



საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

ნიკა თიკანაშვილი

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

ავტორეფერატი

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

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

თბილისი 2019

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

წარდგენილია საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის სადისერტაციო
საბჭოში

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: პროფესორი სერგო ტეფნაძე
პროფესორი იგორ კაბაშკინი

ოფიციალური რეცენზენტები: პროფესორი სიმონ ხოშტარია
პროფესორი ვანო ზურაბიშვილი

დისერტაციის დაცვის დრო და ადგილი:

2019 წლის 19 დეკემბერი, 16:00 საათი, საქართველოს საავიაციო
უნივერსიტეტის საკონფერენციო დარბაზი.

სწავლული მდივნის ხელმოწერა, ა. აფხაიძე _____

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება: საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
ბიბლიოთეკაში, საქართველოს პარლამენტის ეროვნულ ბიბლიოთეკაში.

ავტორეფერატის - უნივერსიტეტის ვებგვერდზე www.ssu.edu.ge

საქართველოს პარლამენტის ეროვნულ ბიბლიოთეკაში.

IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES WITH HUMAN FACTOR CONSIDERATIONS IN AIR TRAFFIC MANAGEMENT FOR FLIGHT SAFETY ASSURANCE

Abstract

Aviation is one of the most dynamic modes of transport. Traditional organization for Air Traffic Management (ATM) with strong defined air corridors and constant monitoring of air traffic by controllers is not enough today.

Nowadays due to the increasing flight number in the whole world, quickly improve the technologies in the airports, in parallel development of personal skills and guarantee of qualified aviation specialists in the air and on the ground is critical, even the issue about human competencies in ATM becoming very actual, In Europe and in USA special international ATM research organizations such are SESAR (Single European Sky ATM Research) and NextGen (Next Generation Air Transportation System) are working very hard to create more effective strategies in this directions.

The Global Air Navigation Plan (GANP) represents a strategic methodology which leverages existing technologies and anticipates future developments based on State/industry agreed operational objectives. The GANP explores the need for more integrated aviation planning at both the regional and State level and addresses required solutions by introducing the consensus-driven Aviation System Block Upgrades (ASBU) systems engineering modernization strategy. The Block Upgrades will enable aviation to realize the global harmonization, increased capacity, and improved environmental efficiency that modern air traffic growth now demands in every region around the world. The GANP also outlines implementation issues involving the near-term performance-based navigation and Block 0 Modules and the Planning and Implementation Regional Groups (PIRGs) that will be managing regional projects.

Aviation professionals have an essential role in the transition to, and successful implementation of the GANP within PIRGs activities the system changes will affect the work of many skilled personnel in the air and on the ground, potentially changing their roles and interactions and even requiring new proficiencies to be developed. Furthermore, with the expected growth of aviation, it is critical that enough qualified and competent personnel are available to ensure a safe and efficient aviation system.

It is therefore critical that the concepts being developed within the GANP take into account the strengths and weaknesses of existing and future skilled personnel at every juncture. All actors with a stake in a safe air transportation system will need to intensify efforts to manage risks associated with human performance and the sector will need to proactively anticipate interface and workstation design, training needs and operational procedures while promulgating best practices.

One of the problems in the implementation of the GANP is that, on the one hand, there are currently no unified requirements for all categories of ATM personnel, and on the other hand,

the development of ATM technologies is far ahead of the pace of training of personnel of appropriate qualifications. This problem becomes even more noticeable in countries that have just started an active modernization of ATC systems and do not have enough experience in this field. In particular, Georgia is among the countries mentioned.

On 1 January 2014, Georgia becomes EUROCONTROL's 40th Member State, so during previous years very quickly develop the technological environment. The official statistics of SESAR baseline shows that in Georgia optimized ATM network services - 47%, advanced air traffic services - 70%, high performing airport operations - 100%, enabling aviation infrastructure -73%. At the same time official investigation reports of aviation accidents and incidents during previous years on the territory of Georgia shows that, unfortunately, there are several incidents, which have the direct connection with the human insufficient competencies in ATM during the operation.

An additional problem under these conditions is that it is difficult to identify competencies of personnel that require development in order to meet the requirements of modern ATM technologies and in the same time it is difficult to understand the gap between the training curricula outcome and the industry requirements.

Under these conditions, the present dissertation aimed at systematically solving the interconnected issues of the new ATM technologies implementation and adaptively providing them with qualified maintenance personnel is of undoubted actual.

The research work is focused on the creation of a novel methodology for the partial automation of the comparison competences of ATM personal and synthesis of training courses and modules, using a formal, ontology-based approach as a tool to solve these problems.

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.

გამოქვეყნებული პუბლიკაციები და მიღებული გრანტები

კვლევის შედეგები პუბლიკაციების სახით გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ჟურნალში, მათ შორის მაღალრეიტინგულ, ციტირებად და რეფერირებად ჟურნალებში (გამოქვეყნებული მასალები ავტორეფერატს 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;

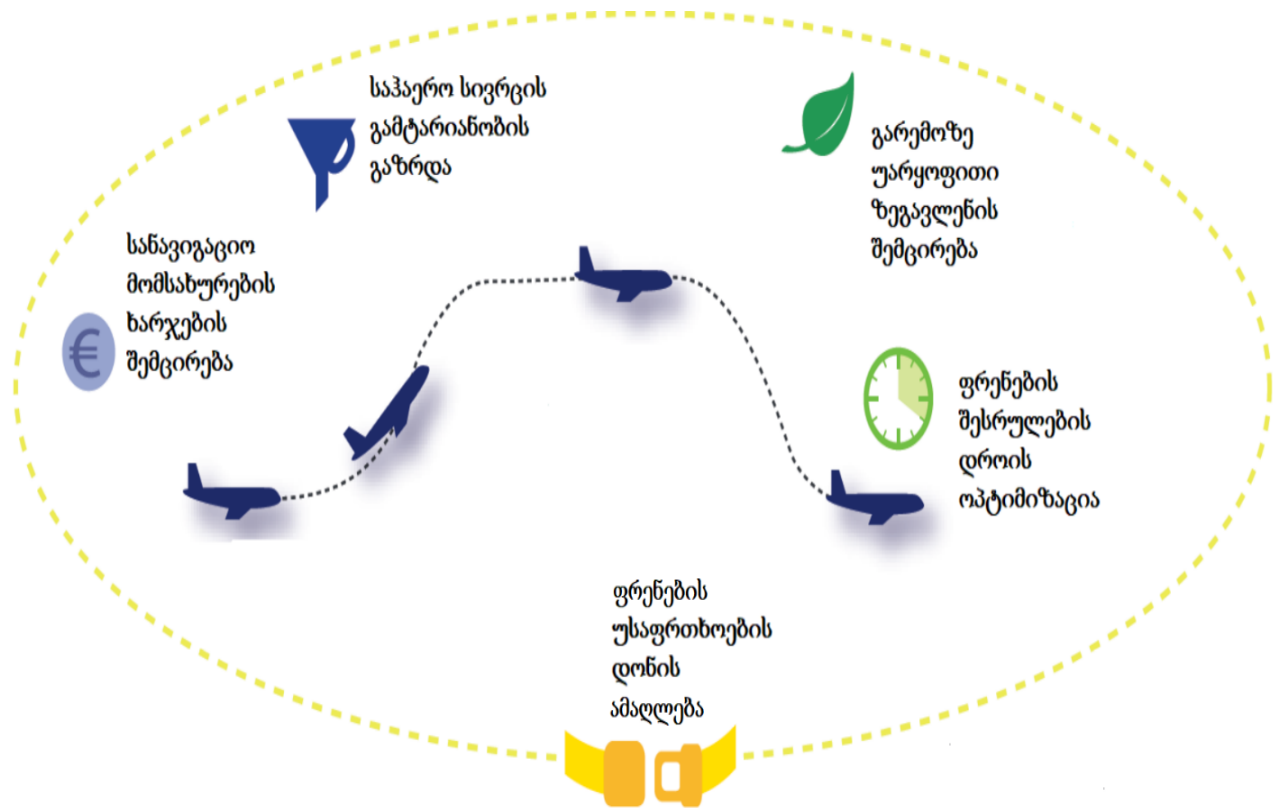
კვლევის შედეგების წარდგენა კორპორაცია “Boeing”-ის და ამერიკის ფედერალური ადმინისტრაციის (FAA) ერთობლივად ორგანიზებულ დოქტორანტთა საერთაშორისო სიმპოზიუმზე სრულად დაფინანსდა ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციის (EUROCONTROL) კვლევის დეპარტამენტის მიერ;

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“.

პრობლემის ფორმულირება და საკვლევი თემის აქტუალობა

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 საჰაერო მოძრაობის 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. ICAO-ს 2016-2030 წლების გლობალური სანავიგაციო სამოქმედო გეგმის პრიორიტეტული მიმართულებები

ტექნოლოგიური პროგრესის პარალელურად GANP-ის წარმატებულად დანერგვის პროცესში საავიაციო სპეციალისტების როლის ზრდის საკითხი აქტუალურია მსოფლიოს მასშტაბით. საჰაერო მოძრაობის მართვის კვლევის სპეციალური ორგანიზაციების პროგნოზირებადი ანალიზის საფუძველზე, ევროპაში - SESAR (Single European Sky ATM Research) და ამერიკაში NextGen (Next Generation Air Transportation System), ივარაუდება, რომ სისტემური ცვლილებები გავლენას იქონიებს საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის კვალიფიციურობის დონეზე, როგორც ჰაერში ასევე მიწაზე და გამოიწვევს მათი როლისა და პასუხისმგებლობის შეცვლას და ახალი უნარ-ჩვევების გამომუშავების აუცილებლობას, ამიტომ საჰაერო მიმოსვლის მოსალოდნელი ზრდით გამოწვეული მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად მეტისმეტად მნიშვნელოვანია საკმარისი კვალიფიციური პერსონალის ხელმისაწვდომობის გარანტია უსაფრთხო და ეფექტური საავიაციო სისტემის უზრუნველსაყოფად.

გლობალური საჰაერო ნავიგაციის გეგმის დანერგვის ერთ-ერთ პრობლემას წარმოადგენს ერთი მხრივ, ყველა კატეგორიის საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალისადმი ერთიანი მოთხოვნების არარსებობა და, მეორე მხრივ, საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროგრესის გაცილებით

მაღალი ტემპი, ვიდრე პერსონალის შესაბამისი კვალიფიკაციით მომზადებაში შეინიშნება. აღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტა მეტად აქტუალურია იმ ქვეყნებისათვის, რომელთაც ახალი დაწყებული აქვთ საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის აქტიური მოდერნიზაცია და არ აქვთ საკმარისი გამოცდილება ამ სფეროში, კერძოდ, აღნიშნული ქვეყნების რიცხვს მიეკუთვნება საქართველო.

აღნიშნული პრობლემების სისტემური გადაწყვეტის მიზნით შემოთავაზებული მეთოდოლოგია ადასტურებს სადისერტაციო ნაშრომის „საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით“ უდავო აქტუალობას.

კვლევის მიზნები და ამოცანები

კვლევის მიზანია, ისეთი მეთოდოლოგიური მიდგომის შემუშავება, რომელიც დაფუძნებულია ონტოლოგიურ მოდელირებაზე და ანალიზის საფუძველზე ავტომატურად განსაზღვრავს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში არსებულ კომპეტენციებს და ლოგიკურ ურთიერთკავშირს სასწავლო დაწესებულების საგანმანათლებლო პროგრამის სწავლის შედეგებსა და საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის მოთხოვნებს შორის.

კვლევის ამოცანებია:

1. ონტოლოგიის შექმნა სასწავლო კურსის ფორმულირებისათვის მისი მოდულებით, სწავლის შედეგებითა და საკვანძო სიტყვებით;
2. პროგრამის სპეციფიკასა და მოდულების შაბლონზე დაფუძნებული ავტომატიზებული მეთოდოლოგიის შემუშავება;
3. ალგორითმის შემუშავება სასწავლო კურსებისა და მოდულების წარმოდგენის, დანერგვის და შეფასების მიზნით.

კვლევის მეთოდოლოგია

მიზნების შესრულებისათვის კვლევა ეფუძნება შემდეგ მეთოდოლოგიას: ლიტერატურულ ანალიზს, კერძოდ, დარგში შესრულებულ როგორც ქართველი, ისე უცხოელი მეცნიერების თეორიულ ნაშრომებს. გამოყენებულია სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ICAO) და ევროპის საჰაერო ნავიგაციის უსაფრთხოების ორგანიზაციის (EUROCONTROL) ანგარიშები საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის პროგნოზირებადი ანალიზის შესახებ, ასევე დამუშავებულია საავიაციო შემთხვევების და ინციდენტების მოკვლევის ანგარიშები.

ლოგიკური უკუკავშირის მიღების მიზნით კვლევა ჩატარდა ავიასპეციალისტებთან, კვლევისას ერთობლივად გამოიყენებოდა შემდეგი მეთოდები: რაოდენობრივი (ანკეტირება და პირდაპირი გამოკითხვა) კითხვარი კონსტრუირდებოდა კვლევის ფარგლებში საკვლევი მიზნებიდან გამომდინარე;

თვისობრივი (ფოკუს ჯგუფები), ანალიზის, სინთეზის, ხარისხობრივი, სტატისტიკური და შედარების.

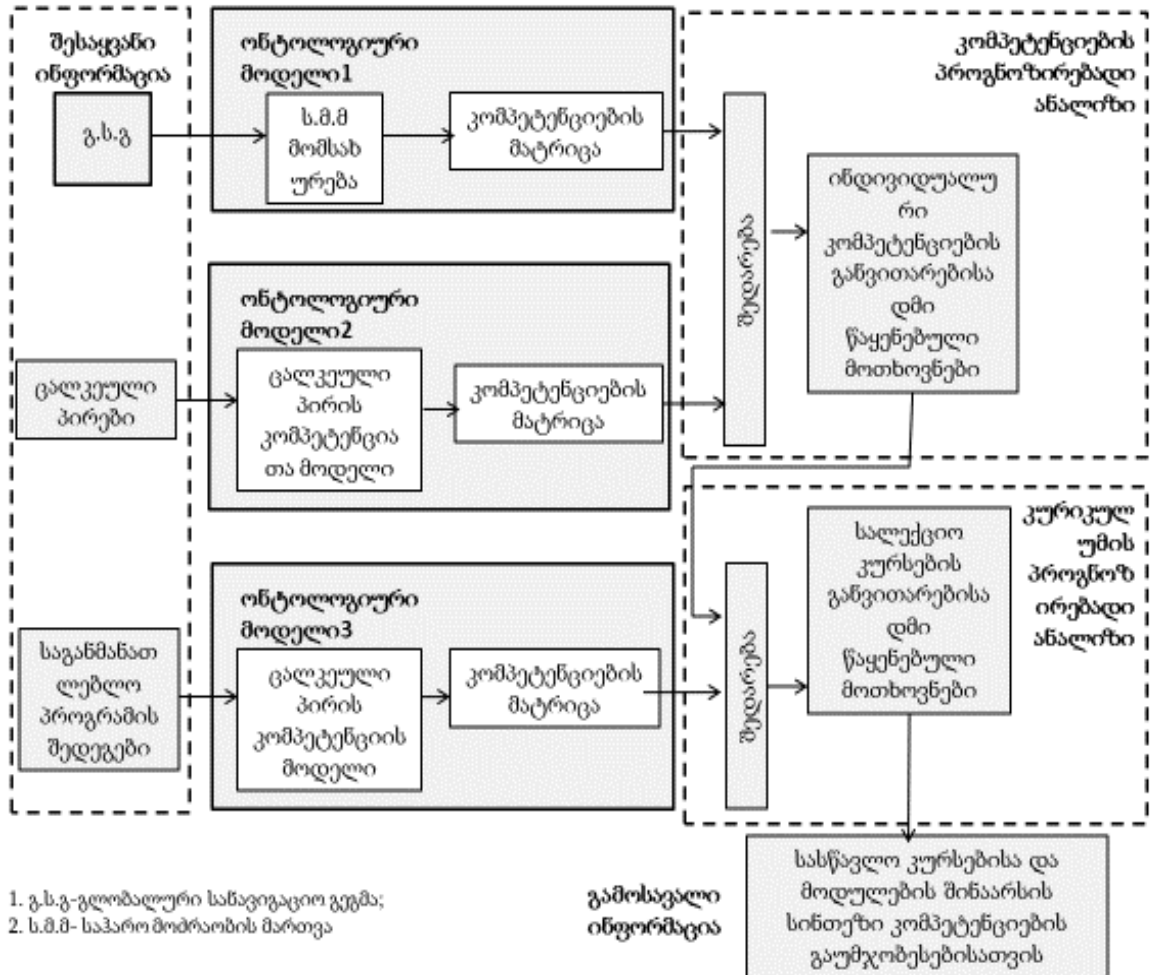
კვლევისას მნიშვნელოვან სირთულეს წარმოადგენდა შემდეგი ღია კითხვებზე პასუხების გაცემა:

1. სასწავლო კურსებისა და მოდულების რა სახის ინფორმაციაა საჭირო საჯარო მოძრაობის მართვის პერსონალის კომპეტენციათა შეფასებისათვის და რა ფორმით შეინახება ის ონტოლოგიურ მოდელში?
2. როგორ მოვახდინოთ ონტოლოგიაში სხვადასხვა დოკუმენტიდან ინფორმაციის მიღების ავტომატიზაცია?
3. რა სახის ალგორითმის შემუშავებაა მიზანშეწონილი სასწავლო კურსების და მოდულების ონტოლოგიისათვის?

სამეცნიერო სიახლე და მოსალოდნელი შედეგები

კვლევის ძირითადი კონტრიბუციაა ახალი, ონტოლოგიაზე დაფუძნებული, მეთოდოლოგია სასწავლო კურსებისა და მოდულების ავტომატიზებული შეფასებისათვის, საჯარო მოძრაობის მართვის პერსონალისათვის აუცილებელი კომპეტენციების განვითარების მიზნით ახალ ტექნოლოგიურ გარემოში.

ონტოლოგიური მოდელის განვითარების მიმდინარე ეტაპზე შემუშავებულია ალგორითმი გლობალური საჯარო ნავიგაციის გეგმის დანერგვისათვის პერსონალისათვის მოთხოვნილ კომპეტენციათა და საჯარო მოძრაობის მართვის სისტემაში დასაქმებულების რეალურად არსებულ კომპეტენციათა შედარების მიზნით, ასევე ალგორითმი რეალურ გარემოში კომპეტენციათა განვითარებისათვის წაყენებულ მოთხოვნებსა და იმ რეალურ კომპეტენციებს შორის, რომლებიც უზრუნველყოფილია არსებული სასწავლო კურსებისა და მოდულების მიერ.



ნახ. 2. საპრო მოძრაობის მართვის პერსონალის კომპეტენციათა შეფასების ონტოლოგიური მოდელი

კვლევის შედეგად შესაძლებელია განსაზღვრული პროცედურების ფორმირება და გათვალისწინება სასწავლო კურსებისა და მოდულების შინაარსებში საპრო მოძრაობის მართვის სისტემაში დასაქმებულთა კომპეტენციების გაუმჯობესების მიზნით.

კვლევის პერიოდში საპრო მოძრაობის მართვის პერსონალის კომპეტენციებისა და ახალი ტექნოლოგიური გარემოს შექმნილი მოდელების პრაქტიკაში დანერგვით, შესაძლებელია მათი ეფექტური ჰარმონიზაცია, რაც წარმოადგენს კვლევის შედეგების სამეცნიერო ღირებულებას და გვაძლევს გაზრდილი უსაფრთხოების, გამტარუნარიანობის და ეფექტურობის დონეს საპრო მოძრაობის მართვის სისტემის მუშაობისას.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება

კვლევის შედეგად მიღებულია რეკომენდაციები, სადაც გათვალისწინებულია უცხოური გამოცდილება, რომლის გაცნობისა და პრაქტიკული რეალიზებისათვის შემუშავებული გეგმის მიხედვით მოხდება რეკომენდაციების მიწოდება, როგორც ეროვნულ დონეზე საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტისათვის და საქაერონავიგაციისთვის, ასევე კვლევაში ჩართული უცხოელი პარტნიორი საავიაციო სასწავლო დაწესებულებისათვის და საჰაერო ნავიგაციის მომსახურების პროვაიდერებისათვის, რასაც თავისი წილი პოზიტიური გავლენა ექნება სფეროს განვითარებისათვის, როგორც საქართველოში, ასევე საერთაშორისო მასშტაბით.

ონტოლოგიური მოდელის რეკომენდაციების პრაქტიკული გამოყენება შესაძლებელია საბაკალავრო საგანმანათლებლო პროგრამის „ფრენების უზრუნველყოფის მიწისზედა რადიოტექნიკური საშუალებების ტექნიკური ექსპლუატაცია“ სწავლის შედეგების სისტემატურად გაუმჯობესების მიზნით, შრომის ბაზრის თანამედროვე მოთხოვნებისა და ინოვაციური ტექნოლოგიური გარემოს გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის I და II თავში დამუშავებული მასალები, კერძოდ, საჰაერო მოძრაობის მართვის მიზნით რადიოტექნიკური საშუალებების გამოყენების პრინციპები; სანავიგაციო ამოცანების რადიოტექნიკური საშუალებების დახმარებით ავტომატური გადაწყვეტის საფუძვლები; დაფრენის ინსტრუმენტული სისტემის ILS (MLS) მუშაობის პრინციპი; საჰაერო მოძრაობის მართვის მიზნით სახმელეთო რადიოლოკაციური სადგურების გამოყენება; საჰაერო ხომალდების სანავიგაციო მომსახურების ალტერნატიული რადიოსამაუწყებლო ტექნოლოგია ADS-B, ADS-C და მულტილატერაციული MLAT სისტემის მუშაობის სპეციფიკა; საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ინოვაციური ტექნოლოგიების მუშაობის ანალიზი შესაძლებელია დამატებით სასწავლო მასალად იქნეს გამოყენებული საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტის ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სტუდენტებისათვის. ნაშრომი, აგრეთვე გარკვეულ დახმარებას გაუწევს დარგში მომუშავე შესაბამისი პროფილის სპეციალისტებს და დაინტერესებულ პირებს.

ნაშრომის შინაარსი

სადისერტაციო ნაშრომის შესავალი ნაწილი მოიცავს სამოქალაქო ავიაციის საქმიანობის მოკლე მიმოხილვას, საავიაციო შემთხვევების, ინციდენტებისა და კატასტროფების გამომწვევი მიზეზების ანალიზს. ასევე, საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა შეცდომების შედეგად გამოწვეული ინციდენტების, შემთხვევებისა და კატასტროფების გამომწვევი მიზეზების შეფასებას.

ნაშრომის შესავალ ნაწილში ასევე ფორმულირებულია „საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით“ საკითხის პრობლემატურობა და აქტუალობა, ასევე კვლევის მიზანი და გამყარებულია შესაბამისი მტკიცებულებებით.

თავი I

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში შემავალი სანავიგაციო ობიექტების მუშაობის პრობლემების ტაქსონომია

სადოქტორო ნაშრომის I თავში წარმოდგენილია დღეს არსებული რადიონავიგაციური და რადიოლოკაციური სისტემების, კერძოდ: VOR რადიოშუქურას, მანძილის რადიონავიგაციური საზომი DME-ს, საჰაერო ხომალდების ხელსაწყოების მიხედვით დაფრენის სისტემის ILS-MLS, მიმყვანი რადიოსადგურების და სახმელეთო რადიოლოკაციური სისტემების მუშაობის სიზუსტისა და საიმედოობის შეფასების მეთოდოლოგია. თანამედროვე ტექნიკურ მოთხოვნებთან და საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების ნორმებთან შესაბამისობის დადგენის მიზნით გამოყენებულია მათემატიკური გამოთვლები, ასევე ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები და კლასიფიცირებულია ძირითადი პრობლემატური საკითხების ტაქსონომია.

პირველივე თავში შემოთავაზებულია აღნიშნული პრობლემური საკითხების ნაწილობრივ გადაწყვეტის მეთოდოლოგია, მათ შორის VOR რადიოშუქურას სიზუსტის ამაღლების გზები.

მოცემულია ფაზის დამოკიდებულების ფორმულა 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.

ფორმულის გამოყენებით მოცემულია VOR რადიოშუქურას სიზუსტის ამაღლების რამდენიმე მოდიფიკაცია ცხრილში 1.1.

რადიომუქურას 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	

მათემატიკური გამოთვლებით დადგენილია მანძილის რადიონავიგაციური საზომის DME მუშაობის დიაპაზონის გაფართოებისა და ICAO-ს მოთხოვნებთან თანხვედრაში მოსვლის პრაქტიკული მიდგომები:

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

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

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

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

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

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

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

$$t_D = \frac{2D_d}{c},$$

სადაც D_d შემკითხავსა და მოპასუხეს შორის მანძილია; c - ელ. მაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარე, მაშასადამე, დახრილი მანძილი საჰაერო ხომალდიდან მიწისზედა სადგურამდე იქნება:

$$D_d = \frac{ct_0}{2}.$$

ნაშრომის პირველ თავში, ასევე დამუშავებულია სახმელეთო რადიოლოკაციური სისტემების ეფექტურობის ამაღლების მეთოდები, თუმცა აღნიშნულის პრაქტიკაში განხორციელება საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების კვლევების მონაცემებზე დაყრდნობით, 2030 წლისათვის მოსალოდნელი საჰაერო სივრცის მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით არასაკმარისია.

სწორედ ამიტომ ნაშრომის II თავში, შემოთავაზებულია ფრენების ინტენსივობის მიერ გამოწვეული გაზრდილი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელი ალტერნატიული ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის ანალიზი, მოცემული პრობლემების წარმატებით გადაჭრის, ნაკლები მატერიალური დანახარჯების, მარტივი მომსახურების უზრუნველყოფის, გაზრდილი სიზუსტის, საიმედოობისა და სისტემისადმი წაყენებული უსაფრთხოების მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით.

თავი II

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

ნაშრომის II თავში შემოთავაზებულია სამოქალაქო ავიაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ შემუშავებული 2016-2030 წლების გლობალური საჰაერო ნავიგაციის სამოქმედო გეგმის მიხედვით გათვალისწინებული იმ ალტერნატიული ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვის ანალიზი, რომლითაც უახლოეს მომავალში უნდა ჩანაცვლდეს დღეს არსებული რადიოლოკაციური და რადიონავიგაციური მოწყობილობები.

კერძოდ, კლასიფიცირებულია სანავიგაციო ამოცანების ავტომატური გადაწყვეტის გზები, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოს ფრენის რეჟიმების 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 შემდეგი ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში:

საჰაერო ხომალდების სანავიგაციო მომსახურების ალტერნატიული რადიოსამაუწყებლო ტექნოლოგია ADS-B, ADS-C და მულტილატერაციული MLAT სისტემა, მათემატიკურად დამუშავებულია, თითოეული სისტემის მუშაობის ალგორითმი და კლასიფიცირებულია მათი უპირატესობები არსებულ ანალოგებთან მიმართებით.

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 დაყოვნების დრო გაზომილი TOA პრინციპით, რომელიც არის განსაზღვრული რაოდენობის ანტენების შემთხვევაში, 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 $c = 3 \times 10^8$ კმ/სთ.

(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:

$$\begin{aligned} (\tau_i \times c)^2 &= (x^2 + y^2 + z^2) - (2xx_i + 2yy_i + 2zz_i) \\ &+ (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \end{aligned} \quad (3)$$

აღვნიშნოთ

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

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:

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

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

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 გაზომვის 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:

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

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

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

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

(2.4)

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:

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

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

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

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

$$x_{ji} = x_j - x_i, \quad y_{ji} = y_j - y_i, \quad z_{ji} = z_j - z_i$$

$$K_{ij} = (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) - (x_j^2 + y_j^2 + z_j^2) \quad (13)$$

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.

$$\mathbf{Ax}=\mathbf{b}, \quad (14)$$

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

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

მაშინ სინგულარული მნიშვნელობების დაშლის მეთოდი გამოვიყენოთ C-სთვის

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

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

მულტილატერაციული სისტემის ფართომასშტაბიანი გამოყენება პირველად და მეორეულ რადარებთან შედარებით საგრძნობლად ამცირებს მატერიალურ დანახარჯებს, აადვილებს სისტემის მუშაობისათვის საჭირო ტექნიკური მომსახურების სამუშაოებს და ზრდის 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.

თავი III

საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ონტოლოგიური მოდელის გამოყენება საიმედოობის გაუმჯობესების მიზნით

სადისერტაციო ნაშრომის II თავში განხილული ინოვაციური ტექნოლოგიების პრაქტიკაში რეალიზების ერთ-ერთი პრობლემა მდგომარეობს იმაში რომ, ერთი მხრივ, ამჟამად არ არსებობს ერთიანი მოთხოვნები საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის ყველა კატეგორიისათვის, ხოლო, მეორე მხრივ, საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის ტექნოლოგიური განვითარება ბევრად წინ უსწრებს შესაბამისი კვალიფიკაციის პერსონალის მომზადების ტემპს. ეს პრობლემა უფრო მეტად შესამჩნევია იმ ქვეყნებში, რომლებმაც მხოლოდ ახლა დაიწყეს საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემათა აქტიური მოდერნიზაცია და ამ სფეროში არ აქვთ საკმარისი გამოცდილება. GANP-ის წარმატებულად დანერგვის პროცესში ავიასპეციალისტთა როლის გაუმჯობესების საკითხი აქტუალურია მსოფლიო მასშტაბით, პროგნოზირებადი ანალიზის საფუძველზე ივარაუდება, რომ სისტემური ცვლილებები გავლენას იქონიებს საჰაერო მოძრაობის მართვის პერსონალის კვალიფიციურობის დონეზე, როგორც ჰაერში, ასევე მიწაზე და გამოიწვევს მათი ფუნქციების და პასუხისმგებლობების შეცვლას და ახალი უნარ-ჩვევების გამომუშავების აუცილებლობას. ამიტომ საჰაერო მოძრაობის მოსალოდნელი ზრდით

გამოწვეული მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საკმარისი კვალიფიციური პერსონალის ხელმისაწვდომობის უზრუნველყოფა.

ამ მიზნით დისერტაციის III თავი დაკავშირებულია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების კვლევასთან და შემუშავებულია რეკომენდაციები ფრენების უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით, წარმოდგენილია საერთაშორისო საავიაციო ორგანიზაციების რეკომენდაციები, საჰაერო მოძრაობის მართვის სპეციალისტთა შერჩევისა და კვალიფიკაციის ამაღლების საკითხებში, კლასიფიცირებულია საჰაერო მოძრაობის მართვის სისტემის საიმედოობის ამაღლების მეთოდები ონტოლოგიური მოდელის გამოყენებით.

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. მოდელელებში 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 კომპლექტია 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 ფიქსირდება 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 სრულყოფა;
3. სამუშაო გარემოს გაუმჯობესება;
4. სწავლებისა და პროცედურების სრულყოფა;
5. სისტემის უსაფრთხოების გაზრდა;
6. ცვლილებების ეფექტურად განხორციელებისა და მისაღები სოციალური გარემოს შექმნა.

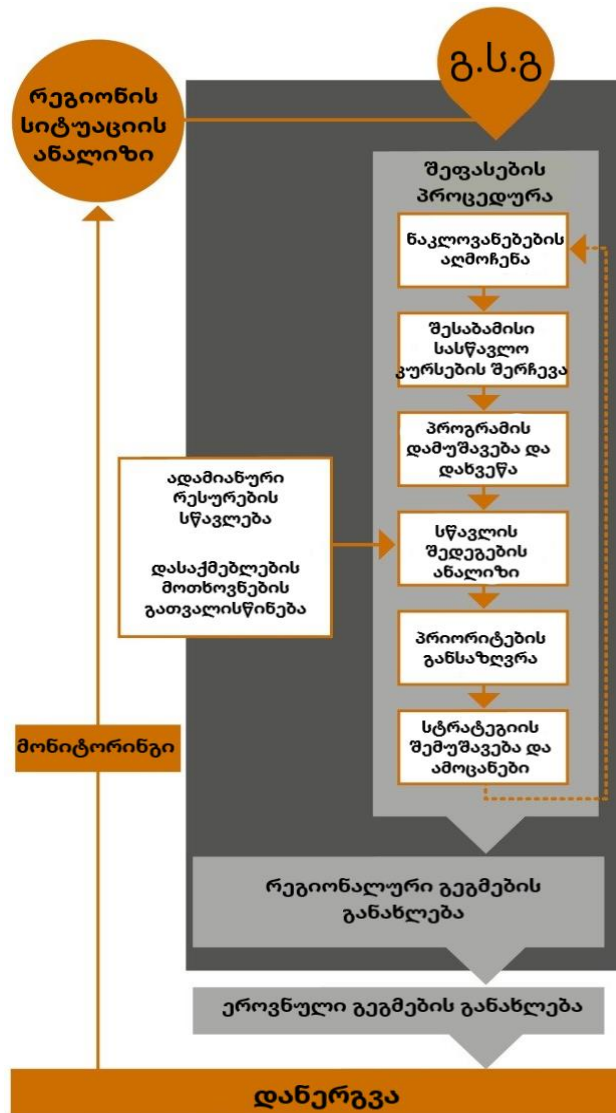
კერძოდ განსაზღვრულია სამი პრიორიტეტული მიმართულება ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესებისათვის საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ტექნოლოგიური ცვლილებების პარალელურად, ესენია:

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, იხ. (ნახ.4).



ნახ.4. ადამიანური ფაქტორების გაუმჯობესების დაგეგმვისა და დანერგვის სამუშაო სტრატეგია

დასკვნა

სადოქტორო ნაშრომში განხილულია დღეს არსებული რადიონავიგაციური და რადიოლოკაციური 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 პრობლემატური 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 რადიოლოკაციური 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 რადიოლოკაციური 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 საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში ადამიანურ კომპეტენციათა გაუმჯობესების მიზნით. მოდელებში გამოყენებული ალგორითმი კვლევის შედეგად მიღებული ინფორმაციების ავტომატურად დამუშავებით გვადლეს იმ კონკრეტული სწავლის შედეგების ჩამონათვალს, რომლებიც საჭიროა შესაბამისი ცოდნის, უნარებისა და კომპეტენციების გამომუშავებისათვის საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემაში მომუშავე ავიასპეციალისტებისათვის. ეს ბუნებრივად იწვევს საგანმანათლებლო პროგრამების ხარისხის გაუმჯობესებას, მათ შრომის ბაზრის თანამედროვე მოთხოვნებთან დაახლოებას და შედეგად გვადლევს 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 საჭაერო 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 საჭაერო მოძრაობის მართვის სისტემების საიმედოობის ამაღლების მეთოდები კონკრეტული მაგალითების სახით.

გამოყენებული ლიტერატურა

ქართულენოვანი მასალები

- [1] ს. ტეფნაძე, რ. ებრალიძე, 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. ზხარაშვილი „საჰაერო ნავიგაცია“, თბილისი, საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი, 2019.
- [5] ვ. პაპუნაშვილი, თ. მაზიაშვილი, თ. თაბაგარი „ თანამგზარული 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 Kabaskin, 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] *An International Standard*