), დაგვერდების კუთხე (ϕ) და ფრენის ტრაექტორიის კუთხე (γ). ამ სამ ცვლადთან ერთად შესაძლებელია შემოტანილ იქნეს წინააღმდეგობის კოეფიციენტი C_p

$$u = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4] = [T \ \phi \ \gamma \ C_p] \quad (22)$$

სამი ხელშემშლელი ქარის სიჩქარის სამ ვექტორს წარმოადგენს, რომლებიც კოორდინატთა ღერძების პარალელურადაა მიმართული.

$$w = [w_1 \ w_2 \ w_3] = [w_x \ w_y \ w_z]. \quad (23)$$

ცვლადების შეყვანის, ცვლადებისა და ხელშემშლელების ვექტორების განსაზღვრის შემდეგ საჭირო ხომალდის მოძრაობის დასაფიქსირებლად შესაძლებელია არაწრფივი მართვის სისტემის გამოყენება

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_4 \cos(x_5) \cos(u_3) + w_1 \\ x_4 \sin(x_5) \cos(u_3) + w_2 \\ x_4 \sin(u_3) + w_3 \\ - \left[\left(\frac{u_4 S \rho}{2} \right) \cdot \left(\frac{x_4^2}{x_6} \right) \right] - [g \sin(u_3)] + \left(\frac{u_1}{x_6} \right) \\ \left[\left(\frac{C_L S \rho}{2} \right) \cdot \left(\frac{x_4}{x_6} \right) \right] \cdot \sin(u_2) \\ - \eta \cdot u_1 \end{bmatrix} = f(x, u, w) \quad (24)$$

სისტემა იყენებს შეყვანის ცვლადებს და ხელშემშლელებს, ასევე საჭირო ხომალდის ფრთის ზედაპირის ფართობს-S, ჰაერის სიმკვრივეს-ρ, თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას-g, აეროდინამიკურ წევას- C_L და საწვავის ხარჯის კოეფიციენტს- η.

2.5.3. ფრენის მართვის სისტემა

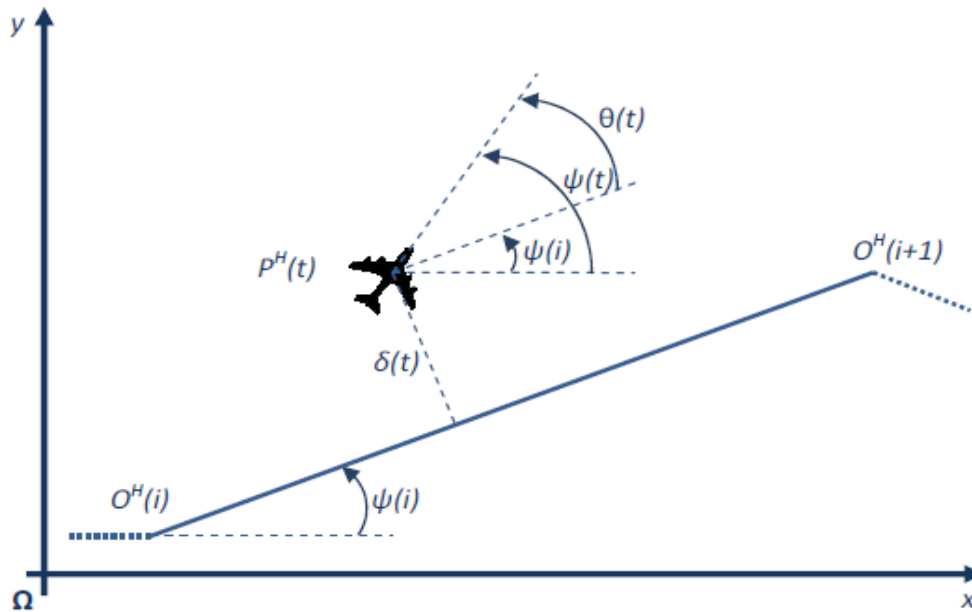
ფრენის მართვის სისტემის მოდელის ძირითადი დანიშნულებაა განსაზღვროს თუ როგორ უნდა შეიცვალოს შეყვანის ცვლადები, რომ საჭირო ხომალდის მოძრაობის ტრაექტორია მიჰყვეს ფრენის სცენარს. როგორც უკვე აღინიშნა შეყვანის ცვლადებია ძრავას წევის ძალა (T), დაგვერდების კუთხე (φ), ტრაექტორიის კუთხე (γ) და წინააღმდეგობის კოეფიციენტი C_p . საჭიროა FMS-ის მოდელმა გამოთვალოს საჭირო ხომალდის ტრაექტორია და სიჩქარე და შემდეგ გამოთვალოს იმ ცვლადების მნიშვნელობები, რომლებიც საჭიროა შეყვანილ იქნეს რათა გამოსწორდეს სხვაობა საჭირო ხომალდის რეალურ ტრაექტორიასა და ფრენის სცენარს შორის.

2.5.4. საჭირო ხომალდის მდებარეობა

ჰორიზონტალურ სიბრტყეში საჭირო ხომალდის მდებარეობა სასურველი ტრაექტორიის მიმართ შესაძლებელია ორი ცვლადის მეშვეობით იყოს გამოსახული: გადამკვეთი ტრასის შეცდომა (CTE) და კურსის შეცდომა (HE). CTE - ეს არის მანძილი საჭირო ხომალდიდან სასურველი ტრაექტორიის უახლოეს წერტილამდე, ხოლო HE-ეს არის სხვაობა საჭირო ხომალდის რეალურ კურსსა და სასურველ კურსს შორის.

ნახ.2.7 -ზე $P^H(t)$ ვექტორი რაიმე t დროისთვის საჭირო ხომალდის მდებარეობას ასახავს, $O^H(i)$ და $O^H(i+1)$ ტრაექტორიის ცვლილების წერტილებია (TCP) i და i+1 მომენტებისთვის. კურსის შეცდომა $\theta(t)$ შესაძლებელია მარტივად იქნეს

გამოთვლილი, რეალური კურსის სასურველ კურსთან შედარებით: $\theta(t) = \Psi(t) - \Psi(i)$. გადამკვეთი ტრასის შეცდომა, $\delta(t)$ გამოითვლება შემდეგნაირად: $\delta(t) = [-\sin \Psi(i) \cos \Psi(i)] \times O^H(i)P^H(t)$, სადაც $O^H(i)P^H(t) = \Omega P^H(t) - \Omega O^H(i)$.



ნახ.2.8 გადამკვეთი ტრასის შეცდომა და კურსის შეცდომა

იმისათვის, რომ გავიგოთ საჭაერო ხომალდმა უნდა მოუმატოს სიჩქარეს, შეამციროს სიჩქარე, თუ შეინარჩუნოს არსებული სიჩქარე სხ-ს რეალური სიჩქარე შეედრება წინასწარ გამოთვლილს. წინასწარ გამოთვლილი სიჩქარე V_{nom} , ეს არის ჭეშმარიტი სიჩქარე, რომელიც საჭაერო ხომალდს სჭირდება ტრაექტორიის ცვლილების წერტილთან მისაღწევად განსაზღვრულ დროში. იგი შესაძლებელია ადვილად გამოითვალოს TCP-მდე დარჩენილი მანძილის შეფარდებით დარჩენილ დროსთან, რა თქმა უნდა, ქარის გათვალისწინებით.

როდესაც საჭაერო ხომალდის მდებარეობა სასურველი ტრაექტორიის მიმართ განსაზღვრულია, FMS-იმ უნდა გადაწყვიტოს ოთხი შესაყვანი ცვლადიდან რომელი შეცვალოს და რამდენად. შემავალი ნომერი ოთხი, წინააღმდეგობის კოეფიციენტი C_D , ყველაზე ადვილი დასარეგულირებელია. BADA-ს თანახმად, C_D იცვლება სხ-ს კონფიგურაციის ცვლილებისას, როდესაც იცვლება შასის ან ელერონების მდგომარეობა, ეს კი დამოკიდებულია თუ რა სიმაღლეზე იმყოფება სხ დედამიწის ზედაპირიდან. BADA-ს მიხედვით გაწერილია თუ რა სიმაღლეზე უნდა იქნეს გამოყენებული ფიქსირებული C_D . დანარჩენი შესაყვანი ცვლადები შესაძლებელია ორ ჯგუფად დაიყოს: წევისა და ტრაექტორიის კუთხე (სიმაღლის მომატებისა და სიჩქარის კონტროლისთვის) და დაგვერდების კუთხე (ჰორიზონტალური მდგომარეობის გასაკონტროლებლად).

ჰორიზონტალური ფრენისას, ტრაექტორიის კუთხის მნიშვნელობა მიჩნეულია ნულად. ტრაექტორიის კუთხის ცვლილებისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა

მიექცეს იმ ფაქტს, რომ არ დაირღვეს მაქსიმალური აჩქარების გადამეტება, რომელიც გათვალისწინებულია BADA-ში, მაქსიმალური აჩქარება გაცილებით მცირეა იმ მაქსიმალურ აჩქარებაზე, რომელიც სხ-ს სახელმძღვანელოშია მოცემული რათა გათვალისწინებული იქნეს მგზავრების კომფორტული ფრენა.

მაქსიმალური ასაფრენი და ამწევი წევის ძალა შესაძლებელია გამოთვლილ იქნეს BADA-ს მეშვეობით. როდესაც სხ მიფრინავს თანაბრად და საჭიროებს აჩქარებას, მან არ უნდა გამოიყენოს იმაზე მეტი წევის ძალა, რომელიც სხ-ს ააჩქარებდა იმაზე მეტად ვიდრე BADA-შია დადგენილი.

საჰაერო ხომალდის მუდმივი სიჩქარით სიმაღლის ცვლილებისას ენერგიის განაწილების კოეფიციენტი (ESF) გამოიყენება იმის განსაზღვრისთვის, თუ რა ენერგია დაიხარჯება სიჩქარის შესანარჩუნებლად, დანარჩენი კი გამოიყენება სიმაღლის გასაზრდელად ან შესამცირებლად. ESF გამოითვლება სიჩქარის შენარჩუნების რეჟიმისა და ტროპოსფეროში მდებარეობის მიხედვით, მაგალითად, როდესაც სხ ჩქარდება ფრენისას ან ნელდება სიმაღლის შემცირებისას ESF ყენდება 0.3-ზე, ხოლო საჰაერო ხომალდისათვის რომელიც ჩქარდება სიმაღლის შემცირებისას ან ნელდება სიმაღლის მატებისას ESF ყენდება 1.7-ზე.

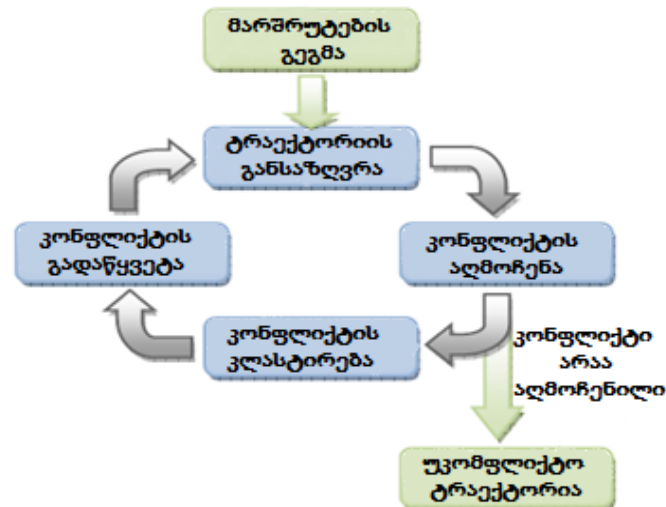
2.5.5. კონფლიქტების აღმოჩენა და მოგვარება

კონფლიქტების ავტომატურ აღმოჩენასა და მოგვარებას დიდი მნიშვნელობა გააჩნია საჰაერო მოძრაობის მოდელირებისთვის, ვინაიდან ავიაშემთხვევებისათვის გადატვირთული მოძრაობის გამო დამხმარე სისტემების გარეშე მუშაობა შეუძლებელი იქნებოდა. კონფლიქტების მოგვარების მეთოდები შესაძლებელია სამ კლასად დაიყოს: პირველი კლასი, გადაწყვეტილების მიღების ოპტიმიზირება საშუალებას იძლევა შემცირდეს საწვავის დანახარჯი, დრო ან გავლილი მანძილი. მეორე კლასი ეს არის გარკვეულ წესებზე დაფუძნებული კონფლიქტის მოგვარების მეთოდები, ამ შემთხვევაში კონფლიქტის მოგვარება წინასწარ გაწერილი წესების მეშვეობით ხორციელდება. მესამე კლასი დაფუძნებულია ძალის ველის თეორიაზე, რომელიც გულისხმობს, რომ საჰაერო ხომალდი დაფრინავს გარკვეულ ძალის ველში, რომელიც მიიზიდება დანიშნულების ადგილისკენ და განიზიდება სხვა საჰაერო ხომალდისგან.

ძალის ველის თეორიის მეთოდები რთულ გამოთვლებს ითვალისწინებენ, რომლებიც გვაძლევენ შედეგებს ერთი ან რამდენიმე წყვეტით, რაც მათ გამოყენებას რეალურ სხ-ზე გამოუსადეგარს ხდიან. წესებზე დაფუძნებული კონფლიქტის მოგვარების მეთოდები მრავალი წესის არსებობას ითხოვენ, რომელთა მეშვეობით ყველა შესაძლო ვარიანტი უნდა იყოს გათვალისწინებული. ეს კი არაპრაქტიკულია, თანაც შესაძლებელია წესებზე დაფუძნებული მეთოდები საფრთხის შემცველი გახდეს, როდესაც ერთი და იგივე საჰაერო ხომალდისათვის ორი სხვადასხვა წესი იქნება გამოყენებული მისი მდებარეობის შესახებ არასრული ინფორმაციის გამო.

კონფლიქტების მოგვარების ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს გენეტიკური ალგორითმებისა და წინასწარ განსაზღვრული მანევრების გამოყენება, რათა მიღებულ იქნეს ოპტიმალურად სწორი გადაწყვეტილება.

ნახაზზე 2.9 წარმოდგენილია კონფლიქტების აღმოჩენისა და მოგვარების ალგორითმი



ნახ.2.9. კონფლიქტების აღმოჩენისა და მოგვარების ალგორითმი

გენეტიკური ალგორითმის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს გამოთვლების სირთულე და ის ფაქტი, რომ შესაძლებელია ერთი და იგივე პრობლემისთვის ორი გადაწყვეტილება მივიღოთ. ამის გამო გენეტიკური ალგორითმი კონფლიქტების მოგვარების საბოლოო სისტემებში არ გამოიყენება. მაგრამ მათი გამოყენება კონფლიქტების ცენტრალიზებული მოგვარებისთვის და სწრაფი მოდელირებისთვის, დასაშვებია.

თავი III

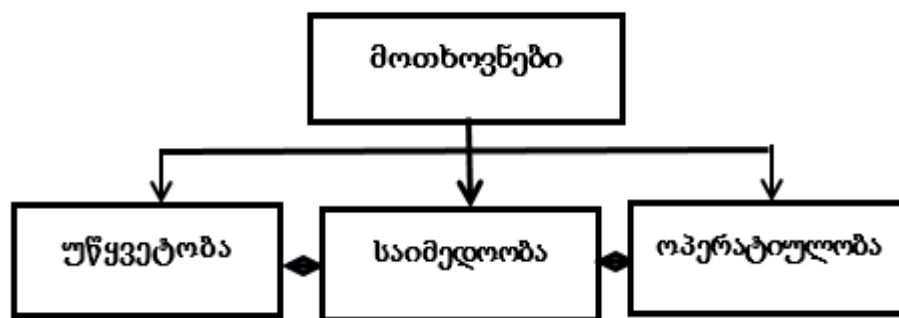
საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ონტოლოგიური მოდელის გამოყენება საიმედოობის გაუმჯობესების მიზნით

3.1. საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობა [2,29, 30]

თანამედროვეობის ერთ-ერთი დამახასიათებელი ნიშანია - სულ უფრო მეტად რთული ტექნიკური სისტემების შექმნა და გამოყენება. ასეთი სისტემების ეფექტურობა, ანუ უნარი ოპერატიულად და ხარისხიანად შეასრულოს მათ წინაშე დასახული ამოცანები, ბევრად განისაზღვრება მათი საიმედოობით - სისტემის უნარით იმუშაოს მტყუნების გარეშე საჭირო ვადის განმავლობაში და მოცემულ პირობებში.

საავიაციო ტექნიკის მტყუნება იწვევს დროის, ძალებისა და საშუალებების დიდ დანაკარგებს აღდგენითი სამუშაოების და მათთან დაკავშირებული მოცდენის, აგრეთვე დასახული ამოცანის არშესრულებით გამოწვეული ზიანის გამო.

ნახაზზე 3.1 წარმოდგენილია ის მოთხოვნები, რომლებიც უნდა დააკმაყოფილოს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემამ გამართულად მუშაობისას.



ნახ. 3.1 საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემისადმი წაყენებული მოთხოვნები

საჰაერო მოძრაობის მართვის საიმედოობა ეს არის ფრენების ხელმძღვანელებისა და მართვის შესაბამისი პერსონალის უნარი შეასრულონ თავიანთი ფუნქციური მოვალეობები დროულად და ოპერატიულად, სწრაფად ცვალებადი ვითარების პირობებში. ეს კი მიიღწევა საჰაერო მოძრაობის მართვის ხელმძღვანელებისა და მართვის შესაბამისი პერსონალის პროფესიონალიზმის მაღალი დონით, საკმარისი კომპეტენციების ფლობისა და უფლება-მოვალეობების ზუსტი შესრულებით.

საიმედოობა თანამედროვე საავიაციო ტექნიკის ცენტრალური პრობლემაა და საერთო სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობა აქვს. საიმედოობის პრობლემა თავისი არსით არის კომპლექსური და სისტემურ-ტექნიკური, ვინაიდან ის უშუალოდაა

დაკავშირებული ტექნიკის დაპროექტების, საცდელი დამუშავების, წარმოებისა და ექსპლუატაციის პროცესებთან. ამ პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით იქმნება სპეციალური ლაბორატორიები, ხოლო ის სპეციალისტები, რომლებიც უშუალოდ დაკავებულნი არიან რთული სისტემების დაპროექტებით, წარმოებითა და ექსპლუატაციით, ხშირად მიმართავენ საიმედოობის თეორიას. საიმედოობის თეორია არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ტექნიკური მოწყობილობების მტყუნებების წარმოქმნის კანონზომიერებებს. იმ ზოგადი მეთოდების ერთობლიობა, რომელიც საშუალებას იძლევა შეიქმნას მაღალი საიმედოობის ტექნიკური მოწყობილობები და გათვლილ იქნეს მათი საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩვენებლები, საიმედოობის თეორიის საფუძველს წარმოადგენს.

საიმედოობის ცნება წარმოიშვა პრაქტიკის მოთხოვნებიდან სწრაფ ტექნიკურ პროგრესთან დაკავშირებით და უპირველეს ყოვლისა, იმ რთული ავტომატური სისტემების გამოჩენასთან დაკავშირებით, რომლებიც კომპიუტერულ ტექნიკაზეა დაფუძნებული.

ასეთი სისტემების ტექნიკური ექსპლუატაციისას შესწავლილ უნდა იქნეს:

- საიმედოობის კრიტერიუმები და რიცხობრივი მახასიათებლები;
- საიმედოობის ანალიზის მეთოდები;
- საიმედოობის კრიტერიუმების მიხედვით რთული ტექნიკური სისტემების სინთეზის მეთოდები;
- საიმედოობის ამაღლების მეთოდები;
- ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის მეცნიერული მეთოდები საიმედოობის გათვალისწინებით.

რთული ავტომატური სისტემების შექმნასთან ერთად წარმოიქმნა საჭიროება საიმედოობა განვიხილოთ როგორც სისტემის ტექნიკური პარამეტრი მდგრადობის, გარდამავალი პროცესების ხარისხის და სიზუსტის მსგავსად.

პირობითად, საიმედოობის პრობლემაში შეიძლება გამოვყოთ ორი მიმართულება: საიმედოობის უზრუნველყოფა და მისი გამოთვლა. თუ პირველი მიმართულება ეფუძნება ტრადიციულ საკონსტრუქტორო და ტექნოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტას, მეორე დაკავშირებულია სპეციალური მათემატიკური მოდელების გამოყენებასთან.

საიმედოობის უზრუნველყოფის პრობლემა შემდეგ ამოცანებს შეიცავს:

- ტექნიკის დაპროექტების სტადიაზე საიმედოობის ანალიზის თეორიული მეთოდების შემუშავება;
- ცდების შედეგების მიხედვით საიმედოობის მაჩვენებლების არჩევა და შეფასება;
- ფიზიკური პროცესების შესწავლა, რომლებიც აპარატურის მტყუნებას იწვევს;

- საუკეთესო სქემური გადაწყვეტილებების ექსპერიმენტული და კონსტრუქციული მიღება;
- წარმოების ორგანიზაცია და ტექნოლოგია;
- იმ უამრავი საექსპლუატაციო ფაქტორების გათვალისწინება, რომლებიც მოიცავს ტექნიკური პერსონალის მომზადებას და საინჟინრო ფსიქოლოგიას.

საიმედოობის თეორიის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასების მეთოდების შემუშავება, აგრეთვე შესაქმნელი და ექსპლუატაციაში მყოფი სისტემების საიმედოობის საჭირო დონის უზრუნველყოფის რაციონალური მეთოდების განსაზღვრა. საიმედოობის რაოდენობრივი გამოკვლევის მეთოდების გამოყენება უზრუნველყოფს:

- მოთხოვნების მეცნიერულ დასაბუთებას, რომლებსაც ტექნიკის ახლად შესაქმნელი ნიმუშები უნდა პასუხობდეს;
- სისტემების დაპროექტებას საიმედოობის საჭირო დონით;
- ნაკეთობების შემუშავებაზე ეკონომიკური ხარჯებისა და დროის შემცირების გზების დასაბუთებას;
- საიმედოობის უზრუნველყოფის ყველაზე უფრო ეფექტური ღონისძიებების არჩევას და დასაბუთებას სისტემის დაპროექტების, საკონსტრუქციო დამუშავების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის ეტაპებზე;
- ექსპლუატაციაში მყოფი ტექნიკის ტექნიკური მდგომარეობის ობიექტურ შეფასებას;
- მეცნიერულად დასაბუთებული რეკომენდაციების შემუშავებას, რომლებიც მიმართულია საავიაციო ტექნიკისა და მისი ექსპლუატაციის მეთოდების გაუმჯობესებაზე.

3.1.1. საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები

საიმედოობა არის აპარატურის თვისება შეინარჩუნოს თავისი გამომავალი მახასიათებლები (პარამეტრები) განსაზღვრულ ზღვრებში ექსპლუატაციის მოცემულ პირობებში. ამ განსაზღვრებიდან გამომდინარეობს, რომ საიმედოობა არის აპარატურის შინაგანი თვისება ობიექტური რეალობა, რომელიც ახასიათებს აპარატურის მოცემულ ნიმუშს. საიმედოობის განსაზღვრებიდან აგრეთვე გამომდინარეობს, რომ არასაიმედოდ ითვლება არა მარტო ის სისტემა, რომელმაც განიცადა მექანიკური ან ელექტრული დაზიანება, არამედ ისიც რომლის პარამეტრები გავიდა დასაშვებ ზღვრებს გარეთ. საიმედოობის ზემოთ მითითებული განსაზღვრება არასაკმარისია, ვინაიდან ის არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ:

- გამოთვლილ იქნეს საიმედოობა;
- აპარატურისთვის ფორმულირებულ იქნეს საიმედოობისადმი წაყენებული მოთხოვნები;
- მოხდეს სხვადასხვა სისტემების საიმედოობის შედარება;

- სისტემის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის გამოთვლილ იქნეს მუშაობის ვადა და სათანადო ელემენტების საჭირო რაოდენობა;
- დაისახოს საიმედოობის ამაღლების გზები.

საიმედოობა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რომელთაგან უმრავლესობა შემთხვევითია. საიმედოობის გაზომვა შეუძლებელია, ვინაიდან არ არსებობს ხელსაწყო, რომელსაც შეუძლია უჩვენოს მოცემული კონკრეტული ნიმუშის საიმედოობის სიდიდე. აქედან გამომდინარეობს, სრულად რომ შევაფასოთ სისტემის ისეთი თვისება, როგორიცაა საიმედოობა, შეიძლება მხოლოდ კრიტერიუმთა დიდი რიცხვის საშუალებით. ამ კრიტერიუმების რაოდენობრივ მნიშვნელობას საიმედოობის რაოდენობრივ მახასიათებელს სისტემის ტექნიკურ პარამეტრი წარმოადგენს. ასეთი რაოდენობრივი მახასიათებლებია:

- მტყუნებების ინტენსიურობა $\lambda(t)$;
- მტყუნებათა სიხშირე $\alpha(t)$;
- უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $P(t)$;
- უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო T .

განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

1. მტყუნებათა ინტენსიურობა

მტყუნებათა ინტენსიურობა ეწოდება აპარატურის მტყუნებული ნიმუშების რიცხვის ფარდობას იმ ნიმუშების საშუალო რიცხვთან, რომლებიც მოცემულ მომენტში წესიერულად მუშაობენ იმ პირობით, რომ მტყუნებული ნიმუშების აღდგენა არ ხდება და არც მათი ახლით შეცვლა არ ხდება.

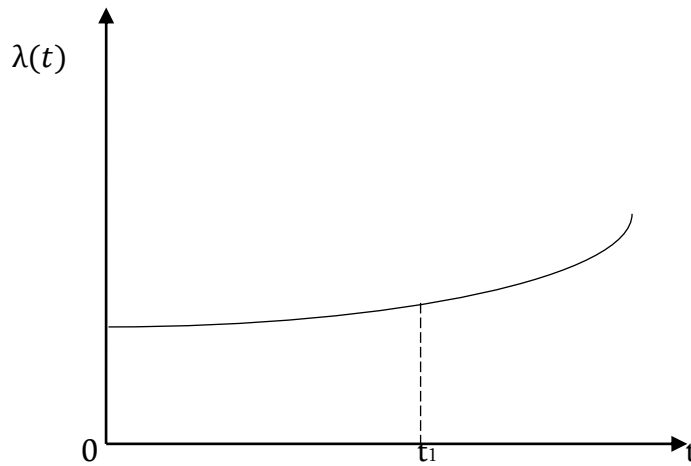
მტყუნებათა ინტენსიურობა განისაზღვრება

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{\text{საშ}} \Delta t},$$

სადაც

$n(t)$ არის მტყუნებული ნიმუშების რიცხვი დროის ინტერვალში $t - \frac{\Delta t}{2}$ დან $t + \frac{\Delta t}{2}$ - მდე; Δt -დროის ინტერვალი; $N_{\text{საშ}}$ - იმ ნიმუშების რიცხვი, რომლებიც წესიერულად მუშაობს Δt დროის ინტერვალში.

აპარატურის მტყუნებათა ინტენსიურობის დროში ცვლილების ტიპური მრუდი ნაჩვენებია ნახ. 3.2-ზე. ეს მრუდი დამახასიათებელია მყისიერი მტყუნებებისათვის, როდესაც აპარატურაში ფართოდაა გამოყენებული რადიოელექტრონიკის ელემენტები.



ნახ.3.2 მტყუნებათა ინტენსიურობის ტიპური დამოკიდებულება დროზე

მრუდს აქვს ორი დამახასიათებელი უბანი: ნორმალური მუშაობის უნარი 0-დან t_1 -მდე და დამღევის უბანი t_1 -ის შემდეგ. დამღევის უბანი ხასიათდება მტყუნებათა ინტენსიურობის მკვეთრი ზრდით, რაც ელემენტების მექანიკური და ელექტრული ცვეთით აიხსნება.

2. მტყუნებათა სიხშირე

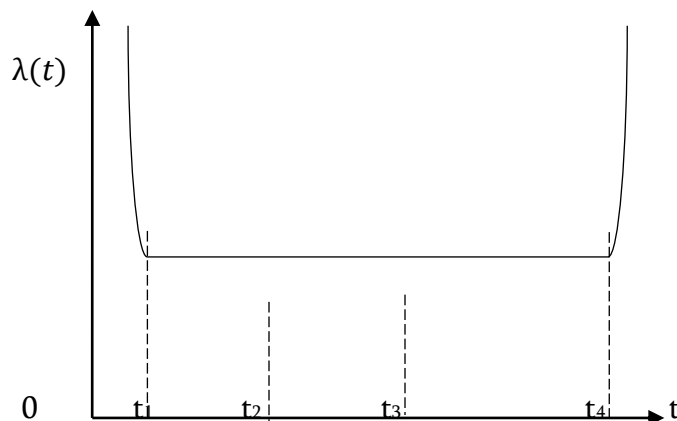
მტყუნებათა სიხშირე ეწოდება აპარატურის დროის ერთეულში მტყუნებული ნიმუშების რიცხვის ფარდობას ნიმუშების იმ რიცხვთან, რომელიც თავიდან იყო ცდაზე დაყენებული იმ პირობით, რომ მტყუნებული ნიმუშების აღდგენა და შეცვლა არ ხდება.

მტყუნების სიხშირე დროის ფუნქციაა და აღინიშნება $\alpha(t)$. განსაზღვრების თანახმად

$$\alpha(t) = \frac{n(t)}{N_0 \Delta t}, \text{ სადაც}$$

$n(t)$ არის მტყუნებული ნიმუშების რიცხვი დროის ინტერვალში; $t - \frac{\Delta t}{2}$ დან $t + \frac{\Delta t}{2}$ - მდე; Δt - დროის ინტერვალი; N_0 - აპარატურის ნიმუშთა რიცხვი, რომელიც ცდის დასაწყისში იყო.

აპარატურის მტყუნებების სიხშირის დროში ცვლილების მრუდი მოყვანილია ნახ. 3.3-ზე.



ნახ.3.3 აპარატურის მტყუნებათა სიხშირის დროში დამოკიდებულების მრუდი

0-დან t_1 - მდე უბანზე მტყუნებათა სიხშირე მცირეა. ეს უბანი ახასიათებს აპარატურის ნორმალურ მუშაობას, t_1 -დან t_2 -მდე უბანი ხასიათდება მტყუნებათა სიხშირის მკვეთრი ზრდით, რაც ელემენტების მექანიკური და ელექტრული ცვეთით აიხსნება.

მტყუნებათა სიხშირის შემცირება t_2 -ის შემდეგ აიხსნება არა აპარატურის საიმედოობის ზრდით, არამედ ამ დროისათვის წესიერულად მომუშავე ნიმუშების მცირე რაოდენობით, რის შედეგად მტყუნებულ ნიმუშთა $n(t)$ რიცხვი Δt დროის ინტერვალში მცირე ხდება.

3.უმტყუნო მუშაობის ალბათობა

აპარატურის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა ეს არის იმის ალბათობა, რომ აპარატურა დაიცავს თავის მახასიათებლებს (პარამეტრებს) მოცემულ ზღვრებში გარკვეული დროის განმავლობაში ექსპლუატაციის მოცემულ პირობებში. განსაზღვრების თანახმად სამართლიანია გამოსახულება.

$$P(t)=P(T_1 \geq t) \quad (3.1),$$

სადაც

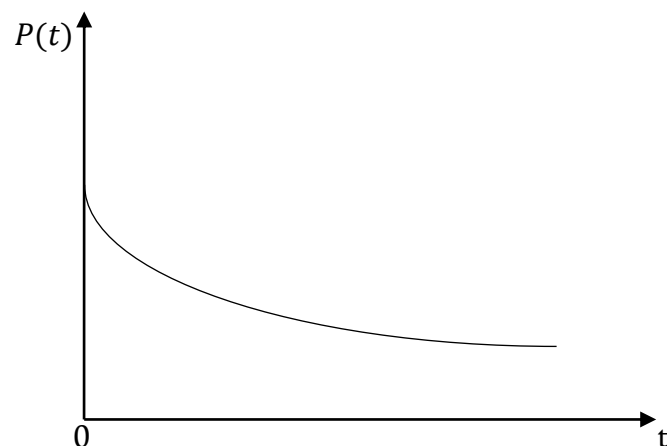
$P(t)$ უმტყუნო მუშაობის ალბათობაა; T_1 -აპარატურის მუშაობის დრო მისი ჩართვის მომენტიდან პირველ მტყუნებამდე.

3.1. გამოსახულებიდან გამოდის, რომ უმტყუნო მუშაობის ალბათობა არის იმის ალბათობა, რომ დრო ჩართვის T_1 მომენტიდან აპარატურის მტყუნებამდე ტოლი ან მეტი იქნება იმ დროისა, რომლის განმავლობაში განისაზღვრება აპარატურის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა.

უმტყუნო მუშაობის ალბათობას, როგორც დროის ფუნქციას, შემდეგი თვისებები აქვს:

1. $P(t)$ არის დროის მიღევადი ფუნქცია.
2. $0 \leq P(t) \leq 1$;
3. $P(0)=1, P(\infty)=0$.

უმტყუნო მუშაობის ალბათობის ამსახველი მრუდი წარმოდგენილია ნახ.3.4-ზე



ნახ. 3.4. სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის ტიპური დამოკიდებულება დროზე

პრაქტიკაში $P(t)$ -ს განსაზღვრისათვის ჩვეულებრივ გამოიყენება ალბათობების უშუალო გამოთვლის მეთოდები. სტატისტიკური მეთოდის გამოყენებისას უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, იქნება:

$$P^x(t) = \frac{n_0 - n(t)}{N_0} \quad (3.2),$$

სადაც N_0 არის აპარატურის ნიმუშთა რიცხვი ცდის დასაწყისში, $n(t)$ - t დროის განმავლობაში მტყუნებულ ნიმუშთა რიცხვი. N_0 ნიმუშთა რიცხვის ზრდისას ალბათობის სტატისტიკური შეფასება $P^x(t)$ მდგრადობას იჩენს, ანუ $P^x(t)$ მცირედით განსხვავდება უმტყუნო მუშაობის ალბათობისაგან $P(t)$:

$$P(t) \approx P^x(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (3.3)$$

პრაქტიკაში ზოგჯერ მოხერხებულია ისეთი მახასიათებელი, როგორიცაა უწყისვრო მუშაობის ალბათობა $Q(t)$. ეს მახასიათებელი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, მაგალითად, რეზერვირებული და არარეზერვირებული სისტემების შედარებისას. სისტემის წესიერული მუშაობა და მტყუნებათა შეუთავსებადი და ურთიერთ საწინააღმდეგო მოვლენებია. უმტყუნო მუშაობისას ალბათობა და მტყუნების ალბათობა დაკავშირებული არიან დამოკიდებულებით:

$$Q(t) = -P(t) \quad (3.4); \quad Q(t) = P(T_1 \leq t) \quad (3.5)$$

3.5 გამოსახულებიდან გამოდის, რომ მტყუნების ალბათობა წარმოადგენს T_1 მუშაობის დროის განაწილების ინტეგრალურ ფუნქციას მტყუნებამდე:

$$Q(t) = F(t) \quad (3.6)$$

განაწილების ინტეგრალური ფუნქციის წარმოებული არის განაწილების დიფერენციალური კანონი (სიმკვრივე):

$$\varphi(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \quad (3.7)$$

მაშინ (2.6)-ის და (2.7)-ის საფუძველზე მივიღებთ

$$\frac{dQ(t)}{dt} = Q'(t) = \varphi(t) \quad (3.8)$$

ანუ მტყუნების ალბათობის წარმოებული არის აპარატურის მტყუნებამდე მუშაობის T_1 დროის განაწილების დიფერენციალური კანონი.

მტყუნების ალბათობის სტატისტიკური განსაზღვრის მიზნით გამოვიყენოთ გამოსახულებები (3.3) და (3.4), ჩავსვათ რა (3.4)-ში $P(t)$ -ს მაგივრად მის მნიშვნელობას, (3.3)-დან მივიღებთ:

$$Q(t) \approx \frac{n(t)}{N_0} \quad (3.9)$$

უმტყუნო მუშაობის ალბათობას $P(t)$, როგორც საიმედოობის რაოდენობრივ მახასიათებელს, აქვს შემდეგი დადებითი მხარეები:

1. ის ახასიათებს საიმედოობის ცვლილებას დროში;
2. ის შედის აპარატურის სხვა ბევრ მახასიათებელში, ამიტომ სასარგებლო შეიძლება იყოს იმ სპეციალისტებისათვის, ვინც დაკავებულია დაპროექტებით, ექსპლუატაციით და რემონტით;
3. უმტყუნო მუშაობის ალბათობა შეიცავს იმ ფაქტების უმრავლესობას, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ აპარატურის საიმედოობაზე და ამიტომ საკმაოდ სრულად ახასიათებენ საიმედოობას;
4. უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $\varphi(t)$ საიმედოობის მოხერხებული მახასიათებელია როგორც მარტივი ელემენტების, ისე რთული სისტემების და კომპლექსებისათვისაც კი.

ამავე დროს უმტყუნო მუშაობის ალბათობას აქვს არსებითი ნაკლოვანებები:

1. ის ახასიათებს აღდგენადი სისტემების საიმედოობას მხოლოდ პირველ მტყუნებამდე. ამიტომ საკმაოდ სრული მახასიათებელია მხოლოდ ერთჯერადი გამოყენების სისტემებისათვის;
2. ის არ იძლევა საშუალებას დახასიათდეს დამოკიდებულება ექსპლუატაციის ციკლის დროით შემადგენლებს შორის. ეს კი შეუძლებელს ხდის დადგინდეს იქნება თუ არა სისტემა მოქმედებისათვის მზად დროის მოცემულ მომენტში;
3. უმტყუნო მუშაობის ცნობილი ალბათობის მიხედვით ზოგჯერ რთულია გამოითვალოს საიმედოობის სხვა რაოდენობრივი მახასიათებლები.

ზემოჩამოთვლილი ნაკლოვანებები საშუალებას იძლევა გაკეთდეს დასკვნა, რომ უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, როგორც სხვა ნებისმიერი მახასიათებელი, არასრულად ახასიათებს ისეთ თვისებას, როგორიცაა საიმედოობა.

4. უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო

აპარატურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო ეწოდება უმტყუნო მუშაობის მათემატიკურ მოლოდინს. საიმედოობის ეს მახასიათებელი აღინიშნება T-თი:

$$T = \int_{-\infty}^{+\infty} t\varphi(t)dt = \int_{-\infty}^{+\infty} tQ'(t)dt.$$

უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის გამოთვლისათვის გამოიყენება ფორმულა (სტატისტიკური მონაცემებიდან):

$$T = \frac{\sum t_i}{N_0},$$

სადაც t_i არის მე-i ნიმუშის უმტყუნო მუშაობის დრო, N_0 - ნიმუშთა რიცხვი.

უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის T ძირითადი დადებითი მხარეა მისი გამოთვლის სიმარტივე ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით.

T-ს გამოთვლისათვის განისაზღვრება N_0 ნიმუშიდან თითოეული მტყუნების დრო. შემდგომ ისინი ექსპერიმენტში არ მონაწილეობენ.

ამრიგად, უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო აპარატურის საიმედოობას ახასიათებს მის პირველ მტყუნებამდე. ეს ნიშნავს, რომ T კარგად ახასიათებს ერთჯერადი გამოყენების აპარატურის საიმედოობას, მაგალითად უმარტივესი ელემენტების, რომლებიც მტყუნების შემდეგ მომენტს არ ექვემდებარება. ხანგრძლივი გამოყენების აპარატურის საიმედოობა ფასდება ნამუშევრით მტყუნებამდე. ეს არის დროის საშუალო მნიშვნელობა მეზობელ მტყუნებებს შორის იმ პირობით, რომ ხდება თითოეული მტყუნებული ელემენტის აღდგენა.

უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $P(t)$ მტყუნებათა სიხშირე $\alpha(t)$ მტყუნებათა ინტენსიურობა $\gamma(t)$ და უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო T . საიმედოობის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლებია, მაგრამ არც ერთი არ არის საიმედოობის ამომწურავი მახასიათებელი. მხოლოდ ყველანი ერთობლივად, ბევრ შემთხვევაში, საკმაოდ სრულად ახასიათებს აპარატურის საიმედოობას მისი მუშაობის დროის განმავლობაში.

3.1.2 საიმედოობის კოეფიციენტები

ზემოთ განხილული საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები საშუალებას იძლევა შევაფასოთ მარტივი ელემენტების და რთული სისტემების საიმედოობა მათი მუშაობის პროცესში. მაგრამ ისინი არ იძლევა საშუალებას დადგინდეს თანაფარდობები ექსპლუატაციის ციკლის დროით შემადგენლებს შორის, კერძოდ, ისინი არ ითვალისწინებს იმ დროს, რომელიც იხარჯება პროფილაქტიკურ ღონისძიებებსა და რემონტზე. ისინი ასევე არ ითვალისწინებს ექსპლუატაციის მოხერხებულობას, ღირებულებას და ა.შ. ამიტომ საჭიროა საიმედოობის დამატებითი რაოდენობრივი მახასიათებლები. ასეთი მახასიათებლები შეიძლება იყოს საიმედოობის კოეფიციენტები. ეს კოეფიციენტები შეიძლება გაერთიანდეს შემდეგ ჯგუფებში:

1. კოეფიციენტები, რომლებიც ახასიათებს თანაფარდობებს მუშაობის დროსა და აპარატურის მოცდების დროს შორის (მზადყოფნის კოეფიციენტი, იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტი, პროფილაქტიკის კოეფიციენტი);
2. კოეფიციენტები, რომლებიც ახასიათებს პროფილაქტიკური ღონისძიებების სიხშირეს;
3. კოეფიციენტები, რომლებიც ახასიათებს მოცემულ აპარატურაში დაყენებული ელემენტების საიმედოობის გავლენას ამ აპარატურის საიმედოობაზე (მტყუნებების კოეფიციენტები, მტყუნებების ფარდობითი კოეფიციენტები, ელემენტების ხარჯების კოეფიციენტი);
4. საიმედოობის სხვადასხვა კოეფიციენტი (მნიშვნელობის კოეფიციენტი, ექსპლუატაციის ღირებულების კოეფიციენტი).

განვიხილოთ ეს კოეფიციენტები.

მზადყოფნის კოეფიციენტი

აპარატურის მზადყოფნის კოეფიციენტი ეწოდება მისი უმტყუნო მუშაობის დროის ფარდობას უმტყუნო მუშაობის დროისა და აღდგენის ჯამურ დროსთან.

აღნიშნოთ ეს კოეფიციენტები $K_{\partial\partial}$ -თი:

$$K_{\partial\partial} = \frac{t_{\partial}}{t_{\partial} + t_{\text{აღ}}},$$

სადაც t_{∂} - აპარატურის უმტყუნო მუშაობის დროა; $t_{\text{აღ}}$ - აღდგენის დრო, ანუ ის დრო, რომელიც იხარჯება აპარატურის პროფილაქტიკაზე და რემონტზე. აღდგენის დროში შენახვის დრო და აპარატურის სამუშაოდ მომზადების დრო მისი მოცდენის შემდეგ არ შედის. ეს იმით აიხსნება, რომ მოცდენის დროით საიმედოობა არ განისაზღვრება. ხოლო მომზადებაზე დახარჯული დრო მცირეა აღდგენის დროსთან შედარებით და ის ნაკლებად ახასიათებს აპარატურის საიმედოობას, ვინაიდან უამრავ ფაქტორზეა დამოკიდებული (ექსპლუატაციის მოხერხებულობა, მომსახურე პერსონალი კვალიფიკაცია და ა.შ).

მზადყოფნის კოეფიციენტის განსაზღვრებიდან ჩანს, რომ ის დამოკიდებულია აპარატურის ექსპლუატაციის იმ დროზე, რომლის განმავლობაში განისაზღვრება $K_{\partial\partial}$.

აპარატურის აღდგენის დრო არსებითადაა დამოკიდებული საიმედოობაზე. რაც უფრო მაღალია საიმედოობა მით უფრო ნაკლები სიხშირით რემონტდება აპარატურა მამასადამე, მით უფრო ნაკლებია აღდგენის დრო. იმის გათვალისწინებით, რომ $K_{\partial\partial}$ წარმოადგენს მტყუნებათა სიხშირის ფუნქციას, ნათელია მზადყოფნის კოეფიციენტი საკმაოდ ღრმად ახასიათებს აპარატურის საიმედოობას.

ვინაიდან $K_{\partial\partial}$ დამოკიდებულია აღდგენის დროზე, ეს კოეფიციენტები ასევე ახასიათებს აპარატურის საექსპლუატაციო ხარისხს (მოხერხებულობა, ექსპლუატაციის ღირებულება და ა.შ) მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაცია და სხვა.

მზადყოფნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება აღდგენის დროზე ხშირად ართულებს აპარატურის საიმედოობის შეფასებას, ვინაიდან მისი სიდიდის მიხედვით შეუძლებელია ვიმსჯელოთ აპარატურის უწყვეტად მუშაობის დროზე.

ზემოთქმულის ასახსნელად შევადაროთ ორი სხვადასხვა კლასის სისტემა რომელთაც ერთნაირი მზადყოფნის კოეფიციენტი აქვთ.

დავუშვათ პირველ სისტემას აქვს მტყუნებათა სიხშირის დიდი მნიშვნელობა (ანუ ნაკლებად საიმედოა), მაგრამ მცირე $t_{\text{აღ}}$ აღდგენის დრო აქვს ა-ს მცირე მნიშვნელობა (ერთობ საიმედოა), მაგრამ დიდი აღდგენის დრო $t_{\text{აღ}}$ (მოუხერხებელია ექსპლუატაციაში). ვთქვათ, რომელიღაც ამოცანის შესრულებისათვის საჭიროა სისტემის ხანგრძლივი უწყვეტი მუშაობა. ამ ამოცანის გადაწყვეტა შეუძლია მეორე სისტემას, ვინაიდან მას შეუძლია იმუშაოს ხანგრძლივად მტყუნების გარეშე. პირველ სისტემას ამ ამოცანის გადაწყვეტა არ შეუძლია იმიტომ, რომ მას ხშირი მტყუნებები ახასიათებს. მიუხედავად იმისა, რომ ეს სისტემა სწრაფად აღდგენადია, ამოცანის

ბოლომდე გადაწყვეტა არ შეუძლია იმის გამო, რომ ყოველი მტყუნების შემდეგ ამოცანის გადაწყვეტა თავიდან უნდა დაიწყოს.

პირველი კლასის აპარატურა მოითხოვს სათადარიგო დეტალების დიდ რიცხვს, მაგრამ მისი მომსახურება შეიძლება შეასრულოს ნაკლებად კვალიფიცირებულმა პერსონალმა და პირიქით, მეორე კლასის სისტემა მოითხოვს უფრო მაღალი კვალიფიკაციის მომსახურე პერსონალის, თუმცა სათადარიგო დეტალების მცირე რიცხვს.

ამრიგად, მზადყოფნის კოეფიციენტების ერთნაირი მნიშვნელობა არ ნიშნავს აპარატურის ერთმნიშვნელობას მისი საიმედოობის, მოხერხებულობის და ექსპლუატაციის ღირებულების თვალსაზრისით.

მზადყოფნის კოეფიციენტი მოხერხებული კოეფიციენტია მხოლოდ ისეთი აპარატურისათვის, რომელიც დანიშნულია ხანგრძლივი უწყვეტი მუშაობისათვის და ამოცანა უნდა გადაწყვიტოს დროის მოკლე მონაკვეთში.

იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტი

იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტი ეწოდება აღდგენის დროის ფარდობას აღდგენის დროისა და უმტყუნო მუშაობის დროის ჯამთან.

$$K_{მოცდ} = \frac{t_{აღ}}{t_{აღ} + t_{უმ}}$$

იძულებითი მოცდენის კოეფიციენტის იგივე ღირსებები და ნაკლოვანებები აქვს, რაც მზადყოფნის კოეფიციენტს.

პროფილაქტიკის კოეფიციენტი

პროფილაქტიკის კოეფიციენტი ეწოდება აღდგენის დროის ფარდობას უმტყუნო მუშაობის დროსთან.

$$K_{პრ} = \frac{t_{აღ}}{t_{უმ}}$$

ხშირად ამ კოეფიციენტს პროფილაქტიკის ნორმას უწოდებენ.

უფრო ხშირად გამოიყენება პროფილაქტიკის სიხშირის კოეფიციენტი K_{ω} ის განისაზღვრება აპარატურის დათვალიერების და რემონტის რიცხვის ფარდობით უმტყუნო მუშაობის დროისა და აღდგენის დროის ჯამთან:

$$K_{\omega} = \frac{n_{დათვ} + n_{რ}}{t_{უმ} + t_{აღ}}$$

პროფილაქტიკის სიხშირე ახასიათებს აპარატურის საიმედოობის და მისი ექსპლუატაციის მოხერხებულობას. ის საშუალებას იძლევა განისაზღვროს პროფილაქტიკური შემოწმებისა და რემონტის რიცხვი. ამასთან დაკავშირებით ის ემატება იმ კოეფიციენტებს, რომლებიც ითვალისწინებს აპარატურის იძულებით

მოცდენას და მათთან ერთად კარგ წარმოდგენას იძლევა აპარატურის საიმედოობისა და ექსპლუატაციის მოხერხებულობის შესახებ.

ელემენტების ხარჯვის კოეფიციენტი

ელემენტების ხარჯვის კოეფიციენტი ეწოდება პროფილაქტიკური შემოწმებების და რემონტის პროცესში დროის ერთეულში მტყუნებული და შეცვლილი ელემენტების რიცხვის შეფარდებას ამ ელემენტების საერთო რიცხვთან აპარატურაში:

$$K_b = \frac{n_i + n_{iშეცვლ.}}{N_i \Delta t},$$

სადაც $n_{iშეცვლ.}$ ის მე- i -ე ტიპის ელემენტთა რიცხვი, რომლებიც შეცვლილ იქნა Δt დროის განმავლობაში პროფილაქტიკური ღონისძიებების და რემონტის პროცესში.

ეს კოეფიციენტი საშუალებას იძლევა განისაზღვროს იმ ელემენტების რიცხვი, რომლებიც საჭიროა აპარატურის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში. ცნობილია რა $K_b(t)$, შეიძლება მეცნიერულად დასაბუთდეს სათანადო ელემენტების შემადგენლობა ნებისმიერი რთული აპარატურისათვის.

ექსპლუატაციის ღირებულების კოეფიციენტი

ეს არის აპარატურის წლიური ექსპლუატაციის ღირებულების ფარდობა მისი დამზადების ღირებულებასთან:

$$K_{jel} = \frac{C_{წელ}}{C_{დელ}},$$

სადაც $C_{წელ}$ არის აპარატურის წლიური ექსპლუატაციის ღირებულება, ხოლო $C_{დელ}$ - აპარატურის დამზადების ღირებულება.

საიმედო აპარატურის დაპროექტება და დამზადება საკმაოდ რთულია. ამისათვის საჭიროა მაქსიმალურად გავამარტივოთ აპარატურის სტრუქტურა მისი სხვა მახასიათებლების გაუარესების გარეშე, შეირჩეს ყველაზე უფრო საიმედო ელემენტები, შემსუბუქდეს მათი მუშაობის რეჟიმი და ა.შ. ყველაფერი ის მოითხოვს დამატებით საშუალებებს. აპარატურის საიმედოობის ზრდასთან ერთად მისი დამზადების ღირებულება არსებითად იზრდება. საიმედო აპარატურის ექსპლუატაცია, როგორც წესი, არ მოითხოვს სათანადო დეტალების დიდ რიცხვს და სპეციალურ სარემონტო ორგანოების არსებობას. მაშასადამე, აპარატურის ექსპლუატაციის ღირებულება მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო საიმედოა ეს აპარატურა.

აპარატურის დამზადების და ექსპლუატაციის ღირებულება დამოკიდებულია არა მარტო მის საიმედოობაზე, არამედ, აგრეთვე, სხვა ფაქტორთა დიდ რიცხვზე: აპარატურის სირთულეზე, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციაზე და სხვა. ამიტომ ექსპლუატაციის ღირებულების კოეფიციენტი მცირედით ახასიათებს აპარატურის საიმედოობას, მაგრამ ამავე დროს წარმოადგენს აპარატურის ეკონომიურობის მახასიათებელს.

დაცულობა

დაცულობა არის აპარატურის თვისება იყოს წესიერულ მდგომარეობაში შენახვის პროცესში. ისევე როგორ საიმედოობა, დაცულობა არის აპარატურის თვისება გამომავალი მახასიათებლები შეინარჩუნოს განსაზღვრულ ზღვრებში. ვინაიდან საჭირო მოძრაობის მართვის აპარატურისათვის შენახვა ტექნიკური ექსპლუატაციის განუყოფელი ნაწილია, ამიტომ დაცულობის ცნება გაგებულია საიმედოობის ცნებასთან აპარატურის შენახვის სპეციფიკურ პირობებში.

სისტემის დაცულობა დიდი რიცხვის ფაქტორებზეა დამოკიდებული, რომელთა უმრავლესობა შემთხვევითია. ამიტომ ამ პარამეტრის შეფასება შიძლება ალბათობითი მეთოდების დახმარებით. დაცულობა ფრიად რთული პარამეტრია, ამიტომ რომელიმე ერთი მახასიათებლით მისი სრულად შეფასება შეუძლებელია. დაცულობის საკმაოდ სრული შეფასებისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ რამდენიმე კრიტერიუმი და რაოდენობრივი მახასიათებელი.

აპარატურის განსაკუთრებულობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი შენახვის პირობებში ჭარბობს თანდათანობითი მტყუნებები ელემენტების მახასიათებლების გაუარესების გამო მათი დამველების შედეგად. ამ დროს ერთნაირი ტიპის ელემენტებისათვისაც კი სისტემის პარამეტრების დროზე დამოკიდებულება შემთხვევითი ფუნქციაა.

მტყუნებების წარმოქმნის დროის განაწილების კანონის მიღება ექსპერიმენტული გზით ძნელია. ეს იმით აიხსნება, რომ სანდო სტატისტიკური მონაცემების მიღებისათვის საჭიროა თვალყურის მიდევნების იმდენად დიდი დრო, რომ ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემები კარგავენ თავის მნიშვნელობას.

დაცულობის გასაგებად საჭიროა ან ჩატარდეს დაცულობის აჩქარებული ცდები, ან მოხდეს ელემენტთა პარამეტრების განაწილების მახასიათებლების ექსტრაპოლაცია.

დაცულობა მნიშვნელოვანი ტექნიკური ცნებაა. ის ავსებს საიმედოობის ცნებას და მასთან ერთად განსაზღვრავს აპარატურის საიმედოობას მის სხვადასხვა მდგომარეობაში.

არსებობს სისტემათა დიდი კლასი, რომელთა შენახვისადმი დრო მათი მუშაობის დროის თანაზომადი, ხოლო ზოგჯერ მას რამდენჯერმე აჭარბებს.

რთული სისტემების საიმედოობის შეფასებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს მათ მიერ საიმედოობის კარგვა შენახვის პირობებში.

დაქვემდებარება რემონტისადმი

ხანგრძლივი გამოყენების ავტომატური სისტემა მისი ექსპლუატაციის პროცესში მოითხოვს პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარებას და მტყუნებების აღმოფხვრას. ეს იწვევს აპარატურის იძულებით მოცდენას. იძულებითი მოცდენის ხანგრძლივობა დაცულობისა და საიმედოობის ცნებაში არ შედის, ამიტომ არასრულად ახასიათებს აპარატურის საექსპლუატაციო თვისებებს.

ექსპლუატაციის პროცესის უფრო სრული აღწერისთვის შემოღებულია ცნება რემონტისადმი დაქვემდებარება. აპარატურის რემონტისადმი დაქვემდებარება შეიძლება დახასიათდეს იძულებითი მოცდენის ჯამური დროით, რომელიც საჭიროა პროფილაქტიკის, მტყუნების ადგილის განსაზღვრის და მისი აღმოფხვრისათვის.

საიმედოობასთან ერთად რემონტისადმი დაქვემდებარება ახასიათებს სისტემის უნარს შეასრულოს მოცემული ფუნქციები დროის ნებისმიერ მომენტში. რაც უფრო საიმედოა სისტემა და რაც უფრო მაღალია მისი რემონტისადმი დაქვემდებარება, მით უფრო ნაკლებად მტყუნობს ის და ნაკლები მოცდენა აქვს.

ექსპლუატაციის ღირებულება დროის რომელიმე შუალედში განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$C_g = C_{g,1} + C_{g,n} n$$

სადაც, $C_{g,1}$ -არის ექსპლუატაციის ღირებულება, რომელიც არაა დამოკიდებული წარმოქმნილ მტყუნებებზე, $C_{g,n}$ -ერთი მტყუნების აღმოფხვრის ღირებულება, n -მტყუნებათა რიცხვი იმ დროში, რომლის განმავლობაში განისაზღვრება C_g .

ფორმულიდან ჩანს, რომ C_g დამოკიდებულია სისტემის საიმედოობაზე, როდესაც საიმედოობა განსაზღვრულია n -მტყუნებების რიცხვით, და რემონტისადმი დაქვემდებარებაზე, რომელიც ხასიათდება მტყუნების აღმოფხვრის საშუალო ღირებულებით. რემონტისადმი დაქვემდებარება საიმედოობასთან ერთად განსაზღვრავს ავტომატური სისტემის მოქმედების ეფექტურობას, თუ სისტემა საკმარისად საიმედოა, მაგრამ ამავე დროს აქვს დაბალი რემონტისადმი ვარგისობა, პროფილაქტიკისა და აღდგენისათვის დიდ დროს მოითხოვს, მაშინ ის ვერ შეძლებს კონკურენცია გაუწიოს სისტემას, რომელიც ნაკლებ საიმედოა, მაგრამ სამაგიეროდ მისი მოცდენის დრო მცირეა.

დასახული ამოცანის შესრულებისათვის პირველმა სისტემამ შეიძლება მეტი რეზერვი მოითხოვოს ვიდრე მეორემ.

რემონტისადმი დაქვემდებარება საიმედოობასთან ერთად ასევე განსაზღვრავს ექსპლუატაციის ღირებულებას, სარეზერვო სისტემების საჭირო რაოდენობას, სარემონტო სამუშაოების მოცულობას და ა.შ. ამასთან დაკავშირებით რემონტისადმი დაქვემდებარება წარმოადგენს მნიშვნელოვან ცნებას საიმედოობის თეორიაში.

საიმედოობა განისაზღვრება მტყუნებების წარმოქმნის დროის განაწილების სიმკვრივით, ხოლო რემონტისადმი დაქვემდებარება - აღდგენის დროის განაწილების სიმკვრივით.

რემონტისადმი დაქვემდებარების ცნება მიეკუთვნება ხანგრძლივი გამოყენების სისტემებს, აგრეთვე ისეთ სისტემებს, რომლებიც შეიძლება იმყოფებოდეს ხანგრძლივი შენახვის მდგომარეობაში.

სიჭარბე

თავისი ფუნქციების შესასრულებლად ავტომატურ სისტემას განსაზღვრული სტრუქტურა უნდა ჰქონდეს. ეს სტრუქტურა გამომდინარეობს მართვის პროცესის დინამიკის ანალიზიდან და განსაზღვრავს სისტემის წონას, გაბარიტებს და ღირებულებას, მაგრამ რეალიზებული სისტემა, რომლის სტრუქტურა მიღებულია მართვის პროცესების დინამიკის ანალიზიდან და აქვს განსაზღვრული წონა, გაბარიტები და ღირებულება, შეიძლება უვარგისი გამოდგეს ვინაიდან, დაბალი საიმედოობის გამო ვერ შეძლებს შეასრულოს მასზე დაკისრებული ფუნქციები.

მსგავს შემთხვევებში იძულებული ვართ ან გავამარტივოთ სტრუქტურა, ან გამოვიყენოთ მოცემული სტრუქტურის საიმედოობის ამაღლების სპეციალური მეთოდები.

სტრუქტურის გამარტივება, განსაკუთრებით, თუ ის მიღებულია სინთეზის შედეგად ხარისხის რომელიმე კრიტერიუმის მიხედვით, ყოველთვის იწვევს ისეთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებლების გაუარესებას, როგორიცაა მდგრადობა, გარდამავალი პროცესის ხარისხი და სიზუსტე. ამიტომ ხშირად ამ მნიშვნელოვანი მახასიათებლების ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შენარჩუნების ხერხია ავტომატური სისტემის საიმედოობის ამაღლება მისი მოცემული სტრუქტურისას.

საიმედოობის ამაღლებისათვის უმრავლეს შემთხვევაში გვიწევს ან შევარჩიოთ ყველაზე უფრო ხარისხიანი ელემენტები, რომლებსაც მაღალი საიმედოობა აქვთ, ან შევამსუბუქოთ ელემენტების მუშაობის რეჟიმი, ან შევიყვანოთ სარეზერვო აპარატურა. ყველაფერი ეს მოითხოვს აპარატურის ღირებულების, წონისა და გაბარიტების ზრდას და იწვევს სისტემის სიჭარბის ზრდას მითითებული მახასიათებლების მიხედვით.

სიჭარბე - ეს არის სისტემის წონის, გაბარიტების ან ღირებულების გადამეტება მინიმალურად საჭიროსთან შედარებით, რაც დაკავშირებულია მოცემული საიმედოობის უზრუნველყოფასთან.

სიჭარბის სიდიდეზე დამოკიდებულია სისტემის მუშაობის ის დრო, რომლის განმავლობაში მისი გამომავალი მახასიათებლები შეინარჩუნება მოცემულ ზღვრებში. რაც უფრო მეტია სიჭარბე, მით უფრო მეტია ეს დრო. სიჭარბის შემოტანა შესაძლებელია სარეზერვო ელემენტების ან სისტემების გამოყენების, მათი მუშაობის რეჟიმების შემსუბუქების გზით.

ექსპლუატაციო ვადა

როული სისტემები, ისე როგორც მარტივი ელემენტები, არ შეიძლება ექსპლუატაციაში იყოს უსაზღვროდ დიდხანს. ექსპლუატაციის პროცესში ხდება ელემენტების დაძველება, წარმოიქმნება მტყუნებების დიდი რიცხვი და დგება დრო, როდესაც შემდგომი ექსპლუატაცია ან შეუძლებელია, მიზანშეუწონელია. ეს დრო ხასიათდება აპარატურის სამსახურის ვადით.

სამსახურის ვადა - ეს არის დრო აპარატურის ექსპლუატაციის დასაწყისიდან მის ტექნიკურ უვარგისობამდე.

აპარატურის სამსახურის ვადა არ შეიძლება გაიგივებულ იქნეს მის საიმედოობასთან. როულ სისტემას შეიძლება ჰქონდეს მტყუნებათა დიდი რიცხვი სამსახურის ვადის განმავლობაში, ანუ აქვს დაბალი საიმედოობა, მაგრამ სამსახურის დიდი ვადა. ეს იმით აიხსნება, რომ სამსახურის ვადის დადგენისას არაა მოცემული აბსოლუტური გარანტია, რომ ამ ვადის განმავლობაში არ იქნება არც ერთი მტყუნება. ამიტომ დგინდება ამ მოვლენის მხოლოდ ალბათობა. სისტემის სამსახურის ვადა არ განისაზღვრება მხოლოდ იმ ელემენტების სამსახურის ვადით, რომლებისგანაც სისტემა შედგება, არამედ აგრეთვე დამოკიდებულია სისტემის სირთულეზე, ექსპლუატაციის პირობებზე, დამზადების ტექნოლოგიაზე და ა.შ. სამართლიანია მხოლოდ მტკიცება იმისა, რომ რაც უფრო მეტია ელემენტების სამსახურის ვადა, მით უფრო მეტია სისტემის სამსახურის ვადა.

სამსახურის საგარანტიო ვადა ყოველთვის სამსახურის ვადაზე ნაკლებია. სამსახურის ვადა არ ახასიათებს აპარატურის საიმედოობა, ის მხოლოდ ადგენს ურთიერთდამოკიდებულებას მომხმარებელსა და მომწოდებელს შორის. სამსახურის ვადა არ არის განმსაზღვრელი ცნება საიმედოობის თეორიაში. თუმცა პრაქტიკაში მას დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან სისტემის ისეთი თვისებები, როგორიცაა საიმედოობა და დაცულობა, აქვს მხოლოდ იმ დროის განმავლობაში, რომელიც მის სამსახურის ვადას არ აღემატება.

საიმედოობის გამოთვლის ელემენტი

საიმედოობის გამოთვლის ელემენტი ეწოდება იმ ელემენტს, ბლოკს, კვანძს, რომელსაც აქვს რაოდენობრივი მაჩვენებელი და ეს მაჩვენებელი გაითვალისწინება დამოუკიდებლად როული სისტემის საიმედოობის გამოთვლისას.

ჩვეულებრივ როული სისტემის ანალიზისას საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლების გამოთვლა ტარდება დეტალების, კვანძების, ბლოკების, ხელსაწყოებისა და სხვა მოწყობილობების ცნობილი საიმედოობის მიხედვით. შეიძლება, მაგალითად ჯერ გამოვთვალოთ ბლოკების საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები დეტალებისა და კვანძების ცნობილი მახასიათებლების მიხედვით, შემდეგ ბლოკების გათვლილი მახასიათებლების მიხედვით მთელი სისტემის.

ამ შემთხვევაში გამოთვლის ელემენტი შეიძლება იყოს დეტალები (ტრანზისტორი, კონდენსატორი, ინდუქციური კოჭა და ა.შ), კვანძები (მადლიერებელი, ტრიგელური უჯრედი), ბლოკები (გამომთვლელები) და სისტემებიც კი, თუ ხდება რთული კომპლექსის საიმედოობის ანალიზი. გამოთვლის ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეთ ან ძირითადი შეერთება, ან სარეზერვო.

გამოთვლის ელემენტთა ძირითადი შეერთება ეწოდება ისეთს, რომლის დროს ნებისმიერი ერთი ელემენტის მტყუნება იწვევს მთლიანი შეერთების მტყუნებას. ამ დროს ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეთ ელექტრული შეერთება ან თანამიმდევრული, ან პარალელური, ან შერეული.

გამოთვლის ელემენტების რეზერვული შეერთება ეწოდება ისეთს, როდესაც შეერთების მტყუნება ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ იმტყუნა ძირითადმა და ყველა სარეზერვო ელემენტმა.

თუ სისტემის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა გამოთვლის რამდენიმე ელემენტი, მაშინ სარეზერვო შეერთების მტყუნებას ადგილი აქვს ყველა სარეზერვო ელემენტის მტყუნებისას.

ჩვეულებრივ რთული სისტემა შედგება გამოთვლის ელემენტებისაგან, რომელთა ნაწილს აქვს ძირითადი შეერთება, ხოლო ნაწილს-სარეზერვო.

ჩვეულებრივ რთული სისტემა გამოთვლის ელემენტებისაგან, რომელთა ნაწილს აქვს ძირითადი შეერთება, ხოლო ნაწილს-სარეზერვო.

3.1.3. სხვადასხვა დანიშნულების აპარატურის საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები

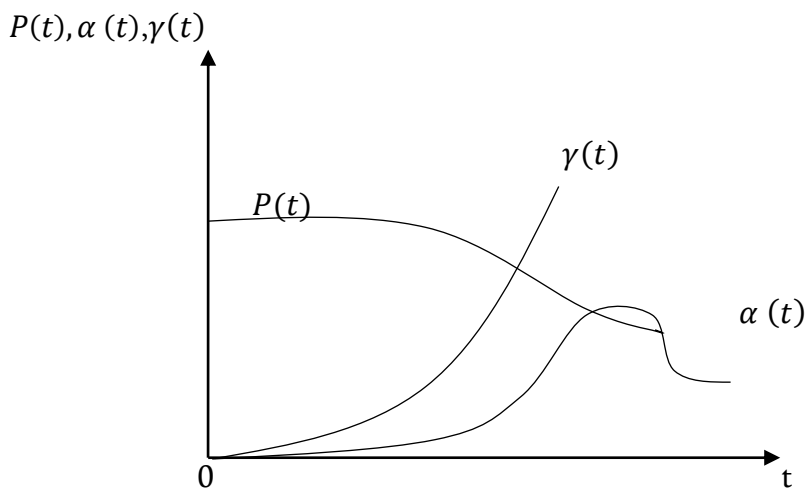
საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემები თავისი ექსპლუატაციის პროცესში ექვემდებარება რემონტს, ანუ მუშაობს მტყუნებული ელემენტების (ბლოკების) შეცვლის რეჟიმს. ეს კი ნიშნავს, რომ უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $P(t)$, უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო T , მტყუნებების სიხშირე $\alpha(t)$ და მტყუნებების ინტენსიურობა ზოგადად ახასიათებს მის საიმედოობას. ისეთი აპარატურისათვის, როგორც საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემა საიმედოობის მახასიათებლები შეიძლება იყოს: საშუალო დრო მეზობელ მტყუნებებს შორის $t_{\text{საშ}}$ მტყუნებათა საშუალო სიხშირე $\omega(t)$ და საიმედოობის ყველა კოეფიციენტი.

ექსპლუატაციის რეჟიმში საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს სამიდან ერთ-ერთ მდგომარეობაში: შენახვაზე, გამოყენებისათვის მომზადების და დანიშნულებისამებრ გამოყენების პროცესში. საიმედოობის ამა თუ იმ რაოდენობრივი მახასიათებლის არჩევა არსებითადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რა მდგომარეობისათვის განისაზღვრება სისტემის საიმედოობა. თუ აპარატურა შენახვაზეა, მაშინ ის იმყოფება მტყუნებული ელემენტების შეცვლის რეჟიმში. ამიტომ საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები უნდა იყოს $t_{\text{საშ}}$ მტყუნებათა საშუალო სიხშირე $\omega(t)$ და საიმედოობის ყველა კოეფიციენტი.

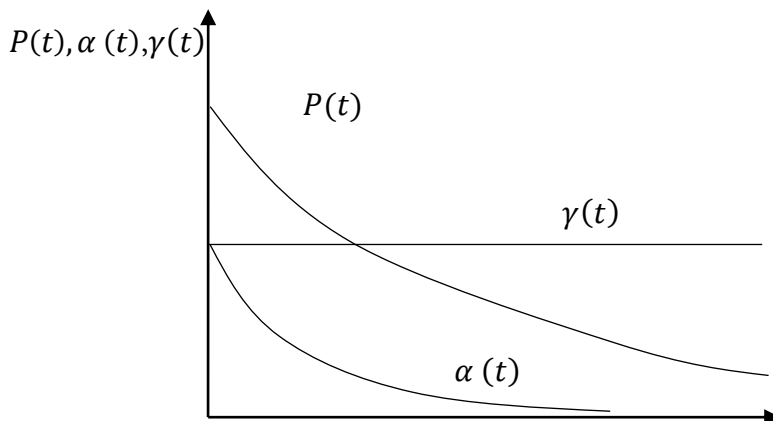
გამოყენებისათვის მომზადებისას და დანიშნულებისამებრ გამოყენებისას აპარატურა შეიძლება არც კი იმყოფებოდეს მტყუნებული ელემენტების შეცვლის რეჟიმში. მაშინ მისი საიმედოობის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლები შეიძლება იყოს $P(t)$, T , $\alpha(t)$, $\gamma(t)$.

აპარატურის შენახვისას მიმდინარეობს მისი ელემენტების დაძველება. ამიტომ ყველაზე უფრო ხშირად ხდება თანდათანობითი მტყუნებები. სამუშაოდ მომზადებისას და მუშაობის პროცესში შესაძლებელია როგორც მყისი, ისე თანდათანობითი მტყუნება.

გამოკვლევებმა უჩვენა, რომ თანდათანობითი მტყუნებებისას, რომლებიც იწვევს ძირითადი მახასიათებლების დასაშვებ ზღვრებს გარეთ გასვლას, სამართლიანია მტყუნების დროში წარმოქმნის ნორმალური განაწილების კანონი, ხოლო მყისი მტყუნებისას, როგორიცაა წყვეტა, მოკლე შერთვა-ექსპონენციალური კანონი (ნახ 3.5 და 3.6).



ნახ. 3.5 მახასიათებლების $P(t)$, $\alpha(t)$ და $\gamma(t)$ ცვლილება დროში მტყუნებების წარმოქმნის ნორმალური განაწილების კანონის მიხედვით



ნახ. 3.6 მახასიათებლების $P(t)$, $\alpha(t)$ და $\gamma(t)$ ცვლილება დროში მტყუნების წარმოქმნის ექსპონენციალური განაწილების კანონის მიხედვით

3.1.4 საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ელემენტების საიმედოობა

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის შემადგენელი ელემენტები შეიძლება დაიყოს ორ კლასად - არააღდგენადი და აღდგენადი ელემენტები. არააღდგენადად ითვლება ისეთი ელემენტები, როგორიცაა ნახევარგამტარი ხელსაწყოები, კონდენსატორები, რეზისტორები და ა.შ. აღდგენადს მიეკუთვნება ელექტროძრავები, გენერატორები და სხვა.

ექსპლუატაციის პროცესში არააღდგენადი ელემენტების საიმედოობის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლები შეიძლება იყოს უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $P(t)$, და უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო T , მტყუნების სიხშირე $\alpha(t)$ და მტყუნების ინტენსივობა $\gamma(t)$.

აღდგენადი ელემენტების საიმედოობა, გარდა ზემოთ მითითებული მახასიათებლებისა, უნდა შეფასდეს კიდევ მტყუნებებს შორის საშუალო დროით და მტყუნებების საშუალო სიხშირით.

ვინაიდან ეს მახასიათებლები ერთმნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ერთმანეთთან, ამიტომ საკმარისია ვიცოდეთ ერთი მათგანი, ხოლო დანარჩენი საჭიროების შემთხვევაში, შეიძლება გამოვთვალოთ.

ელემენტის საიმედოობის ყველაზე უფრო მოხერხებული მახასიათებელია მტყუნების ინტენსიურობა. ეს შემდეგი გარემოებით აიხსნება:

1. ავტომატური სისტემების ბევრი ელემენტის მტყუნების ინტენსიურობა (განსაკუთრებით რადიოელექტრონიკის ელემენტების) ნორმალური მუშაობის დროის განმავლობაში მუდმივი სიდიდეა. ეს საშუალებას იძლევა ასეთი ელემენტის საიმედოობა შეფასდეს რიცხვებით;
2. მტყუნებათა ინტენსიურობა ბევრ შემთხვევაში საშუალებას იძლევა მარტივად გამოითვალოს საიმედოობის დანარჩენი მახასიათებლები არა მარტო ელემენტების, არამედ რთული კვანძებისაც კი;
3. მტყუნებათა ინტენსიურობა მარტივად მიიღება ექსპერიმენტულად.

ელემენტების მტყუნებათა ინტენსიურობა დამოკიდებულია მათ ტიპზე, მუშაობის რეჟიმზე, გარემოზე და მთელ რიგ სხვა ფაქტორებზე. ამიტომ ერთტიპური ელემენტებისათვისაც კი ინტენსიურობა ფართო ზღვრებში მერყეობს.

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ელექტრულ ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეს სამი სახის მტყუნება:

- ა) ძირითადი პარამეტრების მნიშვნელობის დასაშვებ ფარგლებს გარეთ გასვლა;
- ბ) მტყუნებათა ელექტრული წრედის წყვეტის გამო;

გ) მტყუნება, რომელიც იწვევს მოკლე შერთვას.

მტყუნების სახეობა ბევრ შემთხვევაში განსაზღვრავს მთლიანი სისტემის მტყუნების შედეგს. ელემენტების პარამეტრების დასაშვებ ზღვრებს გარეთ გასვლა ხშირად იწვევს სისტემის გამომავალი პარამეტრების გაუარესებას, ხოლო წყვეტა და მოკლე შერთვა - სისტემის მუშაობის უნარის რღვევას. ამასთან დაკავშირებით გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენენ ელექტრული ელემენტების მტყუნების სახის, წარმოქმნის მიზეზებისა და სხვა ფაქტორების (განსაკუთრებით მუშაობის რეჟიმების) გავლენის შესწავლა.

განვიხილოთ ელექტრული ელემენტების მტყუნების ზეგავლენა სისტემის საიმედოობაზე.

წინაღობა წარმოადგენს ტექნიკური სისტემების ყველაზე მრავალრიცხოვან ელემენტს. წინაღობის საიმედოობა ფრიად მაღალია და მაინც, რთული სისტემების მტყუნება წინაღობების მტყუნების გამო საკმაოდ ხშირია. წინაღობის მტყუნების ყველაზე ხშირია წყვეტა. სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებს, რომ წინაღობების მტყუნებათა 55%-ზე მეტი ხდება წყვეტის გამო და 35%- გამტარი ელემენტის გადაწვის გამო. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის, რომ ელემენტის სამსახურის ვადა მის საიმედოობას არ განსაზღვრავს. თუ ცნობილია, რომ რომელიმე წინაღობის სამსახურის ვადა შეადგენს 5000 საათს, ეს სულაც არ ნიშნავს, რომ 5000 საათის განმავლობაში წინაღობის მტყუნება არ იქნება, თუნდაც მისი ექსპლუატაცია მიმდინარეობდეს ნორმალურ პირობებში.

კონდენსატორი. ისე როგორც წინაღობა, წარმოადგენს ავტომატური სისტემების ყველაზე მრავალრიცხოვან ელემენტს და აქვთ მაღალი საიმედოობა. კონდენსატორის მტყუნების ხშირი სახეობაა დიელექტრიკის რღვევა. კონდენსატორის ვადა არსებითადაა დამოკიდებული დატვირთვის კოეფიციენტზე, გარემოს ტემპერატურაზე, ტენიანობასა და მკვებავი ძაბვის სიხშირეზე.

კონდენსატორის დატვირთვის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფარდობით:

$$K_{\square} = \frac{U}{U_{\square}},$$

სადაც U კონდენსატორზე მოდებული ძაბვაა, $U_{\square}$ კონდენსატორის ნომინალური ძაბვა. ამ ფარდობიდან გამომდინარეობს, რომ დატვირთვის კოეფიციენტის ზრდა ნიშნავს მკვებავი ძაბვის ზრდას. ძაბვის ზრდა კი ყოველთვის იწვევს იზოლაციის წინაღობის შემცირებას და დიელექტრიკის გარღვევას. გარემოს ტემპერატურის ზრდა ააქტიურებს ამ მოვლენებს.

მაშასადამე, $K_{\square}$ და t -ის ზრდა ყოველთვის იწვევს კონდენსატორის საიმედოობის შემცირებას, გარემოს ტენიანობის ზრდა იწვევს დანაკარგების კუთხის ტანგენტის ზრდას, იზოლაციის ელექტრული სიმტკიცის შემცირებას, რაც გარღვევის ძაბვის შემცირებას იწვევს.

ტრანსფორმატორი, დროსელი, ინდუქციურობის კოჭა

ამ ელემენტების მტყუნების შემდეგი სახეები შეიძლება ჰქონდეთ: გრაგნილის წყვეტა, ხვიებს შორის მოკლე შერთვა, გარღვევა კორპუსზე და ძირითადი პარამეტრის ცვლილება.

გრაგნილის წყვეტა შეიძლება მოხდეს სადენის ელექტრული კოროზიის გამო მასზე ტენის ზემოქმედებისას და გადაწვის გამო გადამეტტვირთვისას. ტრანსფორმატორის, დროსელის და ინდუქციურობის კოჭის დაზიანების უმრავლესობა ხდება ტენის მავნე ზეგავლენის შედეგად.

რელე

რელე მიეკუთვნება ყველაზე მცირე საიმედოობის ელემენტთა კლასს. ყველაზე ხშირად გვხვდება რელეს კონტაქტების შეცხოვა და ჟანგვა. იშვიათად გვხვდება მტყუნებათა გრაგნილის წყვეტის და ხვიათაშორისი მოკლე შერთვის შემთხვევები. რელეთა შორის მტყუნების ყველაზე მეტი რიცხვი აქვს ძალურ რელეებს (კონტაქტორებს) და იმ რელეს, რომელიც ვიბრაციის რეჟიმში მუშაობს.

რელეს საიმედოობა არსებითადაა დამოკიდებული კონტაქტების რიცხვზე, დენის სიმკვრივეზე და ამოქმედების რიცხვზე. რელეს საიმედოობაზე არსებით გავლენას ახდენს ვიბრაცია, ვიბრაციის განსაზღვრული ამპლიტუდის და სიხშირისას შეიძლება წარმოიქმნას რელეს ცრუ ამოქმედებები.

გასართები

გასართში ყველაზე ხშირი მტყუნებებია სადენების წყვეტა მანჭვალეზთან შეერთების ადგილებში, ბუდეების კოროზია, მანჭვალეზის და ბუდეების ქიმიური დაზიანება. ასეთი მტყუნებები წარმოიქმნება ვიბრაციისა და გარემოს მავნე გავლენის შედეგად. განსაკუთრებულად მავნე ზეგავლენას ახდენს გასართების საიმედოობაზე სინოტივე.

ელექტრული იზოლაცია

ელექტრული იზოლაცია გააჩნია ავტომატიკის ელექტრული ელემენტების უმრავლესობას. ამ ელემენტების საიმედოობა არსებითადაა დამოკიდებული იზოლაციის ელექტრულ სიმტკიცეზე, რომელიც განისაზღვრება იზოლაციის ხარისხით და გარემოს მავნე გავლენით, განსაკუთრებით სინოტივის და ტემპერატურის გავლენით. ტემპერატურის 10° -ით ზრდა იწვევს იზოლაციის სამსახურის ვადის ორჯერ შემცირებას.

მექანიკური ელემენტები

მექანიკურ ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეს უეცარი მტყუნება და მტყუნება, რომელიც გამოწვეულია დეტალების თანდათანობითი ცვეთით. მექანიკური ელემენტები ელექტრულისაგან იმით განსხვავდებიან, რომ აქვს უეცარი მტყუნებების მცირე რიცხვი, ხოლო ცვეთის გამო მტყუნებები გამოვლინდება მოგვიანებით.

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ თანამედროვე ავტომატურ სისტემებში მექანიკური ელემენტების რიცხვი ნაკლებია ვიდრე ელექტრული ელემენტების, მაშინ

ნათელი გახდება, რომ ასეთი სისტემების საიმედოობა ელექტრული ელემენტებით განისაზღვრება.

3.2 საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობის ამაღლება [23, 30, 31]

3.2.1 რთული სისტემების საიმედოობისადმი წაყენებული მოთხოვნები

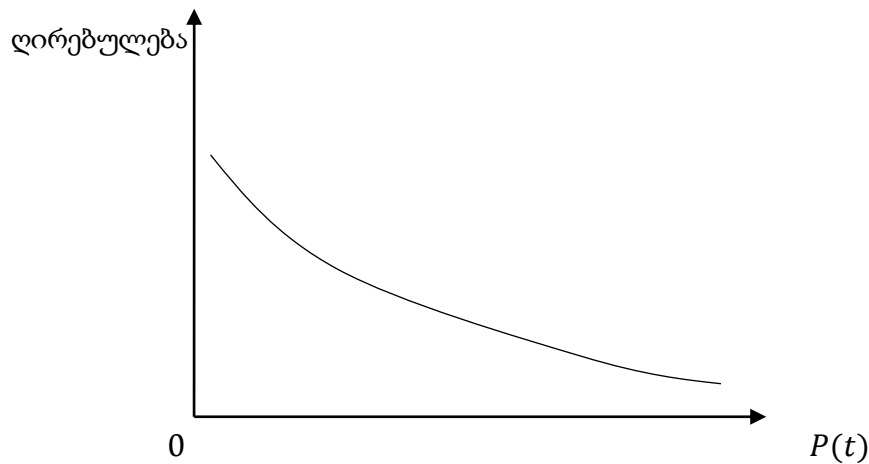
თუ ავტომატურ სისტემას დაბალი საიმედოობა აქვს, ეს იწვევს მისი მოცდენის დროის და საექსპლუატაციო ხარჯების ზრდას.

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის მიერ გადასაწყვეტი ამოცანების მნიშვნელობა, ერთის მხრივ და ასეთი აპარატურის ძვირადღირებულება, მეორეს მხრივ, მოითხოვს ამ სისტემის მაღალ საიმედოობას.

თანამედროვე ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა დამზადდეს ავტომატური სისტემა ნებისმიერი საიმედოობის, მაგრამ მაღალი საიმედოობის სისტემას ექნება დიდი წონა, გაბარიტები და ღირებულება.

ნათელია, რომ სხვადასხვა მაჩვენებლის თვალსაზრისით ავტომატურ სისტემას უნდა ჰქონდეს რაღაც ოპტიმალური საიმედოობა. ამ ოპტიმალურობის დასადგენად უნდა გამოვიყენოთ ხარისხის კრიტერიუმები. საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემებისათვის ასეთი კრიტერიუმები შეიძლება იყოს მისი მაქსიმალური ეფექტურობა ფრენების უსაფრთხოებისა და რეგულარობის თვალსაზრისით. ეფექტურობა კი დამოკიდებულია სიზუსტესა და საიმედოობაზე.

აპარატურის მაღალი სიზუსტე ხშირად მიიღწევა მისი გართულების ხარჯზე, აპარატურის გართულება კი იწვევს მისი საიმედოობის შემცირებას, ამიტომ მაქსიმალური ეფექტურობის მისაღწევად საჭიროა გააზრებულად დადგინდეს ფარდობა სიზუსტესა და საიმედოობას შორის. მინიმუმი ღირებულების კრიტერიუმის თანახმად აპარატურა ოპტიმალურია, თუ მისი დამზადების და ექსპლუატაციის ჯამური ღირებულება მინიმალურია. მაღალი საიმედოობის აპარატურას მტყუნებების მცირე რიცხვი აქვს, ეს კი ამცირებს მის იძულებით მოცდენის დროს, სათანადო კვანძების საჭირო რიცხვს და საშუალებას იძლევა შემცირდეს მაღალკვალიფიციური საინჟინრო-ტექნიკური პერსონალის რიცხვი, მამასადამე, შემცირდეს საექსპლუატაციო ხარჯები. ნახ. 6.1-ზე წარმოდგენილია აპარატურის საექსპლუატაციო ღირებულების დამოკიდებულება საიმედოობაზე. ღირებულების მინიმუმის კრიტერიუმი არასაკმარისია რთული ავტომატური სისტემებისადმი წაყენებული მოთხოვნების შემუშავებისას.



ნახ. 3.7 აპარატურის საექსპლუატაციო ღირებულების დამოკიდებულება საიმედოობაზე

ავტომატური მართვის სისტემების საიმედოობისადმი წაყენებული ის მოთხოვნები, რომლებიც შემუშავებულია მაქსიმალური ეფექტურობის და მინიმალური ღირებულების კრიტერიუმების საფუძველზე, იმდენად მაღალია, ხოლო ელემენტების საიმედოობა იმდენად დაბალი, რომ ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილება საიმედოობის ზრდის სპეციალური ზომების გამოყენების გარეშე შეუძლებელია.

3.2.2. საჭარო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობის ამაღლების მეთოდები

აპარატურის საიმედოობის ამაღლების ამა თუ იმ მეთოდის ანალიტიკური შეფასება მხოლოდ მაშინაა შესაძლებელი, როდესაც ცნობილია თუ როგორ იცვლება საიმედოობის რაოდენობრივი მაჩასიათებლები მოცემული მეთოდის გამოყენებისას. საიმედოობის ამაღლების მეთოდებია:

1. რეზერვირება;
2. სისტემის მტყუნებათა ინტენსიურობის შემცირება;
3. სისტემის უწყვეტი მუშაობის დროის შემცირება;
4. სისტემის აღდგენის საშუალო დროის შემცირება.

ამ მეთოდების რეალიზაცია შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი ღონისძიებებით:

1. რეზერვირება;
2. მტყუნებათა ინტენსიურობის შემცირება;

3. უწყვეტი მუშაობის დროის შემცირება;
4. მუშაობის უნარის აღდგენის დროის შემცირება.

მითითებული ღონისძიებების რეალიზაცია შეიძლება განხორციელდეს აპარატურის დაპროექტების, დამზადების და ექსპლუატაციის პროცესში.

რეზერვირება

რეზერვირების ძირითადი პარამეტრია მისი ჯერადობა. რეზერვირების ჯერადობის ქვეშ იგულისხმება სარეზერვო ელემენტების რიცხვის ფარდობა რეზერვირებადობის რიცხვთან. რეზერვირება შეიძლება იყოს მთელი ან წილადური ჯერადობით, საერთო და განცალკევებული (ელემენტური), მუდმივად ჩართული რეზერვით და შენაცვლებით.

მთელი ჯერადობით რეზერვირება ეწოდება ისეთ რეზერვირებას, რომლის დროს რეზერვირებული შეერთების ნორმალური მუშაობისათვის საკმარისია, რომ წესიერული იყოს თუნდაც ერთი ელემენტი.

წილადური ჯერადობის რეზერვირებისას რეზერვირებული შეერთების ნორმალური მუშაობა შესაძლებელია იმ პირობისას, თუ წესიერული ელემენტების რიცხვი ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროზე არანაკლებია. რეზერვირების ჯერადობა განისაზღვრება თანაფარდობით:

$$m = \frac{l-h}{h},$$

სადაც l არის რეზერვირებული შეერთების გამოთვლილ ელემენტთა საერთო რიცხვი; h - იმ ელემენტთა რიცხვია, რომელიც საჭიროა შეერთების ნორმალური მუშაობისათვის. პირველ შემთხვევაში რეზერვირების ჯერადობა ყოველთვის სარეზერვო მოწყობილობების რიცხვს უდრის.

პრაქტიკაში ძალიან ხშირად გვხვდება რეზერვირება წილადური ჯერადობით. მოვიყვანოთ ასეთი რეზერვირების მაგალითები.

მაგალითი 1.

დავუშვათ რომელიმე დატვირთვის კვებისათვის გამოიყენება 5 პარალელურად მომუშავე გენერატორი, თანაც ნებისმიერი გენერატორი საკმაოდ დიდხანს იტანს 25% გადამეტებვას. ნათელია, რომ ნებისმიერი ერთი გენერატორის მტყუნებისას დარჩენილი ოთხი გენერატორიდან თითოეული მიიღებს 25%-იან გადამეტებვას და შეძლებს შეასრულოს თავისი ფუნქცია, თუმცა თითოეული მათგანის მტყუნების ალბათობა გაიზრდება. კიდევ ერთი გენერატორის მტყუნებისას, დარჩენილი სამიდან თითოეულს ექნება გადამეტებვით დაახლოებით 67%-ის ტოლი. როგორც წესი გენერატორი ასეთ დატვირთვაზე გათვლილი არაა და დაცვის აპარატურა გამორთავს მათ ქსელიდან.

ენერგომომარაგების ასეთი სისტემის საიმედოობის გაანგარიშებისას შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ადგილი აქვს რეზერვირებას წილადური ჯერადობით ამ დროს $m = \frac{1}{4}$, ანუ სისტემის საიმედო მუშაობისათვის საკმარისია გვერდეს ოთხი გენერატორი, როგორც მუშა და ერთი გენერატორის სარეზერვო.

მაგალითი 2.

რეზისტორების რეზერვირებისას მათ რთავენ პარალელურად, ვინაიდან რეზისტორის ყველაზე უფრო ხშირი მტყუნებაა წყვეტა, ამიტომ ასეთ შეერთებას არ მოჰყვება ელექტრული წრედის მტყუნება ნებისმიერი წინააღობის მტყუნებისას და შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც სარეზერვო შეერთება, მაგრამ ერთ-ერთი წინააღობის წყვეტისას შეერთების საერთო წინააღობა იზრდება, ამას შეუძლია დაარღვიოს მეზობელი ელემენტების ნორმალური მუშაობა და გამოიწვიოს სისტემის მტყუნება. თუ სქემა კრიტიკულია პარამეტრების ცვლილების მიმართ, პარალელურად შევაერთოთ არა ორი, არამედ რამდენიმე წინააღობა. ამ შემთხვევაში სისტემა მტყუნებული არ იქნება, ნებისმიერი ერთი წინააღობის მტყუნებისას, მაგრამ შეიძლება იმტყუნოს ორი და მეტი წინააღობის მტყუნებისას. ასეთი შეერთებისას ადგილი აქვს წილადური ჯერადობით რეზერვირებას.

მსგავსი რეზერვირება შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კონდენსატორების, გამმართველების და ა.შ საიმედოობის ამალეებისათვის.

წილადური ჯერადობით რეზერვირებას მიეკუთვნება აგრეთვე მოსრიალე (მოცურავე) რეზერვით რეზერვირება. ასეთი რეზერვირებისას ნებისმიერ სარეზერვო ელემენტს შეუძლია შეცვალოს ძირითადი სისტემის ნებისმიერი ელემენტი.

შენაცვლადობის შემდეგ ეს სარეზერვო ელემენტი ხდება ძირითადი და მტყუნებისას შეიძლება შეცვლილ იქნეს ნებისმიერით დარჩენილი რეზერვიდან. ასეთი რეზერვირების რეალიზაცია უმეტეს შემთხვევაში შესაძლებელია მაშინ, როდესაც გვაქვს ისეთი მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას იძლევა ნაპოვნ იქნეს უწყვეტო ელემენტი და მის მაგივრად ჩაერთვება სარეზერვო. ეს არის ასეთი რეზერვირების ნაკლი. მეორე ნაკლია ის, რომ რეზერვირების განხორციელება შესაძლებელია ელემენტების ერთტიპიურობისას.

მოსრიალე რეზერვით რეზერვირების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ის, რომ სხვა მეთოდებთან შედარებით ის იძლევა საიმედოობის დიდ მოგებას.

რეზერვის ჩართვის ხერხის მიხედვით რეზერვირება შეიძლება იყოს მუდმივად ჩართული რეზერვისას ძირითადი ელემენტი და ყველა სარეზერვო ელემენტი ერთდროულად ფუნქციონირებენ.

რეზერვის შენაცვლების ხერხით ჩართვისას სარეზერვო ელემენტები მუშაობაში ჩაერთვებიან მხოლოდ ძირითადი მტყუნებისას.

ძირითადი ელემენტის მტყუნებამდე ისინი იმყოფებიან ან შენახვის მდგომარეობაში, ან იმავე პირობებში, რომელშიც მუშა ელემენტი იმყოფება.

მუდმივად ჩართული რეზერვით რეზერვირების დადებითი მხარე მდგომარეობს მის სიმარტივეში, ვინაიდან ამ შემთხვევაში გადამრთველი მოწყობილობა არ მოითხოვება. მისი ნაკლია ის, რომ რომელიმე ერთი ელემენტის მტყუნებისას შეიძლება დაირღვეს დანარჩენის მუშაობის რეჟიმი. რეზერვის შენაცვლებით ჩართვას შემდეგი უპირატესობები აქვს:

1. არ ირღვევა სარეზერვო ელემენტების მუშაობის რეჟიმი დანარჩენის მტყუნებისას;
2. შეინარჩუნება სარეზერვო ელემენტის საიმედოობა, ვინაიდან ძირითადი ელემენტების მუშაობისას ისინი იმყოფებიან არასამუშაო მდგომარეობაში;
3. არსებობს შესაძლებლობა გამოყენებული იქნეს ერთი სარეზერვო ელემენტი რამდენიმე მომუშავე ელემენტისთვის. შენაცვლებით რეზერვირების არსებითი ნაკლი იმაში მდგომარეობს, რომ მისი რეალიზაციისათვის საჭიროა გადამრთველი მოწყობილობები.

მტყუნებათა ინტენსიურობის შემცირება

მტყუნებათა ინტენსიურობის შემცირება შესაძლებელია შემდეგი ხერხებით:

1. სქემის გამარტივება;
2. ყველაზე უფრო საიმედო ელემენტის შერჩევა;
3. ელემენტების მუშაობის ელექტრული, მექანიკური და სითბური რეჟიმების შემსუბუქება;
4. ელემენტებისა და კვანძების სტანდარტიზაცია და უნიფიკაცია;
5. ექსპლუატაციისას იმ ღონისძიებების გატარება, რომლებიც მიმართულია მტყუნებების თავიდან აცილებაზე.

საიმედოობის პრობლემების წარმოქმნის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია თანამედროვე ავტომატური სისტემების განსაკუთრებული სირთულე. სისტემის სირთულის შემცირებას შეუძლია არსებითად გაზარდოს მისი საიმედოობა, მაგრამ მარტივის სქემების შექმნა წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე რთულ ტექნიკურ ამოცანას. ამ ამოცანის სირთულე იმაში მდგომარეობს, რომ სისტემის გამარტივება საგრძნობ ეფექტს იძლევა მხოლოდ ელემენტების რიცხვის მნიშვნელოვნად ზრდისას. ამავე დროს სისტემის ძლიერ გამარტივება უმრავლეს შემთხვევაში არ იძლევა ავტომატური სისტემის საჭირო სიზუსტისა და სწრაფმედების უზრუნველყოფის საშუალებას.

ამ გარემოებას შეუძლია მიგვიყვანოს მცდარ დასკვნამდე, თითქოს სისტემის გამარტივება საიმედოობის ამაღლების ნაკლებ ეფექტური ხერხია.

სისტემის გამარტივება არის, ალბათ, საიმედოობის ამაღლების ერთადერთი მეთოდი წონის შემცირებისას. წონის შემცირება კი თავის მხრივ შეიძლება გახდეს

აპარატურის საიმედოობის ამაღლების ირიბი წყარო, ვინაიდან გამოთავისუფლებული წონა შეიძლება გამოყენებულ იქნეს საიმედოობის რეზერვად.

ეს გარემოება საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ აპარატურის გამარტივება არის საიმედოობის ამაღლების ფრიად ეფექტური, მაგრამ ძნელად რეალიზებადი მეთოდი. სისტემის საიმედოობის ამაღლების ეფექტი ელემენტების საიმედოობის ზრდის ხარჯზე მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო რთულია ეს სისტემა.

თითქოსდა, რთული სისტემის დაპროექტებისას საჭიროა აირჩეს ყველაზე უფრო საიმედო ელემენტები, მაგრამ მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის, რომ, რაც უფრო დიდია ელემენტების რაოდენობა, მით უფრო ხშირად სისტემას აქვს მეტი წონა, გაბარიტები და ღირებულება. ამიტომ ესა თუ ის ელემენტი უნდა აირჩეს საიმედოობისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნების ანალიზის და სქემის საიმედოობის წინასწარი გაანგარიშების საფუძველზე.

მტყუნებების ინტენსიურობა ასევე შეიძლება შემცირდეს ელემენტთა მუშაობის რეჟიმის შემსუბუქებით. ელემენტების მუშაობის პირობების გაუმჯობესება შეიძლება შევამცირებთ რა გარეგანი ზემოქმედებების ზეგავლენას და შევამსუბუქებთ რა მუშაობის ელექტრულ რეჟიმს.

სისტემის უწყვეტი მუშაობის დროის შემცირება შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ არის შესაძლებლობა გამოირთოს ის, ან მისი ნაწილი განსაზღვრული დროით საჭაერო მოძრაობის მართვის პროცესის დაურღვევლად.

მუშაობის უნარის აღდგენის საშუალო დროის შემცირება შეიძლება იმ დროის შემცირებით, რომელიც მტყუნების ძეხნისა და აღმოფხვრისთვისაა საჭირო.

ამისათვის გამოიყენება კონტროლის ჩაშენებული აპარატურა. გარდა ამისა მითითებული დროის შემცირება შეიძლება მიღწეულ იქნეს შემოწმების ავტომატიზაციით, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციის ამაღლებით, ტექნიკური ექსპლუატაციის გამოცდილების ანალიზით და განზოგადებით.

საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემების ტექნიკური ექსპლუატაციის შემსრულებელი საინჟინრო-ტექნიკური შემადგენლობების ამოცანა მდგომარეობს სისტემის საიმედოობის არა ამაღლებაში, არამედ იმაში, რომ რაც შეიძლება დიდხანს იქნეს შენარჩუნებული არსებული საიმედოობა, რომელიც ჩადებულია დაპროექტებისა და წარმოების პროცესში.

ტექნიკური ექსპლუატაციის მეცნიერული მეთოდები შეიცავს პროფილაქტიკური ღონისძიებებისა და რემონტის ჩატარების მეცნიერულად დასაბუთებულ ვადებსა და ხერხებს. პირველ რიგში აქ იგულისხმება შემოწმებების სიხშირე და სიღრმე, შენახვის პირობები, აპარატურის უწყვეტი მუშაობის დროის რეგლამენტაცია და ა.შ.

უნდა ითქვას, რომ ექსპლუატაციის პროცესში სისტემის საიმედოობა არა მარტო იხარჯება არამედ ექსპლუატაციის სწორი ორგანიზებისას შესაძლებელი ხდება აპარატურის საიმედოობის ამაღლება. მართლაც, თუ პროფილაქტიკური ღონისძიებები გამორიცხავს მტყუნებებს, მაშინ ეს სისტემის მტყუნების

ინტენსიურობის შემცირების ტოლფასია. სხვაობა მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ აქ ელემენტების საიმედოობა ფაქტიურად კი არ იზრდება, რასაც ადგილი აქვს დაპროექტებისას და დამზადებისას, არამედ თავისდროულად ხდება ჯერ კიდევ უმტყუნო ელემენტების შეცვლა ან რემონტი, მაგრამ ისეთების, რომელთა მტყუნების ალბათობა ძლიერ გაიზარდა.

ტექნიკური ექსპლუატაცია ძალიან დიდ გავლენას ახდენს ახლად შესაქმნელი აპარატურის დაპროექტებასა და დამზადებაზე. ეს იმით აიხსნება, რომ იმ მტყუნებების შესახებ მონაცემები, რომლებიც მიღებულია აპარატურის ექსპლუატაციისას, სრულად ახასიათებს მის საიმედოობას, ამიტომ ხშირად წარმოადგენს საწყის მონაცემებს დაპროექტებისას.

ექსპლუატაცია შეიძლება განვიხილოთ როგორც უზარმაზარი მოცულობის ექსპერიმენტი აპარატურის მუშაობის რეალურ პირობებში, რომელიც შეუძლებელია ჩატარდეს ლაბორატორიაში, ამიტომ აპარატურის მტყუნებების შესახებ განზოგადებული სტატისტიკური მონაცემების შეკრება და მეცნიერული დამუშავება ექსპლუატაციის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფუნქციაა.

ექსპლუატაციის გამოცდილება ყოველთვის უნდა გამოიყენებოდეს საიმედო აპარატურის დაპროექტების და დამზადებისას, ხოლო დაპროექტებისა და დამზადების რეზულტატები-ექსპლუატაციის მეთოდების სრულყოფისას.

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში საიმედოობის უზრუნველყოფა ბევრადაა დამოკიდებული ავიასპეციალისტების შერჩევაზე, სწავლებაზე და კვალიფიკაციის ამაღლებაზე, განსაკუთრებით საჰაერო ნავიგაციის გლობალურ გეგმაზე (GANP) გადასვლისა და მისი წარმატებით რეალიზაციის პროცესში.

3.3. საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების რეკომენდაციები, საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა შერჩევისა და კვალიფიკაციის ამაღლების საკითხებში [7,8, 18, 22, 30]

3.3.1. ICAO - ს რეკომენდაციები

ავიასპეციალისტები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ საჰაერო ნავიგაციის გლობალურ გეგმაზე (GANP) გადასვლისა და მისი წარმატებით რეალიზაციის პროცესში. კვლევებზე დაყრდნობით საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მოსალოდნელი ტექნოლოგიური ცვლილებები გავლენას მოახდენს ავიასპეციალისტთა კვალიფიკაციის დონეზე, როგორც ჰაერში ასევე მიწაზე, და გამოიწვევს მათი ცოდნისა და პასუხისმგებლობების ფორმირებას, აგრეთვე მოითხოვს ახალი უნარ-ჩვევების განვითარებას. სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით, ფრენების ინტენსივობის ზრდის გათვალისწინებით, ერთობ მნიშვნელოვანია, ის რომ სახეზე იყოს საკმარისი რაოდენობის კვალიფიციერებული და კომპეტენტური პერსონალი უსაფრთხო და ეფექტური საავიაციო სისტემის უზრუნველსაყოფად.

ამ მიზნით ICAO-ს შემუშავებული აქვს სპეციალური პროგრამა „საავიაციო სპეციალისტების ახალი თაობა“ – NGAP რომლის ფარგლებშიც ორგანიზაცია მუშაობს დაინტერესებულ მხარეებთან, რათა ამაღლდეს ცნობიერება პროფესიონალი პერსონალის მოსალოდნელი დეფიციტისა და თანამედროვე საავიაციო გამოწვევების შესახებ, როგორც გლობალურ, ისე რეგიონალურ დონეზე, აგრეთვე დახმარება გაეწიოს მსოფლიო საავიაციო საზოგადოებას კადრების მომზადების საქმესა და მომავალი თაობის საავიაციო სპეციალისტების კვალიფიციურ სწავლებასა და შენარჩუნებაში. ამიტომ ფრიად მნიშვნელოვანია, რომ NGAP-ის ჩარჩოში შემუშავებული კონცეფციები ითვალისწინებდეს არსებული და მომავალი კვალიფიცირებული პერსონალის ძლიერ და სუსტ მხარეებს თითოეულ ეტაპზე.

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის უსაფრთხოებით დაინტერესებულმა ყველა მონაწილემ უნდა გააქტიუროს ძალისხმევა იმ რისკების მართვაში, რომლებიც დაკავშირებულია ადამიანის ფაქტორთან. ამ მიზნით ICAO-ს აქტიური კოორდინაცია აქვს დაინტერესებულ მხარეებთან NGAP-ის ფარგლებში სასწავლო სახელმძღვანელოების დამუშავებასა და საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალისათვის სწავლების იმ მეთოდებისა და რეკომენდირებული პრაქტიკის დანერგვაში, რომელიც კომპეტენციების ამაღლებას ეფუძნება. კერძოდ განსაზღვრულია სამი პრიორიტეტული მიმართულება ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესებისათვის საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ტექნოლოგიური ცვლილებების პარალელურად, ესენია:

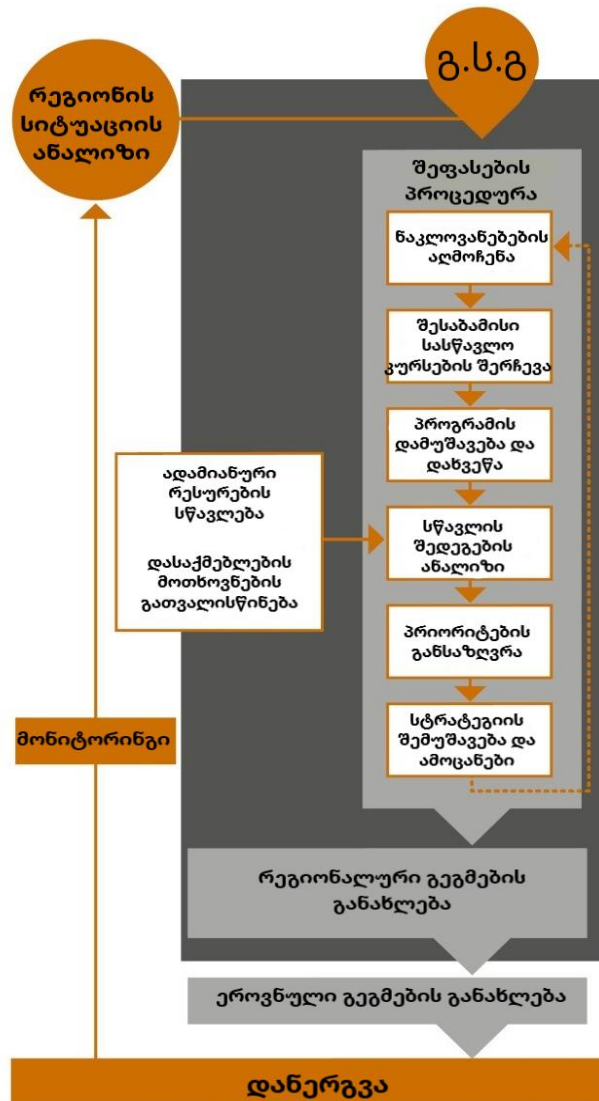
ა) პერსონალის საწყისი მომზადება ახალ ტექნოლოგიურ გარემოსთან ადაპტაციის მიზნით;

ბ) ახალი ცოდნის, უნარებისა და მოვალეობების ფორმირება, რომლებიც განსაზღვრულია და აუცილებელია სისტემის უსაფრთხო მუშაობის შენარჩუნების მიზნით;

გ) სოციალური ფაქტორები და იმ ცვლილებების მართვა, რომლებიც დაკავშირებულია ავტომატიზაციის ზრდასთან.

ადამიანის მუშაობის ეფექტიანობა გათვალისწინებული უნდა იქნეს, როგორც ახალი სისტემებისა და ტექნოლოგიების დაგეგმარებისა და დაპროექტების ეტაპებზე, ისე მათი დანერგვისა და ექსპლუატაციის დროსაც. ადამიანური შეცდომებით გამოწვეული რისკების პრევენციის მიზნით მათი ფართო და ეფექტური მართვა ოპერატიულ კონტექსტში შეუძლებელია მიღწეულ იქნეს მარეგულირებელი ორგანოების, მომსახურების მიმწოდებლების და ექსპლუატაციის პერსონალის კოორდინირებული ძალისხმევის გარეშე.

ნახაზზე 3.7 მოცემულია ICAO-ს გლობალური სანავიგაციო გეგმის (გ.ს.გ) ფარგლებში შემუშავებული ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესების დაგეგმვისა და დანერგვის რეგიონალური ჯგუფების სამუშაო სტრატეგია.



ნახ. 3.7 ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესების დაგეგმვისა და დანერგვის რეგიონალური ჯგუფების სამუშაო სტრატეგია (ICAO)

3.3.2. EUROCONTROL - ის რეკომენდაციები

ადამიანის ეფექტურობა საჰაერო მოძრაობის მართვის კონტექსტში განისაზღვრება ოპერატიული პერსონალის მიერ სამუშაოების, ამოცანების და მოქმედებების შესრულებით ინდივიდუალურად თუ ჯგუფურად.

EUROCONTROL-ის მუშაობის ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიმართულება მოიცავს ადამიანების სისტემაში ინტეგრირების ყველა ასპექტს, მათ შორის ისეთებს, როგორიცაა საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში კვალიფიციური პერსონალის უზრუნველყოფა და ადამიანის შეცდომების აღმოფხვრა.

ავიაციაში, ისე როგორც ნებისმიერ სხვა სფეროში, სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ადამიანის შეცდომა წარმოადგენს ფაქტორს, რომელიც ხელს უწყობს შემთხვევებისა და კატასტროფების უმრავლესობას. ამრიგად ადამიანის შეცდომა

წარმოადგენს პოტენციურად სუსტ რგოლს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში, ამიტომ ყველა ზომა უნდა იქნეს მიღებული შეცდომების თავიდან ასაცილებლად და ადამიანის სხვა თვისებების მაქსიმიზაციისათვის, როგორცაა შეცდომის აღმოჩენა და აღმოფხვრა.

ადამიანური მახასიათებლები, სპეციალისტების გამოცდილება და ის ინსტრუმენტები, რომლებსაც ისინი გამოიყენებენ მთავარ კომპონენტებს წარმოადგენს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში. ამიტომ ადამიანური მახასიათებლების გაგებას და მართვას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მომავალი საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში. მიუხედავად იმისა, თუ რამდენად წინ წაწეულია ტექნოლოგიები და სისტემები, ადამიანი ყურადღების ცენტრში იქნება, როგორც გადაწყვეტილების მიმღები პირი და ადამიანის საქმიანობა დარჩება საკვანძო ფაქტორად საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში.

EUROCONTROL-ს წარმოდგენილი აქვს ავიასპეციალისტების მუშაობის ეფექტურობის ამაღლებისა და ინიციატივების რეალიზაციის სამოქმედო გეგმა. ის შეიცავს სასწავლო კურსების, სახელმძღვანელო მასალის, სპეციალური პროექტებისა და პრაქტიკული ინიციატივების განვითარების მხარდაჭერის პროგრამებს, კერძოდ:

ა) სტრესის მართვა კრიტიკული ინციდენტებისას იმისათვის, რომ შესაბამის პერსონალს აღმოეჩინოს რაციონალური დახმარება;

ბ) ადამიანის ფაქტორთან დაკავშირებული პრობლემების გამოვლენა და შესაბამისი დამუშავება;

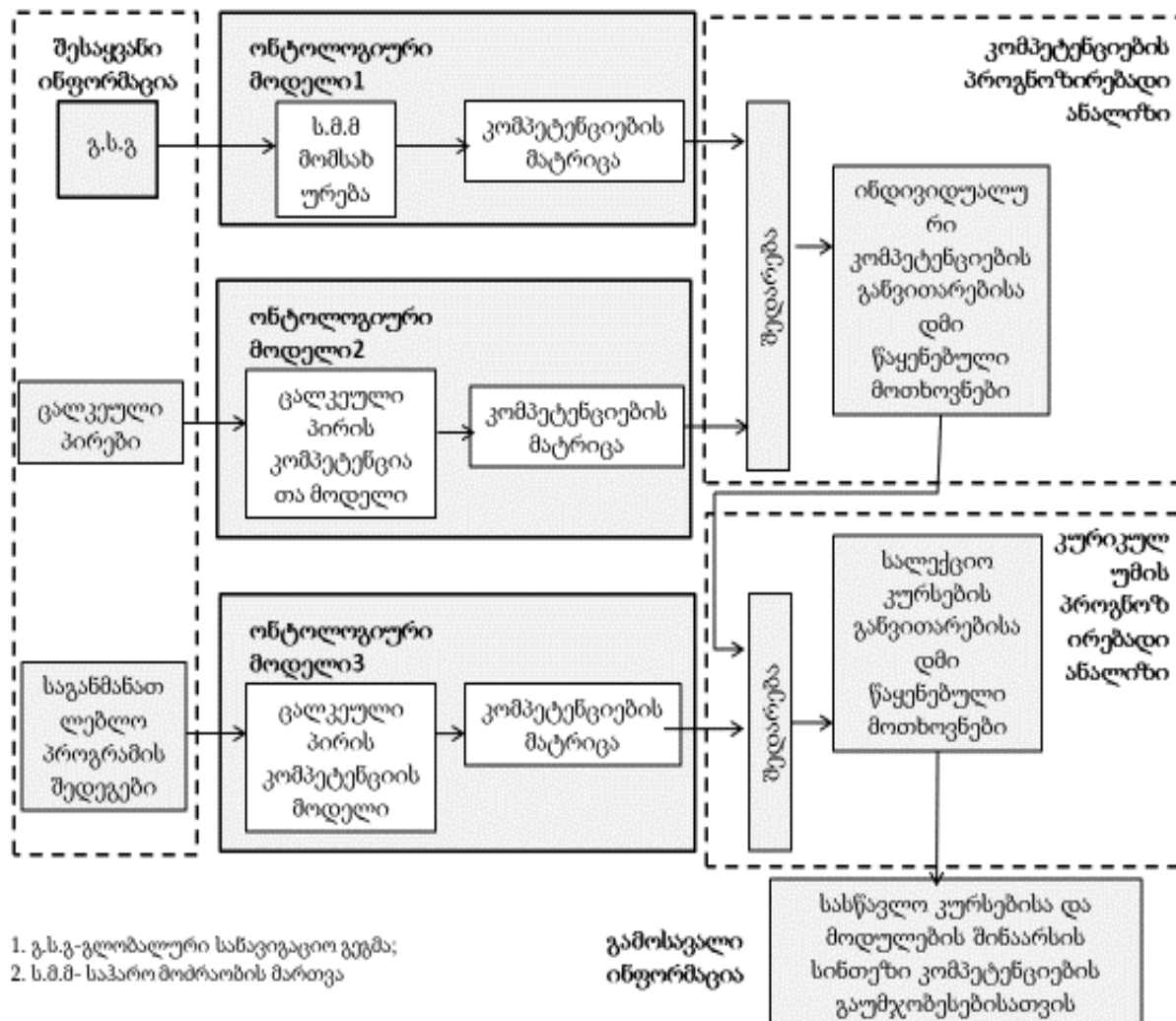
გ) დადლილობა და ძილის მართვა ცვლებში მომუშავე პერსონალისათვის, მათთვის იმ ცოდნისა და სტრატეგიის მიწოდება, რომელიც სასარგებლოა ძილის უკეთ მართვისათვის, აგრეთვე დადლილობის რისკების მართვისათვის;

დ) ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული შეცდომათა იმ ახალი პოტენციური ფორმების პროგნოზირება და მართვა, რომელიც წარმოიქმნება ახალი ტექნოლოგიების გამოყენების შედეგად;

ე) ადამიანის ფაქტორი ფრენების უსაფრთხოების მართვის სისტემაში (SMS) პროექტის ფარგლებში შემუშავებული სასწავლო კურსებისა და სახელმძღვანელო პრინციპების დამუშავება, რომელიც საშუალებას იძლევა უკეთ მოხდეს ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული პრობლემების შემცირება.

3.4. საპერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების კვლევა და რეკომენდაციები ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით [11, 12, 19, 21, 35]

კვლევის შესრულებისათვის შემუშავებულია 3 სახის ონტოლოგიური მოდელი საპერო მოძრაობის მართვის სისტემაში დასაქმებული პირების კომპეტენციათა შეფასებისა და შემდგომი განვითარებისათვის (ნახ.3.8).



ნახ. 3.8 საპერო მოძრაობის მართვის პერსონალის კომპეტენციათა განვითარების ზოგადი მოდელი

- შესაყვანი ინფორმაცია პირველი მოდელისათვის განსაზღვრულია ICAO-ს გლობალური სანავიგაციო გეგმის მიხედვით, რომელშიც შეიყვანება მოთხოვნილი საჭირო: ცოდნა, უნარები და კომპეტენციები;
- მეორე მოდელი აგებულია რეალური გარემოს მიხედვით, კომპეტენციათა შემოწმების მიზნით გამოკითხვების ფორმების ანალიზის ჩატარების საფუძველზე;
- მესამე მოდელი აგებულია მისაღები შედეგების ანალიზის საფუძველზე.

თითოეული მოდელისათვის შესაყვანი ინფორმაციები განისაზღვრება შემუშავებული კომპეტენციათა მატრიცის სახით:

კომპეტენციათა მატრიცა

შესაყვანი ინფორმაცია	ცოდნა				უნარები				კომპეტენციები			
	K_1	K_2	...	K_k	S_1	S_2	...	S_s	A_1	A_2	...	A_a
I_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1k}	s_{11}	s_{12}	...	s_{1s}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1a}
I_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2k}	s_{21}	s_{22}	...	s_{2s}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2a}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
I_i	k_{i1}	k_{i2}	...	k_{ik}	s_{i1}	s_{i2}	...	s_{is}	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ia}

ნახ.3.9. მოდელებში შესაყვანი საჭირო ინფორმაციების განსაზღვრის კომპეტენციათა მატრიცა

შესაყვანი ინფორმაციათა ონტოლოგია განსაზღვრულია მონაცემთა სტრუქტურის შემდეგი აქსიომის მიხედვით:

$$O = \langle C, I, R, T, V, A, \leq, \perp, \in, = \rangle$$

სადაც:

C- კლასების კომპლექტი საერთო ინტერესთა აღრიცხვის მიზნით;

I- ინდივიდები, რომლებიც არიან ჩართული პროცესში;

R- ორმხრივი დამოკიდებულება ორ ინდივიდს ან ინდივიდსა და მონაცემებს შორის;

T- მონაცემთა ტიპების კომპლექტი (რიცხვები, სერიები);

V- კერძო ღირებულებების კომპლექტი (C, I, R, T, V დაწყვილებული კავშირი);

$\leq$ -კავშირი $(C \times C) \cup (R \times R) \cup (T \times T)$ შორის, ეწოდება სპეციალიზაცია;

$\perp$ -კავშირი $(C \times C) \cup (I \times I) \cup (V \times V)$ შორის, ეწოდება გამონაკლისი;

$\in$ -კავშირი $(I \times C) \cup (V \times T)$ შორის, ეწოდება კონკრეტიზაცია;

$=$ -კავშირი $I \times R \times (I \cup V)$ შორის ეწოდება ასიგნაცია;

A- აქსიომათა კომპლექტი, რომელიც შეიცავს ლოგიკურ მტკიცებულებას, რომელიც არის ყოველთვის სწორი და რომლიდანაც შესაძლებელია კონკრეტული ცოდნის მიღება, ის შეიძლება შეიცავდეს ონტოლოგიურ შეზღუდვებს, რომლებიც ფიქსირდებიან კონკრეტულ განსაზღვრულ მნიშვნელობათა ზღვარში.

მოდელის განვითარებისათვის შემუშავებულია ალგორითმი გლობალური საჭაერო ნავიგაციის დანერგვისათვის, პერსონალისათვის მოთხოვნილ კომპეტენციათა და რეალურად არსებულ საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში დასაქმებულების კომპეტენციათა შედარების მიზნით, ასევე ალგორითმი რეალურ გარემოში კომპეტენციათა განვითარებისათვის წაყენებულ მოთხოვნებსა და იმ კომპეტენციებს შორის, რომლებიც უზრუნველყოფილია არსებული სასწავლო კურსებისა და მოდულების მიერ.

კვლევის შედეგად შესაძლებელია განსაზღვრული პროცედურების ფორმირება, რომლებიც გაითვალისწინება სასწავლო კურსების შინაარსებში საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში დასაქმებულთა კომპეტენციების გაუმჯობესების მიზნით.

კვლევის პროცესში პერსონალთა კომპეტენციებისა და ახალი ტექნოლოგიურ გარემოს შორის აგებული მოდელების პრაქტიკაში დანერგვით, შესაძლებელია მათი ეფექტური ჰარმონიზაცია, რაც წარმოადგენს კვლევის შედეგების სამეცნიერო ღირებულებას და შედეგად გვაძლევს გაზრდილ უსაფრთხოების, გამტარუნარიანობის და ეფექტიანობის დონეს საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში.

კვლევის შედეგად შემუშავებულია შემდეგი სახის **პრაქტიკული რეკომენდაციები**, ინვესტიციების განხორციელება ადამიანის საქმიანობაში შემდეგი მიზნობრიობით, ხელს შეუწყობს საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ხარჯების შემცირებას და ორგანიზაციული საქმიანობის სრულყოფას, ასეთებია:

1. სისტემური დაგეგმარების, პროცესებისა და შედეგების რეალიზაციის სრულყოფა;
2. შერჩევის, დაკომპლექტების, დასაქმების პროცესების გაუმჯობესება;
3. სამუშაო გარემოს გაუმჯობესება;
4. სწავლებისა და პროცედურების სრულყოფა;
5. სისტემის უსაფრთხოების გაზრდა;
6. ცვლილებების ეფექტურად განხორციელებისა და მისაღები სოციალური გარემოს შექმნა.

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის უსაფრთხოებით დაინტერესებულმა ყველა მონაწილემ უნდა გააქტიუროს ძალისხმევა იმ რისკების მართვაში, რომლებიც დაკავშირებულია ადამიანის ფაქტორთან. მათ შორის საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალისათვის სწავლების იმ მეთოდებისა და რეკომენდირებული პრაქტიკის დანერგვაში, რომელიც კომპეტენციების ამაღლებას ეფუძნება. ამ მიზნით განსაზღვრულია სამი პრიორიტეტული მიმართულება ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესებისათვის საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ტექნოლოგიური ცვლილებების პარალელურად, ესენია:

ა) პერსონალის საწყისი მომზადება ახალ ტექნოლოგიურ გარემოსთან ადაპტაციის მიზნით;

ბ) ახალი ცოდნის, უნარებისა და მოვალეობების ფორმირება, რომლებიც განსაზღვრულია და აუცილებელია სისტემის უსაფრთხო მუშაობის შენარჩუნების მიზნით;

გ) სოციალური ფაქტორები და იმ ცვლილებების მართვა, რომლებიც დაკავშირებულია ავტომატიზაციის ზრდასთან.

ადამიანის მუშაობის ეფექტიანობა გათვალისწინებული უნდა იქნეს, როგორც ახალი სისტემებისა და ტექნოლოგიების დაგეგმარებისა და დაპროექტების ეტაპებზე, ისე მათი დანერგვისა და ექსპლუატაციის დროსაც. ადამიანური შეცდომებით გამოწვეული რისკების პრევენციის მიზნით მათი ფართო და ეფექტური მართვა შეუძლებელია მიღწეულ იქნეს მარეგულირებელი ორგანოების, მომსახურების მიმწოდებლების და ექსპლუატაციის პერსონალის კოორდინირებული ძალისხმევისა და შემდეგი ღონისძიებების გატარების გარეშე:

ა) სტრესის მართვა კრიტიკული ინციდენტებისას იმისათვის, რომ შესაბამის პერსონალს აღმოეჩინოს რაციონალური დახმარება;

ბ) ადამიანის ფაქტორთან დაკავშირებული პრობლემების გამოვლენა და შესაბამისი დამუშავება;

გ) დადლილობა და ძილის მართვა ცვლებში მომუშავე პერსონალისათვის, მათთვის იმ ცოდნისა და სტრატეგიის მიწოდება, რომელიც სასარგებლოა ძილის უკეთ მართვისათვის, აგრეთვე დადლილობის რისკების მართვისათვის;

დ) ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული შეცდომათა იმ ახალი პოტენციური ფორმების პროგნოზირება და მართვა, რომელიც წარმოიქმნება ახალი ტექნოლოგიების გამოყენების შედეგად;

ე) ადამიანის ფაქტორი ფრენების უსაფრთხოების მართვის სისტემაში (SMS) პროექტის ფარგლებში შემუშავებული სასწავლო კურსებისა და სახელმძღვანელო

პრინციპების დამუშავება, რომელიც საშუალებას იძლევა უკეთ მოხდეს ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული პრობლემების შემცირება.



ნახ. 3.10. კვლევის შედეგად მიღებული რეკომენდაციების რუკა

დასკვნა

სადოქტორო ნაშრომში განხილულია დღეს არსებული რადიონავიგაციური და რადიოლოგაციური სისტემების მუშაობის სიზუსტისა და საიმედოობის ამაღლების მეთოდები და გზები, აგრეთვე მათი თანამედროვე ტექნიკურ მოთხოვნებთან და საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების მიერ დადგენილ ნორმებთან შესაბამისობა.

ანალიზისა და სინთეზის მეთოდების გამოყენებით კლასიფიცირებულია ძირითადი პრობლემური საკითხები და წარმოდგენილია მათი ტაქსონომია.

ნაშრომის პირველივე თავში შემოთავაზებულია პრობლემების ნაწილობრივ გადაწყვეტის მეთოდოლოგია და ზოგიერთი ნავიგაციური მოწყობილობის პარამეტრების ICAO-ს მოთხოვნებთან თანხვედრაში მოყვანის პრაქტიკული მიდგომები. დამუშავებულია სახმელეთო რადიოლოგაციური სისტემების ეფექტურობის ამაღლების მეთოდები, თუმცა საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების კვლევების მონაცემებზე დაყრდნობით, მათი პრაქტიკაში განხორციელება 2030 წლისათვის მოსალოდნელი მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით არასაკმარისია.

სწორედ ამიტომ ნაშრომის მეორე თავში შესწავლილია ის ალტერნატიული ინოვაციური ტექნოლოგიები, რომელთა გამოყენებით მოხდება დღეს არსებული მიწისზედა რადიოტექნიკური საშუალებების განსაზღვრულ დონეზე ჩანაცვლება.

სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ შემუშავებული 2016-2030 წლების გლობალური საჰაერო ნავიგაციის სამოქმედო გეგმის თანახმად გათვალისწინებულია იმ ალტერნატიული ინოვაციური ტექნოლოგიების შესწავლა, დანერგვა და ანალიზი, რომლითაც უახლოეს მომავალში უნდა ჩანაცვლდეს დღეს არსებული რადიონავიგაციური და რადიოლოგაციური სისტემები.

ნაშრომში განხილული ინოვაციური ტექნოლოგიების საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში წარმატებით დანერგვა წარმოადგენს ნაშრომის პირველ თავში განხილული პრობლემების ტაქსონომიის გადაწყვეტის ინსტრუმენტს.

ინოვაციური ტექნოლოგიების პრაქტიკაში რეალიზების ერთ-ერთი პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ ამჟამად არ არსებობს ერთიანი მოთხოვნები საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის ყველა კატეგორიისადმი, გარდა ამისა, საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ტექნოლოგიური განვითარება ბევრად წინ უსწრებს შესაბამისი კვალიფიკაციების პერსონალის მომზადების ტემპს.

GANP პროგრამის წარმატებით დანერგვაში ავიასპეციალისტთა როლის ამაღლების საკითხი აქტუალურია მსოფლიო მასშტაბით. პროგნოზირებადი ანალიზის საფუძველზე მოსალოდნელია, რომ სისტემური ცვლილებები გავლენას

იქონიებს საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის კვალიფიკაციის დონეზე და გამოიწვევს მათი ფუნქციებისა და პასუხისმგებლობების შეცვლას, აგრეთვე ახალი უნარ-ჩვევების შეძენის აუცილებლობას.

დისერტაციის მესამე თავის ძირითადი ნაწილი დასმული პრობლემის გადაწყვეტას ეთმობა, მასში სიახლის სახით წარმოდგენილია კვლევის შედეგად მიღებული რეკომენდაციები ონტოლოგიური მოდელების გამოყენებით საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების მიზნით. მოდელებში გამოყენებული ალგორითმი კვლევის შედეგად მიღებული ინფორმაციების ავტომატურად დამუშავებით გვაძლევს იმ კონკრეტული სწავლის შედეგების ჩამონათვალს, რომლებიც საჭიროა შესაბამისი ცოდნის, უნარებისა და კომპეტენციების გამომუშავებისათვის საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მომუშავე ავიასპეციალისტებისათვის. ეს ბუნებრივად იწვევს საგანმანათლებლო პროგრამების ხარისხის გაუმჯობესებას, მათ შრომის ბაზრის თანამედროვე მოთხოვნებთან დაახლოებას და შედეგად გვაძლევს კვალიფიციური კადრების გარანტიას ახალ ტექნოლოგიურ გარემოში, რასაც თავის მხრივ დადებითი როლი აქვს ფრენების უსაფრთხოების დონის უზრუნველყოფაში ადამიანური ფაქტორების გათვალისწინებით.

თანამედროვე საზოგადოების განვითარება ეყრდნობა რთული ტექნიკური სისტემების შექმნას, რომელთა ნორმალური მუშაობის დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს საავიაციო შემთხვევები, კატასტროფები, ეკონომიკური ზარალი და სხვა ნეგატიური შედეგები. ამიტომ სხვადასხვა დანიშნულების ტექნიკური ობიექტების მაღალი საიმედოობის უზრუნველყოფა საზოგადოების სტრატეგიულ ამოცანას წარმოადგენს. აღნიშნულ პროცესში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება საავიაციო ტექნიკის, კერძოდ საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობას, ვინაიდან მასზე დამოკიდებულია ფრენების უსაფრთხოება და რეგულარობა, ათეული და ასეული ადამიანის სიცოცხლე და ძვირადღირებული საავიაციო ტექნიკის დაცულობა. აქედან გამომდინარე, ნაშრომის მესამე თავის გარკვეული მოცულობა ეთმობა ტექნიკური სისტემების საიმედოობის თეორიის ძირითად დებულებებს და რაოდენობრივ მახასიათებლებს (მტყუნებათა ინტენსიურობა და სიხშირე, უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო), მოყვანილია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობის ამაღლების მეთოდები კონკრეტული მაგალითების სახით.

გამოყენებული ლიტერატურა

ქართულენოვანი მასალები

- [1] ს. ტეფნაძე, რ. ებრაღიძე, ნ. თიკანაშვილი, „საჰაერო რადიონავიგაციის საფუძვლები“, თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2018.
- [2] ს. ტეფნაძე, დ.ვეფხვაძე, „საჰაერო ხომალდების ფრენის მართვის სისტემები“ თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2019.
- [3] ფ. კოგანი, „აეროპორტების რადიოელექტრონული სისტემები და მოწყობილობები“ თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2014.
- [4] ჯ. ბზარაშვილი „საჰაერო ნავიგაცია“, თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2019.
- [5] ვ. პაპუნაშვილი, თ. მაზიაშვილი, თ. თაბაგარი „ თანამგზავრული სანავიგაციო სისტემები“ თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2019.
- [6] „თანამგზავრის მეშვეობით საჰაერო ხომალდებზე დაკვირვების ავტომატიზებული სისტემის (ADS-B) დანერგვა“, საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო, <http://www.economy.ge/?page=projects&s=31>

ინგლისურენოვანი მასალები

- [7] Doc 9750-AN/963 (2016) 2016–2030 Global Air Navigation Plan. ICAO, 137p.
- [8] ASBU Implementation Monitoring Report ICAO EUR States (2017) ICAO, 140 p.
- [9] Human Performance in Air Traffic Management Safety. A White Paper (2010). EUROCONTROL/FAA Action Plan 15 Safety, September 2010, 36 p.
- [10] EUROCONTROL (2016) Local single european sky implementation (LLSIP) Georgia level 1. Ministry of economy and sustainable development of Georgia. Investigation reports of aviation accidents and incidents. Online <http://www.economy.ge/?page=departments&dep=20&det=4&lang=en> [Accessed 17.11.2017].
- [11] Borisov, A, Kuleshova, G, Zmanovska, T. (2014) Introduction to ontology engineering. Riga: RTU Press. pp 46-55.
- [12] J. Euzenat and P. Shvaiko (2007) Ontology Matching. Heidelberg, Springer-Verlag, p. 39.
- [13] D. Tsarkov and I. Horrocks (2003) DL Reasoner vs. First-Order Prover, in Proc. of the 2003 Description Logic Workshop, pp. 152–159.
- [14] Protégé -a free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems. <https://protege.stanford.edu/>
- [15] Official Web-Page of Causes of Fatal Accidents by Decade. <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm>
- [16] Human Factors, Federal Aviation Administration, Chapter 14, pp 14-28.
- [17] Paul D. Groves, “Principles of GNSS, Inertial, and multisensor integrated Navigation Systems”,

- ARTECH HOUSE. Great Britain, 2012.
- [18] Eurocontrol, EUROCONTROL Seven-Year Forecast February 2018; Edition V1.0, pp 14-84
[online] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/forecasts/seven-year-flights-service-units-forecast-2018-2024-Feb2018.pdf>
- [19] „Ontology based approach for human competency gap analysis in Air Traffic Management“
Autors: Igor Kabashkin, Nika Tikanashvili.
Publication of paper in Transport and Telecommunication Journal, 2019, volume 20, no. 3 (ISSN 1407-6179, indexed in Scopus, Web of Science and others scientific data bases).
- [20] Human Factors Digest No.6 ERGONOMICS, ICAO Circular 238-AN/143.
- [21] Jörg Kundler Doctoral Thesis “The methodology of maintenance and technical service model development for air traffic control service providers”, Scientific supervisor Dr.habil.sc.ing., Professor Igor Kabashkin, Riga 2014.
- [22] Manual on Air Traffic Controller Competency-based Training and Assessment, ICAO Doc 10056,
First Edition, 2017.
- [23] Air Traffic Technology International 2018, The International Review of Air Traffic Technology and Management, 2018.
- [24] Jakub Machuta, Jakub Kraus, “SBAS Avionics Compared to GBAS on-Board Equipmnet”, Magazine of Aviation Development, Czech Technichal University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, 6(1): 11-16, 2017.
- [25] SKYbrary „SESAR”, copyright 2016-2019 [Online]
<https://www.skybrary.aero/index.php/Category:SESAR>
- [26] ICAO Doc 9849 AN/457 Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual
<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3380719?publication=0>
- [27] Ivan A. Mantilla-Gaviria. Mauro Leonardi. Gaspare Galati. Juan V. Balbastre-Tejedor.
Localization algorithms for multilateration (MLAT) systems in airport surface surveillance. 2013.
- [28] João Vaz Pato Teixeira Pinto: Assessment and Design of Multilateration Telecommunication Systems installed in NAV, Portugal, EPE,09.2011.
- [29] Procedures for Air Navigation Services, ICAO Doc 9868 Training, Second Edition, 2016.
- [30] International Standards and Recommended Practices, ICAO Annex 19 to the Convention on International Civil Aviation.
- [31] Trainair Plus Operations Manual, ICAO Doc 10052, Fourth Edition, 2018.
- [32] Air Traffic Control, Stakeholders Perspectives and Options for Reform, UK ed. Edition, 2016.
- [33] Human Factors Impacts in Air Traffic Management, Mark Rodgers, Barry Kirwan, 2005.
- [34] Aerospace Navigation Systems, 1st Edition, Alexander V. Nebylov, Joseph Watson 2016.
- [35] An Introduction to Ontology 1st Edition, Nikk Effingham, 2013.

[36] International Standards and Recommended Practices FOR AIR NAVIGATION SERVICES PROCEDURES FOR AIR NAVIGATION SERVICES