შესავალი

საჰაერო ტრანსპორტი ქვეყნის ეკონომიკის განვითარების ერთ-ერთი პრიორიტეტული დარგია.

ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების თვალსაზრისით საჰაერო ტრანსპორტის ეფექტური გამოყენების წინაპირობას, სისტემის უმტყუნო და საიმედო მუშაობის რესურსი წარმოადგენს.

საინჟინრო ნებისმიერი ნაგებობისა და სისტემების დანიშნულებით გამოყენების ეფექტურობა ამ სისტემების ფუნქციონირების საიმედოობის ხარისხზეა დამოკიდებული.

საიმედოობის თეორია, როგორც მეცნიერება, სხვა აკადემიურ დარგებთან ერთად განსაზღვრავს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის საიმედოობის მეთოდებსა და მოდულებს.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის საიმედოობის უზრუნველყოფისათვის საჭირო რეკომენდაციები, ამ სისტემების დაპროექტების, წარმოების, მმართველი ოპერატორის (ეკიპაჟის) კვალიფიკაციის განსაზღვრის დროს უნდა იქნეს შემუშავებული.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის რაოდენობრივი მახასიათებლები მათემატიკური მოდელირების ფორმითაა საიმედოობის თეორიაში წარმოდგენილი.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის საიმედოობისა და უსაფრთხოების პრობლემა აქტუალურია. ამიტომ, წინამდებარე ნაშრომში კვლევის საგანს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემები წარმოადგენს. ექსპლუატაციის პროცესში ამ სისტემების საიმედოობისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფა არამც თუ აქტუალურია, არამედ სასიცოცხლო მნიშვნელობის ამოცანას წარმოადგენს. ამ პრობლემის გადაწყვეტაში განსაკუთრებული როლი იმ ორგანიზაციებს ეკუთვნის, რომლებიც ექსპლუატაციის პროცესში საჰაერო ტრანსპორტის მოძრაობის მოწესრიგებას, საიმედოობის

უსაფრთხოებას უშუალოდ უზრუნველყოფენ. ამ მიმართულებით ბევრი პრობლემებია მოსაწესრიგებელი.

ერთ-ერთ ნაკლებად გამოკვლეულ და ჯერ კიდევ გადაუწყვეტელ ამოცანას წარმოადგენს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობასა და უსაფრთხოებაზე გავლენის მქონე ფაქტორების რაოდენობრივი მარტივი ფორმით აღრიცხვა, ე.წ. ადამიანების ფაქტორების ზეგავლენის აღრიცხვა-ინდივიდუალური ანუ კოლექტიური ოპერატორის (ეკიპაჟის) რთული სისტემის ფუნქციონირების პროცესზე ზეგავლენის აღრიცხვა. ასეთი რთული ტექნიკური სისტემის მაგალითს წარმოადგენს თანამედროვე თვითმფრინავი, რომლის ექსპლუატაციის საიმედოობისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფა დიდად არის დამოკიდებული ოპერატორის (ეკიპაჟის) მომზადების დონეზე [11-13]. სტატისტიკური მონაცემებით მარცხისა და კატასტროფის 70% ეკიპაჟზე მოდის. ამასთანავე ცნობილია, რომ საავიაციო მრეწველობის დარგები, რომლებიც ამუშავებდა და აწარმოებდა რთული ტექნიკური სისტემების მაკომპლექტებელ ელემენტებს, თანდათანობით შემცირდა მათი წარმოების მოცულობა ან საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ იგი დიდი რაოდენობით დარჩა უმოძრაოდ ყოფილი ცალკეული რესპუბლიკების დაქვემდებარებაში. ყოველივე ამას უშედეგოდ არ ჩაუვლია. შემცირდა არამც თუ მარტო საავიაციო მრეწველობის ტემპი, არამედ მასთან ერთად იკლო საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დოკუმენტაციის ხარისხმაც.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ვრწმუნდებით იმაში, რომ არსებითად გაიზარდა მოდელირების მეთოდების, საჰაერო ტრანსპორტის სისტემის შემადგენლობაში შემავალი და ადამიანის მიერ მართული ცალკეული ელემენტების, ბლოკებისა და ქვესისტემების საიმედოობისა და უსაფრთხოების პროგნოზირების როლი.

ამჟამად არსებობს თეორიულ და პრაქტიკულ სფეროში საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციის ეტაპზე საიმედოობისა და უსაფრთხოების უზრუნველყოფის შესახებ შრომები [13-19]. მაგრამ

ადამიანის მიერ რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ფაქტორის აღრიცხვის ახალი მეთოდი არასაკმარისია. ეს ფაქტორი ყოველთვის ყურადღების მიღმა რჩებოდა ანუ ხარისხობრივი აღწერის დონეზეა განხილული.

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მიერ მართვის ფაქტორის საიმედოობისა და უსაფრთხოების მაჩვენებლებზე ზეგავლენის აღრიცხვის ახალი მეთოდი.

წინამდებარე ნაშრომში მოტანილი სიახლე მდგომარეობს ისეთი მაჩვენებლების დამუშავებაში, რომელიც გვიჩვენებს ოპერატორის მომზადება და მისი ნიჭის დონე თუ რამდენად კონცენტრირებულია მისი პროფესიული ინტელექტის საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვის ამოცანის შესასრულებლად. შემოთავაზებული მიდგომა გვაძლევს ამ მაჩვენებლების შეფასების საშუალებას ტრენაჟორზე სავარჯიშო და გამოცდის სამუშაოთა შედეგების საფუძველზე. აგრეთვე, რაოდენობრივი ფორმით გავითვალისწინოთ მათი ზეგავლენა რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვისა და უავარიო მუშაობის კრიტერიუმებზე.

ყოველივე ზემოღნიშნული ადასტურებს წინამდებარე ნაშრომში დაყენებული მეცნიერული ამოცანის გადაწყვეტის აქტუალობას, რომელიც მდგომარეორბს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის საიმედოობისა და უსაფრთხოების მეთოდებისა და მოდელების დამუშავებაში, ადამიანის მიერ მართვის ფაქტორის გავლენის გათვალისწინებით.

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ადამიანით მართვის ფაქტორის საიმედოობასა და უსაფრთხოებაზე გავლენის აღრიცხვისადმი ახალი მიდგომა. სიახლე ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებლებისა და მისი ნიჭიერების საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვის ამოცანის შესრულებაში მდგომარეობს. სიახლე ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებლებისა და საჰაერო ტრანსპორტის რთული

ტექნიკური სისტემების მართვის ამოცანის შესრულებაში მისი უნარისა და ნიჭის დონის დამუშავებაში მდგომარეობს. შემოთავაზებული მიდგომა ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოსა და გამოცდის შედეგების საფუძველზე ამ მაჩვენებლების შეფასების საშუალებას იძლევა. აგრეთვე, რაოდენობრივი ფორმით გავითვალისწინოთ მათი გავლენა საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის უსაფრთხოებისა და უავარიო მუშაობის კრიტერიუმებზე.

კვლევის მიზანი. დისერტაციის მიზანს წარმოადგენს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის პროგნოზირების სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის ახალი მეთოდების დამუშავება მართვაში ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით.

დასახული მიზნის მისაღწევად აუცილებელი იყო შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის ოპერატორის (ეკიპაჟის) სწავლების პროცესების მოდელირების მეთოდებისა და მომზადების დონის მაჩვენებლების დამუშავება. აგრეთვე, მართვის ამოცანების გადაწყვეტაში ოპერატორის ნიჭიერების დონის მოდელირება.

მოცემული ამოცანა, როგორც საკითხის დაყენების, ისე მისი გადაწყვეტის თვალსაზრისით, ახალია. **შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებლები მანძილის სახით** $p(T, T_o)$ **დავალების** T **მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების** T_o **მატრიცებს შორის. ამაზე დამატებით, პირველად არის შემოთავაზებული რთული ტექნიკური სისტემის მართვისადმი ოპერატორის მიდრეკილების (ნიჭიერების) მაჩვენებელი** $r(T, T_o)$**. რიცხვი** $r(T, T_o)$ **განისაზღვრება მუშაობაში, როგორც კორელაციის (ურთიერთდამოკიდებულების) კოეფიციენტი დავალების** T **მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების** T_o **მატრიცებს შორის. მოცემული მაჩვენებლების გაანგარიშებისათვის შემოღებულია მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტის ახალი ცნება.**

2. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ოპერატორის სწავლების პროცესების ინფორმაციული მოდელებისა და ოპერატორის მიერ ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის მოდელების დამუშავება.

მატრიცული ფორმით ინფორმაციულ მოდელს აქვს სახე $T_o=A_oT$ და გამოსახავს ურთიერთკავშირს სასწავლო გეგმის T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_o მატრიცებს შორის, სადაც A_o არის ოპერატორის მომზადების მატრიცა. ეს მოდელი პირველად იძლევა სასწავლო გეგმის თემებისა და სხვადასხვა განაყოფების ოპერატორის სწავლების პროცესში ათვისების ხარისხზე ურთიერთზეგავლენის აღრიცხვის განხორციელების საშუალებას. ნაშრომში დაყენებული და გადაწყვეტილია გამოცდილების მონაცემებით ოპერატორის მომზადების მატრიცის შეფასების ამოცანა.

აქ პირველად არის შემოთავაზებული და გამოკვლეული რაოდენობრივი დინამიკური მოდელი, რომელიც იძლევა რთული ტექნიკური სისტემების მართვის სწავლების პროცესში ოპერატორის მიერ ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის პროცესის განვითარების პროგნოზირება.

3. ექსპლუატაციის ეტაპზე საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის პირობებისა და კრიტერიუმების დამუშავება, აგრეთვე მათი შეფასების მეთოდების დამუშავება:

- საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმები ოპერატორის შესაძლო შეცდომების გათვალისწინებით;

- რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის ალბათური კრიტერიუმები ოპერატორის (ეკიპაჟის) მონაწილეობის დროს;

- რთული ტექნიკური სისტემების უავარიო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმები დროის მოცემულ ინტერვალში.

მეთოდები პირველად იძლევიან საშუალებას, მარტივ რაოდენობრივ ფორმაში ვიპოვოთ ნაჩვენები კრიტერიუმების მნიშვნელობები,

ტრენაჟორებზე ანუ სპეციალიზირებულ სასწავლო კომპლექსზე ოპერატორის სწავლების შედეგების მიხედვით.

მეთოდები ითვალისწინებენ წონითი კოეფიციენტების შესაძლო გავლენას რთული ტექნიკური სისტემების ძირითადი მახასიათებლების გადახრაზე დასაშვებ ფარგლებიდან. ისინი იძლევიან რთული ტექნიკური სისტემების ძირითადი მახასიათებლების დაუსაბუთებელი შემცირების **ამორიცხვის** საშუალებას, საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების კომპენსაციის შესაძლებლობის აღრიცხვის ხარჯზე.

4. ექსპლუატაციის ეტაპზე საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ელემენტების საიმედოობის საანგარიშო განზოგადოებული მოდელის დამუშავება, ადამიანით მართვის ფაქტორისა და კერძო საინჟინრო მეთოდის გათვალისწინებით კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების მაგალითზე.

მოდელი იყენებს ,,დაძველებისა‘‘ და ,,განახლების‘‘ ნიშნებით განაწილების კლასიფიკაციას და ითვალისწინებს ვეიბულას განაწილების უნივერსალურ ხარისხს.

ძირითად საინჟინრო მეთოდის რიცხვს მიეკუთვნება:

1. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის ცდომილების - რადიოდევიაციის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდი;

მეთოდი იძლევა მარტივი ფორმით ‘‘ადამიანის ფაქტორის’’ გათვალისწინების საშუალებას კუთხსაზომი სისტემის ცდომილების განსაზღვრის დროს. საწყისი მონაცემების სახით რეკომენდებულია საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს შედეგების გამოყენება;

2. საავიაციო კუთხსაზომი რადიონავაგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების შეფასების ინჟინრული მეთოდი.

მეთოდი პირველად იძლევა კუთხსაზომი რადიონავაგაციური სისტემის ძირითადი მახასიათებლების შეფასების საშუალებას. ის გამორიცხავს საიმედოობის მაჩვენებლების შესაძლო შემცირებას სისტემის კომპენსაციის აღრიცხვის ხარჯზე.

კვლევის ობიექტი. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ოპერატორის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემები.

კვლევის საგანი. კვლევის საგანს წარმოადგენს:

1. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის საიმედოობისა და უსაფრთხოების პროგნოზირების სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის ახალი მეთოდების დამუშავება მართვაში ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით;
2. რადიონავიგაციური სისტემის კუთხსაზომი მოწყობილობის ცდომილების გამომწვევი მიზეზებისა და მისი შემცირების საინჟინრო-ტექნიკური მეთოდები.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე.

1. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის საიმედოობისა და უსაფრთხოების შეფასების ახალი მეთოდის დამუშავება მართვაში ადამიანის ფაქტორის გათვალისწინებით;
2. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების წყაროების თეორიული ანალიზი და მისი შემცირების საინჟინრო-ტექნიკური მეთოდები.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება. დისერტაციის პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს ადამიანის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის შეფასების ახალი მეთოდების დამუშავებაში. კერძოდ, კუთხსაზომი სისტემის გაზომვის ცდომილების შეფასების მეთოდების დამუშავებაში. შემოთავაზებული მეთოდი პირველად და მარტივი ფორმით იძლევა რთული ტექნიკური სისტემების ადამიანით მართვის ფაქტორის გათვალისწინებას. რაც, ყოველივე ეს ფრენის უსაფრთხოებისა და საიმედოობის ობიექტური და უტყუარი შეფასების საშუალებას გვაძლევს.

სამუშაოს აპრობაცია: ნაშრომი მთლიანად და მისი ცალკეული შედეგები წარმოდგენილი და განხილული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საავიაციო სასწავლო-სამეცნიერო ინსტიტუტის საავიაციო მოწყობილობების, საფრენი აპარატებისა და ძრავების ტექნიკური ექსპლუატაციის კათედრების გაერთიანებულ სხდომაზე.

პუბლიკაციები

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები ავტორის პუბლიკაციებშია გამოქვეყნებული:

1. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”, 2006, აგვისტო, №2(25);

2. ჟურნალი “Georgian Engineering News”, 2006, №3

3. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”, 2006, №

4. ა. რურუა, თვითმფრინავების რადიომოწყობილობა, თბილისი, 1971.

5. ა. რურუა, თვითმფრინავების ელექტრორადიომოწყობილობების დაპროექტება, მონტაჟი და გამოცდა, თბილისი, 1973.

6. ა. რურუა, ელექტრორადიოტექნიკური მოწყობილობების დაპროექტების საფუძვლები, თბილისი, 1971.

თავი I
საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორით უსაფრთხო მართვის მაჩვენებლების დამუშავება

ცნობილია, რომ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვისათვის ადამიანის ანუ ეკიპაჟის (ოპერატორის) მომზადების თეორიული და პრაქტიკული დონე არსებითად განსაზღვრავს მისი ფუნქციონირების უსაფრთხოების საიმედოობას. მაგრამ, ჯერჯერობით კიდევ არ არის საკმარისად მარტივი და ობიექტური მეთოდები გამოყენებული ადამიანით მართული რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასებისათვის. ამასთან დაკავშირებით პირველ თავში შემოთავაზებულია ამ ამოცანის დასმისადმი ახალი მიდგომა და მისი გადაწყვეტის მეთოდი.

1.1. საკითხის დაყენება

რთული ტექნიკური სისტემების მართვის სწავლების საწყის პროცესში, აგრეთვე ექსპლუატაციის ყველა მომდევნო ეტაპზე ოპერატორის სწავლება საიმედო მართვის წესებით წარმოებს. ამიტომ, შემდგომში გამოვდივართ შემდეგი თეზისებიდან:

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვაში ოპერატორის მუშაობა იწყება სწავლებიდან და ეს პროცესი გრძელდება შემდეგშიაც.

ეს თეზისი გვაძლევს საშუალებას საფუძველი ჩავუყაროთ ოპერატორის სწავლების პროცესის მოდელირების იდეას.

ამჟამად, რთული ტექნიკური სისტემების მართვის, ოპერატორებისათვის სწავლების მიზნით, გამოყენებულია ეგრეთ წოდებული ინტელექტუალური სწავლების სისტემები.

ასეთ სისტემათა რიცხვს შეიძლება მივაკუთვნოთ საავიაციო ტრენაჟორები, სასწავლო კომპიუტერული სისტემები, რომლებშიაც გოლოგრაფიული და კინოტექნიკის საშუალებების გამოყენებით მოდელირდება მდგომარეობის რეალობა, სადაც მიმდინარეობს რთული

ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაცია. ამასთანავე ოპერატორი მოქმედებს დროის რეალურ მასშტაბში ცოდნის არსებული ბაზის მოქმედების სფეროში.

ამჟამად გარკვეული შრომებია მიძღვნილი სასწავლო პროცესებისადმი რაოდენობრივი მათემატიკური მოდელების გამოყენებით. სწორედ, ეს მიმართულება წარმოადგენს დისერტაციის ინტერესს. ამიტომ, მოკლედ შევჩერდებით საკითხის განხილვაზე ამ მიმართულებით. რამდენადაც სწავლების პროცესი თავისი ბუნებით საფეხურიანია, მარტივიდან რთულზე გადასვლით, ამიტომ მიღებულია ჩავთვალოთ, რომ მის ადეკვატურ მათემატიკურ მოდელს **მარკოვის დისკრეტული წრედების თეორია წარმოადგენს.** სწავლების მათემატიკური თეორიის სივრცეში ფუძემდებლები ბუში და მოსტელლერი გვთავაზობენ მარკოვის ერთგვაროვანი წრედის თეორიის შედეგების დახმარებით სწავლების პროცესის აღწერას [16]. ავტორები თვლიან, რომ გამოკვლევის მასალები მათ მიერ შემოთავაზებულ აგებულებას უჭერს მხარს.

შემდგომ შრომებში [17-19] მონოგრაფიის [16] ზეგავლენა იგრძნობა, სადაც მითითებულია მარკოვის წრედების თეორიის ნაყოფიერება სწავლების პროცესში ოპერატორის ქცევის აღწერის ამოცანაში. აღვნიშნოთ ის ნაკლი, რომელიც დამახასიათებელია ამ სივრცეში გამოკვლევისათვის:

1. სწავლების პროცესის აღწერა ხდება ძალიან ზედაპირულად და მხოლოდ მარტივი ამოცანისათვის. ამასთანავე არ არის გათვალისწინებული ცოდნის განშტოებული ბაზის ჩაბმის შესაძლებლობა, დიდი მოცულობის ამოცანების განხილვა და სწავლების პროცესის პარამეტრების ოპტიმიზაცია;

2. ზემოაღნიშნულ შრომებში მათემატიკური მოდელი არ არის ორიენტირებული მოდელირების თანამედროვე საშუალებებისა და ოპერატორის სწავლებისათვის გამოყენებაზე;

არსებულ ნაშრომებში, ზემოაღნიშნული მოდელების გამოყენების მასშტაბები მცირეა: ორიენტაცია წარიმართა ძალიან კერძო ამოცანის განხილვისაკენ.

ამრიგად, სწავლების ხარისხის შეფასების მეთოდების სფეროში არ არის შრომები, რომელიც ორიენტირებულია ადამიანით მართული რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის შეფასების ამოცანების გადაწყვეტაზე. თეორიული თვალსაზრისით საინტერესოა სწავლების მათემატიკური თეორიის გამოკვლევა [15] საერთო პრობლემების მიხედვით. მაგრამ იგი არ შეიცავს რაიმე შედეგებს რომელიმე პრაქტიკულ სფეროში სწავლების თეორიის დანამატს. წინამდებარე დისერტაციაში [15] გათვალისწინებით ხდება დაყრდნობა სწორედ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის საიმედოობის შეფასების ამოცანის გადაწყვეტაში სწავლების თეორიის დანამატზე. ამოცანის ასეთი დაყენების რეალიზაცია პირველად ხდება მოცემულ სამუშაოში.

1.2. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის სწავლების პროცესში ინფორმაციის გადაცემის და ათვისების მოდელი.

მივიღოთ შემდეგი დაშვებები:

1. სწავლების სისტემის ყოველი ძირითადი საინფორმაციო ბლოკი წარმოადგენს საინფორმაციო სივრცეს, – ცოდნის ბაზის ერთობლიობას და ისინი შედიან მეთოდური და მეცნიერული შინაარსის ბლოკებში.

სწავლების პროცესში საინფორმაციო სივრცე ტრანსფორმირდება (აისახება) და შეიძლება თეორიული ტესტების T მატრიცის სახე (დავალების ან პასუხების) ქონდეს, რომელიც ოპერატორს წარედგინება. აგრეთვე ტესტების $\prod$ მატრიცის სახე (დავალების ან პასუხების) პრაქტიკული ჩვევებით.

T და $\prod$-ს დავარქვათ ცოდნისა და ოსტატობის ტესტების მატრიცები, ანუ სასწავლო მასალის (გეგმის) მატრიცები.

2. ნავარაუდევია, რომ სასწავლო გეგმის მატრიცები $T=(\tau_{ij})$ და $\Pi=(\pi_{ij})$ შედგენილია უგანზომილებო რიცხობრივი მაჩვენებლებიდან τ_{ij} და π_{ij}, სადაც i არის სტრიქონის ნომერი, ხოლო j მატრიცის სვეტის ნომერი, რომლის გადაკვეთაზე იმყოფება τ_{ij} ელემენტი (ელემენტი π_{ij}). ასეთი მოთხოვნები მატრიცებისადმი $T=(\tau_{ij})$ და $\Pi=(\pi_{ij})$ წაყენებულია განზრახ იმ მოსაზრებით, რომ კარგად გამოვიყენოთ თეორიული მატრიცის დამუშავებული აპარატი და რთული სისტემის მატრიცული ანალიზი.

ზემოთ განხილული ბლოკის თავისებურებიდან გამომდინარე, T და Π მატრიცებით, სხვადასხვა სასწავლო ინფორმაციები შეიძლება მივიღოთ. განვიხილოთ სასწავლო გეგმის მატრიცა:

$$T=\begin{pmatrix}\tau_{11}\tau_{12}\cdots\tau_{1n}\\ \tau_{21}\tau_{22}\cdots\tau_{2n}\\ \tau_{m1}\tau_{m2}\cdots\tau_{mn}\end{pmatrix}=(\ \tau_{ij}\ ), \tag{1}$$

ჩავთვალოთ, რომ i არის კურსის (განყოფილების) ნომერი, ხოლო j - თემის (ამოცანის) ნომერი. i და j ნომრების წყვილებს (i,j) დავარქვათ სასწავლო გეგმის (ij) პოზიცია.

ჩავთვალოთ, რომ T მატრიცაში მისი ელემენტი τ_{ij} წარმოადგენს ამოცანის ამოხსნის სირთულის შეფასებას ბალებში სასწავლო გეგმის (i,j) პოზიციის ათვისების დროს [10]. ამასთანავე, შეგვიძლია დავნიშნოთ ცოდნის შეფასების საერთო სკალა, ათბალიანი, τ_{ij} მნიშვნელობის პოვნისათვის.

რიცხვი τ_{ij} შეიცავს არა მხოლოდ მოცემული ამოცანის ამოხსნის სირთულის ინფორმაციას, არამედ მის ინდექსს (i,j), რომელსაც შეესაბამება ცოდნის განსაზღვრული ბაზა, საწყისი საინფორმაციო გარსიდან.

ოსტატობის მატრიცის $\Pi=(\pi_{ij})$ ფორმირება იმავე სქემით ხდება, როგორც ცოდნის $T=(\tau_{ij})$ მატრიცის. ნავარაუდევია, რომ

ინფორმაციული გარსი შეიცავს სამეცნიერო პრაქტიკული უზრუნველყოფის განყოფილებას, ინსტრუქციის ერთობლიობას და თითოეულისათვის დავალებას (ij) - დან:

π_{ij} სირთულის ამოცანა, რომელიც უნდა ამოხსნას ოპერატორმა თეორიული ცოდნის პრაქტიკულად გამოყენების დროს.

სწავლების პროცესში, ყოველი დავალებიდან სირთულეები τ_{ij} და π_{ij}, ოპერატორიდან მიღებული შედეგები (პასუხები) აღინიშნება როგორც T_{ij} და Π_{ij}.

ამრიგად, სწავლების პროცესი ინფორმაციის გარდაქმნას წარმოადგენს

$$(T,\Pi) \to (T_0,\Pi_0) \tag{2}$$

ანუ წყვილი გამოსახულება

$$T = (\tau_{ij}) \to T_0 = (T_{ij}) \text{ და } \Pi = (\pi_{ij}) \to \Pi_0 = (\Pi_{ij}), \tag{3}$$

სადაც T_0 და Π_0 - არის ოპერატორის პასუხების მატრიცები T და Π დავალებაზე.

(3) ფორმულაში T_{ij} და Π_{ij} აღნიშნავენ შეფასების ნიშნებს (ბალებს) მიღებულს პასუხებზე, თუმცა გათვალისწინებულია ისეთი მასშტაბირება, რომლის დროსაც:

$$\left.\begin{array}{l} T_{ij} \le \tau_{ij} \\ T_0 \le T \end{array} \text{და} \begin{array}{l} \Pi_{ij} \le \pi_{ij}, \\ \Pi_0 \le \Pi, \end{array}\right\} \tag{4}$$

სადაც უტოლობა ორ მატრიცას შორის გულისხმობს მათში შემავალი უტოლობას.

(4) გამოსახულება აღნიშნავს, რომ პასუხის დროს ოპერატორს არ შეუძლია ბალების დიდი რაოდენობა მიიღოს, რომელიც ამოცანის სირთულეზე მიუთითებს.

ცალკეულ შემთხვევებში მატრიცები T_0 და Π_0 - არის ოპერატორის პასუხების მატრიცები T და Π დავალებებზე, რომელიც შესაძლებელია ფარდობითი ფორმით გამოვსახოთ:

$$T_0 = \left(\hat{p}_{ij} \right) \text{ და } \Pi_0 = \left(\hat{p}^1_{ij} \right), \tag{5}$$

სადაც

$$P_{ij} = {}^{Tij}\!\Big/_{\tau_{ij}} \text{ და } P^1_{ij} = {}^{\Pi ij}\!\Big/_{\pi_{ij}}. \tag{6}$$

(4) უტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ სიდიდეები P_{ij} და P^1_{ij} (6) გამოსახულებაში აკმაყოფილებენ დამოკიდებულებას

$$O \le \hat{p}_{ij} \le 1, \quad O \le \hat{p}^1_{ij} \le 1 \tag{7}$$

(7) უტოლობა გვაძლევს საშუალებას $\hat{p}_{ij}$ და $\hat{p}^1_{ij}$ სიდიდეები ჩავთვალოთ სტატისტიკურ სიხშირედ – უცნობი ალბათობის ცდისეულ სიდიდედ $\hat{p}_{ij}$ და $\hat{p}^1_{ij}$ რომელიც ოპერატორისათვის არის დამახასიათებელი და რომელთა შედეგები გამოყენებულია სიხშირის პოვნის დროს (7).

ამასთანავე $\hat{p}_{ij}$ და $\hat{p}^1_{ij}$ - არის ოპერატორის წარმატებული პასუხების ალბათობა T და Π სასწავლო გეგმის (დავალების) (i, j) ამოცანაზე. ალბათობის თეორიის პოსტულატების საფუძველზე N რიცხვის განუსაზღვრელი გაზრდის დროს არის მცდელობა შესრულდეს T და Π დავალება გადაბარების ალბათობით.

(7) უტოლობა მიისწრაფვის თავისი ზღვრული მნიშვნელობისკენ, რომელიც წარმოადგენს $\hat{p}_{ij}$ და $\hat{p}^1_{ij}$, ე.ი. მოცემულ მოსაზრებით:

$$\hat{p}_{ij} \to p_{ij} \text{ და } \hat{p}^1_{ij} \to p_{ij}, \text{ როდესაც } N \to \infty. \tag{8}$$

(3) გამოსახულება $T=\left(\tau_{ij}\right)\rightarrow T_0$, საერთო ფორმით გვიხასიათებს სწავლების პროცესს და მოცემული სასწავლო ბლოკის მიხედვით სასწავლო გეგმის თეორიული საფუძვლების საკუთარი ცოდნის დემონსტრაციას. ეს პროცესი საკმაოდ რთულია და იგი მხოლოდ დაახლოებით შეიძლება იყოს აღწერილი. მისი თავისებურებებიდან ერთ-ერთი მათგანი დაკავშირებულია ბევრ, ზოგჯერ კი ყველა (i,j) ამოცანასთან შირაარსის მიხედვით: ნავარაუდევია, ერთი შეკითხვის პასუხის ცოდნა, საკმარისია სხვა მრავალი შეკითხვის პასუხების ცოდნისათვის.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის სწავლების პროცესის აღწერის შემოთავაზებული მატრიცული პროცესის ერთ-ერთ ძლიერ მხარეს სასწავლო გეგმით შესასწავლი დისციპლინის ცალკეული განყოფილებების ურთიერთკავშირის აღწერის შესაძლებლობა წარმოადგენს.

არ არსებობს სხვა მათემატიკური მოდელი, რომელიც ასეთი მარტივი ფორმით მოგვცემდა მოცემული ამოცანის ამოხსნის საშუალებას. სისტემის თეორიიდან ცნობილია, რომ წრფიული გარდაქმნის კომპოზიცია გამრავლების ოპერაციით აღიწერება. ეს აღნიშნავს, რომ გამოსახულება $T=\left(\tau_{ij}\rightarrow T_0\right)$ შეიძლება იყოს არა მხოლოდ საერთო ფორმით აღწერილი, არამედ კონკრეტულად:

$$T_o=A_oT \qquad (9)$$

აქ, როგორც ზემოთ, T არის სასწავლო გეგმის (დავალების) მატრიცა მოცემული სასწავლო ბლოკის თეორიული საფუძვლების მიხედვით, ხოლო T_0 არის ოპერატორის პასუხების მატრიცა. (9) გამოსახულების T და T_0 მატრიცებთან დამატებით შეყვანილია $T=(\tau_{ij})\rightarrow T_0$ გარდაქმნის პროცესის დამახასიათებელი მატრიცა A_0. ეს მატრიცა ყველა ოპერატორისათვის სპეციფიკურია. ის დამოკიდებულია ოპერატორის: თეორიულ მომზადებაზე, გარეგანი ზემოქმედებისადმი რეაქციის სიჩქარეზე, ამოცანის არსის გაგების სიჩქარეზე, ჩვევებიდან გადაწყვეტილებების მიღებაზე და ა.შ.

λ_{ij} მატრიცის ელემენტები

$$A_0 = (\lambda_{ij}) \qquad (10)$$

შემოვიღოთ ოპერატორის პასუხების ინტენსივობის ცნება. A_0 **- სათვის გამოვიყენოთ ტერმინი: "ოპერატორის თეორიული მომზადების მატრიცა".**

თუ სასწავლო გეგმის მატრიცას მივცემთ ფორმას $T = \tau_{ij}$, მაშინ იდეალურ შემთხვევაში, როდესაც მატრიცა $A_0 = 1$, (9) გამოსახულებიდან მივიღებთ $T_0 = T$, ე.ი. ოპერატორის ყველა პასუხი ემთხვევა მაქსიმალური შესაძლო ბალებს:

$$T_{ij} = \tau_{ij}.$$

ძირითადი აღნიშვნების შემოტანის მიზნით, ქვემოთ შენიშვნაში 1, მოტანილია გამრავლების მატრიცის ოპერაციის ცალკეული თავისებურებანი.

შენიშვნა 1. ორი AB მატრიცის $A = (a_{ij})$ და $B = (b_{ij})$ ნამრავლის პოვნისათვის, რათა შესრულდეს მათი ზომების შეთანხმების პირობა საჭიროა A მატრიცის სვეტების რიცხვი ემთხვეოდეს B მატრიცის სტრიქონების რაოდენობას. ასეთი პირობის დროს $AB = (C_{ij})$, სადაც ელემენტები განისაზღვრებიან $C_{ij} = \sum_{K=1}^{n} a_{ik} b_{ik}$ დამოკიდებულების შესაბამისად.

მომავალში გამოვიყენოთ აღნიშვნები:

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_n \end{pmatrix} = (X_1 X_2 \cdots X_n)^T.$$

n კომპონენტიდან მატრიცა-სვეტისათვის, თუ უწოდებთ X - ს ვექტორს, ანუ n ზომადობის ვექტორს. ამავე დროს, ადგილის

ეკონომიის მიზნით, ვიყენებთ ვექტორის სტრიქონულ ჩაწერას, სტრიქონების სვეტებად ტრანსპორტირება-გარდაქმნის “T” სიმბოლიკის დახმარებით. n ელემენტებიდან მატრიცა-სტრიქონი ხშირად აღინიშნება, როგორც:

$$Y^T = \left(Y_1 Y_2 \cdots Y_n\right).$$

სტრიქონისა და სვეტის ნამრავლი არის რიცხვი, რომელიც მისი კომპონენტების წყვილ-წყვილად ნამრავლის ჯამის ტოლია, ე.ი.

$$XY^T = \left(Y_1 Y_2 \cdots Y_n\right)\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_n \end{pmatrix} = Y_1 X_1 + Y_2 X_2 + \cdots + Y_n X_n;$$

თუ $Y^T = \left(Y_1 Y_2 \cdots Y_n\right)$ - არის n ელემენტების სტრიქონები, ხოლო $X = \left(X_1 X_2 \cdots X_m\right)^T$ - არის სვეტი (ვექტორი) m ელემენტებიდან, მაშინ ნამრავლი XY^T წარმოადგენს მატრიცას (დიადს).

$$XY^T = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_m \end{pmatrix}\left(Y_1 Y_2 \cdots Y_n\right) = \begin{pmatrix} X_1 Y_1 & X_1 Y_2 & \cdots X_1 Y_n \\ X_2 Y_1 & X_2 Y_2 & \cdots X_2 Y_n \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ X_m Y_1 & X_m Y_2 & \cdots X_m Y_n \end{pmatrix}$$

ზომით $m \times n$.

მატრიცების ნამრავლი $A = \left(a^{(1)} a^{(2)} \cdots a^{(n)}\right)$ სვეტებზე $a^{(1)}, a^{(2)} \cdots a^{(n)}$ B მატრიცის სტრიქონებზე $b_1, b_2, \cdots, b_n^T$ შემთხვევაში, როდესაც p ელემენტების რიცხვი ყოველ სვეტში $a^{(1)}$ და ყოველ სტრიქონში b_i^T ერთნაირია, გამოისახება, **როგორც** n **დიადის ჯამი** $a^i b_i^T$, ე.ი.

$$AB = \left(a^{(1)} a^{(2)} \cdots a^{(n)}\right) \begin{pmatrix} b_1^T \\ b_2^T \\ \cdots \\ b_n^T \end{pmatrix} = a^{(1)} b_1^{\mathrm{T}} + a^{(2)} b_2^T + \cdots + a^{(n)} b_n^T ,$$

გარდა ამისა

$$A\mathrm{X} = \begin{pmatrix} a_1^T \\ a_2^T \\ \cdots \\ a_m^T \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} a_1^T X \\ a_2^T X \\ \cdots \\ a_m^T X \end{pmatrix}, \text{ სადაც } X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_n \end{pmatrix},$$

$$X^T A = X^T \left(a^{(1)} a^{(2)} \cdots a^n\right) = \left(X^T a^{(1)} X^T a^{(2)} \cdots X^T a^{(n)}\right),$$

$$AB = A\left(b^{(1)} b^{(2)} \cdots b^{(m)}\right) = \left(Ab^{(1)} Ab^{(2)} \cdots Ab^{(m)}\right),$$

$$AB = \begin{pmatrix} a_1^T \\ a_2^T \\ \cdots \\ a_m^T \end{pmatrix} B = \begin{pmatrix} a_1^T B \\ a_2^T B \\ \cdots \\ a_m^T B \end{pmatrix}, \quad AB = \left(a_i^T b^{(i)}\right).$$

ამრიგად, A მატრიცის X სვეტზე გამრავლების დროს ვღებულობთ m ელემენტებიდან AX სვეტს, რომელთა კომპონენტები – რიცხვი $a_i^T X$ იმყოფება წესით a_i^T სტრიქონის A მატრიცის X სვეტზე გამრავლების რეჟიმში. X^T სტრიქონის A მატრიცაზე გამრავლებით ვღებულობთ $X^T a^{(i)}$ რიცხვის n ელემენტებიდან სტრიქონებს, სადაც ყოველი მათგანი იმყოფება სტრიქონის სვეტზე გამრავლების რეჟიმში.

A და B მატრიცების გამრავლების დროს, როდესაც მათი ზომები შეთანხმებულია, საჭიროა B მატრიცის ყოველი სვეტი $b^{(i)}$ გავამრავლოთ მარცხნივ A მატრიცაზე. A და B მატრიცების გამრავლების დროს თუ მათი ზომები შეთანხმებულია, საჭიროა A

მატრიცის ყოველი სტრიქონი a_i^T გავამრავლოთ მარჯვნივ B მატრიცაზე. A და B მატრიცების ზომების შეთანხმების შემთხვევაში, $C = AB$ მატრიცის C_{ij} ელემენტები გამოისახებიან როგორც i - ური A მატრიცის a_i^T სტრიქონების და B მატრიცის $b^{(i)}$ სვეტის j ნომრით ნამრავლი.

1.3. სასწავლო გეგმის დისციპლინების, ცალკეული განყოფილებებისა და თემების ურთიერთკავშირის აღრიცხვის მოდელი

მატრიცების გამრავლების ოპერაციების თვისება და ზემოთ შემოთავაზებული დამოკიდებულება $T_0 = A_0 T$ გვაძლევს საშუალებას გამოვსახოთ ურთიერთდამოკიდებულება ოპერატორის პასუხების $T_0 = \left(T_{ij}\right)$ მატრიცების T_{ij} ელემენტებსა და სასწავლო გეგმის (დავალების) $T_0 = \left(T_{ij}\right)$ ელემენტების τ_{ij} მატრიცებს შორის, აგრეთვე ოპერატორის პასუხების ინტენსივობის (თეორიული მომზადების მატრიცები) მატრიცების λ_{ij} ელემენტებს შორის.

ფორმულიდან $T_0 = A_0 T$ გამომდინარეობს, რომ მოცემულ დამოკიდებულებას აქვს სახე

$$T_{ij} = \lambda_{ij}\tau_{ij} + \lambda_{i2}\tau_{2i} + \cdots + \lambda_{iK}\tau_{Kj}\,;\, j = 1.2\cdots\iota\,, \qquad (11)$$

სადაც K და ι - არის შესაბამისად A_0 მატრიცის სვეტების რიცხვი და T_0 მატრიცის სვეტების რიცხვი.

(11) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ზემოთ შემოთავაზებული განტოლება $T_0 = A_0 T$, რომელიც აკავშირებს დავალებისა T და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს, აუცილებელია $A_0 = \lambda_{ij}$ მატრიცის λ_{ij} ელემენტების ცოდნა.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მომზადების $A_0 = \lambda_{ij}$ მატრიცის λ_{ij} ელემენტების

შეფასებისათვის შემოთავაზებულია საკითხისადმი ახალი მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს განსახილველი ამოცანის სფეციფიკას.

შემოთავაზებული მიდგომა ორიენტირებულია ტესტური მეთოდით ჩათვლებისა და გამოცდების ჩაბარებაზე სასწავლო გეგმის მიხედვით.

სწავლების დროს ოპერატორის ერთი და იგივე სასწავლო გეგმით T გამოკითხვის დროს ითვალისწინებენ ამოცანის რამოდენიმე ვარიანტს $T^{(v)} = \left(\tau_{ij}{}^{(v)}\right)$ ერთი და იგივე სირთულის კატეგორიისათვის. ამიტომ, რამოდენიმე ციკლით სწავლების დროს დავალების ვარიანტი $T^{(v)}$ განსხვავებულია ციკლიდან ციკლამდე, თუმცა სასწავლო გეგმის T სირთულის კატეგორია შენარჩუნებულია. სირთულის კატეგორია თავისთავად ხასიათდება იმით, რომ სირთულის ბალების ჯამი სასწავლი გეგმის განყოფილებისა და თემებისათვის ყველა ციკლში უცვლელი რჩება:

$$\sum_{i=1}^{m} \tau_{ij} = \Delta_j , \tag{12}$$

აქ Δ_j - არის ბალებში ჯამური სირთულე T დავალების i - ური თემისათვის. მატრიცული ფორმით უკანასკნელი გამოსახულება ჩავწეროთ ასე:

$$(1,1 \cdots 1)T^{(v)} = \left(\Delta_1 \Delta_2 \cdots \Delta_n\right);$$

განვიხილოთ გამოსახულება $T_0 = A_0 T$ და ჩავწეროთ იგი გეგმით T სწავლების ყოველი v - ური ციკლისათვის, რის შედეგად მივიღებთ მატრიცული განტოლების სისტემას.

$$T_0^{(v)} = A_0 T^{(v)}, v = 1, \cdots, N, \tag{13}$$

სადაც N - არის გეგმით სწავლების ციკლების საერთო რაოდენობა $T^{(v)} \to T_0^{(v)}$. ამასთანავე, ოპერატორის მომზადების მატრიცა

A_0 უცნობია და შეფასება უნდა მოხდეს ოპერატორის პასუხების $T_o^{(v)}$ მატრიცით.

(13) განტოლების სისტემა, უცნობი A_0 მატრიცით, შეიძლება ერთი მატრიცული განტოლების სახით ჩავწეროთ:

$$F_0 = A_0 G\text{, სადაც } F_0 = \begin{pmatrix} T_0^{(1)} \\ T_0^{(2)} \\ \cdots \\ T_0^{(N)} \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} T^{(1)} \\ T^{(2)} \\ \cdots \\ T^{(N)} \end{pmatrix}. \qquad (14)$$

(14) გამოსახულებაში F და G მატრიცები ბლოკისებრია, რადგანაც მათი ელემენტები თავისთავად მატრიცებს წარმოადგენს.

ახლა ამოცანის ზუსტი ფორმულირება შეიძლება გავაკეთოთ:

საწყისი მონაცემებით $T^{(v)}$, $T_o^{(v)}$, რომელიც მიღებულია სწავლების N ციკლში

$$T^{(v)} \to T_0^{(v)}$$

საჭიროებს (14) განტოლების მატრიცული სისტემის ამოხსნის საფუძველზე ვიპოვოთ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მომზადების A_0 მატრიცის შეფასება.

ამ ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოვიყენოთ უმცირესი კვადრატების მეთოდი.

თუ განვიხილავთ განტოლებას $F_0 = A_0 G$ ოპერატორის მომზადების შემფასებელი A_0 მატრიცის მიმართ, მაშინ შესაძლებელია აღმოჩნდეს, რომ A_0 მატრიცის ნებისმიერი შერჩევის დროს გამოსახულება $F_0 = A_0 G$ არ კმაყოფილდება. ასეთ შემთხვევაში მატრიცული სხვაობა $E = F_0 - A_0 G$ შეიძლება იყოს ნული:

$E \neq 0$, თუმცა ტოლობის შემთხვევა არ გამოირიცხება. სხვაობა E ეწოდება არგამოცხადების განტოლების $F_0 = A_0 G$ მატრიცას, საძებნი A_0 მატრიცის მნიშვნელობის მიმართ.

ეს გვიხასიათებს $T_0 = A_0 T$ მოდელის ცდომილებას. რიცხობრივი საზომით ცდომილება შეიძლება იყოს კვადრატული ფესვი E მატრიცის ყველა ელემენტების **კვადრატების ჯამიდან, რომელსაც მატრიცის ევკლიდური ნორმა ეწოდება და აღინიშნება** $\|E\|$. მატრიცების $A_0 = \hat{A}_0$ შერჩევას განტოლებაში $F_0 = A_0 G$ ოპტიმალური მოსაზრებით ეწოდება უმცირესი კვადრატების მეთოდი, თუ იგი უზრუნველყოფს $T_0 = A_0 T$ მოდელის მინიმალურ ცდომილებას $\|E\|$, ე.ი. თუ

$$\|E\| = \|F_0 - A_0 G\| \geq \|F_0 - \lambda_0 G\|$$

სადაც A_0 - არის ოპერატორის მომზადების მატრიცის ნებისმიერი სხვა მნიშვნელობა.

აღვნიშნოთ, რომ უმცირესი კვადრატების მეთოდი კარგად არის შესწავლილი და ფართოდ გამოყენებული გამოკვლევების სხვადასხვა სფეროში. თუმცა, ჩვენს შემთხვევაში, ამოცანის სფეციფიკის გამო, უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენება მოითხოვს ამოცანის პირობების შესაბამისად გადაკეთებას და დამუშავებას.

უმცირესი კვადრატების მეთოდის თანახმად, A_0 მატრიცის შერჩევის საუკეთესო პირობა მაშინ იქნება უზრუნველყოფილი თუ გამოვიყენებთ

$$\lambda_0 = F_0 G^{+} \tag{15}$$

(15) გამოსახულება იძლევა საშუალებას უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით ვიპოვოთ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მომზადების შესაფასებელი A_0

მატრიცა, სადაც G - სათვის ფსევდოუკანა მატრიცა აღნიშნულია G^{+}. ფსევდოუკანა მატრიცის ახსნა შედარებით ახალია და იგი განმარტებულია ქვემოთ.

(15) თანაფარდობის შეფასების სიზუსტე ხასიათდება ნარჩენი გადახრით, რომელიც განისაზღვრება

$$\|F_0 - A_0 G\| \tag{16}$$

ჩვენი ამოცანის თავისებურებას ‘‘შეფასება’’ წარმოადგენს, სადაც $A_0 = \left(\lambda_{ij}\right)$ მატრიცის ელემენტები λ_{ij} არის არაუარყოფითი რიცხვი. უმცირესი კვადრატების მეთოდების ფორმალურმა გამოყენებამ შესაძლებელია უარყოფითი მნიშვნელობები მოგვცეს $A_0 = \left(\lambda_{ij}\right)$ მატრიცის ზოგიერთი ელემენტებისათვის. ამიტომ, ამოცანაში A_0 მატრიცის ოპტიმალური შერჩევისათვის საჭიროა დაემატოს არაუარყოფითობის მოთხოვნა.

ჩვენს მიერ დაყენებული ამოცანა შეიძლება ასეთნაირად იყოს ფორმულირებული: ვიპოვოთ ოპერატორის მომზადების A_0 მატრიცის შეფასება A_0 (17) პირობიდან

$$\overset{\min}{A} > 0 > o\|F_0 - A_0 G\| = \|F_0 - A_0 G\|. \tag{17}$$

(17) თანაფარდობაში $F_0 - A_0 G$ სხვაობის ნორმის მინიმიზაცია განხორციელებულია A_0 მატრიცის სიმრავლის არაუარყოფითი ელემენტებით.

ჩვენს მიერ დაყენებული (17) ამოცანა შედარებით უფრო ზოგადი ხასიათისაა უმცირესი კვადრატების მეთოდების ამოცანასთან შედარებით, რომელშიაც $F_0 - A_0 G$ სხვაობის მინიმიზაცია A_0 მატრიცის სიმრავლით ხდება ნებისმიერი ელემენტის გამოყენებით.

წინამდებარე სამუშაოს მასალებით გამოკვლევიის შემდგომი გაგრძელება გულისხმობს (1) ახალი ამოცანის გადაწყვეტას, ხოლო

პირველი მიახლოებისას შეიძლება გამოვიყენოთ უმცირესი კვადრატების მეთოდი – (15) გადაწყვეტა იმის გათვალისწინებით, რომ (17) ამოცანის განხილვის დროს ნავარაუდევია მისი გამარტივება სათანადო ჩასწორების გზით.

შენიშვნა 2: უკუმატრიცის A^{-1} ცნება გარკვეულია მხოლოდ კვადრატული მატრიცისათვის A, რომლის განმსაზღვრელი განსხვავებულია ნულისაგან. თუ A - არის კვადრატული მატრიცა, რომელსაც გააჩნია ნულოვანი განმსაზღვრელი, აგრეთვე იმ შემთხვევაში, როდესაც მატრიცა A წარმოადგენს მართკუთხას, უკუმატრიცის არსებობაზე ლაპარაკიც კი არ შეიძლება.

უკანასკნელ წლებში მატრიცების თეორიაში გამოყენებულია მეორე, უფრო განზოგადოებული უკუმატრიცები, რომლებიც გამოყენებულია ნებისმიერი მატრიცებისათვის A, და ამასთანავე კერძო შემთხვევებში ემთხვევა უკუმატრიცებს A^{-1}. თანახმად [26] ნებისმიერ მატრიცისათვის A არსებობს ერთადერთი მატრიცა $X = A^X$ ეგრეთ წოდებული ფსევდოუკუმატრიცა A - სათვის და აკმაყოფილებს შემდეგ ოთხივე მოთხოვნას:

$$AXA = A, \quad XAX = X, \quad (AX)^T = AX, \quad (XA)^T = XA \tag{18}$$

ამ პირობებით კმაყოფილდება უკუმატრიცა A^{-1}, მაშასადამე, თუ უკუმატრიცა არსებობს, მაშინ იგი ფსევდოუკანა მატრიცას ემთხვევა.

აქედან გამომდინარე, (18) პირობის შესრულების უშუალო შემოწმებით მარტივად მოწმდება, რომ ქვემოთ მოტანილი ფორმულები სამართლიანია ფსევდოუკუ მატრიცებისათვის.

1. თუ $A \in E_{m,n}$ - არის სრული სვეტური რანგის $m \times n$ ზომის მატრიცა, მაშინ $A^+ = \left(A^T A\right)^{-1} A^T$ და ამ შემთხვევაში მატრიცა A^+ წარმოადგენს მარცხენა A - სათვის ე.ი. $A^+ A = 1$.

2. თუ $A \in E_{m,n}(m)$ - არის $m \times n$ ზომის სრული სტრიქონული რანგის მატრიცა, მაშინ $A^{+} = A^{T}\left(AA^{T}\right)^{-1}$ და ამ შემთხვევაში მატრიცა A^{+} წარმოადგენს მარჯვენა უკანას A - სათვის ე.ი. $AA^{+} = 1$.

ამრიგად, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორის სწავლების პროცესში ინფორმაციის ნაკადის გარდაქმნის ახალი მათემატიკური მოდელი.

მატრიცული ფორმით მოდელი გამოსახავს ურთიერთკავშირს $T_0 = A_0 T$ სასწავლო გეგმის T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის, სადაც მატრიცა A_0 - არის ოპერატორის მომზადების მატრიცა. ეს მოდელი პირველად იძლევა სასწავლო გეგმის სხვადასხვა განყოფილებისა და თემების სწავლების პროცესში ოპერატორის ათვისების ხარისხზე ურთიერთზეგავლენის აღრიცხვის საშუალებას.

მოცემულ სამუშაოში ოპერატორის მომზადების მატრიცის $A_0 = \left(\lambda_{ij}\right)$ ელემენტების λ_{ij} შეფასების ახალი მიდგომაა ამჟამად შემოთავაზებული განსახილველი ამოცანის სპეციფიკურობის გათვალისწინებით.

ნაჩვენებია, რომ პირველი მიახლოებისას მატრიცის A_0 საუკეთესო შეფასება შეიძლება ვიპოვოთ ფორმულით $\lambda_0 = F_0 G^{+}$, სადაც G და F_0 - არის ბლოკური მატრიცები, რომელიც შეიცავს T დავალებების ვარიანტებს და პასუხების T_0 ვარიანტებს, ხოლო G^{+} - არის G - სათვის ფსევდოუკანა მატრიცა.

1.4. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის დროს ოპერატორის მუშაობის მაჩვენებლები

ოპერატორის სწავლების პროცესში ინფორმაციის გარდაქმნის ზემოთ შემოთავაზებული მატრიცული მოდელი, ამ პროცესის მრავალგანზომილებიანი აღწერას ვარაუდობს. მაგალითად, თანაფარდობის ფორმით $T_0 = A_0 T$. ამიტომ, სწავლების პროცესის

ხარისხის მაჩვენებლების დამუშავება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ, როგორც საკითხის დაყენების, ისე მისი გადაწყვეტის მეთოდის მიხედვით. მიუხედავად ამისა, წინამდებარე ნაშრომში საბოლოო ჯამში ვღებულობთ საკმაოდ მარტივ რაოდენობით თანაფარდობას ხსენებული მაჩვენებლების გაანგარიშებისათვის.

1.5. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებელი

საწყისი მოდელის სახით მივიღოთ ფუნქციონალური ანალიზით დამუშავებული ნორმირებული ვექტორული სივრცის მოდელი, აგრეთვე ვექტორულ სივრცეში სკალიარული ნამრავლით. განვიხილოთ $m \times n$ ზომის ყველა მატრიცების A ერთობლიობა (სივრცე) $E_{m \cdot n}$. ამ სივრცის ელემენტებს (წერტილებს) წარმოადგენენ მატრიცები. $E_{m \cdot n}$ - ში შეიძლება შევიყვანოთ მანძილის ცნება

$$p(A,B) = \|A - B\| \tag{19}$$

ორ ნებისმიერ წერტილს A და B შორის $E_{m \cdot n}$ - დან, ე.ი. ორ ნებისმიერ ერთნაირი $m \times n$ ზომის A და B მატრიცებს შორის. (19) გამოსახულებაში გამოყენებულია აღნიშვნები $\|A - B\|$ ორი A და B ელემენტების $E_{m \cdot n}$ - დან სხვაობის ნორმისათვის. ამასთანავე, ნორმა $\|X\|$ ელემენტისა $X \in E_{m \cdot n}$ განისაზღვრება, როგორც ფუნქცია $X \to \|X\|$, რომელიც აკმაყოფილებს პირობებს:

1. $\|X\| = 0$ მხოლოდ მაშინ, როდესაც $X = 0 \in E_{m \cdot n}$;
2. $\|\lambda X\| = |\lambda| \|X\|$ ნებისმიერი რიცხვისათვის λ;
3. $\|X + Y\| \le \|X\| + \|Y\|$ ორი ნებისმიერი ელემენტისათვის $X_1 Y \in E_{m \cdot n}$

ამრიგად, მანძილი ორ მატრიცას შორის შეიძლება გამოვხატოთ ნორმით ე.ი. ნებისმიერი ფუნქციის $X \to \|X\|$ არჩევით, რომელიც აკმაყოფილებს ნორმების აქსიომებს, შეიძლება ვიპოვოთ მატრიცებს შორის მანძილი.

ხშირად $E_{m\cdot n}$ სივრცის ელემენტების ნორმის დავალებისათვის გამოყენებულია ორი ნებისმიერი ელემენტის $X, Y \in E_{m\cdot n}$ სკალიარული ნამრავლის დამატებით ცნება, რომლის ქვეშ იგულისხმება ფუნქცია $f(X,Y)$, რომელიც აღნიშნულია, როგორც (X,Y) და აკმაყოფილებს სკალიარული ნამრავლის აქსიომებს:

1. $(X,X) \geq 0$, თანაც $(X,x)=0$ მხოლოდ როდესაც $X=0 \in E_{m\cdot n}$;
2. $(\lambda, X, Y) = \lambda(X,Y)$ ნებისმიერი λ რიცხვისათვის;
3. $(X+Y, Z) = (X,Z) + (Y+Z)$.

დავუშვათ შერჩეულია სკალიარული ნამრავლის ფუნქცია. მაშინ ნორმის აქსიომები სრულდება, თუ დაიშვება, რომ

$$\|X\| = \sqrt{(X,X)} \tag{20}$$

ზემოთ მოტანილი მიუთითებს, რომ მატრიცებს შორის მანძილის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ თანაფარდობა

$$p(A,B) = \|A-B\| = \sqrt{(X,X)}, \tag{21}$$

სადაც $X = A - B$.

(21) ფორმულის გამოყენება ვარაუდობს, რომ ცნობილია ორი მატრიცის სკალიარული ნამრავლის საპოვნელი თანაფარდობა. ვაჩვენოთ, რომ თუ $A=(a_{ij})$ და $B=(b_{ij})$ - არის ორი მატრიცა $E_{m\cdot n}$ - დან, რომელიც შედგენილია a_{ij} და b_{ij} ელემენტებისაგან, მაშინ მოცემული მატრიცების სკალიარული ნამრავლი (A,B) შეიძლება ვიპოვოთ (22) ფორმულიდან

$$(A,B) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} a_{ij} b_{ij}. \tag{22}$$

ნამდვილად

$$(A,A) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} a_{ij}^2 \geq 0,$$

თუმცა აქ ტოლობის ნიშანის მიღწევა ხდება მხოლოდ ნულოვანი მატრიცისათვის A. გარდა ამისა, ნებისმიერი რიცხვისათვის λ სრულდება პირობა

$$\left(\lambda, A, B\right)=\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\lambda a_{ij}b_{ij}=\lambda\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}a_{ij}b_{ij}=\lambda\left(A,B\right)$$

ამრიგად, სკალიარული ნამრავლის პირველი ორი აქსიომა სრულდება. მარტივად შეიძლება შევამოწმოთ, რომ ორი მატრიცის სკალიარული ნამრავლის (22) ფორმით შერჩევის დროს მესამე აქსიომა ასევე სწორია.

მაშასადამე, ორ მატრიცას შორის მანძილის დადგენისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ (21) და (22) თანაფარდობა, საიდანაც ვღებულობთ საანგარიშო ფორმულას

$$p\left(A,B\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(a_{ij}-b_{ij}\right)^{2}}\ . \tag{23}$$

იგივე თანაფარდობებიდან (22) და (23) ვღებულობთ ფორმულას $A\in E_{m,n}$ მატრიცის **ევკლიდური** ნორმის საპოვნელად

$$\left\|A\right\|=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}a_{ij}^{2}}\ . \tag{24}$$

ნორმებისა და სკალიარული ნამრავლების აქსიომებს შეუძლიათ დააკმაყოფილონ ნორმებისა და სკალიარული ნამრავლების სხვადასხვა გამოსახულებები. ამიტომ ფორმულა (24) წარმოადგენს მატრიცებს შორის მანძილის შესაძლო გამოსახულებას. **მას შეგვიძლია დავარქვათ ევკლიდის მანძილი,** რადგანაც, როდესაც A და B მატრიცა-სვეტები (ვექტორები) – გამოსახულება (24) ემთხვევა ცნობილ თანაფარდობას ორ წერტილს შორის ევკლიდის მანძილის გაანგარიშებას n - საზომ სივრცეში.

ვთქვათ $T=\left(\tau_{ij}\right)$ - არის დავალების მატრიცა (სასწავლო გეგმის მატრიცა), ხოლო $T_0=\left(T_{ij}\right)$ - არის ოპერატორის პასუხების მატრიცა. **მაშინ ოპერატორის მომზადების დონე შეიძლება შეფასებული იქნეს T და T_0 მატრიცებს შორის მანძილის $p\left(T,T_0\right)$ დახმარებით. რაც ნაკლებია ეს მანძილი, მით მეტია ოპერატორის მომზადების დონე,** მაშასადამე, მით მეტია სასწავლო ცენტრში მისი სწავლების პროცესის ხარისხი, თუ სასწავლო გეგმა დამუშავებულია თანამედროვე

მოთხოვნის დონეზე. მოცემული მეთოდური მსვლელობის საფუძველზე მივდივართ შემდეგ დასკვნამდე:

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ოპერატორის მომზადების დონის ერთ-ერთი რაოდენობრივი მაჩვენებელი შეიძლება იყოს დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის მანძილის ფუნქცია:

$$p(T,T_0)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\pi_{ij}-_{T\,ij}\right)^2}\,. \qquad (25)$$

მანძილის $p(T,T_0)$ შემცირება გვიდასტურებს ოპერატორის მომზადების დონის გადიდებას. აღვნიშნოთ, რომ მანძილის ფუნქციის შერჩევა არაერთმნიშვნელოვანია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მანძილი $p(T,T_0)$ შეიძლება ავირჩიოთ სხვანაირად, არა მხოლოდ (25) სახით. ნებისმიერი ასეთი შერჩევის დროს, ნორმის აქსიომა სრულდება, რაც მანძილის შემდეგი თვისების შესრულებას იწვევს:

1. $p(A,B)=p(B,A)$;
2. $p(A,B)=0$, მხოლოდ როდესაც $A=B$;
3. $p(A,B)+p(A,C)\geq p(B,C)$.

იბადება კითხვა: როგორ აისახება მანძილის ფუნქციის არჩევა, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $1-3$, (25) სახის მაჩვენებლის გამოყენების შედეგებზე ათვისების დონის შეფასებისა და სასწავლო გეგმის ხარისხზე. პასუხი ამ კითხვაზე შეიძლება მოგვცეს ცალკეულმა გამოკვლევებმა.

ბოლო წლებში, ნორმირებული სივრცის თეორიაში დადგენილია საინტერესო უტოლობები [19].

$$\|A-B\|\geq\varepsilon_0\,, \qquad (26)$$

სადაც

$$\varepsilon_0=\gamma_{\max}\left(\|A\|,\|B\|\right),$$

თანაც $A,B\in E_{m\cdot n}$ გარდა ამისა (28) აღნიშნულია: $\max\left(\|A\|,\|B\|\right)$ - არის დიდი ორი ნორმიდან $\|A\|$ და $\|B\|$ ელემენტები (ვექტორები)

A და B კი $E_{m\cdot n}$ - დან, ხოლო γ - არის რიცხვი, რომელიც (27) გამოსახულების მნიშვნელობის ტოლია.

$$\gamma = \frac{1}{2}\sin\alpha \,, \tag{27}$$

აქ $\sin\alpha$ არის A და B ვექტორებს შორის კუთხის სინუსი $E_{m\cdot n}$ სივრცეში, თანაც, როგორც ჩვეულებრივად $\sin\alpha = \left(1-\cos^2\alpha\right)^{1/2}$.

ცნობილია, რომ $\cos\alpha$ - არის A და B ვექტორებს შორის კუთხის კოსინუსი და გამოსახულია სკალიარული ნამრავლის მის ნორმასთან ნამრავლის სახით, ე.ი.

$$\cos\alpha = \frac{(A,B)}{\|A\|\|B\|}. \tag{28}$$

(26) – დან საჭიროა გავაკეთოთ მნიშვნელოვანი დასკვნა: (27) დაშორების მაჩვენებელი დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის, როდესაც $T \neq T_0$ არ შეიძლება გაკეთდეს ε_0 სიდიდეზე ნაკლები, ე.ი.

$$p(T,T_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\pi_{ij} - {}_{T\,ij}\right)^2} \geq \varepsilon_0 \,, \tag{29}$$

სადაც ε_0 - არის დაშორების ქვედა საზღვარი, რომელიც ტოლია

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2}\|T\|\sin\alpha \,. \tag{30}$$

ამასთანავე

$$\sin\alpha = \left(1 - \left(\frac{(T,T_0)}{\|T\|\;\|T_0\|}\right)^2\right)^{1/2}$$

ნამდვილად, ზემოთ აღინიშნა, რომ სრულდება თანაფარდობა $T_0 \leq T$, რომელიც აღნიშნავს, რომ ოპერატორის პასუხები, გაზომილი ბალებში, არ შეიძლება იყოს მეტი ვიდრე მისი ამოცანის სირთულეა. საიდანაც გამომდირარეობს თანაფარდობა

$$\max\left(\|T\|,\|T_0\|\right) = \|T\|.$$

ამ უტოლობის გამოყენებით (26) – ში, ვღებულობთ (29) და (30) თანაფარდობებს, ამრიგად, ოპერატორის მომზადების

დაზუსტებული მაჩვენებლების სახით შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემდეგი

$$\tilde{p}(T,T_0)=p(T,T_0)-\varepsilon_0 . \qquad (31)$$

$p(T,T_0)$ მაჩვენებლიდან განსხვავებით, მინიმალური მნიშვნელობა $\tilde{p}(T,T_0)$, როდესაც $T\neq T_0$ შეიძლება ნულის ტოლი იყოს.

1.6. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვისადმი ოპერატორის ნიჭიერების მაჩვენებლები

ზემოთ შემოთავაზებული ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებელი $p(T,T_0)$ წარმოადგენს დაშორების საზომს დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების მატრიცებს შორის. ეს მაჩვენებელი დაზუსტებული $p(T,T_0)$ მაჩვენებელია, რომელიც დაფუძნებულია ცოდნის გადაცემის, ცოდნის აღქმისაგან განსხვავებით ხარისხის შეფასებაზე.

განვიხილოთ შეფასების ამოცანა რომელიმე სხვა კუთხით არა განსხვავებაზე, არამედ მსგავსებაზე (კორელაციაზე) მიცემულ და აღქმულ ცოდნას შორის.

ასეთი განხილვა არ უარყოფს $p(T,T_0)$ კრიტერიუმების გამოყენების აუცილებლობას, არამედ გვთავაზობს სწავლების პროცესის ანალიზის გაძლიერებას მისი ხარისხის კრიტერიუმის დამატებით შეყვანის ხარჯზე.

ელემენტარულ რეგრესიული (უკუსვლის) ანალიზში მსგავსების მიზნით გამოყენებულია კორელაციის კოეფიციენტის ცნება, რომელსაც ჩვენ პირველად ვანზოგადოებთ მატრიცებს შორის კორელაციის განხილვისათვის.

გავიხსენოთ ერთგანზომილებიანი რეგრესიული ანალიზის ძირითადი ცნებები. მასში ითვლება რომელიღაც სიდიდის λ პროგნოზირების ცნობილი ფორმულა რომელიც მეორე x სიდიდეზეა დამოკიდებული.

ნავარაუდევია, რომ პროგნოზის ფორმულას წრფიული დამოკიდებულების სახე აქვს: $y = y_0 + b(x - x_0)$, სადაც x - ცვლადია, ხოლო b, x_0, y_0 - არის რიცხვი (პარამეტრები), რომლებიც ექვემდებარება შეფასებას გამოცდილების მონაცემებით y_i, x_i როდესაც $i = 1, \cdots n$, სადაც n - არის y - ზე და x - ზე დაკვირვების რიცხვი. x_0 და y_0 პარამეტრების შეფასება არ იწვევს სირთულეს. ისინი მხოლოდ ფასდებიან ამორჩევით $\{y_1\}$ და $\{x_1\}$ ელემენტების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების გამოთვლის საშუალებით ე.ი. დაახლოებით:

$$x_0 = \widehat{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i , \qquad y_0 = \widehat{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i .$$

b კოეფიციენტის შეფასებისათვის პროგნოზის ფორმულაში მას n - ჯერ ჩაწერენ ყოველი დაკვირვებიდან. შედეგად ვღებულობთ სისტემას n განტოლებიდან ერთი უცნობით b:

$$u_i = bv_i , \quad \text{სადაც} \quad i = 1, \cdots, n, \quad u_i = y_i = \widehat{y} , \quad v_i = x_i - \widehat{x} ,$$

ანუ

$$u = bv , \tag{32}$$

სადაც

$$u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdots \\ u_n \end{pmatrix} \quad \text{და} \quad v = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdots \\ v_n \end{pmatrix},$$

უმცირესი კვადრატის მეთოდით (32) განტოლების ამოხსნით, ვპოულობთ საუკეთესო მნიშვნელობის უმცირესი კვადრატების მეთოდს b კოეფიციენტის შესაფასებლად $b = v^+ u$ სახით.

აქ v^+ - არის ფსევდოუკუ მატრიცა v სვეტის მატრიცისათვის. პირობის შესრულების შემოწმებით მარტივად ვადგენთ, რომ

$$v^+ = \frac{1}{\varepsilon} v^T ,$$

სადაც რიცხვი $\delta = u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_n^2$, აგრეთვე $v^T = (v_1 v_2 \cdots v_n)$ - სტრიქონებია და იგი შედგენილია სვეტის ელემენტებით v. მაშასადამე,

უმცირესი კვადრატის მეთოდით შეფასებული b კოეფიციენტისათვის b იპოვნება, როგორც:

$$b = \left(u_1 v_1 + u_2 v_2 + \cdots + u_n v_n\right) / \delta = rx .$$

აქ $x = \left(v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2\right)^{1/2} / \left(u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_n^2\right)^{1/2}$, ხოლო სიდიდე $r = \left(u_1 v_1 + u_2 v_2 + \cdots + u_n v_n\right) / \left(u_1^2 + u_2^2 + \cdots u_n^2\right)^{1/2} \left(v_1^2 + v_2^2 + \cdots + v_n^2\right)^{1/2}$.

მეორე ჩანაწერში ბოლო გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$r = \frac{(u, v)}{\|u\| \|v\|} \tag{33}$$

(32) გამოსახულებიდან, u და v ვექტორებს, ცენტრირებული – ცენტრისადმი დაქვემდებარებული ეწოდება, იმის გამო, რომ მათი კომპონენტები შექმნილია სხვაობებით $u_i = y_i - y$, $v_i = x_i - x$, ე.ი. ცენტრირებულია საშუალო მნიშვნელობებთან შეფარდებით. (33) გამოსახულებიდან სიდიდე r ცენტრირებული u და v ვექტორების სკალიარული ნამრავლის მათი ნორმების ნამრავლთან ფარდობის ტოლია და მას y და x სიდიდეებს შორის კორელაციის (ურთიერთდამოკიდებულების) ცდით მიღებული კოეფიციენტი ეწოდება. აგრეთვე ქვემოთ მოტანილი ვექტორებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი გამოისახება

$$x = \left(x_1 x_2 \cdots x_n\right)^T \text{ და } y = \left(y_1 y_2 \cdots y_n\right)^T .$$

წინამდებარე ნაშრომში პირველად არის გამოყენებული მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტის ცნება და მატრიცის განხილვის შემთხვევისათვის კორელაციის კოეფიციენტის განზოგადოების ცნება. ამ კოეფიციენტის გამოყენება ნავარაუდებია, როგორც საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვის ოპერატორის ნიჭის დონის მაჩვენებელი.

დავუშვათ, მოცემულია $E_{m \cdot n}$ - დან ორი A და B მატრიცა. დავუყენოთ მათ ორი სხვა შესაბამისი A_0 და B_0 ეგრეთ წოდებული ცენტრირებული მატრიცა, რომელიც განისაზღვრება შემდეგნაირად: ვთქვათ $A = \left(a^{(1)} a^{(2)} \cdots a^{(n)}\right)$ - არის $m \times n$ ზომის მატრიცა, რომელიც შედგენილია $a^{(1)}, a^{(2)} \cdots a^{(n)}$ სვეტებიდან. j - ური სვეტის განხილვით

$$a^{(j)} = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \cdots \\ a_{mj} \end{pmatrix},$$

ვიპოვით სვეტების საშუალო მნიშვნელობას

$$x_j = \left(a_{1j} + a_{2j} + \cdots + a_{mj}\right)/n$$

ამის შემდეგ ცენტრირების ოპერაცია განვახორციელოთ, ე.ი. სვეტის ყოველი ელემენტიდან გამოვაკლოთ საშუალო მნიშვნელობა x_j და $a_{ij} - x_j$ რიცხვის მიღებით ავაგებთ ცენტრირებულ სვეტს

$$a^{(j)0} = \begin{pmatrix} a_{1j} - x_j \\ a_{2j} - x_j \\ \cdots \\ a_{mj} - x_j \end{pmatrix}.$$

ასეთი n სვეტებიდან შევადგინოთ ცენტრირებული მატრიცა

$$A_0 = \left(a^{(1)0} a^{(2)0} \cdots a^{(n)0}\right).$$

ანალოგიურად ხდება ცენტრირებული მატრიცის აგება

$$B^0 = \left(b^{(1)0} b^{(2)0} \cdots b^{(n)0}\right).$$

აღვნიშნოთ, რომ ვექტორებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი განისაზღვრება, როგორც ცენტრირებული შესაბამისი ვექტორებს შორის კუთხის კოსინუსი. **ამ მოსაზრების განზოგადება მატრიცის განხილვის შემთხვევისათვის გვაძლევს შემდეგი დასკვნის გაკეთების საშუალებას**

სიდიდე

$$r^0 = \frac{\left(A^0, B^0\right)}{\left\|A^0\right\|\left\|B^0\right\|}, \tag{34}$$

ტოლია A^0 და B^0 ცენტრირებული მატრიცების სკალიარული ნამრავლის ფარდობის მათი ნორმების ნამრავლთან, რომელსაც A და B მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტს უწოდებენ.

კოში-ბუნიაკოვსკის უტოლობის საფუძველზე სივრცის ვექტორების სკალიარული ნამრავლის ფარდობა მათი ნორმების ნამრავლზე, [-1,1] ინტერვალში ღებულობს გარკვეულ მნიშვნელობას. ამიტომ, მატრიცებს შორის კორელაციის კოფიციენტისათვის სრულდება თანაფარდობა

$$-1 \le r^0 \le 1 .$$

განწესის მაჩვენებლებით

$$p(T, T_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left(\pi_{ij} - T_{ij}\right)^2}$$

ოპერატორის მომზადების დონე ჩვენს მიერ შემოთავაზებული იყო გამოგვეყენებინა აგრეთვე მისი ნიჭიერების მაჩვენებლებთან ერთად რთული ტექნიკური სისტემების მართვისადმი კორელაციის კოეფიციენტის ფორმით, დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცას შორის

$$r^0 = \frac{\left(T^0, T_0^0\right)}{\left\|T^0\right\| \left\|T_0^0\right\|} \qquad (35)$$

(35) თანაფარდობაში აღნიშნულია: T^0 და T_0^0 - არის ცენტრირებული მატრიცა დავალებისა და ცენტრირებული მატრიცა ოპერატორის პასუხების, რომელიც მიღებულია T და T_0 ცენტრირების ოპერაციების შესაბამისად და აღწერილია ზემოთ. ამასთანავე

$$T^0 = \left(\pi_{ij} - \pi_j\right), \quad T_0^0 = \left(T_{ij} - \hat{T}_j\right),$$

სადაც π_j და $\hat{T}_j$ - არის j - რი სვეტის T მატრიცის და j - რი სვეტის T_0 მატრიცის საშუალო არითმეტიკული.

გარდა ამისა, (35) გამოსახულებაში ასეთი სახით

$$\left(T^0, T_0^0\right) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \left(\pi_{ij} - \hat{\pi}_j\right)\left(_{Tnj} - _{Tj}\right)$$

აღნიშნულია T^0 და T_0^0 ცენტრირებული მატრიცების სკალიარული ნამრავლი. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ ყოველ მეორე მაჩვენებელს აქვს თავისი დანიშნულება: თუ რიცხვი

$$p(T, T_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \left(\pi_{ij} - T_{ij}\right)^2}$$

გვისახიათებს დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის დაშორებას, მაშინ კოეფიციენტი

$$r^0 = \frac{\left(T^0, T_0^0\right)}{\left\|T^0\right\|\left\|T_0^0\right\|} \qquad (36)$$

გვიხასიათებს მათ მსგავსებას (კორელაციას).

მოკლე ანალიზი მივცეთ r^0 მაჩვენებლის თვისებას. აღვნიშნოთ, რომ ზემოთ მოტანილი ორი მატრიცის სკალიარული ნამრავლის განსაზღვრიდან გამომდინარეობს

$$\left(T^0, T_0^0\right) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \pi_i^{0T} T^{0(j)},$$

სადაც

$$\pi_i^{0T} = \left(\pi_{i1} - \pi_j, \pi_{i2} - \pi_j, \cdots, \pi_{in} - \pi_j\right)$$

და

$$T^{0(j)} = \left(T_{ij} - \hat{T}_j, T_{2j} - \hat{T}_j, \ldots, T_{nj} - \hat{T}_j\right)^T$$

არის სტრიქონი ნომრით i და სვეტი ნომრით j, ხოლო T^0 და T_0^0 ცენტრირებული მატრიცებია.

რადგანაც რიცხვს

$$r_{ij}^0 = \frac{\pi_i^{0T} T^{0(j)}}{\left\|\pi_i^0\right\|\left\|T^{0(j)}\right\|} \qquad (37)$$

აქვს i - ური სტრიქონის მატრიცასა T^0 და j - რი სვეტების T_0^0 მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა, მაშინ (36) და (37) გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს

$$r^0 = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} r_{ij}, \qquad (38)$$

სადაც $$a_{ij} = \frac{\left\|\pi^{0(i)}\right\|\left\|T^{0(j)}\right\|}{\left\|T^{0}\right\|\left\|T_0^{0}\right\|},$$

ჩვენს მიერ მიღებული (38) ფორმულა გვაძლევს საშუალებას გავაკეთოთ დასკვნა T^0 და T_0^0 მატრიცებს შორის კავშირის მაჩვენებლის r^0 მიმართ. T^0 და T_0^0 მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი r^0 ტოლია კორელაციის კოეფიციენტების r_{ij}^0 წრფიული კომბინაციების, T^0 მატრიცის სტრიქონებსა და T_0^0 მატრიცის სვეტებს შორის.

1.7. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის სწავლების პროცესის დინამიკის მოდელი

შემოთავაზებული სწავლების მოდელის მნიშვნელოვან თვისებას ოპერატორის მიმდინარე მდგომარეობის შეფასების ბაზაზე მისი მომზადების შესაძლებლობა წარმოადგენს.

ვიდრე ოპერატორის მდგომარეობის ცნებას შემოვიღებდეთ, შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$S_1, S_2 \cdots S_n$ - არის მოსამზადებელი ოპერატორების საატესტაციო კატეგორიები (მაგალითად, S_i - არის სპეციალისტის დონის i კლასი), რომელიც ნიშნავს ოპერატორის მიმდინარე მდგომარეობას;

i - არის მდგომარეობის ნომერი S_1, $i = 1, \cdots, n$;

t - არის ოპერატორის სწავლების მიმდინარე დრო, რომელსაც ვთვლით დისკრეტულია, ჩავთვალოთ $t = 1, 2 \cdots n$ და დავარქვათ მეცადინეობის t ნომერი, რომელიც იწოდება ბიჯად;

$P_i(t) = P(S_{j2} t)$ - არის t დროის მომენტში S_i მდგომარეობის ალბათობა (t დროის მომენტში ოპერატორის i კატეგორიაზე ატესტირების ალბათობა);

$P_{ij} = P_{ij}(t-1, t)$ - არის გადასვლის ალბათობა $S_i \to S_j$ ერთი ნაბიჯით, ე.ი.

$$P_{ij} = P_{ij}(t-1,t) = P(S_i, t / S_i, t-1) \qquad (39)$$

t დროის მომენტში ოპერატორის j კატეგორიაზე ატესტირების პირობითი ალბათობა, რომელიც გამოითვლება $t-1$ დროის მომენტში i კატეგორიაზე;

$$A = (P_{ij}) = A(t-1,t) = \begin{pmatrix} P_{11}, P_{21} \cdots P_{n1} \\ P_{12}, P_{22} \cdots P_{n2} \\ \cdots\cdots\cdots \\ P_{1n}, P_{2n}, P_{nn} \end{pmatrix} \qquad (40)$$

ეს გამოსახულება არის $S_i \to S_j$ გადასვლების ალბათობის მატრიცა.

$$P(t) = \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \cdots \\ P_n(t) \end{pmatrix}$$

t დროის მომენტში ოპერატორის i კატეგორიაზე ატესტირების $P_i(t)$ ალბათობის სვეტი (t დროის მომენტში ოპერატორის მდგომარეობის S_i ალბათობების სვეტი);

$P(t-1)$ - არის იგივე წინამდებარე სვეტი $t-1$ დროის მომენტში;

t დროის მომენტში (ნაბიჯზე ნომრით i) ოპერატორის მდგომარეობის ქვეშ უნდა ვიგულისხმოთ წყვილი $\wp_{0t} = (T_{0t}, \Pi_{0t})$ მატრიცა T_{0t} და Π_{0t}, სადაც ზემოთ მიღებული აღნიშვნები T_{0t} და Π_{0t} არის ოპერატორის თეორიული ცოდნის მატრიცა და პრაქტიკული ჩვევების მატრიცა ნაჩვენები დროის მომენტში t.

როგორც ზემოთ არის გათვალისწინებული, საწყისი აღნიშვნებისათვის გამოსახულებებში, სწავლება ხდება სეანსობით ანუ სასწავლო ციკლებით, რომლებიც შეიძლება იწოდებოდეს სწავლებად $[0, \tau_0]$ დროის ინტერვალში, ხანგრძლივობით ყოველი მათგანი τ_0. სწავლებას ხანგრძლივობით τ_0 ეწოდება კიდევ ბიჯი, როგორც ეს ზემოთ იყო ნაჩვენები. t - თი აღნიშნულია ბიჯის ნომერი, ხოლო n - ით სწავლების ციკლების საერთო რიცხვი.

ვთქვათ t დროის მომენტში, ე.ი. სწავლების ბიჯი ნომრით t, იმყოფება S_i მდგომარეობაში. ზემოთ მოტანილი წინადადებების (შემოთავაზებების) გამოყენებით, შეგვიძლია ოპერატორის მდგომარეობის $\wp$ შეფასება მისთვის სასურველი “მდგომარეობის” შეპირისპირებით $\wp_{0t} = (T_{0t}, \Pi_{0t})$.

თუ სწავლების მოცემულ ბიჯზე ნომრით i, მდგომარეობიდან S_i დაშორების კრიტერიუმი და კორელაცია აკმაყოფილებენ პირობებს, მაშინ:

$$p(T_i, T_{0i}) \leq P_{iTP}, p(\Pi_i, \Pi_{0i}) \leq p^*_{iTP}, \tag{41}$$

$$r^0(T_i, T_{0i}) \geq r_{iTP}, r^0(T_i, T_{0i}) \geq r^*_{iTP} \tag{42}$$

სადაც p_{iTP} და p^*_{iTP} - არის t მომენტში კრიტერიუმის დასაშვები მნიშვნელობების დაშორება, ხოლო r_{iTP} და r^*_{iTP} - არის კორელაციის კრიტერიუმის საჭირო მნიშვნელობა, მაშინ სწავლების შემდგომ ბიჯზე, ნომრით $t+1$, ოპერატორი დაიშვება S_i მდგომარეობაში გადასვლაზე $S_i \to S_i$. ასეთ სიტუაციაში ოპერატორი ითვლება ატესტირებულად i კატეგორიაზე და დაიშვება ჩათვლის ჩასაბარებლად შემდგომ მეცადინეობაზე ნომრით $t+1$ S_j კატეგორიაზე.

თუ (41) და (42) მოთხოვნები არ სრულდება, მაშინ სწავლების შემდგომ ბიჯზე ნომრით $t+1$ ოპერატორი ყოვნდება S_i მდგომარეობაში კატეგორიაზე განმეორებით ატესტაციისათვის.

ამ შემთხვევაში სრულდება გადასვლა $S_i \to S_i$, რომელსაც ეწოდება S_i მდგომარეობაში დაყოვნება, ხოლო ოპერატორი ითვლება კატეგორიაზე i ატესტაცია გაუვლელად.

ამრიგად, ვდგებით შემდეგი ამოცანის წინაშე:

1. საწყისი სიდიდეები ითვლება მოცემულად (როდესაც $i=0$) $P_i(0), \cdots, P_n(0)$ ალბათობით $P_i(t), \cdots, P_n(t)$.

ამ დროს, $P_i(0)$ - ალბათობა იმისა, რომ დროის საწყის მომენტში (მეცადინეობაზე ნომრით $t=0$) ტესტური შეკითხვების შედეგით ოპერატორი დაიშვება i კატეგორიაზე ატესტაციისათვის.

$P_i(0)$ მნიშვნელობის გაანგარიშებისათვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ შეფასება

$$P_i(0) \approx P_i(0) = \frac{m_i}{N_i}, \tag{43}$$

აქ N_i - არის დავალების T_i მატრიცაში ამოცანის სირთულის ბალების საერთო რიცხვი, რომელიც გათვალისწინებულია i კატეგორიაზე ტესტური გამოკითხვისათვის, ხოლო m_i - არის ბალების საერთო რიცხვი, რომელიც შეესაბამება ოპერატორის პასუხების T_i მატრიცას ტესტური გამოკითხვის დროს მათ მიერ დაგროვილ ბალებს.

(43) გამოსახულების შესაბამისად შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს გარანტირებული შეფასება $P_{iH}(0)$. იგი განისაზღვრება როგორც v - ქვედა ზღვარი უცნობი ალბათობისათვის $P_i(0)$. ეს საზღვარი უნდა იყოს არაუმცირესი $P_i(0)$, ე.ი. უნდა შესრულდეს უტოლობა $P_{ii}(0) \le P_i(0)$. ამ ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ გარანტირებული შეფასება შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$P_i(0) \approx P_{iii}(0) = \frac{m_i}{N_i} - a\sqrt{\frac{1}{2N_i}\ell n\left(\frac{1}{1-\gamma}\right)} \tag{44}$$

აქ a - არის ოპერატორის მიმართ ინფორმაციის აღრიცხვის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება მისი სწავლების შედეგებიდან. ამასთანავე $a \in (0,1)$.

(44) გამოსახულებაში აპრიორული (ცდის გარეშე) ინფორმაციის უქონლობისას შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $a = 1$. უფრო ხშირად გამოდის, რომ ინფორმაციის აღრიცხვის კოეფიციენტი ტოლია $a = 0,5$.

გარანტირებული შეფასება (44) $P_i(0)$ - სათვის გამოყენებულია მაშინ, როდესაც დიდია ატესტაციით კანდიდატების შერჩევის კონკურსი ანუ საჭიროა კანდიდატურის მკაცრი მოთხოვნით შერჩევა. შევნიშნოთ, რომ (43) გამოსახულებით შეფასება შედარებით რბილია და ატესტაციის დროს მნიშვნელოვან შეცდომამდე შეიძლება მიგვიყვანოს.

შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ოპერატორი მოცემულ სწავლების ბიჯზე (მოცემულ მეცადინეობაზე) ატესტირებული შეიძლება იყოს ერთ

კატეგორიაზე ან იგზავნება განმეორებით ატესტაციაზე ან დაიშვება მომდევნო კატეგორიის ატესტაციაზე. ასეთ შემთხვევაში დროის ნებისმიერი მომენტისათვის სრულდება ტოლობა

$$P_1(t)+P_2(t)+\cdots+P_n(t)=1 \qquad (45)$$

(45) გამოსახულებიდან დროის საწყისი მომენტისათვის $t=0$ ვღებულობთ

$$P_1(t)+P_2(0)+\cdots+P_n(t)=1 \qquad (46)$$

2. ჩავთვალოთ მოცემულ სიდიდედ $S_i \to S_j$ გადასვლების ალბათობის P_{ij} მატრიცა A ერთ ბიჯზე (39) სახით. ამასთანავე მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ A მატრიცის თვისება.

$S_i \to S_j$ გადასვლების ალბათობების P_{ij} ჯამი (45) მატრიცის ყოველ სვეტზე

$$A=\begin{pmatrix} P_{11}P_{21}\cdots P_{n1} \\ P_{12}P_{22}\cdots P_{n2} \\ \cdots\cdots\cdots \\ P_{1n}P_{2n}\cdots P_{nn} \end{pmatrix}$$

ერთის ტოლია:

$$P_{ij}+P_{ij}+\cdots+P_{ij}=1\,, \quad j=1{,}2\cdots n \qquad (47)$$

ნამდვილად, A მატრიცის j - ური სვეტი შეიცავს გადასვლების ალბათობას. ერთ ბიჯზე ყველა სხვა S_j მდგომარეობიდან S_i მდგომარეობაში, S_i ჩათვლით.

(47) გამოსახულება აღნიშნავს, რომ ერთ ბიჯზე ოპერატორი ან დარჩება მდგომარეობაში S_i დაყოვნების ალბათობით S_{ii} ან გადავა ერთ-ერთ სხვა მდგომარეობაში $S_j, j \neq i$.

საერთოდ ერთ ბიჯზე $S_i \to S_j$ გადასვლების ალბათობის მატრიცა A დამოკიდებულია დროის ორ კომპონენტზე $t-1$ და t, რაც აღინიშნა ზემოთ (39) გამოსახულებაში ასეთი აღნიშვნების შეყვანით $A=A(t-1,t)$. ასეთ სიტუაციაში საჭიროა ყოველი ბიჯისათვის დროის

ყოველი ინტერვალისათვის $(t-1,t)$ ვიქონიოთ მატრიცის მონაცემები $A(t-1,t)$.

მოცემული და მიღებული საწყისი მონაცემები მნიშვნელოვნად მარტივდება იმ შემთხვევაში, როდესაც $S_i \to S_j$ გადასვლების ალბათობის მატრიცა A ერთ ბიჯზე მუდმივია და უცვლელია დროში, ე.ი. ერთნაირია სწავლების ყველა ციკლისათვის.

გადასვლების ალბათობების A მატრიცის მუდმივობის დაშვება ერთ ბიჯზე, ჩვენი ამოცანისათვის გამართლებულია, რადგანაც იგი არა იმდენად დამოკიდებულია სწავლების სისტემის თვისებისაგან, რამდენადაც განისაზღვრება ოპერატორების მომზადების A_0 მატრიცებით – განტოლებებში ინფორმაციების გარდაქმნით.

გადასვლების $S_i \to S_j$ ალბათობების P_{ij} ერთ ბიჯზე შეფასებისათვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ აპრიორული (ცდისაგან დამოუკიდებელი) ინფორმაციები ოპერატორის სწავლების პროცესის მონაცემების სახით.

ვთქვათ ცნობილია, რომ ერთ ბიჯის ინტერვალში $(t-1,t)$ ოპერატორების საერთო რიცხვიდან M_i ოპერატორებმა ატესტაციის გავლით მიიღეს კატეგორია i, ხოლო ამათგან, m_{ij} რიცხვიდან ატესტირებულია კატეგორიაზე j. მაშინ, ალბათობის თეორიის პრინციპების შესაბამისად შეიძლება გამოვიყენოთ მიახლოებითი შეფასება.

$$P_{ij} \approx P_{ij} = \frac{m_{ij}}{M_i} \tag{48}$$

(48) გამოსახულების შესაბამისად შესაძლებელია გამოვიყენოთ გარანტირებული შეფასება P_{ij11}, რომელიც განისაზღვრება. როგორც γ - უცნობი ალბათობისათვის P_{ij} ქვედა ზღვარის პირობიდან: ის უნდა იყოს არაუმეტესი P_{ij}, ე.ი. უნდა სრულდებოდეს უტოლობა $P_{ijii}(0) \le P_{ij}(0)$ წინასწარ მოცემული უტყუარი ალბათობით γ (ჩვეულებრივად $\gamma = 0{,}95$). შესაბამისად [14] ვარაუდობთ

$$P_{ij} \approx P_{ij11} = \frac{m_{ij}}{M_i} - a\sqrt{\frac{1}{2M_i}\ell n\left(\frac{1}{1-\gamma}\right)},$$

სადაც a - არის ინფორმაციის აღრიცხვის კოეფიციენტი, $a \in (0,1)$. აპრიორული ინფორმაციის უქონლობის დროს შეიძლება მივიღოთ $a = 1$. როგორც წესი აღმოჩნდა ინფორმაციის გათვალისწინების კოეფიციენტი $a = 0,5$.

ხაზი გავუსვათ ალბათობების განსხვავებას.

$$P_{ii} = P_{ii}(t-1,t) = P(S_i, t \mid S_i, t-1) \quad \text{და} \quad P_i(t) = P(S_i, t).$$

აქ P_{ii} - არის იმის პირობითი ალბათობა, რომ t დროის მომენტში ოპერატორი იმყოფება S_i მდგომარეობაში. ამისგან განსხვავებით $P_i(t)$ წარმოადგენს იმის უსათუო ალბათობას, რომ t დროის მომენტში ოპერატორი S_i მდგომარეობაში იმყოფება.

3. **ოპერატორის i კატეგორიაზე ატესტირების ალბათობების $P_i(t) = P(S_j, t)$ დროში ცვლილების პროგნოზირების ამოცანა მდგომარეობს შემდეგში:**

ვვარაუდობთ, რომ ცნობილია საწყისი მონაცემები:

$$P^T(0) = (P_1(0)P_2(0)\cdots P_n(0)), \quad A = (P_{ij}).$$

აქ $P^T(0)$ - არის $P_i(0)$ - ის საწყისი მნიშვნელობების სტრიქონები – იმის ალბათობა, რომ დროის საწყის მომენტში (მეცადინეობაზე ნომრით $t = 0$) ტესტური გამოკითხვის შედეგების საფუძველზე ოპერატორი დაიშვება ატესტაციაზე i კატეგორიის მისაღებად. მატრიცა A იქმნება $S_i \to S_j$ გადასვლების P_{ij} ალბათობებიდან ერთ ბიჯზე.

საჭიროა ოპერატორის i კატეგორიაზე ატესტირების ალბათობების $P_i(t)$ დროში ცვლილების პროგნოზირების მიცემა.

$P_i(t)$ დამოკიდებულებით გრაფიკის აგებით ადვილად დავრწმუნდებით $P_i(t)$ ალბათობების ცვლილებების კანონზომიერების პროგნოზირებაში. რამდენადაც $P_i(t)$ აქვს ოპერატორების სწავლებაში გარკვეული მნიშვნელობა, როდესაც ისინი t დროის მომენტში

ატესტირებულია i კატეგორიაზე, არახელსაყრელი პროგნოზის დროს (მაგალითად, მაღალ კატეგორიაზე ატესტირებული ოპერატორისათვის კატეგორიის ნაწილობრივ შემცირება) შეიძლება წინასწარ მივიღოთ აუცილებელი ორგანიზაციული გადაწყვეტილება.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მომზადების ხარისხის დინამიკის პროგნოზირების ამოცანის გადაწყვეტა.

გავიხსენოთ სრული ალბათობის კლასიკური ფორმულა ნებისმიერი ხდომილობისათვის B.

დავუშვათ $H_1,\cdots,H_n$ - არის წყვილ-წყვილად შეუთავსებადი სრული ჯგუფის შემქმნელი ხდომილობა (ჰიპოთეზა), რომელთა ალბათობების ჯამი ერთის ტოლია: $P(H_1)+P(H_2)+\cdots+P(H_n)=1$. მაშინ სამართლიანია ფომულა $P(B)=P(H_1)P(B\mid H_1)+\cdots+P(H_n)P(B\mid H_n)$. რადგანაც (45) გამოსახულების თანახმად: $P_1(t-1)+P_2(t-1)+\cdots+P_n(t-1)=1$, ანუ $P(S_1,t-1)+P(S_2,t-1)+\cdots P_n(S_n,t-1)=1$, მაშინ $t-1$ დროის მომენტში შეგვიძლია შევირჩიოთ ხდომილობა $S_i=S_i(t-1)$ სრული ალბათობის ფორმულაში ჰიპოტეზის სახით. ამის გამოყენებით ხდომილობაში $S_i(t)$, მივიღებთ

$$P(S_i,t)=P(S_1,t-1)P(S_i,t\mid S_1,t-1)+\cdots+P(S_i,t-1)P(S_i,t\mid S_i,t-1),$$

ანუ

$$P_i(t)=P_1(t-1)P_{1i}+P_2(t-1)P_{2i}+\cdots+P_n(t-1)P_{ni},\ \ i=1,\cdots,n. \quad (49)$$

(49) გამოსახულების მატრიცული ფორმით ჩაწერის დროს, მივიღებთ პროგნოზის საძებნ ფორმულას

$$P(t)^T=P(t-1)^T A. \quad (50)$$

t დროის მომენტში საძებნი ალბათობების $P_i(t)$ ვექტორ-სტრიქონი $P(t)^T$, წინა დროის $t-1$ მომენტში, ამავე ვექტორ-სტრიქონების მნიშვნელობების $S_i\to S_j$ გადასვლების ალბათობების A მატრიცის მარჯვენა ნამრავლის ტოლია, ერთ ბიჯზე.

თუ მატრიცა A სწავლების ყოველ ბიჯზე მუდმივია, მაშინ (50) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავწეროთ

$$P(t)^T = P(0)^T A' \tag{51}$$

სადაც $A' = A_1 A \cdots A$ - არის t მატრიცის ხარისხი A, რომელიც თავისი თავის t - ზე ნამრავლის ტოლია.

მაგალითი 1. განიხილება ოპერატორების სწავლების შემდეგი საწყისი მონაცემები.

1. სასწავლო პროცესი ითვალისწინებს სპეციალისტების ატესტაციას 1,2...3 კატეგორიაზე. ოპერატორების ჯგუფის ტესტურმა გამოკითხვამ გამოავლინა, რომ მათი 15%, 30% და 55% არის სათანადო კატეგორიის – 1,2...3 კატეგორიის ატესტირების კანდიდატები, ე.ი. ოპერატორის i კატეგორიაზე ატესტაციის ალბათობის $P_i(t)$ საწყისი მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია:

$$P_1(0) = 0.15\,,\ \ P_2(0) = 0.30\,,\ \ P_3(0) = 0.55\,;$$

2. ფორმულის (48) დახმარებით, სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე, ნაპოვნია ერთ ბიჯზე $S_i \to S_j$ გადასვლების P_{ij} ალბათობების შეფასება (სასწავლო კლასში მუშაობს ერთი სეანსის დროს). **ამ ალბათობებიდან შედგენილია გადასვლების ალბათობების მატრიცა A ერთ ბიჯზე, რომელსაც აქვს სახე**

$$A = \begin{pmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}5 & 0{,}5 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}3 & 0{,}7 \end{pmatrix}$$

საჭიროა მატრიცა A ჩავთვალოთ მუდმივ ელემენტად სწავლების ყოველ ბიჯზე, მივცეთ სასწავლო კლასში საერთო რიცხვის $N = 4$ მეცადინეობის ჩატარების დროს ოპერატორების 1.2.3 კლასის კატეგორიაზე ატესტირების პროგნოზი. სხვა სიტყვებით: საჭიროა მივცეთ ოპერატორის i კატეგორიაზე, ატესტაციის ალბათობების $P_i(t)$ დროში ცვლილების პროგნოზი, როდესაც $i = 1 \cdots 4$

ამოხსნა: რადგანაც ამოცანის პირობით სტრიქონების საწყის მნიშვნელობების საძებნი ალბათობებს აქვს სახე

$$P(0)^T = (0.15 \quad 0.30 \quad 0.55),$$

მაშინ (50) გამოსახულების თანახმად სწავლების პირველი ბიჯისათვის პროგნოზი იქნება $(t=1)$ ასეთი:

$$P(1)^T = P(0)^T A = (0.15 \; 0.30 \quad 0.55)\begin{pmatrix} 0.4 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0.5 & 0{,}5 & 0{,}2 \\ 0.1 & 0{,}3 & 0{,}7 \end{pmatrix} = (0.28 \; 0.35 \; 0.27).$$

გაანგარიშების გაგრძელებით როდესაც $t = 2 \cdot 3 \cdot 4$, მივიღებთ

$$P(2)^T = P(1)^T A = (0.28 \quad 0.35 \quad 0.27\;)\begin{vmatrix} 04 & 02 & 01 \\ 05 & 05 & 02 \\ 01 & 03 & 07 \end{vmatrix} = (0.31 \; 0.31 \; 0.38);$$

$$P(3)^T = P(2)^T A = (0.31 \;\; 0.31 \; 0.38) \quad A = (0.32 \quad 0.33 \quad 0.35);$$

$$P(4)^T P(3)^T A = (0.35 \;\; 0.33 \quad 0.35) \quad A = (0.34 \quad 0.34 \quad 0.32).$$

პროგნოზის შედეგები

ცხრილი 1.

T	0	1	2	3	4
$P_i(t)$	0.15	0.28	0.31	0.32	0.34
$P_2(t)$	0.30	0.35	0.31	0.33	0.34
$P_3(t)$	0.55	0.37	0.38	0.35	0.32

გაანგარიშების შედეგების კრებსითი ცხრილი 1 გვიჩვენებს, რომ ოპერატორების პირველ კატეგორიაზე ატესტირების პროგნოზირებადი პროცენტი მეოთხე ბიჯზე შეადგენს $P_i(4) = 34\%$ და შესაძლებელია აღმოჩნდეს ძალიან მაღალი. ამიტომ, საჭიროა წინასწარ შევაფასოთ თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების მატრიცები T და $\prod$. აგრეთვე გავზარდოთ ოპერატორის დავალებისა და პასუხებისადმი მოთხოვნები, ცოდნის ინფორმაციის ხარისხისა და მოცულობის გართულებით.

პროგნოზირების ფორმულა (50) მარკოვის დისკრეტული წრედების თეორიაშია ცნობილი. თუ მატრიცა A მუდმივია, თანაფარდობა (50) მარკოვის [17] ერთგვაროვანი წრედების თეორიაში ერთ მნიშვნელოვან შედეგს გამოხატავს. იმ შემთხვევაში, როდესაც მატრიცა A ინტერვალში $(t-1, t)$ დამოკიდებულია მხოლოდ დროის

ორ მომენტზე $t-1$ და t, ლაპარაკობენ, რომ მარკოვის არაერთგვაროვანი წრედი განიხილება.

(50) ფორმულით ანგარიშის დროს მარტივად დავრწმუნდებით, რომ t დროის ზრდასთან ერთად $P_i(t)$ ალბათობის მნიშვნელობის პროგნოზირების სტაბილიზაცია ხდება. ეს კი ზღვარის არსებობას ნიშნავს,

$$P_i(t) = P_{i0}$$

რომელიც დროზე არ არის დამოკიდებული.

თუ ჩავთვლით, რომ (50) ფორმულაში მატრიცა A პროგნოზის ყოველ ბიჯზე ერთნაირია, მივიღებთ ვექტორის საპოვნელი განტოლების

$$P = (P_{10}P_{20} \cdots P_{n0})^T$$

ალბათობის $P_i(t)$ სტაციონარულ P_{i0} მნიშვნელობებს

$$P^T = P^T A \quad \text{ან} \quad A^T P = P \tag{52}$$

გამოსახულება (52) საჭიროა შეივსოს ტოლობის პირობით (45), ე.ი. შემდეგი ტოლობით

$$P_{10} + P_{20} + \cdots + P_{n0} = 1,$$

რომელიც ჩაიწერება აგრეთვე ფორმით

$$(1 \quad 1 \cdots 1)P = 1. \tag{53}$$

(52) და (53) გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს, რომ $P_i(t)$ ალბათობების საძებნი ვექტორის $P = (P_{10}P_{20} \cdots P_{n0})^T$ სტაციონარული მნიშვნელობები P_{i0}, შეიძლება ვიპოვოთ განტოლებიდან

$$\Phi P = \ell. \tag{54}$$

აქ მატრიცა ϕ, ქვემოთ მოტანილი თანაფარდობის მეშვეობით განისაზღვრება

$$\Phi = \begin{pmatrix} A^T - I \\ II \cdots I \end{pmatrix}, \tag{55}$$

სადაც I - არის ერთეული მატრიცა, A^T - არის **ტრანსპონიროვნებული** მატრიცა A, ℓ - ქვემოთ მოტანილი (56) სახის სვეტი

$$\ell = \begin{pmatrix} 0 \\ \cdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}. \tag{56}$$

წინამდებარე ნაშრომში პირველად არის შემოთავაზებული ფსევდოუკუ მატრიცების თეორიის გამოყენების მეთოდი $P_i(t)$ ალბათობების სტაციონარული მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის მარკოვის დისკრეტულ არაერთგვაროვან წრედის მოდელში.

შედეგად, დამუშავებულია სტაციონალური ალბათობების P_{i0} მნიშვნელობების პროგნოზირების გაანგარიშების ახალი მეთოდი, რომელსაც აქვს ოპერატორების სწავლებისა და i კატეგორიაზე ატესტირების დროს მნიშვნელობა.

გადავიდეთ ახალი მეთოდის განხილვაზე. ზემოთ მოყვანილი უმცირესი კვადრატების ვერსიის თანახმად (იხილეთ შენიშვნა 2) ვასკვნით, რომ თუ $(n+1)\times n$ ზომის Φ მატრიცის სვეტი წრფიულად დამოუკიდებელია (ე.ი. მატრიცის რანგი მისი სვეტების რიცხვის ტოლია: $r(\Phi)=n$), მაშინ (55) განტოლებას აქვს ერთადერთი ამოხსნა

$$P = \begin{pmatrix} P_{10} \\ P_{20} \\ \cdots \\ P_{n0} \end{pmatrix} = P^0 = \Phi^+ \ell , \tag{57}$$

აქ Φ - არის ფსევდოუკუ მატრიცა Φ - სათვის. თუ ვექტორს

$$P^0 = \Phi^+ \ell$$

აქვს არაუარყოფითი კომპონენტები, მაშინ ჩვენს მიერ მიღებული ფორმულა (57) იძლევა ამოცანის საძებნი გადაწყვეტას.

როდესაც $r(\Phi) < n$ (54) განტოლებას ექნება ამოხსნა, თუ შესრულდება პირობა $\phi P^0 = \ell$, მაშინ სტაციონარული მნიშვნელობებით საპოვნი ამოცანას არ ექნება ამოხსნა.

$r(\Phi) < n$ შემთხვევაში (54) განტოლებას ექნება ამოხსნა, თუ შესრულდება პირობა $\Phi P^0 = \ell$, მაშინ ყველა ამოხსნა ქვემოთ მოტანილი სობოლევის $[19]$ ფორმულით მოხდება.

$$P = P^0 + \left(I - \Phi^+ \Phi\right) z , \tag{58}$$

სადაც z - არის ნებისმიერი ვექტორი და შეირჩევა P სვეტის კომპონენტის არაუარყოფითობის პირობის შესრულებიდან. თუ პირობა $\phi P^0 = \ell$ არ სრულდება, მაშინ ვექტორი $P^0 = \Phi^+ \ell$ შეირჩევა როგორც მიახლოებული სიდიდე.

I მაგალითის პირობებით ვიპოვოთ საპროგნოზო ალბათობების $P_i(t)$ სტაციონარული მნიშვნელობები P_{i0}. რადგანაც მაგალითში მოცემულია მატრიცები

$$A = \begin{pmatrix} 0{,}4 & 0{,}2 & 0{,}1 \\ 0{,}5 & 0{,}5 & 0{,}2 \\ 0{,}1 & 0{,}3 & 0{,}7 \end{pmatrix}, \text{ მაშინ } A^T = \begin{pmatrix} 0{,}4 & 0{,}5 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & 0{,}5 & 0{,}3 \\ 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}7 \end{pmatrix},$$

ხოლო Φ მატრიცას აქვს სახე

$$\Phi = \begin{pmatrix} A^T - I \\ II \cdots I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0{,}6 & 0{,}5 & 0{,}1 \\ 0{,}2 & -0{,}5 & 0{,}3 \\ 0{,}1 & 0{,}2 & -0{,}3 \\ I & I & I \end{pmatrix}$$

ფსევდოუკანა მატრიცის გაანგარიშების მეთოდის $[14]$ გამოყენებით, კომპიუტერის დახმარებით ვღებულობთ

$$\Phi^+ = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} -4{,}0 & -2{,}0 & 0I \\ 0{,}5 & -35 & 0I \\ 35 & 55 & 0I \end{pmatrix}, \ r(\Phi) = 3 .$$

რადგანაც Φ მატრიცის რანგი აღმოჩნდა 3, ე.ი. $r(\Phi) = 3 = n$, მაშინ (54) განტოლებას ექნება ერთადერთი ამოხსნა

$$P^0 = \Phi^+ \ell = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} -4.0 & -2{,}0 & 0\ I \\ 0.5 & -35 & 0\ I \\ 35 & 55 & 0\ I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{pmatrix},$$

მაშასადამე,

$$P^0 = \begin{pmatrix} P_{10} \\ P_{20} \\ P_{30} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 \\ 1/3 \\ 1/3 \end{pmatrix} \text{ ანუ } P_{10} = P_{20} = P_{30} = \frac{1}{3}.$$

ამრიგად, მაგალითის პირობებში $P_i(t)$ ალბათობების ყოველი საპროგნოზირო მნიშვნელობები დროის ზრდით მიისწრაფვის ერთი და იმავე ზღვარამდე, რომელიც $1/3$ - ის ტოლია. საერთო ჯამში, სტაციონარული მნიშვნელობები P_{i0}, სხვადასხვანაირია i - ის სხვადასხვა ნომრებისათვის.

მარკოვის ერთგვაროვანი წრედების თეორიაში ცნობილია შემდეგი ფაქტი [17]: დავუშვათ $S_i \to S_j$ გადასვლების $P_i(t)$ ალბათობების მატრიცა A მუდმივია, ხოლო

$$A^K = \left(P_{ij}^{(K)}\right)$$

- მატრიცა წარმოადგენს K - ური A მატრიცის ხარისხს და აქვს $P_{ij}^{(K)}$ ელემენტი. მაშინ რიცხვი $P_{ij}^{(K)}$ წარმოადგენს სისტემის S_i მდგომარეობიდან მდგომარეობაშI გადასვლის ალბათობას, K ბიჯზე.

აქედან გამომდინარეობს დასკვნა:

A^K მატრიცის განსაზღვრით, შეიძლება ვიპოვოთ იმის ალბათობა, რომ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორი K სეანსის მუშაობის შემდეგ, რომელსაც აქვს i კატეგორია, ატესტირებული იქნება j კატეგორიაზე.

I მაგალითის პირობებში, მეცადინეობის ჩატარებამდე, ვიპოვოთ იმ ალბათობების პროგნოზირება, რომ ოპერატორი, რომელსაც აქვს კატეგორია 3, ატესტირებული იქნება I კატეგორიაზე სამი მეცადინეობის შემდეგ.

რადგანაც

$$A = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,2 & 0,1 \\ 0,5 & 0,5 & 0,2 \\ 0,1 & 0,3 & 0,7 \end{pmatrix},$$

მაშინ A სიდიდის $K = 3$ ხარისხში აყვანით მივიღებთ

$$A^3 = \begin{pmatrix} P_{11}^{(3)} P_{21}^{(3)} P_{31}^{(3)} \\ P_{12}^{(3)} P_{22}^{(3)} P_{32}^{(3)} \\ P_{13}^{(3)} P_{23}^{(3)} P_{33}^{(3)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.23 & 0.21 & 0.17 \\ 0.42 & 0.38 & 0.33 \\ 0.35 & 0.41 & 0.50 \end{pmatrix}.$$

აქედან ვასკვნით, რომ საძებნი ალბათობა $P_{3i}^{(3)} = 0.17$ და შეადგენს 17%. ამრიგად, შემოთავაზებული სწავლების პროცესის დინამიკის ანალიზი არის მარტივი და ეფექტური ოპერატორის წილი დროის პროგნოზირებისათვის, გათვალისწინებული კატეგორიაზე ატესტირებისა და სტაციონარული მნიშვნელობების ($t \to \infty$ დროს) განსაზღვრისათვის.

1.8. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის სწავლების დროს ათვისების პროცესისა და ცოდნის დანაკარგის მოდელირება

სწავლების პროცესის ინტენსიფიკაცია, მათ შორის სპეციალიზებული სასწავლო კლასების გამოყენება ვარაუდობს ოპერატორის ნიჭიერების მობილიზაციას, შრომის დაძაბულობის ზრდას თეორიული და პრაქტიკული ცოდნის ათვისებისა და ჩვევების გასანმტკიცებლად.

ამავდროულად, ადამიანის შესაძლებლობა არ არის უსაზღვრო. მისი გადამეტტვირთვის მექანიზმს, გადაქანცვა და ცოდნის დაკარგვა მოსდევს მისი დიდი ხნით გამოუყენებლობის შემთხვევაში. ამიტომ, საჭიროა გავითვალისწინოთ ოპერატორის თავისებურება, როგორც ცოდნის კონცენტრაციის ობიექტი.

ცოდნის ათვისება და დაკარგვის პროცესის აღრიცხვა რაოდენობრივი ფორმით ჯერ კიდევ არ არის გამოკვლეული.

წინამდებარე ნაშრომში პირველად არის შემოთავაზებული და გამოკვლეული რაოდენობრივი დინამიკური მოდელი, რომელიც ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის პროცესის პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

სწავლების პროცესის ეფექტურობის უზრუნველყოფა უშუალოდ არის დამოკიდებული ოპერატორის მაჩვენებლებზე.

ამ მაჩვენებლებიდან ძირითადია აქტიური ცოდნის მარაგი. აქტიური ცოდნის ქვეშ ნაგულისხმებია t დროის მომენტში დაფიქსირებული ჯამური ინფორმაციის მოცულობა, რომელსაც ფლობს ოპერატორი და შესძლებს პროფესიული ამოცანის გადაწყვეტაში მის გამოყენებას.

აქტიური ცოდნის მარაგის რაოდენობრივი კრიტერიუმებად ბალების ფარდობითი ჯამია y_i გამოყენებული, რომელსაც ფიქსირებული t დროის მომენტში აგროვებს ოპერატორი მისადმი თეორიული დავალების მატრიცის T და პრაქტიკული ჩვევების დავალების Π მატრიცის წარდგენის დროს, თუ T_0 და Π_0 არის ოპერატორის პასუხების შესაბამისი მატრიცები, მაშინ y_i არის ამ მატრიცების ელემენტების ჯამის ფარდობა T და Π მატრიცების ელემენტების ჯამთან t დროის მონაკვეთში. აქტიური ცოდნის მარაგის ასეთი კრიტერიუმის შერჩევისას იგი იცვლება ფარგლებში $0 \leq y_i \leq 1$, რაც გამომდინარეობს (5) უტოლობიდან.

ამასთანავე, ლაპარაკია აქტიური ცოდნის მარაგის პროგნოზირებაზე გადაქანცვის გამო ცოდნის დაკარგვის გათვალისწინებით. როდესაც ოპერატორს არ შეუძლია ინფორმაციის მიღება.

სიდიდე y_i დამოკიდებულია ბევრი ძნელად პროგნოზირებადი ფაქტორებზე: ოპერატორის თეორიული და პროფესიონალური მომზადების დონე, აგრეთვე მისი ფიზიკური მომზადება და ფსიქოლოგიური მდგრადობა და ა.შ. ამიტომ, მაჩვენებელი y_i უნდა ჩავთვალოთ ყოველი კონკრეტული ოპერატორისათვის შემთხვევით სიდიდედ. შემდგომში ეს სიდიდე (y_i) შეგვიძლია ჩავთვალოთ აქტიური ცოდნის მარაგის საშუალო მნიშვნელობად.

ამჟამად არ არსებობს დასაბუთებული მიდგომა პროგნოზირებისა და y_i მაჩვენებლების ინდივიდუალური შეფასებებისადმი მოცემულ t დროის მომენტში.

ნაშრომში [14] შემოთავაზებულია სისტემის ნებისმიერი განვითარების ზოგადი მოდელი, რომელიც ჩვენ საფუძვლად დავუდეთ ცოდნის აქტიური მარაგის პროგნოზირების მოდელს.

აღვნიშნოთ სისტემის გამოსავალი ცალკეული მახასიათებლები $x = x(t)$. ჩავთვალოთ, რომ არსებობს x - ის წარმოებული დროით, ამასთანავე $x = x(t)$ შეიძლება იყოს სკალიარული ანუ ვექტორული სიდიდე. x - ის წარმოებულს აქვს სისტემის განვითარების სიჩქარის მნიშვნელობა. შევიყვანოთ განხილვაში ორი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს სისტემის განვითარებას $v = v(t)$ - სისტემის განვითარების დამუხრუჭების სიჩქარე, $u = u(t)$ - განვითარებაში ინვესტირების სიჩქარე. [14] – ში დასაბუთებულია, რომ სისტემის განვითარების სიჩქარე, ტოლია u და v შორის სიჩქარეთა სხვაობის, ე.ი.

$$x(t) = u(t) - v(t) \qquad (59)$$

გამოსახულება (59) არის ნებისმიერი სისტემის განვითარების ზოგადი დიფერენციალური განტოლება. განტოლება ატარებს სტრუქტურულ ხასიათს, რადგანაც მასში არ არის ნაჩვენები ფუნქციის სახე u და v, რომელიც დამოკიდებულია სისტემის კონკრეტულ ბუნებაზე და სივრცეზე, რომელშიაც ეს სისტემა ფუნქციონირებს.

ამჟამად, ნაშრომში (59) განვითარების ზოგადი სტრუქტურული მოდელის საფუძველზე შემოთავაზებულია **ახალი დეტერმინირებული** აქტიური ცოდნის მარაგის პროგნოზირების მოდელი, სწავლების სისტემაში ვიზუალური და საკონტროლო ახალი ტექნიკური საშუალებების გამოყენებისათვის.

ჩვენ შემთხვევაში, სისტემის გამოსავალი მახასიათებლები, რომლებიც პროგნოზირებას ექვემდებარებიან, წარმოადგენს ცოდნის აქტიური მარაგის $x(t) = y(t) = y_i$ მაჩვენებლების საშუალო მნიშვნელობას. ამ მარაგის ფიქსირებული დონე ან მისი ზრდის

შენარჩუნების ფაქტორი, ცოდნის აღდგენისა $u(t)$ და გავართოების სიჩქარეს წარმოადგენს, ე.ი. არის სასწავლო პროცესის ინტენსივობა.

სასწავლო პროცესის ინტენსივობის ქვეშ ნაგულისხმებია T_i და Π_i დავალების სირთულის ზრდის სიჩქარე $u(t)$, რომელიც წარდგენილია ოპერატორისადმი t დროის მომენტში.

სასწავლო პროცესის ინტენსივობა $u(t)$ შეიძლება გაიზომოს პროცენტობით ან წილობით. მნიშვნელობა $u(t) = 0.3 = const$ ნიშნავს, რომ სირთულე მატულობს დავალებიდან დავალებამდე მუდმივი სიჩქარით 30%. სასწავლო პროცესის ინტენსივობა $u(t)$ ზოგადად ცვლადი სიდიდეა. მაგალითად, საკონტროლო ჩათვლის ჩაბარების მომენტის მოახლოებისას ინტენსივობა შეიძლება გაიზარდოს.

გამოკვლევის მოცემულ ეტაპზე ვიყენებთ ჰიპოტეზას იმის შესახებ, რომ მეორე ფაქტორი – სიჩქარე $v(t)$ ცოდნის დაკარგვა, აქტიური ცოდნის მარაგის მაჩვენებლის სიდიდის პროპორციულია, ე.ი. ვღებულობთ დამოკიდებულებას

$$v(t)' = by(t) \tag{60}$$

სადაც b - არის დროზე სავარაუდოთ დამოკიდებული პროპორციულობის კოეფიციენტი.

(59) და (60) გამოსახულებების გამოყენებით მივიღებთ ცოდნის აქტიური მარაგის პროგნოზირების მოდელს

$$v(t) = u(t) - by(t) \tag{61}$$

ჩავთვალოთ აგრეთვე, რომ აქტიური ცოდნის მარაგის საწყისი მნიშვნელობა ცნობილია და ტოლია

$$y(0) = y_0 . \tag{62}$$

(61) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნით და (62) გამოსახულების საწყისი პირობით, ვპოულობთ საძებნ დამოკიდებულებას $y(t)$ ცოდნის აქტიური მარაგის მაჩვენებლების პროგნოზირებისათვის.

განვიხილოთ რამოდენიმე კერძო შემთხვევები:

1. აქტიური ცოდნის მაჩვენებლების შეფასება სწავლების გარეშე

მოცემულ შემთხვევაში სწავლების პროცესის ინტენსივობა $u(t)=0$ და (61) განტოლება ღებულობს სახეს

$$\frac{d}{dt}y(t)=-by(t) \tag{63}$$

(62) და (63) გამოსახულებებიდან, მუდმივი b კოეფიციენტის დროს (63) – დან ვპოულობთ

$$y(t)=y_0\ell^{-bi} \tag{64}$$

(64) თანაფარდობა უჩვენებს, რომ სწავლების გარეშე, როდესაც $b=const$ დროს მიმდინარეობს ოპერატორის აქტიური ცოდნის მარაგის საწყისი y_0 ექსპონენციალური შემცირება.

(62) და (63) გამოსახულებებიდან, როდესაც $b=b(t)$ კოეფიციენტი ცვლადია, (63) – დან ვპოულობთ

$$y(t)=y_0\ell^{-\int_o^o b(y)dy}, \tag{65}$$

ჩავიწეროთ (63) გამოსახულება ქვემოთ მოტანილი სახით, მივიღებთ

$$\frac{d}{dt}In(y(t))=-b(t),$$

შევნიშნოთ, რომ b კოეფიციენტს აქვს ლოგარითმული სიჩქარით ცოდნის დაკარგვის მნიშვნელობა.

კერძო შემთხვევაში, როდესაც ცოდნის დაკარგვის ლოგარითმული სიჩქარე წრფიულად არის დამოკიდებული დროზე, იგი გამოისახება ასეთი სახით

$$b(t)=a+\beta t,$$

სადაც a და β არის მუდმივი კოეფიციენტები

(5) გამოსახულებიდან ვპოულობთ

$$y(t)=y_0\exp\left(-\alpha t-\beta t^2/2\right) \tag{66}$$

2. აქტიური ცოდნის მარაგის შეფასება მუდმივი სიჩქართ-ცოდნის შევსების დროს

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც სწავლების სისტემაში ცოდნის აღდგენა და შევსება განხორციელებულია მუდმივი ინტენსივობით $u(t) = a = const$, ამასთანავე ცოდნის დაკარგვის ლოგარითმული სიჩქარე ასევე მუდმივია $v(t) = b = const$.

იმავე პირობით (61) და (62) ამოცანის ამოხსნით ვღებულობთ ფორმულას აქტიური ცოდნის მარაგის პროგნოზირებისათვის

$$y(t) = y_0 \ell^{-bi} + \ell^{-bi} \{a \exp(by) dy,$$

ანუ

$$y(t) = y_0 \ell^{-bi} + \frac{a}{b}\left(1 - \ell^{-bi}\right). \qquad (67)$$

(67) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ როდესაც $t \to \infty$ სიდიდე $y(t) \to \frac{a}{b}$. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ თუ სწავლების ინტენსივობა a ჭარბობს ცოდნის დაკარგვის ლოგარითმული სიჩქარის კოეფიციენტის b მნიშვნელობას, მაშინ საკმაოდ დიდი t დროისათვის აქტიური ცოდნის მარაგმა y_i შეიძლება მის საწყის მნიშვნელობას გადააჭარბოს y_0. ამრიგად, სასწავლო პროცესის სწორად ორგანიზაციის ხარჯზე სწარმოებს ოპერატორის აქტიური ცოდნის დაგროვება.

მაშინ, როდესაც სრულდება პირობა $a < b$, მიმდინარეობს აქტიური ცოდნის მარაგის მნიშვნელობის პროგნოზირების შემცირება მის საწყის მნიშვნელობასთან y_0 შედარებით. ასეთ სიტუაციაში საჭიროა ორგანიზებული გადაწყვეტილებების დამუშავება.

პროგნოზირების ამოცანა (67) ფორმულის მიხედვით მდგომარეობს იმაში, რომ დროზე შევაჩეროთ სასწავლო პროცესზე ნეგატიურად მოქმედი ფაქტორების ზეგავლენა, თუკი ასეთი რამ არსებობს.

3. აქტიური ცოდნის მარაგის შეფასება ცოდნის შევსების ცვლადი სიჩქარის დროს.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც სწავლების სისტემაში ცოდნის აღდგენა და შევსება ხდება ცვლადი ინტენსივობით $u(t)$, მაშინ როდესაც ცოდნის დაკარგვის ლოგარითმული სიჩქარე მუდმივია:

$$v(t) = b = const.$$

ამ პირობებში (61) და (62) ამოცანების ამოხსნით ვღებულობთ პროგნოზირების ფორმულას

$$y(t) = y_0 \ell^{-bt} + \ell^{-bt} \int_o^t u(y)exp(by)dy \quad (68)$$

გამოსახულება (68) საშუალებას გვაძლევს დავაყენოთ სასწავლო პროცესის ოპტიმალური მართვის ამოცანა. ამოცანა მდგომარეობს შემდეგში: როგორ შევარჩიოთ სასწავლო პროცესის პარამეტრები, რათა ოპერატორის აქტიური ცოდნის მარაგის დონე აკმაყოფილებდეს გარკვეულ მოთხოვნებს.

4. აქტიური ცოდნის მარაგის პროგნოზირების განზოგადოებული ფორმულები

დასკვნაში შევჩერდებით უფრო განზოგადებულ შემთხვევაზე, როდესაც სწავლების სისტემაში ცოდნის აღდგენა და შევსება განხორციელებულია ცვლადი ინტენსივობით $u(t)$, ხოლო ცოდნის დაკარგვის ლოგარითმული სიჩქარე, $b(t)$ ასევე ცვლადია დროში.

(61) და (62) ამოცანების ამოხსნით ვღებულობთ აქტიური ცოდნის მარაგის მაჩვენებლების პროგნოზირების შემდეგი თანაფარდობას:

$$y(t) = y_0 \exp\left(-\int_0^t b(y)dy\right) + \exp\left(-\int_0^t b(y)dy\right)\int_0^t \exp\left(\int_0^x b(y)dy\right)u(x)dx \quad (69)$$

(69) გამოსახულება $y(t)$ მაჩვენებლის პროგნოზირების გზით მისი ინდივიდუალური შეფასების საშუალებას იძლევა ცოდნის დაკარგვისა და სასწავლო პროცესის შესარჩევი $u(t)$ ინტენსივობის დროში ლოგარითმული სიჩქარის $b(t)$ ცვლილების მონაცემების საფუძველზე.

(69) ფორმულაში მეორე წევრი ითვალისწინებს სწავლებას. იგი ნულის ტოლია თუ დროის მოცემულ ინტერვალში $(0,t)$ სწავლება ანუ თვითსწავლება არ არის გათვალისწინებული.

საწყისი მონაცემების y_0, $b(t)$ და $u(t)$ მომზადების მეთოდი, რომელიც აუცილებელია პროგნოზირების (63) . . . (69) ფორმულების გამოყენებისათვის, წარმოადგენს ცალკე საკითხს.

ამრიგად:

1. დადგენილია, რომ ამჟამად არ არის სწავლების სისტემაში ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის პროცესების რაოდენობითი აღწერის მეთოდები;

2. დამუშავებულია აქტიური ცოდნის მარაგის პროგნოზირების ახალი მოდელი, რომელსაც აქვს სუფთა ანალიზური სახე;

3. პროგნოზირების შემოთავაზებული ფორმულები იძლევიან არა მხოლოდ ამოცანის ამოხსნის პროგნოზირების საშუალებას, არამედ სწავლების პროცესის ინტენსივობის ოპტიმალური მართვის ამოცანის დაყენების საშუალებასაც.

I თავის დასკვნა

1. დადგენილია, რომ ამჟამად რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის შეფასების სივრცეში, სადაც მართვა განხორციელებულია ოპერატორით, ‘‘ადამიანის ფაქტორი’’ რაოდენობრივი ფორმით არ არის გათვალისწინებული, ხოლო რთული ტექნიკური სისტემები განიხილებიან, როგორც სუფთა ტექნიკური ობიექტები.

ამასთანავე, მაგალითად, ოპერატორის მიზეზით მტყუნებამ შეიძლება შეადგინოს 70% მისი საერთო რიცხვიდან.

ფორმულირებულია ახალი მეცნიერული ამოცანის დაყენება: დამუშავებულია ოპერატორით მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობისა და უსაფრთხოების შეფასების მეთოდები.

2. **დამუშავებულია თანამედროვე სასწავლო ტექნიკურ საშუალებებზე (საავიაციო ტრენაჟორები) საჰაერო ტრანსპორტის**

რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ოპერატორების სწავლების პროცესის ახალი მოდელი.

სწავლების არსებული მოდელებიდან განსხვავებით, შემოთავაზებული მეთოდები რაოდენობრივი ფორმით ითვალისწინებენ სწავლების პროცესში ინფორმაციის ნაკადის გადრაქმნის პროცესს.

მატრიცული ფორმით მოდელი გამოხატავს ურთიერთკავშირს $T_0 = A_0 T$ სასწავლო გეგმის T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის, სადაც A_0 არის მისი მომზადების მატრიცა. მოდელი პირველად იძლევა სასწავლო გეგმის სხვადასხვა თემებისა და სხვადასხვა განოყოფილებების ზეგავლენას სწავლების პროცესში ოპერატორის ათვისების ხარისხზე და მისი აღრიცხვის განხორციელების შესაძლებლობაზე.

3. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის დროს ოპერატორის მუშაობის ახალი მაჩვენებლები.

მოტანილია, რომ ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებელი შეიძლება იყოს მანძილი $P(T, T_0)$ დავალების T მატრიცასა (რომელიც გათვალისწინებულია სასწავლო გეგმით) და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის.

$P(T, T_0)$ - თან დამატებით პირველად არის შემოთავაზებული რთული ტექნიკური სისტემისადმი ოპერატორის მიდრეკილების (ნიჭიერების) მაჩვენებელი r^0. ნიჭიერების მაჩვენებელი r^0 განისაზღვრება მუშაობაში, როგორც დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_0 მატრიცებს შორის კორელაციის (ურთიერთდამოკიდებულების) კოეფიციენტი.

4. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის სწავლების პროცესის დინამიკური მოდელი.

მოდელი გვაძლევს კვალიფიკაციის კატეგორიაზე ატესტირებული ოპერატორების პროცენტული წილის დროში პროგნოზირების მეთოდს. ის შეიცავს სიახლეს ამ წილის სტაციონარული მნიშვნელობების შეფასების ნაწილში.

5. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების მართვის ოპერატორის სწავლების დროს ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის პროცესების აღრიცხვის ახალი მოდელი.

პირველად არის შემოთავაზებული და გამოკვლეული რაოდენობრივი დინამიკური მოდელი, რომელიც ათვისების პროცესების განვითარებისა და ცოდნის დაკარგვის პროგნოზირების საშუალებას იძლევა. აგრეთვე პირველად არის შემოთავაზებული სასწავლო პროცესის აგების რეკომენდაციები.

თავი II.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმების დამუშავება

ზემოთ განხილულიდან, გავაკეთოთ ადამიანის მიერ მართული $\bar{A}$ რთული ტექნიკური სისტემის მტყუნების ფორმულირება.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მტყუნების ქვეშ მივიღოთ მისი ისეთი მდგომარეობა $\bar{A}$, რომლის დროსაც საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემა მუშაობის მოცემული დროის ინტერვალში [O,T] გამოდის მწყობრიდან მართვაში ოპერატორის შეცდომით, ან დამტვრევისა და გაუმართაობის გამო.

2.1. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმები

ხდომილობა A, საპირისპიროა $\bar{A}$-სი და ეწოდება ადამიანის მიერ მართული რთული ტექნიკური სისტემის ამოცანის წარმატებით შესრულებას, მუშაობის მოცემულ ინტერვალში [O,T].

ხდომილობა A გამოვსახოთ:

$$A=A_1 \cap A_2 \qquad (1)$$

სადაც A_1 და A_2 - არის ხდომილობა, რომელიც შეიცავს რთული ტექნიკური სისტემის მართვის უსაფრთხოებასა და უავარიო მუშაობის უზრუნველყოფას [O,T] ინტერვალში.

გამოკვლევის მოცემულ ეტაპზე დაუშვათ, რომ ხდომილობები A_1 და A_2 დამოუკიდებლებია, მაშინ

$$P=P(A)=P(A_1)P(A_2), \qquad (2)$$

სადაც P – არის დამატებითი აღნიშვნა A ხდომილობის $P(A)$ ალბათობისათვის, ანუ

$$P= P_{БП}\, P_{Ба} \qquad (3)$$

აქ $P(A_1)=P_{БП}$ –არის რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობა [O,T] ინტერვალში, რომელსაც ოპერატორი ახორციელებს, ხოლო $P(A_2)=P_{Ба}$ – არის რთული ტექნიკური სისტემის უავარიო მუშაობა [O,T] ინტერვალში.

გამოსახულება (3) აღნიშნავს, რომ [O,T] დროის ინტერვალში ადამიანით მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ამოცანის წარმატებით შესრულების ალბათობა P, რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}$ და უავარიო მუშაობის ალბათობის $P_{Ба}$ ნამრავლის ტოლია [O,T] დროის ინტერვალში.

(3) გამოსახულებიდან, ალბათობა P-ს ეწოდება ადამიანით მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ფუნქციონირების საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმი.

ძირითადი კრიტერიუმის ყველა შემადგენლის გაანგარიშება, ე.ი. $P_{БП}$ და $P_{Ба}$ ალბათობების გაანგარიშება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ამოცანას, რომელიც მოკლედ განხილულია შემდგომ აღწერილობაში. ამავე დროს, წინამდებარე ნაშრომში პირველად არის წარმოდგენილი ოპერატორით მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}$ გაანგარიშების მარტივი მეთოდი.

2.2. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის ალბათური კრიტერიუმები

პირველ თავში დავადგინეთ, რომ რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის პირობის სახით შესაძლებელია მივიღოთ:

$$p(T,T_o)\leq p_{TP}\ ,\ P_{П}=P(П,П_o)\leq p^*_{TP} \qquad (4)$$

$$r(T,T_o)\geq r_{TP}\ ,\ r(П,П_o)\geq r^*_{TP}$$

ამათგან პირველი ორი აღნიშნავს, რომ მანძილი $p(T,T_o)$ და $p(П,П_o)$ ოპერატორის თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული ჩვევების T და $П$ მატრიცებსა და მათი საჭირო მნიშვნელობის T_o და $П_o$

მატრიცებს შორის არ გადააჭარბებს ამ მანძილების დასაშვებ p_{TP} და p_{TP}^* მნიშვნელობებს.

მეორე ორი კრიტერიუმი აღნიშნავს, რომ ოპერატორის თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული ჩვევების T და $П$ მატრიცებს შორის კორელაციის კოეფიციენტები $r(T,T_o)$ და $r(П,П_o)$ და მათთვის მოთხოვნილი საჭირო მნიშვნელობების მატრიცები T_o და $П_o$ იქნებიან ამ კოეფიციენტების არაუმცირესი დასაშვები მნიშვნელობები r_{TP} და r_{TP}^*.

რადგანაც ოპერატორის პასუხები ერთი გამოკითხვის ტესტიდან მეორეში შეიძლება შეიცვალოს ბევრი ფაქტორის გამო, ამოტომ საჭიროა ვაღიაროთ, რომ T და $П$ მატრიცის ელემენტებს აქვს **გაფანტულობა**, ე.ი. შემთხვევით ელემენტებს წარმოადგენენ.

ამიტომ პირველ თავში მიღებული (4) კრიტერიუმის ოპერატორის მიერ წარმატებით შესრულება მეტყველებს რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის უზრუნველყოფაზე.

ასეთი განსჯის შედეგად მივდივართ რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის კრიტერიუმამდე, რომლის დამუშავება წარმოადგენს წინამდებარე განყოფილების საგანს.

რიცხვებს $p(T,T_o)$ და $p(П, П_o)$ ეწოდება საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ოპერატორის მიერ თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული ჩვევების ათვისების დონის მაჩვენებლები, რთული ტექნიკური სისტემების მართვის სფეროში.

ზემოაღნიშნული გვაძლევს საშუალებას გავაკეთოთ დასკვნა: საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის კრიტერიუმის სახით შეიძლება მივიღოთ ალბათობა.

$$P_{БП} = P(p(T,T_o) \le p_{TP}\ , p(П, П_o) \le p_{TP}^*, \quad r(T,T_o) \ge r_{TP}\ , r(П, Пo) \ge r_{TP}^* \quad (5)$$

ოპერატორის მიერ (4) პირობის წარმატებით შესასრულებლად, რაც ნიშნავს თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული ჩვევების გარღმავებას რთული ტექნიკური სისტემის მართვაში.

შევჩერდეთ $P_{БП}$ კრიტერიუმზე მისი თავისებურების უფრო დაწვრილებით ასახვით:

1. რიცხვი $P_{БП}$ ნულიდან ერთამდე იცვლება, ე.ი. $0 \leq P_{БП} \leq 1$, თუმცა რაც ახლოსაა $P_{БП}$ სიდიდე ერთთან, მით მეტია რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორით მართვის უსაფრხოება;

2. გამოსახულებაში (2) T_o და Π_o მატრიცები შეიცავს შეფასებებს T_{ij} და Π_{ij} შეკითხვის პასუხებზე τ_{ij} და π_{ij} სასწავლო გეგმის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება T და Π მატრიცებით. აქ მატრიცები T_o და Π_o წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, მაშინ როდესაც სასწავლო გეგმის მატრიცები T და Π ფიქსირებულია, როგორც არაშემთხვევითი;

3. მატრიცების T_o და Π_o შემთხვევითი ხასიათის გამო, გამოსახულებაში (2) მანძილი $P(T,T_o)$ და $P(\Pi,\Pi_o)$, აგრეთვე კორელაციის კოეფიციენტები $r(T,T_o)$ და $r(\Pi,\Pi_o)$ წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს;

4. გამოსახულებაში (2) რიცხვები p_{TP} და p^*_{TP} წარმოადგენს ფიქსირებულ (არაშემთხვევით) სიდიდეს რიცხვებით, რომელსაც აქვს ოპერატორის მიერ თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების ათვისების დონის განმსაზღვრელი მნიშვნელობები $P(T,T_o)$ და $P(\Pi, \Pi_o)$. რიცხვები r_{TP} და r^*_{TP} არის ფიქსირებული (არაშემთხვევითი) სიდიდე, რიცხვებით, რომელიც წარმოადგენს საჭირო მნიშვნელობის დონის $r(T,T_o)$ და $r(\Pi,\Pi_o)$ ნიჭიერების გამოყენების როლს საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვაში.

საჭირო მნიშვნელობების p_{TP}, p^*_{TP} და r_{TP} , r^*_{TP} განსაზღვრა სწარმოებს სტატისტიკური მონაცამების დამუშავებით.

შემდგომში ითვლება, რომ რიცხვები p_{TP}, p^*_{TP} და r_{TP} , r^*_{TP} ცნობილია და ფიქსირებულია.

მივიღოთ დაშვება, რომ ხდომილობა

$$p(T,T_o) \leq p_{TP} \;, p(\Pi, \Pi_o) \leq p^*_{TP}, \quad r(T,T_o) \geq r_{tp} \,, r(\Pi, \Pi o) \geq r^*_{TP}$$

დამოუკიდებელია. მაშინ რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობა $P_{БП}$ შეიძლება ჩავწეროთ ნამრავლის სახით.

$$P_{БП} = P(p(T,T_o) \leq p_{TP}\ p(П, П_o) \leq p^*_{TP},\ r(T,T_o) \geq r_{TP},\ r(П, Пo) \geq r^*_{TP} =$$

$$= P(p(T,T_o) \leq p_{TP})P(p(П, П_o) \leq p^*_{TP}\ P(r(T,T_o) \geq r_{TP})P(r(П, Пo) \geq r^*_{TP});$$

ან

$$P_{БП} = P_T P_П\, P_{CT} P_{CП}$$

აქ $P_T = P(p(T,T_o) \leq p_{TP})$ და $P_П = P(p(П, П_o) \leq p^*_{TP})$

ოპერატორის მიერ თეორიული ინფორმაციის წარმატებით ათვისებისა და პრაქტიკული ჩვევების ათვისების ალბათობები საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვას უზრუნველყოფს.

გარდა ამისა,

$$P_{CT} = P(r(T,T_o) \geq r_{TP} \text{ და } P_{CП} = P(r(П, Пo) \geq r^*_{TP}$$

ოპერატორის ნიჭიერების (მიდრეკილების) საკმარისი დონის ალბათობა, თეორიულ და პრაქტიკული ჩვევების სივრცეში $P_{БП} = P_T P_П$ $P_{CT} P_{CП}$ ოთხივე შემადგენელის გაანგარიშება წარმოადგენს, რომელიც მნიშვნელოვანი სირთულის, მაგრამ დამოუკიდებელი კატეგორიის ამოცანის სახელს ატარებს. რადგანაც წინამდებარე ნაშრომში პრობლემატიკა პირველად არის წარმოდგენილი, ამიტომ ერთი შემადგენელი ელემენტის გაანგარიშების მეთოდზე შევჩერდეთ.

განვიხილოთ ალბათობა

$$P_T = P(p(T,T_o) \leq p_{TP}$$

სადაც p_{TP} - არის ოპერატორის თეორიული მომზადების მაჩვენებლის $p(T,T_o)$ საჭირო მნიშვნელობა საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვის სივრცეში.

პირველი თავის თანახმად, $p(T,T_o)$ მაჩვენებელი შეიძლება შემდეგნაირად იქნეს განსზღვრული

$$p(T,T_o) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (\pi_{ij} - \tau_{ij})^2}$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ

$$(p(T,T_o) \le p_{TP}) \Leftrightarrow (p(T,T_o)^2 \le p_{TP}^2) \Leftrightarrow (\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2 \le p_{TP})^2,$$

$$(p(T,T_o) \le p_{TP}) \Leftrightarrow (\frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2 \le \frac{1}{mn}\ p_{TP}^2)$$

შემდგომში ვითვალისწინებთ ცნობილ უტოლობას

$$\frac{1}{mn}p(T,T_o) = \frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2 \le max(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$(max(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2 \le \frac{1}{mn}\ p_{TP}^2) \Rightarrow (\frac{1}{mn}p(T,T_o) \le \frac{1}{mn}\ p_{TP}\ )$$

ანუ $$(max(\pi_{ij}-\tau_{ij})^2 \le \frac{1}{mn}\ p_{TP}^2) \Rightarrow (p(T,T_o) \le p_{TP}),$$

$$(max(\pi_{ij}-\tau_{ij}) \le \frac{1}{\sqrt{mn}}\ p_{TP}\ ) \le P(p(T,T_o) \le p_{TP}$$

ამრიგად დადგენილია, რომ

$$P_T = P(p(T,T_o) \le p_{TP} \ge P\ (max(\pi_{ij}-T_{ij}) \le \frac{1}{\sqrt{mn}}\ p_{TP})$$

ანუ $$P_T \ge P_{T^*}$$

სადაც $$P_{T^*} = P\ (max\, \pi_{ij} - T_{ij} \le \frac{1}{\sqrt{mn}}\ \ p_{TP})$$

ე.ი. მიღებულია საძებნი ალბათობისათვის P_T გარანტირებული შეფასება P_{T^*} ქვემოდან.

შევჩერდეთ ამ შეფასების პოვნის მეთოდის დამუშავებაზე.

გავითვალისწინოთ, რომ

$$(max\, \pi_{ij} - \tau_{ij} \le \frac{1}{\sqrt{mn}}\ \ p_{TP}) \Leftrightarrow (\forall i, j; \left|\pi_{ij} - T_{ij}\right| \le \varepsilon \equiv \frac{1}{\sqrt{mn}}\ \ p_{TP}),$$

აქედან გამომდინარეობს

$$P_T = P_{T^*} = P(\bigcap_{i=1}^{n}\bigcap_{j=1}^{n}\{\left|\pi_{ij} - T_{ij}\right| \le \varepsilon\})$$

თუ ხდომილობა $\{\left|\pi_{ij} - \tau_{ij}\right| \le \varepsilon\}$ დამოუკიდებელია, მაშინ,

$$P_T \ge P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{n} P(\left|\pi_{ij} - T_{ij}\right| \le \varepsilon)$$

სადაც, როგორც იყო აღნიშნული

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{mn}} \quad p_{TP}$$

მეორე ჩანაწერში

$$P_T \geq P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} p_{ij}\,,$$

სადაც

$$P_{ij} = P(\left|\pi_{ij} - \tau_{ij}\right| \leq \varepsilon) = P(\pi_{ij} - \varepsilon \leq_{Tij} \leq \varepsilon + \pi_{ij}).$$

პირველი მიახლოებისას ვვარაუდობთ, რომ სიდიდეს τ_{ij} (π_{ij} შეკითხვის პასუხის შეფასება) აქვს τ_{ij} საშუალო სიდიდისა და დისპერსიის σ_{ij}^2 ნორმალური განაწილება. მაშინ ნორმალური განაწილების თვისებებით გვექნება:

$$P_{ij} = \Phi\,((_{\overline{T}} - \pi_{ij} + \varepsilon)/\sigma_{ij}) - \phi\,((\varepsilon + \pi_{ij} - _{\overline{Tij}})/\sigma_{ij}),$$

სადაც Φ - არის ზემოთ განხილული ლაპლასის ფუნქცია.

ამრიგად, თუ τ_{ij} სიდიდე დამოუკიდებელი და ნორმალურად განაწილებულია მაშინ P_T მაჩვენებლის გარანტირებულ შეფასებას ექნება სახე

$$P_T \geq P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} (\,\Phi\,((_{Tij} - \pi_{ij} + \varepsilon)/\sigma_{ij}) - \Phi\,((\varepsilon + \pi_{ij} - _{\overline{Tij}})/\sigma_{ij})),$$

$$P_T \geq P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} P_{ij}, \qquad (6)$$

ანუ $$P_T \geq P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} P_{ij}$$

სადაც P_{ij} ალბათობები განსაზღვრულია ზემოთ.

წინამდებარე ნაშრომში [20] ნაჩვენებია, რომ გარანტირებული შეფასება (6) შეიძლება აღმოჩნდეს მნიშვნელოვნად შემცირებული თუ არ გავითვალისწინებთ, რომ ხდომილობა $\{\left|\pi_{ij} - _{Tij}\right| \leq \varepsilon\}$ არის დამოკიდებული სიდიდე. [20]-ში დასაბუთებულია ამ ხდომილობის აღრიცხვის შესაძლებლობა შემდეგი ფორმით:

$$P_T \geq P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} P_{ij} + K(P_* - \prod_{i=1}^{m} \prod_{j=1}^{n} P_{ij}).$$

აქ რიცხვი K, T_{ij} სიდიდეებს შორის კორელაციის კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობის ტოლია, ხოლო P_* უმცირესია P_{ij} ალბათობებიდან. თუ ხდომილობა $\{\left|\pi_{ij} - T_{ij}\right| \le \varepsilon\}$ დამოუკიდებელია მაშინ $K=0$ და უკანასკნელი ფორმულებიდან ვღებულობთ უწინდელი $P_T \ge P_{T^*} = \prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{n} P_{ij}$ შედეგებს.

მეორე უკიდურეს შემთხვევაში, როდესაც კორელაციის ყველა კოეფიციენტი ერთის ტოლია $K=1$, მივიღებთ

$$P_T \ge P_{T^*} = P_*$$

ამრიგად, ხდომილობის დამოკიდებულების აღურიცხაობას შეუძლია შემდეგ შეცდომამდე მიგვიყვანოს

$$\delta=(P_* - \prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{n} P_{ij})/(1- P_*)$$

რომელსაც არცთუ ისე მცირე მნიშვნელობა აქვს.

2.3. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უავარიო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმები

ვთქვათ, რთული ტექნიკური სისტემის x_i მახასიათებელზე დასაშვები მოთხოვნებია მოცემული $a_i \le x_i \le b_i$ [36]

ჩავთვალოთ, რომ a_i და b_i საზღვრები – არის მოცემული ფიქსირებული რიცხვი, ხოლო x_i - შემთხვევითი სიდიდეა.

მაშინ, თუ აღნიშნავთ, რომ

$$P_i=P(a_i \le x_i \le b_i)$$

- x_i მახასიათებლის დასაშვებ ფარგლებში $(a_i\,,\ b_i)$ ყოფნის ალბათობა ჩავიწეროთ ასეთი სახით

$$P_i=1-q_i$$

აქ $$q_i=\mathrm{P}(x_i \notin [a_i\,,\ b_i]$$

– არის იმის ალბათობა, რომ x_i ; მახასიათებლების მიმართ ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნები არ სრულდება.

ხდომილობას $x_i \notin (a_i\,,\ b_i)$ შემდეგში, რთული ტექნიკური სისტემის გაუმართაობა ეწოდება i-ური მახასიათებლის მიხედვით. ზოგიერთ

შემთხვევაში ამ ხდომილობას შეუძლია რთული ტექნიკური სისტემის მწყობრიდან გამოყვანა და დაზიანება და შედეგად, როდესაც სისტემას ფუნქციონირების გაგრძელება არ შეუძლია.

სხვა მრავალ შემთხვევაში აღმოჩნდა, რომ მოწყობილობის x_i მახასიათებლის დასაშვები სივრციდან გამოსვლის დროს, ე.ი. როდესაც $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$, რთულ ტექნიკური სისტემას შეუძლია მასზე განპირობებული ფუნქციის შესრულება.

მუშაობის ალბათობა x_i მახასიათებლის მიხედვით განვსაზღვროთ, როგორც ეს ნაჩვენებია ქვემოთ

$$P_i=1-q_i\,\eta_i$$

აქ რიცხვი η_i განისაზღვრება უშუალოდ თანაფარდობით, რომელიც მოტანილია ქვემოთ

$$\eta_i=P(\bar{A}\,|A_i)$$

იგი წარმოადგენს $\bar{A}$ ხდომილობის პირობით ალბათობას. ამასთანავე $\bar{A}$ ხდომილობის ალბათობა გამოითვლება იმ პირობით, როდესაც $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$, ე.ი. x_i მახასიათებლის დადგენილი $(a_i\ ,\ b_i)$ ფარგლებს გარეთ გამოსვლის დროს.

η_i რიცხვი $0 \le \eta_i \le 1$ ფარგლებში იცვლება და ეწოდება $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ გაუმართაობის კოეფიციენტი.

განვიხილოთ კერძო შემთხვევები:

1. რთული ტექნიკური სისტემის x_i მახასიათებელი ისეთია, რომ დადგენილი ნორმიდან მისი დასაშვებზე მეტი სიდიდით გადახრის დროს იგი წყვეტს ფუნქციონირებას [24,25].

ასეთ შემთხვევაში ალბათობა η_i.$=$ $P(\bar{A}\mid \bar{A}_i)=1$, მაშასადამე,

$$P_i=1-q_i\,\eta_{i=1-}\,q_i$$

ე.ი. $$P_i=P\,(a_i \le x_i \le b_i)$$

2. რთული ტექნიკური სისტემის მახასიათებელი x_i ისეთია, რომ დადგენილი ნორმიდან მისი დასაშვებზე მეტი სიდიდით გადახრის დროს (ე.ი., როდესაც $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ იგი ასრულებს მასზე დაკისრებულ ფუნქციას.

ასეთ სიტუაციაში ალბათობა η_i.$=$ $P(\bar{A}|\,\bar{A}_i)=0$, მაშასადამე,

$$P_i=1-q_i\,\eta_{i=}1$$

ჩვენ განვიხილეთ კერძო შემთხვევა. საერთო სიტუაცია, რომლის დროსაც $P_i=1-q_i\,\eta_i$ წარმოადგენს საშუალო სიდიდეს იმ მოსაზრებით, რომ

$$1-q_i \le P_i=1-q_i\,\eta_i \le 1$$

ვთქვათ, ნაპოვნია დადგენილი ნორმიდან x_i სიდიდით გადახრის მოთხოვნის არშესრულების ალბათობის q_i მნიშვნელობა, რომელიც $q_{i,}=0{,}4$ ტოლია.

მაშინ, თუ არ გავითვალისწინებთ გაუმართაობის $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ მნიშვნელობის კოეფიციენტს η_i , გდახრის დასაშვები მოთხოვნის შესრულების ალბათობა იქნება

$$P_i=1-q_i=1-0{,}4=0{,}6$$

მართალია ახლა, რთული ტექნიკური სისტემების ფუნქციონირების პროცესების მოდელირებით ნაპოვნია η_i კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც აღმოჩნდა, რომ ტოლია $\eta_i=0{,}2$ მაშინ

$$P_i=1-q_i\,\eta_i=1-0{,}4\cdot 0{,}2=1-0{,}08=0{,}92$$

მოტანილ მაგალითს მივყავერთ შემდეგ დასკვნამდე:

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებითი მუშაობის ალბათობის გაანგარიშების დროს აუცილებელია η_i კოეფიციენტების აღრიცხვა, რადგანაც ამ კოეფიციენტის აღურიცხაობას ალბათობის P_i ფაქტიური მნიშვნელობის შემცირებამდე და გაანგარიშების შეცდომამდე მივყავართ, რომელიც მხოლოდ $P_{ii}=P(x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ ალბათობებიდან ერთ-ერთი მათგანის პოვნის დროს შეიძლება შევადგინოთ გამოსახულება

$$\varepsilon_i=100\%(q_i - q_i\,\eta_i)/\,q,$$

ანუ $$\varepsilon_i=(1-\eta_i)\ 100\%$$

კერძოდ, მაგალითის სახით, შეცდომა რომელიც ზემოაღნიშნულ კოეფიციენტის (η_i) აღურიცხაობას გამოეწვია, შეიძლება ყოფილიყო სიდიდით

$$\varepsilon_i=(1-\eta_i)\ 100\%=(1-0{,}2)100\%=80\%$$

ვთქვათ, საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის x_i მახასიათებლების ყოველი პარამეტრისათვის ნაპოვნია ტექნიკური დოკუმენტაციის მიხედვით $x_i \notin [a_i\ ,\ b_i]$ მოთხოვნის შესრულების ალბათობის P_i მნიშვნელობა დადგენილი ნორმიდან დასაშვები გადახრისა და მტყუნების $x_i \notin [a_i\ ,\ b_i]$ მნიშვნელობის η_i კოეფიციენტის გათვალისწინებით [30].

მაშინ, რთული ტექნიკური სისტემის $P_{Ба}$ უავარიო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმები შეიძლება გამოვთვალოთ (7) ფორმულით, თანახმად [15], რომელსაც აქვს სახე

$$P_{Ба}=P_o(1—q_1\,\eta_1)(1—q_2\,\eta_2)...\ (1\text{--}\,q_N\eta_N) \qquad (7)$$

ანუ

$$R=P_o\prod_{i=1}^{N}P_i$$

სადაც

$$P_i=(1\text{-}q_i\,\eta_i)$$

ამასთანავე P_o - არის სისტემის ამოცანის მთლიანად შესრულების ალბათობა მოცემული დროის ინტერვალში [O,T], რომელიც განისაზღვრება იმ პირობით, რომ რთული ტექნიკური სისტემის ყველა მახასიათებელი დასაშვებ ფარგლებში იმყოფება.

P_o-ს მნიშვნელობა განისაზღვრება რთული ტექნიკური სისტემების ფუნქციონირების პროცესის მოდელირების შედეგებით [O,T] დროისათვის.

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებული მუშაობის კრიტერიუმი (7) მოცემულ დროის მონაკვეთში [O,T].

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებული მუშაობის ალბათობის გაანგარიშების მეთოდიკა

შემოთავაზებული რთული ტექნიკური სისტემის, მოცემული დროის ინტერვალში [O,T] წარმატებული მუშაობის კრიტერიუმი (7) გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ საიმედოობის შეფასების თანმიმდევრობა:

1. N მახასიათებლებიდან x_i ყოველი მათგანისათვის, რომლისთვისაც მოცემულია მოთხოვნები ტექნიკურ დოკუმენტაციაში [34,40-44], მოიძებნება ამ მოთხოვნების შესრულების ალბათობა P_i (გაუმართაობის $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ მნიშვნელობის კოეფიციენტის η_i გათვალისწინების გარეშე). ამისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ ქვემოთ შემოთავაზებული გაანგარიშების კერძო მეთოდიკა;

2. N მახასიათებლიდან x_i ყოველი მათგანისათვის მოდელირების მეთოდით პოულობენ $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ გაუმართაობის მნიშვნელობის η_i კოეფიციენტს;

3. N მახასიათებლებიდან x_i ყოველი მათგანისათვის, რომლისთვისაც მოცემულია ტექნიკურ დოკუმენტაციაში მოთხოვნები, პოულობენ ამ მოთხოვნების შესრულების ალბათობას P_i , $x_i \notin (a_i, b_i)$ გაუმართაობის მნიშვნელობის η_i კოეფიციენტის გათვალისწინებით; ამავე დროს გამოყენებულია ფორმულები:

$$P_i=1-q_i\,\eta_i,$$

რომელშიაც $q_i =1- P_i$ –არის გაუმართაობის გამოჩენის ალბათობა

$$x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$$

4. N ალბათობების განსაზღვრის შემდეგ ვპოულობთ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უავარიო მუშაობის $P_{БП}$ საერთო მაჩვენებელს P_i მოცემული დროის ინტერვალში ქვემოთ მოტანილი ფორმულით

$$P_{БП}= P_o(1—q_1\,\eta_1)(1—q_2\,\eta_2)\ldots\ (1\text{--}\,q_N\eta_N\,)$$

გაანგარიშების კერძო მეთოდები და საცნობარო მონაცემები

უპირველესად განვიხილოთ $x_i \notin (a_i\ ,\ b_i)$ მოთხოვნის შესრულების ალბათობის $P_i^{\sim}$ საპოვნი ამოცანა ($x_i \notin [a_i\ ,\ b_i]$ გაუმართაობის მნიშვნელობის η_i კოეფიციენტის გაუთვალისწინებლად) და დავამუშაოთ მოცემული ალბათობის განსაზღვრის კერძო მეთოდები.

გადაუმეტებლობის (არგადაცილების) მოდელი

დაუშვათ, რომ x_i მახასიათებლისადმი ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნა მოცემულია ცალხმრივი დაშვების სახით, მაგალითად $x_i \geq a_i$

სახით. შემდგომში ინდექსი i რომელიც რთული ტექნიკური სისტემის ნომერს გვიჩვენებს, ჩანაწერების გამარტივების თვალსაზრისით არ ვითვალისწინებთ.

ამრიგად, ვვარაუდობთ, რომ რთული ტექნიკური სისტემის რომელიმე ამოცანის წარმატებით გადაწყვეტისთვის საჭიროა, რომ სრულდებოდეს პირობა

$$x>a$$

სადაც x –არის შემთხვევითი სიდიდე, ხოლო a – რომელიღაც ფიქსირებული რიცხვი, რომლის გადაჭარბება დაუშვებელია რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებითი ფუნქციონირების უზრუნველყოფის მიზნით.

აღწერილ სიტუაციაში, რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებით მუშაობის კერძო მაჩვენებლებს $x>a$ პირობის შესრულების ალბათობა წარმოადგენს, ე.ი. ალბათობა

$$P=p(x\geq a)=1-F(a)$$

წარმოადგენს.

აქ შემოღებული აღნიშვნა F გამოყენებულია შემთხვევითი x სიდიდის ფუნქციის დანაწილებისათვის. იგი განისაზღვრება, როგორც ალბათობა იმისა, რომ შემთხვევითი სიდიდე x არ სჭარბობს ფიქსირებულ მნიშვნელობას t, ე.ი.

$F(t)=P(x\leq t)$, მაშასადამე $P=1-F(a)$

ე.ი. საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებით მუშაობის კერძო მაჩვენებლები გამოისახება ქვემოთ მოტანილი ფუნქციის განაწილების საშუალებით

$$P=1-F(a)$$

თუ განაწილების ფუნქციას აქვს წარმოებული, მაშინ ამ წარმოებულს

$$f(t)=(F(t)),$$

შემთხვევითი x სიდიდის განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია ეწოდება, ხოლო ფუნქციას

$$\lambda(t)=f(t)/(1-F(t))$$

$x \geq 0$ დროს, $F(0)=0$ ეწოდება შემთხვევითი x სიდიდის განაწილების ინტენსივობის ფუნქცია.

ინტენსივობის ფუნქციას $\lambda(t)$ აქვს არსებითი მნიშვნელობა საიმედოობის თეორიაში შემდეგი მნიშვნელოვანი მიზეზების გამო:

რადგანაც

$$\lambda(t)=f(t)/(1-F(t))=-ln(1-F(t))$$

მაშინ უკანასკნელი გამოსახულების ინტეგრირებით მივიღებთ

$$P=P(x \geq a)=1-F(t)=e^{-\int_0^t \lambda(y)dy}$$

ამრიგად, ტექნიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნის შესრულების ალბათობა გამოისახება ინტენსივობის ფუნქციის დახმარებით.

დაძველებისა და განახლების განაწილება

სისტემა იწყებს დაძველებას (დაბერებას) x მახასიათებლის მიხედვით, თუ მისი ინტენსივობის ფუნქცია $x(t)$ იზრდება t-ს გაზრდით. და პირიქით, სისტემა იწყებს განახლებას (გაახალგაზრდავებას) მახასიათებლის მიხედვით, თუ მისი ინტენსივობის ფუნქცია x კლებულობს $x(t)$-ს გაზრდით [45-48].

სისტემას ეწოდება ნეიტრალური t მახასიათებლის მიხედვით, თუ მისი ინტენსივობის ფუნქცია x- არ იცვლება $x(t)=x=const$-ს გაზრდით.

ბოლო შემთხვევაში ძრავას წარმატებით მუშაობის მაჩვენებელი ღებულობს სახეს

$$P=P(x>a)=1-F(a)=e^{-\lambda a} \quad \text{ანუ} \quad P=e^{-\lambda a}$$

ძველდებადი სისტემისათვის დამახასიათებელია დროში დაზიანების დაგროვება, ბალანსირების დარღვევა, მახასიათებლების სიზუსტის შემცირება, მდგრადობის შემცირება და ა.შ. [49-51]

ძველდებადი სისტემები მიეკუთვნებიან აუღდგენადი კლასის ობიექტებს მათი ფუნქციონირების ინტერვალში.

განახლებადი სისტემები, როგორც წესი მიეკუთვნებიან აღდგენად ობიექტებს, რომლებიც მათი ელემენტებისა და ბლოკების გამოცვლით ფუნქციონირების გაუმჯობესებას ექვემდებარებიან.

გამოსახულების განაწილების $F(t)$ ფუნქცია

$$P=P(x>t)=1-F(t)=e^{-\lambda t}$$

არის ექსპონენციალური. მისი დახმარებით ხდება იმ სისტემის აღწერა, რომლებიც არ მიეკუთვნებიან არც დაძველებისა და არც განახლების სისტემებს.

გამოსახულებაში $F(t)$ განაწილების ფუნქციას

$$P=P(x>t)=1-F(t)=e^{-\int_0^t \lambda(y)dy}$$

ეწოდება განახლებადი (გაახალგაზრდავებადი), თუ ინტენსივობის $\lambda(t)$ ფუნქცია მცირდება t-ს გაზრდით.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ ინტენსივობის $\lambda(t)$-ს ფუნქციის ანალიზის განხილვით შემდეგი ნიშნების მიხედვით: დაძველებადი, განახლებადი და ნეიტრალური ობიექტები.

ვეიბულას განაწილების თავისებურებების გამოყენება

საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის შეფასების ამოცანაში განაწილების მოდელებიდან ყველაზე უფრო საერთო სახე ეგრეთ წოდებულ ვეიბულას განაწილებას აქვს, რომლის განაწილების ფუნქციას ასეთი სახე აქვს

$$F(t)=P(x\leq t)=1-e^{-\lambda t^{\beta}}, \qquad t\geq 0$$

მაშინ, რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებითი მუშაობის მაჩვენებლები ღებულობს სახეს

$$P=P(x>a)=e^{-\lambda a^{\beta}}$$

აქ β და λ წარმოადგენს ფიქსირებულ რიცხვებს, რომელსაც ვეიბულას განაწილების ფუნქციის პარამეტრები ეწოდება.

ვაჩვენოთ, რომ $a>1$ პარამეტრის მნიშვნელობის დროს, ვეიბულას განაწილება, „დაძველების" განაწილების კლასს მიეკუთვნება, ხოლო როდესაც $a<1$ „განახლების" კლასს.

ნამდვილად, როდესაც ვეიბულას განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციას აქვს სახე

$$f(t)=(F(t))' =(1- e^{-\lambda t^{\beta}})' = \lambda\, \beta\, t^{\beta-1}\, e^{-\lambda t^{\beta}} ,$$

მაშინ აქედან გამომდინარეობს, რომ ინტენსივობის ფუნქცია გამოისახება შერმდეგი ფორმით

$$\lambda(t)= f(t)/(1-F(t))= \lambda\, \beta\, t^{\beta-1}\, e^{-\lambda t^{\beta}} /e^{-\lambda t^{\beta}}$$

მაშასადამე,

$$\lambda(t)= \lambda\, \beta\, t^{\beta-1} , \qquad \text{სადაც} \qquad t>0$$

რადგანაც, $\lambda(t)$ ფუნქციის წარმოებული ტოლია

$$(\lambda(t))= \lambda\, \beta\, (\beta-1)\, t^{\beta-1},$$

მაშინ ეს მიუთითებს იმაზე, რომ

$$(\lambda(t)' >0, \qquad \text{როდესაც} \quad \beta>1$$

და

$$(\lambda(t)' <0, \qquad \text{როდესაც} \quad \beta<1$$

ცნობილი ნიშნით ფუნქციის ზრდის საფუძველზე, ვაკეთებთ შემდეგ დასკვნას:

$\beta>1$ პარამეტრის მნიშვნელობის დროს ვეიბულას განაწილების ფუნქცია ეკუთვნის „დაძველების'' განაწილების კლასს, ხოლო როდესაც $\beta<1$ „განახლების'' განაწილების კლასს. $\beta=1$ დროს ვეიბულას განაწილების ფუნქცია გადადის ნეიტრალურ მდგომარეობაში – ექსპონენციალური განაწილების მდგომარეობაში, ისე როგორც

$$F(t)= P(x\leq t)=1-\ e^{-\lambda t^{\beta}} =1-\ e^{-\lambda t}$$

ავღნიშნოთ μ_i და σ_i-თი შემთხვევითი სიდიდის x_i საშუალო მნიშვნელობა და საშუალო კვადრატული გადახრა, ფარდობას

$$\gamma_i = \sigma_i / \mu_i$$

ეწოდება შემთხვევითი სიდიდის x_i ვარიაციის ცვლილების კოეფიციენტი.

ვეიბულას განაწილების კოეფიციენტი გამოისახება მხოლოდ β პარამეტრის გამოყენებით. ნამდვილად, ვეიბულას განაწილების თვისებით საშუალო მნიშვნელობა და x_i სიდიდის დისპერსია განისაზღვრება, როგორც

$$\mu_i = \frac{\Gamma(\frac{1}{\beta_i}+1)}{\lambda^{1/\beta_i}}$$

და

$$\sigma_i^2 = \frac{\frac{2}{\beta_i}\Gamma(\frac{2}{\beta_i}) - \frac{1}{\beta_i^2}\Gamma^2(\frac{1}{\beta_i})}{\lambda^{2\beta_i}}$$

სადაც

$$\Gamma(r) = \int_0^\infty y^r e^{-r} dr$$

არის ცნობილი გამა-ფუნქცია.

აქედან ვღებულობთ გამოსახულებას ვარიაციის კოეფიციენტისათვის:

$$\gamma_i = \sigma_i / \mu_i = \frac{(\frac{2}{\beta_i}\Gamma(\frac{2}{\beta_i}) - \frac{1}{\beta_i^2}\Gamma^2(\frac{1}{\beta_i}))^{1/2}}{\Gamma(\frac{1}{\beta_i}+1)}$$

როგორც ვამტკიცებდით, ვარიაციის კოეფიციენტი აღმოჩნდა მხოლოდ ორი პარამეტრიდან ერთზე დამოკიდებული – ვეიბულას განაწილების პარამეტრზე დამოკიდებული.

ეს საშუალებას გვაძლევს გამოცდის შედეგების სტილისტიკური დამუშავების შემდეგ გამოვიყენოთ ფორმულა (8) β_i პარამეტრის შეფასებისათვის.

ჩატარებულ ანალიზს მივყავართ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის წარმატებული ფუნქციონირების ალბათობის გაანგარიშების მეთოდამდე.

1. რთული ტექნიკური სისტემის ტექნიკური x_i მაჩვენებლების განხილვის დროს, ფიზიკური არსის გათვალისწინებით, ვყოფთ მათ სამ ჯგუფად:

– ,,დაძველების'' მახასიათებელი x_i, რომლისთვისაც ინტენსივობის ფუნქცია $\lambda(t)$ წარმოადგენს ზრდად სიდიდეს.

,,დაძველების'' განაწილების ფიზიკურ ნიშანს წარმოადგენს შემდეგი

თუ ვარიაციის კოეფიციენტი

$$\gamma_i = \sigma_i / \mu_i > 1$$

მაშინ სისტემა ძველდება x_i მახასიათებლის მიხედვით.

– რთული ტექნიკური სისტემის x_i მახასიათებლის მეორე ჯგუფი ,,განახლებად'' კლასს მიეკუთვნება, რომლისთვისაც ინტენსივობის ფუნქცია $\lambda(t)$ წარმოადგენს კლებადს.

თუ ვარიაციის კოეფიციენტი

$$\gamma_i = \sigma_i / \mu_i < 1$$

მაშინ სისტემა არის ,,განახლებადი'' x_i მახასიათებლის მიხედვით.

რთული ტექნიკური სისტემის x_i მახასიათებლის მესამე ჯგუფი ეკუთვნის ,,ნეიტრალურ'' კლასს, რომლისთვისაც ინტენსივობის ფუნქცია $\lambda(t)$ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს.

თუ ვარიაციის კოეფიციენტი

$$\gamma_i = \sigma_i / \mu_i = 1$$

მაშინ x_i-ს აქვს ნეიტრალური (ექსპონენციალური) განაწილება.

2. მოცემული კლასიფიკაციის შემდეგ ყოველი ჯგუფისათვის ვირჩევთ ცდების მონაცემებით ალბათობების შეფასების შესაფერის მეთოდს.

3. ძირითად ფორმულაში გადმოცემულის საფუძველზე, რომელსაც აქვს სახე

$$P_{Ба}=P_o(1—q_1\,\eta_1)(1—q_2\,\eta_2)\dots\,(1\text{--}\,q_N\eta_N)$$

გაუმართაობის წარმოშობის ალბათობა q_i აქვს შემდეგი მნიშვნელობა $x_i<a_1$

6.1. პირველი ჯგუფისათვის:

$$q_i=P(\,x_i<a_1\,)=1\text{-}\,e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$$

სადაც ვარიაციის კოეფიციენტი $\gamma_i = \sigma_i / \mu_i > 1$

6.2. მეორე ჯგუფისათვის:

$$q_i=P(\,x_i<a_1\,)=1\text{-}\,e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$$

სადაც ვარიაციის კოეფიციენტი $\gamma_i = \sigma_i / \mu_i < 1$

6.3. მესამე ჯგუფისათვის:

$$q_i=P(x_i<a_1)=1-e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$$

სადაც ვარიაციის კოეფიციენტი $\gamma_i=\sigma_i/\mu_i=1,\ \beta=1$

შედეგად, საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების წარმატებული მუშაობის ალბათობის საანგარიშო ძირითადი ფორმულა მიიღებს სახეს

$$P_{Ба}=P_o\prod_{i=1}^{N}(1-(1-e^{-\lambda_i a_i \beta_i})\eta_i),$$

თუ, რთული ტექნიკური სისტემის ყოველი მახასიათებლისათვის მოცემულია

$$x_i>a_1$$

ვეიბულას განაწილების უნივერსალობა

შევჩერდეთ, ვეიბულას განაწილების ფუნქციის, როგორც მისი უნივერსალური განაწილების სახით გამოყენების შესაძლებლობის დასაბუთებაზე (სამუშაოს ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოყენებით).

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ვეიბულას განაწილების ფუნქციის სახე

$$F(t)=P(x\le t)=1-e^{-\lambda t^{\beta}},\quad t>0$$

გადადის ექსპონენციალურ განაწილებაზე როდესაც $\beta=1$ პარამეტრის დროს.

როდესაც $\beta=2$ ვღებულობთ ვეიბულას განაწილების ფინქციის მეორე კერძო შემთხვევას, რომელიც გადადის რელეიას განაწილების ფუნქციაში და აქვს სახე

$$F(t)=P(x\le t)=1-e^{-\lambda t^{\beta}},\quad t>0$$

განაწილების ეს ფუნქცია კარგად აღწერს შემთხვევითი სიდიდის ,,ქცევის'' ხასიათს, რომელიც დაკავშირებულია გაზომვის სიზუსტესთან.

ალბათობის მეორე კლასიკური მოდელი, რომელიც გამოყენებულია ამოცანაში მართვის სიზუსტის უზრუნველყოფისა და მართვის პროცესების სტაბილიზაციისათვის, წარმოადგენს ცნობილ ნორმალურ განაწილებას. ნორმალური განაწილების ფუნქციის სახეა

$$F(t)=\Phi\ (h)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{h} e^{-y^2}dy$$

აქ ნორმალური განაწილების ფუნქციისათვის დამატებითი აღნიშვნებია გამოყენებული

$$F(t)=\ \Phi\ (h),$$

სადაც

$$\Phi\ (h)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{h} e^{-y^2}dy$$

ეს არის ეგრეთ წოდებული ლაპლასის ფუნქცია, რომლის მნიშვნელობა

$$h=\frac{t-\mu}{\sigma}$$

ამასთანავე, რიცხვები μ და σ წარმოადგენენ ნორმალური განაწილების პარამეტრებს, თანაც μ არის საშუალო მნიშვნელობა, ხოლო σ ნორმალური განაწილების კერძო შემთხვევის საშუალო კვადრატული გადახრა.

ვეიბულას განაწილების უმნიშვნელოვანეს თვისებას წარმოადგენს ის, რომ იგი უდიდესი სიზუსტით ემთხვევა ნორმალურ განაწილებას, ე.ი.

$$F(t)=\ P(x\leq t)\ =\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{h} e^{-y^2}\ dy\approx 1-\ e^{-\lambda t^{\beta}}\ ,$$

თუ მაგალითად β=3,25 და $h=\frac{1-\mu}{\sigma}$ (იხ. [12])

ამრიგად, ჩვენს მიერ დასაბუთებულია, რომ მოცემულ დროის ინტერვალში (O,T) საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების წარმატებული ფუნქციონირების ალბათობის შესაფასებლად მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ქვემოთ მოტანილი ფორმულა

$$P_{Ба}=P_o\prod_{i=1}^{N}(1\text{-}(1-\ e^{-\lambda_{iai}t^{\beta_i}})\,\eta_i),$$

თუ რთული ტექნიკური სისტემების ყოველი მახასიათებელი წარმოდგენილია $x_i>a_1$ სახით.

დასაშვები მოთხოვნების სხვა შემთხვევები განხილულია ქვემოთ.

შემოთავაზებული ფორმულის გამოყენებას წინ უსწრებს რთული ტექნიკური სისტემების მახასიათებლების განაწილების კლასიფიკაცია „დაძველების'', „განახლებისა'' და „ნეიტრალური'', ზემოთ შემოთავაზებული კრიტერიუმებით.

ასეთი კლასიფიკაცია აუცილებელია ცდის მონაცემებით საიმედოობის მაჩვენებლების შეფასების მეთოდის შემდგომში შერჩევისათვის.

ზემოთ განხილულია მნიშვნელოვანი კერძო შემთხვევა, როდესაც რთული ტექნიკური სისტემების წარმატებით ფუნქციონირების პირობას, $x_i > a_1$ სახის ერთმხრივი დასაშვები მოთხოვნის შესრულება წარმოადგენს, სადაც x_i არის შემთხვევეითი სიდიდე (i-ური მახასიათებელი), a_i კი ფიქსირებული რიცხვია და x_i - სათვის წარმოადგენს მინიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას.

იშვიათ შემთხვევაში ეს მოდელი გამოყენებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მუშაობის ალბათობის შეფასებისათვის, როდესაც საჭიროა პირობის შესრულება [52-54]

$$\tau > T$$

სადაც τ არის დრო რთული ტექნიკური სისტემის მწყობრიდან გამოსვლამდე-მტყუნებამდე (დამტვრევა, ფუნქციონირების შეწყვეტა), (O,T) დროის ინტერვალში, მაგალითად, (O,T) დროის ინტერვალში, სადაც T არის ფუნქციონირების მოცემული დრო.

შემოთავაზებული მიდგომის თანახმად, სისტემის მტყუნების ალბათობა გამოისახება

$$q = q_1 = P(\tau > T) = 1 - e^{-\lambda_1 T^{\beta 1}},$$

სადაც λ და β არის ვეიბულას განაწილების პარამეტრები τ სიდიდისათვის (მტყუნებამდე გამომუშავება), რომელიც განისაზღვრება ცდის მონაცემებით.

ზემოთ აღინიშნა, რომ საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ტექნიკური მაჩვენებლებისადმი წაყენებული მოთხოვნები შეიძლება განსხვავდებოდეს $x_i > a_1$ პირობისაგან.

განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

1. ტექნიკურ დოკუმენტაციაში საჭიროა $x_i<a_1$ პირობის შესრულება;

2. ტექნიკურ დოკუმენტაციაში საჭიროა $a_1\leq x_i \leq b_i$ პირობის შესრულება;

პირველ შემთხვევაში, დოკუმენტაციის მოთხოვნის შეუსრულებლობის ალბათობა გამოისახება თანაფარდობით

$$q_1=P(x_i> a_1)= e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}}$$

მეორე შემთხვევაში, განაწილების ფუნქციის თვისების გამოყენებით მივიღებ

$$P=(a_i\leq x_i \leq b_i)=F(b_i)-F(a_i)$$

სადაც F არის ვეიბულას განაწილების ფუნქცია, მაშასადამე

$$P(a_1\leq x_i \leq b_i)=F(b_i)-F(a_1)=(1- e^{-\lambda_i b_i^{\beta_i}})-(1- e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}})$$

ანუ

$$P(a_1\leq x_i \leq b_i)= e^{-\lambda_i a_1^{\beta_i}} - e^{-\lambda_i b_1^{\beta_i}}$$

ზემოაღნიშნული საკითხის განხილვის შემთხვევაში, $a_1\leq x\leq b_i$ მოთხოვნის შეუსრულებლობის ალბათობა q_i წესით, მოპირდაპირე ხდომილობის ალბათობით იპოვნება და გამოისახება, როგორც ეს ქვემოთ არის ნაჩვენები

$$q_1=1- P(a_1\leq x_i \leq b_i)$$

ანუ

$$q_1=1- e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}} + e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}}$$

ამრიგად, მივედით შემდეგ საანგარიშო თანაფარდობასთან, რომელიც ზემოთ შემოთავაზებულ ძირითად ფორმულაშია გამოყენებული:

$$P_{Ба,}= P_o(1—q_1\,\eta_1)(1—q_2\,\eta_2)...\ (1-- q_N\eta_N)$$

აქ:

1. $q_i=P(x_i< a_i)=1- e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}}$, თუ მოცემულია მოთხოვნა $x_i> a_i$

2. $q_i=P(x_i> a_i)= e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}}$, თუ მოცემულია მოთხოვნა $x_i< a_i$

3. $q_i=P(x_i \notin [a_i,b_i])= e^{-\lambda_i a_i^{\beta_i}} - e^{-\lambda_i b_i^{\beta_i}}$, თუ მოცემულია მოთხოვნა $a_i \leq x_i \leq b_i$

მეორე თავის დასკვნა

1. დამუშავებულია ადამიანის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმები.

კრიტერიუმი ეწოდება ოპერატორის მიერ მართული რთული ტექნიკური სისტემისადმი განპირობებული ფუნქციის წარმატებით შესრულებას მუშაობის მოცემული დროის მონაკვეთში $[O,T]$.

ძირითადი კრიტერიუმი გამოისახება ნამრავლის სახით, აქ $P_{БП}$ –არის

$$P=P_{БП}\,P_{Ба}$$

რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობა, ხოლო $P_{Ба}$-მოცემულ დროის მონაკვეთში $[O,T]$ რთული ტექნიკური სისტემის უავარიო მუშაობის ალბათობა.

2. პირველად არის შემოთავაზებული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის $P_{БП}$ კრიტერიუმების ალბათური შეფასების მეთოდი.

მეთოდი დაფუძნებულია ნაშრომში შემოთავაზებული რთული ტექნიკური სისტემის მართვის ოპერატორის მომზადების დონეზე, აგრეთვე რთული ტექნიკური სისტემის მართვისადმი მისი ნიჭიერების დონის მაჩვენებელზე.

3. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უავარიო მუშაობის $P_{Ба}$ ალბათური კრიტერიუმების შეფასების ახალი მეთოდი რთული ტექნიკური სისტემების მახასიათებლების დასაშვებ სივრციდან გადახრაზე წონითი კოეფიციენტების ზეგავლენის გათვალისწინებით.

ნაჩვენებია, რომ მოტანილი მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გამოვრიცხოთ საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლის დაუსაბუთებელი შემცირება რთული ტექნიკური სისტემის კომპენსაციის შესაძლებლობის აღრიცხვის ხარჯზე.

4. შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების ელემენტების საიმედოობის განზოგადოებული გაანგარიშების მოდელი.

მოდელი იყენებს განაწილების კლასიფიკაციას ,,დაძველებისა'' და ,,განახლების'' ნიშნის მიხედვით და ითვალისწინებს ვეიბულას განაწილების უნივერსალურ ხარისხს.

თავი III
საავიაციო კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების გაზომვის ცდომილებისა და საიმედოობის შეფასების ინჟინრული მეთოდი

ადამიანის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის შეფასების მეთოდი, რომელიც დამუშავებულია წინა თავში, გააჩნია განსაზღვრული უნივერსალობა იმიტომ, რომ იგი შეიძლება გამოვიყენოთ ნებისმიერი სირთულის სისტემისათვის. წინამდებარე თავს თანდართული აქვს 1-2 თავის მეთოდები საავიაციო კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების საიმედოობის შეფასების ამოცანის გადაწყვეტისათვის.

ამჟამად არსებობს შრომების მნიშვნელოვანი ნაწილი საავიაციო კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების საიმედოობის [3-6] სივრცეში. მაგრამ, არსებულ შრომებში ძირითადი ყურადღება გადატანილია კუთხსაზომი სისტემების, როგორც სუფთა ტექნიკურ სისტემაზე ,,ადამიანის ფაქტორის'' ზემოქმედების გავლენის გათვალისწინების გარეშე. მაშინ, როდესაც მოცემული ფაქტორი თამაშობს გადამწყვეტ როლს ბევრ პრაქტიკულ სიტუაციებში.

ადამიანის მიერ მართული კუთხსაზომი სისტემების, როგორც რადიონავიგაციური სისტემების საიმედოობის შეფასების ამოცანა ჯერ კიდევ არასაკმარისად არის გამოკვლეული და არა აქვს მარტივი გადაწყვეტა.

ამიტომ გამოკვლევის მიზნით, რომელიც ტარდება წინამდებარე თავში, მოიცავს კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების საიმედოობის შეფასების რიგ კერძო საინჟინრო მეთოდს, რომელიც თეორიული დამუშავების შედეგების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობას გვაძლევს.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემების ცდომილების ქვეშ უნდა გავიგოთ მისი ისეთი მდგომარეობა, როდესაც სისტემა ვერ უზრუნველყოფს რადიონავიგაციური პარამეტრების საჭირო სიზუსტით

გაზომვას [23,26,28,29] ან მწყობრიდან გამოდის ოპერატორის მიერ მართვაში დაშვებული შეცდომის გამო ანუ გაუმართაობის და მექანიკური დაზიანების გამო.

ამ განმარტების საფუძველზე 1-2 თავში ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია მუშაობის დროის $[O,T]$ ინტერვალში სისტემის წარმატებით ფუნქციონირების ალბათური მაჩვენებლები:

1. სისტემის უავარიო მუშაობის ალბათობა $P_{Ба}$ მოცემულ დროის $[O,T]$ მონაკვეთში;

2. სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობა $P_{БП}$ მუშაობის $[O,T]$ დროის მონაკვეთში;

$P_{Ба}$ კრიტერიუმს შეიძლება დავარქვათ სისტემის საიმედოობის ტექნიკური მაჩვენებელი, ხოლო ალბათობას $P_{БП}$ –სისტემის საიმედოობის ოპტიმალური მაჩვენებელი (ოპტიმალური სისტემა).

სისტემისათვის შეიძლება ვიპოვოთ მისი საიმედოობის განზოგადოებული ალბათური მაჩვენებელი ნამრავლის სახით

$$P=P_{БП}\,P_{Ба}$$

3.1. უსაფრთხო მართვის ალბათობის გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდი

ალბათობა $P_{БП}$ განისაზღვრება ფრენის ან ტრენაჟორზე გამოცდის შედეგების მიხედვით.

ამერიკის პრესის მონაცემებით [13], ოპერატორების შეცდომებმა, რომლის შედეგად საჰაერო ძალების საჰაერო ტრანსპორტმა ავარია განიცადა, 70%-ს შეადგენს. ამიტომ, უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}$ პოვნის ამოცანა აქტუალურია.

3.2. უსაფრთხო მართვის ალბათობის შეფასება საფრენოსნო გამოცდის შედეგების მიხედვით

$P_{БП}$ შეფასებისათვის, საფრენოსნო გამოცდის დიდი მოცულობის სტატისტიკური მასალების არსებობის დროს, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ბერნულის გამოცდის კლასიკური მოდელი მისი ბოლო დამუშავების გათვალისწინებით.

ასეთ შემთხვევაში შეფასების $P_{БП}$ მეთოდი ძლიან მარტივია. დაუშვათ n არის საფრენოსნო გამოცდის საერთო რიცხვი, ხოლო d - ოპერატორის მიზეზით მტყუნების რიცხვი. რადიონავიგაციური სისტემების საიმედოობის განზოგადოებული მაჩვენებლების პოვნის დროს რიცხვში d ჩაირთვებიან მხოლოდ ის მტყუნებები, რომლებიც წარმოიქმნენ კუთხსაზომი სისტემების გაუმართაობით.

მაშინ, უცნობი ალბათობისათვის $P_{БП}$ შეიძლება იქნეს ნაპოვნი:

– წერტილოვანი შეფასება

$$\hat{P}_{БП} = 1 - \frac{d}{n}$$

– გარანტირებული შეფასება (ქვედა სარწმუნო საზღვარი)

$$P_{БП} = \hat{P}_{БП} - a\sqrt{\frac{-\ln(1-\gamma)}{2n}}$$

აქ, თანახმად (9), რიცხვი γ წარმოადგენს მოცემულ სარწმუნო ალბათობას, თუმცა სხვაობას $\beta = 1 - \gamma$ აქვს დამკვეთის დასაშვები რისკის მნიშვნელობა.

კოეფიციენტი a ითვალისწინებს $P_{БП}$ ალბათობის მიმართ აპრიორული ინფორმაციის შესაძლო არსებობას. ეს კოეფიციენტი იცვლება $0 \le a \le 1$ ფარგლებში. ხშირად იგი მიიღება, როგორც 0,5-ის ტოლი. თუ აპრიორული ინფორმაცია არ არის, მაშინ $a=1$.

კერძოდ, როდესაც $n=10$, $d=1$, $y=0{,}95$ და $a=0{,}5$ ვღებულობთ გარანტირებული შეფასების შემდეგ მნიშვნელობას

$$P_{БП} = 1 - \frac{1}{10} - 0{,}5\sqrt{\frac{-\ln 0{,}05}{20}} = 0{,}9 - 0{,}19 = 0{,}71$$

ზემოთ მოტანილი ორი შეფასებიდან, უპირატესობა ქვედა სარწმუნო საზღვარს აქვს, რადგანაც მისი განსაზღვრის დროს გარანტირებულია $P_{БП} \ge P\text{-}_{БП}$

ამჟამად, ახალი სისტემის შექმნის ანუ ძველის მოდიფიკაციის დროს უპირატესობა იმ მეთოდს აქვს, რომელიც იძლევა უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}$ შეფასების საშუალებას საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს შედეგების მიხედვით. სწორედ, ასეთი მეთოდებისათვის შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული

ჩვენს მიერ წინა 1-2 თავში შემოთავაზებული, ამ ალბათობის გაანგარიშებისადმი მიდგომა.

3.3. საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვის ალბათობის შეფასება საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს შედეგების მიხედვით

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებული უსაფრთხო მართვის შეფასების მეთოდი შეგვიძლია გამოვიყენოთ ადამიანის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის ნებისმიერი რთული ტექნიკური სისტემისათვის. ეს საშუალებას გვაძლევს შევთავაზოთ საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{\text{БП}}$ შეფასების ქვემოთ განხილული მეთოდი საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს შედეგების საფუძველზე. შემდგომ ამ კრიტერიუმის შემადგენელ ელემენტს განვიხილავთ, რომელიც სისტემის გაუმართაობით არის განპირობებული.

მეორე თავში დადგენილია, რომ ოპერატორის მიერ თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების წარმატებით ათვისება, რომელიც სისტემის უსაფრთხო მართვას უზრუნველყოფს, შეიძლება მიღებული იქნეს შემდეგი უტოლობა:

$$p(T,T_o) \le p_{TP},\ p(\Pi,\Pi_o) \le p^*_{TP}$$

$$r(T,T_o) \ge r_{TP},\ r(T,T_o) \ge r^*_{TP}$$

აქ რიცხვებს $p(T,T_o)$ და $p(\Pi,\Pi_o)$ ეწოდება საჰარეო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვის სივრცეში ოპერატორის თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების ათვისების დონის მაჩვენებლები.

რიცხვებს $r(T,T_o)$ და $r(T,T_o)$ ეწოდება საჰარეო ტრანსპორტის მართვისადმი ოპერატორის ნიჭიერების დონის მაჩვენებლები.

(1) გამოსახულებაში, p_{TP}, p^*_{TP}, r_{TP}, r^*_{TP} აღნიშვნების ქვეშ ნაგულისხმებია დასაშვები (მოთხოვნილი) მნიშვნელობები კრიტერიუმებისათვის

$$p(T,T_o),\ p(\Pi,\Pi_o),\ r(T,T_o),\ r(T,T_o)$$

ითვლება, რომ p_{TP}, p^*_{TP}, r_{TP}, r^*_{TP} არის ფიქსირებული რიცხვები და ცნობილია ანუ განსაზღვრულია სტატისტიკური მონაცემებით კრიტერიუმების მიღწეული მნიშვნელობების მიმართ.

ფიქსირებული რიცხვებისაგან p_{TP}, p^*_{TP}, r_{TP}, r^*_{TP} განსხვავებით კრიტერიუმები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს ყოველი მოცემული დროის მომენტში, რადგანაც ისინი დამოკიდებულია ოპერატორის პასუხების (რეაქციის) T და Π მატრიცებისაგან.

მაშინ, საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვის $P_{Б\Pi}$ ალბათობა შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი ნამრავლის სახით

$$P_{Б\Pi}=P_T P_\Pi P_{CT} P_{C\Pi}$$

აქ

$$P_T = P(p(T,T_o \leq p_{TP}) \quad \text{და} \quad P_\Pi = P(p(\Pi,\Pi_o) \leq p^*_{TP}$$

– ოპერატორის მიერ თეორიული ინფორმაციის წარმატებით ათვისების ალბათობა და პრაქტიკული ჩვევების ათვისების ალბათობა, უზრუნველყოფს საჰარო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვას.

გარდა ამისა,

$$P_{CT}=P(\,r(T,T_o)\geq r_{TP}\,) \quad \text{და} \quad P_{C\Pi}=P(r(\Pi,\Pi_o\,)\geq r^*_{TP}$$

ოპერატორის ნიჭიერების (მიდრეკილების) საკმარისი დონის ალბათობა თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების საჰაერო ტრანსპორტის მართვის სივრცეში.

კრიტერიუმის ოთხივე შემადგენელი ელემენტიდან თითოეული მათგანის გაანგარიშება $P_{Б\Pi}=P_T P_\Pi P_{CT} P_{C\Pi}$ წარმოადგენს მნიშვნელოვანი სირთულის დამოუკიდებელ ამოცანას. ამიტომ, შევჩერდებით მხოლოდ ალბათობის $P_{Б\Pi}$ გაანგარიშების ცალკეული საკითხების განხილვის მეთოდზე.

3.4. უსაფრთხო მართვის ალბათობის გაანგარიშებისათვის საწყისი მონაცემების მიღება (მოძიება)

საჰაერო ტრანსპორტის საიმედოობა და ფრენის უსაფრთხოება დამოკიდებულია, როგორც საჰაერო ტრანსპორტის ხარისხზე, ისევე მფრინავის ხარისხზე. საჰაერო ტრანსპორტის ხარისხის შეპირობება

მის ქვესისტემებთან, აგრეთვე მისი მდგრადობის დონესთან, მართვადობასთან და მანევრირებასთან. მფრინავის ხარისხი განისაზღვრება მისი თეორიული მომზადებით, რომელიც ხასიათდება P_T და P_{CT} კრიტერიუმებით, აგრეთვე პრაქტიკული ჩვევების დონით, რომელიც ხასიათდება კრიტერიუმით $P_П$ და $P_{CП}$.

(13) თანახმად, ტრენაჟორის სისტემებში ორი ტიპის მართვაა გათვალისწინებული: ფუნქციონალური, რომელიც განხორციელებულია უშუალოდ ვარჯიშის რეალიზაციით და ორგანიზაციული, რომელიც განხორციელებულია ცენტრალური დისპეტჩერის ტექნიკური საშუალებით.

პირველ დონეზე სწავლება და ვარჯიში „ოპერატორ-ინსტრუქტორი'' სქემით ხდება. აქ წინასწარ სასწავლო გეგმით გათვალისწინებული მეთოდიკით ოპერატორს ეძლევა ლოგიკურ-პროგრამული მართვის ამოცანა. ოპერატორი და ინსტრუქტორი დაკავშირებულია ერთმანეთთან მაიმიტირებული პროცესის მათემატიკური მოდელის საშუალებით.

მეორე დონეზე წყდება პროცესის მართვის ორგანიზაციულ-მეთოდური საკითხები.

ტრენაჟორზე სამუშაოდ დაიშვება პიროვნება, რომელსაც მიღებული აქვს მართვის თეორიულ საფუძვლებში უფლება. ამიტომ, სწავლის დასაწყისში იმტკიცებენ თეორიულ ცოდნას, ხოლო შემდგომ მუშავდება გადაწყვეტილების პრაქტიკული ჩვევები და გადაწყვეტილების მიღების საშტატო და შტატგარეშე რეჟიმები. საწყისი პირობის შეყვანისათვის ინსტრუქტორი სავარჯიშო სამუშაოს ნომერს და მის შესაბამის საბაზო ამოცანის ნაკრებს (თემებს) დაანახვებს. თემების რიცხვში შედიან:

– ქვესისტემების გაუმართაობის მოდელირება და მათი შედეგების გასწორების მეთოდები;

– ქვესისტემის მდგრადობის დიაგნოსტიკა, ქვესისტემის მუშაობისუნარიანობისა და მთლიანად სისტემის აღდგენა;

საჰაერო ტრანსპორტის მდგრადობაზე, მართვადობაზე, მანევრირებაზე და ა.შ. გარეგანი ფაქტორებით დესტაბილიზაციის გამომწვევი ზეგავლენის გასწორება.

თავის მხრივ, ყოველ თემას აქვს განსაზღვრული განყოფილებები (ქვეამოცანები). მაგალითად, საჰაერო ტრანსპორტის მოძრაობის გვერდითი ,,აღშფოთება'' სამ ნაწილად იყოფა (13):

– სწრაფად მილევადი აპერიოდული (რხევების გარეშე) მოძრაობა კრენის;

– გვერდითი რხევები, მიმორბენისა და სრიალის კუთხეების თანხმლები ცვლილებებით, რაც იწვევს კრენის კუთხეების ცვლილებას.

– აპერიოდული სპირალები (ხვეული) მოძრაობა.

თეორიული მომზადებისათვის ტრენაჟორზე ვარჯიშის სასწავლო გეგმა შეიძლება მოცემული იყოს დავალების T მატრიცის სახით. ამ მატრიცის ყოველი სტრიქონი კონკრეტულ თემას შეესაბამება, რომელიც დაყოფილია m ქვეამოცანად. ითვლება, რომ m ქვეამოცანის რიცხვი, Π ამოცანიდან ყველა მათგანი ერთნაირია.

დავალების $T=(\tau_{ij})$ მატრიცის ელემენტებს τ_{ij} რიცხვი წარმოადგენს.

π_{ij} ქვეშ ნაგულისხმებია ბალებში გამოსახული i ნომრის თემიდან j ნომრის ქვეამოცანის სირთულე.

ანალოგიურად, პრაქტიკული მომზადებისათვის ტრენაჟორზე ვარჯიშის სასწავლო გეგმა შეიძლება მოცემული იყოს დავალების Π მატრიცის სახით. ამ მატრიცის ყოველი სტრიქონი კონკრეტულ თემას შეესაბამება, რომელიც დაყოფილია n ამოცანად. ითვლება, რომ m ქვეამოცანის რიცხვი, n ამოცანიდან ყოველი მათგანი ერთნაირია. დავალების $\Pi=(\Pi_{ij})$ მატრიცის ელემენტებს Π_{ij}. რიცხვი წარმოადგენს. Π_{ij} ქვეშ ნაგულისხმებია ბალებში გამოსახული i ნომრის თემიდან j ნომრის პრაქტიკული შინაარსის ქვეამოცანის სირთულე.

თანამედროვე ტრენაჟორებში, T და Π სასწავლო გეგმაში ამოცანების გადაწყვეტის პროცესების საკონტროლო სისტემებია გამოყენებული. ტრენაჟორზე ვარჯიშის პროცესში ფიქსირდება

ოპერატორის რეაქცია და საშტატო და შტატგარეშე სიტუაციებში მიღებული გადაწყვეტილებების შედეგები. ამასთანავე:

– რეგისტრირდება ოპერატორის მოქმედება ობიექტის დინამიკურ მართვაში;

– წარმოდგენილი იქნება რეალურ დროში დაშვებული შეცდომების შედეგები და რეზულტატები;

– დარეგისტრირდება გარემომცველი სივრცის პარამეტრები;

– ხორციელდება ოპერატორების წვრთნის დონის შეფასება.

კონტროლის ტრენაჟორული სისტემები შეიძლება განმარტებული იქნეს, როგორც სასწავლო გეგმის T და Π მატრიცების გარდაქმნა ოპერატორის (პასუხების) რეაქციის T_o და Π_o მატრიცებად.

ოპერატორის, ტრენაჟორზე თეორიული მომზადების სავარჯიშო სამუშაოს შედეგები შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ოპერატორის რეაქციის (პასუხების) T_o მატრიცის სახით. ამ მატრიცის ყოველი სტრიქონი განსაზღვრულ თემას შეესაბამება, რომელიც დაყოფილია m ქვეამოცანად. ითვლება, რომ ქვეამოცანის რიცხვი m, ყოველი n ამოცანიდან ერთნაირია. ოპერატორის პასუხების $T_o=(T_{ij})$ მატრიცის ელემენტებს T_{ij} რიცხვი წარმოადგენს. T_{ij}-ის ქვეშ ნაგულისხმებია ბალებში გამოსახული შეფასება, რომელსაც მიიღებს ოპერატორი i ნომრის თემიდან j ნომრის თეორიული ქვეამოცანის ამოხსნის დროს.

ანალოგიურად, პრაქტიკული მომზადებისათვის, ტრენაჟორზე ოპერატორის სავარჯიშო სამუშაოს შედეგები, შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს მისი რეაქციის (პასუხების) Π_o მატრიცის სახით. ამ მატრიცის ყოველი სტრიქონი გარკვეულ კონკრეტულ თემას შეესაბამება, რომელიც დაყოფილია m ქვეამოცანად. ითვლება, რომ ქვეამოცანის რიცხვი m, ყოველი n ამოცანიდან ერთნაირია. ოპერატორის პასუხების $\Pi_o=(\Pi_{ij})$ მატრიცების ელემენტებს Π_{ij} რიცხვები წარმოადგენს. Π_{ij}-ქვეშ ნაგულისხმებია ბალებში გამოსახული შეფასება, რომელსაც ოპერატორი მიიღებს i ნომრის თემიდან j ნომრის პრაქტიკული ქვეამოცანის ამოხსნის დროს.

ჩვენს მიერ 1-2 თავში შემოთავაზებული მიდგომით, მოცემული სავარჯიშო სამუშაო სასწავლო პროცესი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი თანაფარდობით

$$T_o=AT, \quad П_o=BП$$

სადაც A და B - არის ოპერატორის მატრიცა, რომელიც გვიხასიათებს მისი ტრენაჟორზე თეორიული და პრაქტიკული მომზადების სწავლების ციკლის ინტენსივობას. A და B მატრიცები ფასდებიან მოცემულ ოპერატორისათვის ანუ მოცემული ეკიპაჟისათვის რამოდენიმე სავარჯიშო სამუშაოებით.

შეფასების მეთოდი შემოთავაზებული და მოტანილია მეორე თავში.

3.5. უსაფრთხო მართვის ალბათობის შეფასების მეთოდი

ვთქვათ, სასწავლო გეგმით ტრენაჟორზე ოპერატორის თეორიული ციკლით სწავლების მოცემული მატრიცისათვის T სავარჯიშო სამუშაოების N-ჯერ ჩატარების შედეგად, ოპერატორის რეაქციის (პასუხების) მატრიცებია $T^1_o, T^2_o, \dots T^n_o$ დაფიქსირებული.

მეორე თავში ნაჩვენებია, რომ წარმატებული თეორიული მომზადების ალბათობის P_T დროს (იგი წარმოადგენს უსაფრთხო მართვის $P_{БП}=P_T P_П P_{CT} P_{CП}$ კრიტერიუმის შემადგენელ ნაწილს) შეგვიძლია გამოვიყენოთ გამოსახულება

$$P_T = P(p(T,T_o) \leq p_{TP}$$

სადაც $p(T,T_o)$-არის მანძილი T და T_o მატრიცებს შორის. ევკლიდოვას მანძილის შერჩევის შემთხვევა მეორე თავშია განხილული. შესაძლებელია მანძილის ფუნქციის სხვაგვარი შერჩევა, რომელიც დააკმაყოფილებს მანძილის ცნობილ აქსიომას, მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ

$$p(T,T_o)=\xi,$$

სადაც $\xi = max\left|\pi_{ij} - T_{ij}\right|$ არის T-T_o მატრიცების ელემენტები. ამ სიდიდეს დავარქვათ T და T_o მატრიცების დაშორება, ხოლო p_{TP} რიცხვს კი ამ დაშორების ზღვრული დასაშვები სიდიდე.

ამრიგად, ტრენაჟორზე ოპერატორის T დავალების მიხედვით წარმატებით თეორიული მომზადების ალბათობა p_T შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფორმულით

$$p_T = P(\xi \le p_{TP}) = F(p_{TP})$$

აქ F-არის შემთხვევითი სიდიდის ξ განაწილების ფუნქცია.

ვივარაუდოთ, პირველ მიახლოებაში, ξ სიდიდეს ნორმალური განაწილება გააჩნია, საშუალო μ და დისპერსიული σ^2 . მაშინ ნორმალური განაწილების თვისებით

$$p_T = \Phi(h),$$

სადაც Φ -არის **ლაპლასის** ცნობილი ფუნქცია, ხოლო რიცხვი

$$h = \frac{p_{TP} - \mu}{\sigma}$$

ცდების მონაცემებით T_o^1, T_o^2,... T_o^N , P ალბათობის შეფასებისათვის ვპოულობთ N სხვაობას T-T_o მატრიცებისათვის T და T_o.

ყოველ ასეთ სხვაობას შეესაბამება ξ სიდიდის ξ_i მნიშვნელობა. მიღებული N-ის მნიშვნელობის მიხედვით, ξ სიდიდის $\xi_1, \xi_2, \ldots \xi_n$ მნიშვნელობების სტანდარტული შეფასებით $\hat{\sigma}$ და $\hat{\mu}$ განვსაზღვრავთ μ და σ პარამეტრბს, შემდეგი ფორმულით

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\xi_i, \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\xi - \hat{\mu})^2}$$

აგრეთვე სიდიდე

$$\hat{n} = \frac{p_{TP} - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

p_T ალბათობის საძებნი შეფასება შეიძლება ვიპოვოთ ფორმულით

$$\hat{P}_T = \Phi(\hat{h}).$$

განვიხილოთ მოდელის მაგალითი. ვივარაუდოთ, რომ დავალების მატრიცას აქვს სახე

$$T=\begin{pmatrix}5 & 7 & 4 & 9\\ 10 & 8 & 7 & 9\\ 7 & 6 & 10 & 6\end{pmatrix}$$

ე.ი. ტრენაჟორზე თეორიული დავალების სავარჯიშოში მეცადინეობა ითვალისწინებს სამი თემის ამოცანის ამოხსნას, სადაც ყოველ მათგანს ოთხი ქვეამოცანა გააჩნია. ამოცანის სირთულე გამოითვლება ათბალიანი სკალით და ნაჩვენებია T მატრიცაზე. ვვარაუდობთ, შემდგომში ტრენაჟორზე N=10 სავარჯიშო მეცადინეობის T დავალების მიხედვით, ჩატარებისას ოპერატორის პასუხები იქნება დაფიქსირებული, აგრეთვე ამოცანის გადაწყვეტის შეფასება ათბალიანი სისტემით. პასუხებს წარმოადგენენ შეფასების მატრიცები, როგორც ეს ქვემოთაა მოტანილი

$$T_o^1=\begin{pmatrix}3 & 5 & 2 & 6\\ 8 & 7 & 7 & 6\\ 5 & 5 & 9 & 5\end{pmatrix},\ T_o^2=\begin{pmatrix}4 & 6 & 2 & 8\\ 9 & 6 & 6 & 7\\ 7 & 5 & 8 & 5\end{pmatrix},\ \dots\ T_o^{10}=\begin{pmatrix}4 & 7 & 3 & 8\\ 8 & 7 & 7 & 8\\ 6 & 5 & 9 & 6\end{pmatrix}.$$

$T\text{-}T_o^i$ სახის მატრიცების სხვაობის განხილვისას, ე.ი. მატრიცები

$$T\text{-}T_o^i=\begin{pmatrix}5 & 7 & 4 & 9\\ 10 & 8 & 7 & 9\\ 7 & 6 & 10 & 6\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}3 & 5 & 2 & 6\\ 8 & 7 & 7 & 6\\ 5 & 5 & 9 & 5\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}2 & 2 & 2 & 3\\ 2 & 1 & 0 & 3\\ 2 & 1 & 1 & 1\end{pmatrix},$$

$$T\text{-}T_o^2=\begin{pmatrix}5 & 7 & 4 & 9\\ 10 & 8 & 7 & 9\\ 7 & 6 & 10 & 6\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}4 & 6 & 2 & 8\\ 9 & 6 & 6 & 7\\ 7 & 5 & 8 & 5\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}2 & 2 & 2 & 3\\ 2 & 1 & 0 & 3\\ 2 & 1 & 1 & 1\end{pmatrix},$$

$$T\text{-}T_o^N=\begin{pmatrix}5 & 7 & 4 & 9\\ 10 & 8 & 7 & 9\\ 7 & 6 & 10 & 6\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}4 & 7 & 3 & 8\\ 8 & 7 & 7 & 8\\ 6 & 5 & 9 & 6\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & 0 & 1 & 1\\ 2 & 1 & 0 & 1\\ 1 & 1 & 1 & 0\end{pmatrix},$$

ვიპოვოთ ყოველი ამ მატრიცის $T\text{-}T_o^i$ მაქსიმალური ელემენტები, ე.ი. რიცხვები

$$\xi_1=3,\ \xi_2=3,\ \xi_N=2$$

მართალია

$$\hat{\mu}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\xi_i+\xi_2\cdots+\xi_N=\ \frac{1}{N}(3+3+\cdots+2)=2.5,$$

$$\hat{\sigma} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n}(\xi-\hat{\mu})^2} = \frac{1}{N-1}\sqrt{(3-2.5)^2+(3-2.5)^2+\cdots+(2-2.5)^2} = 0.20$$

თუმცა, ოპერატორის დავალებისა და პასუხების მატრიცებს შორის დასაშვები დაშორიების მნიშვნელობა ტოლია $p_T = 3$ მაშინ, თანაფარდობის განსაზღვრავთ

$$\hat{h} = \frac{P_{TP} - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} = \frac{3-2.5}{0.20},$$

ნორმალური განაწილების ცხრილის დახმარებით ვპოულობთ ტრენაჟორზე ოპერატორის წარმატებით თეორიული მომზადების P_T ალბათობის შეფასებას T დავალების მიხედვით, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე

$$\hat{P}_T = \Phi(\hat{h}) = \Phi(2) = 0.975$$

ანალოგიურად ხდება საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვის კრიტერიუმების $P_{БП}=P_T P_П P_{СТ} P_{СП}$ სხვა დანარჩენი შემადგენლების შეფასება.

თუ ჩავთვლით, რომ ხდომილობა, რომლის ალბათობა ამ კრიტერიუმში შედის და დამოუკიდებელია, მაშინ მოცემული სქემით გაანგარიშების შედეგად ვღებულობთ $P_{БП}=P_T P_П P_{СТ} P_{СП}$ გამოსახულებისათვის შეფასებას, რომელსაც აქვს სახე

$$\hat{P}_{БП} = \hat{P}_T\, \hat{P}_П\, \hat{P}_{СТ}\, \hat{P}_{СП}$$

მეორე თავში მოტანილი გამოკვლევის შედეგების გამოყენებით შეგვიძლია მივიღოთ აგრეთვე შეფასება, რომელიც მოტანილი ხდომილობის დამოკიდებულებას ითვალისწინებს

$$\hat{P}_{БП} = \hat{P}_T\, \hat{P}_П\, \hat{P}_{СТ}\, \hat{P}_{СП} + K(\hat{P}_* - \hat{P}_T\, \hat{P}_П\, \hat{P}_{СТ}\, \hat{P}_{СП})$$

აქ რიცხვი K ხდომილობათა შორის კორელაციის კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობების ტოლია, ხოლო $\hat{P}_*$ -

$\hat{P}_T$ $\hat{P}_П$ $\hat{P}_{СТ}$ $\hat{P}_{СП}$ სიდიდეებიდან ყველაზე უმცირესია. K კოეფიციენტის განსაზღვრის მეთოდიკა მოტანილია [14] და ამიტომ, წინამდებარე ნაშრომში არ განიხილება. ჩატარებული გაანგარიშების გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ როგორც წესი K=0.5-0.8.

3.6. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობის შეფასების მეთოდის ზოგიერთი თავისებურებანი

ზემოთ, 3.1.2. .... 3.1.4. განყოფილებებში საკმაოდ გასაგებად იყო განხილული საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხო მართვის კრიტერიუმის შეფასების მეთოდი, ტრენაჟორზე სავარჯიშო მუშაობის შედეგების საფუძველზე. ამასთანავე საჭიროა საშტატო და შტატგარეშე სიტუაციის მთელი სპექტრის განხილვა, რომელიც მართვის პროცესში წარმოიქმნება. იმავე მეთოდით შეიძლება ვიპოვოთ ამ კრიტერიუმის შემადგენელი-თანხმლები, რომელსაც კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობას უწოდებენ. ამისათვის საჭიროა საშტატო და შტატგარეშე სიტუაციის სპექტრის ის ნაწილი განვიხილოთ, რომელიც ამ სისტემასთან არის დაკავშირებული. ზემოაღნიშნული გაანგარიშების მეთოდი ამ დროს უცვლელი რჩება.

რადიონავიგაციური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}=P_T P_П P_{СТ} P_{СП}$ შეფასების მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნეს ამ სისტემის ფუნქციონირების შესაბამისი მათემატიკური მოდელი, რომელიც აგრეთვე გამოყენებულია ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს ჩატარების დროს.

ამ მოდელებში ითვალისწინებენ ძირითადი მახასიათებლების დასაშვებ შემდეგ მოთხოვნებს, როგორიცაა:

f – სამუშაო სიხშირის დიაპაზონი;

D – მოქმედების მანძილი;

r_T – რადიოკომპასის მიმღების მგრძნობიარობა ტელეფონის რეჟიმში;

ΔP – რადიოკომპასის დევიაცია (რადიოსადგურის კურსის კუთხის ცდომილება);

r_n – რადიოკომპასის მიმღების მგრძნობიარობა პელენგის მიმართ;

T_n – რადიოკომპასის კვლავმომართვის დრო;

Vc – რადიოსადურის კურსის კუთხის (КУР) ავტომატური დამუშავების საშუალო სიჩქარე;

T_T – ტემპერატურისადმი მდგრადობა;

$B_в$ – ჰაერის ტენიანობისადმი მდგრადობა;

$Э$ – ექსპლუატაციის რესურსი;

K_1 – თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მიმართულებით მეორადი ანუ უკუგამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტი;

K_2 – თვითმფრინავის გრძივი ღერზის მართობული მიმართულებით მეორადი ანუ უკუგამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტი;

მართვის სისტემის საკონტროლო ხელსაწყოზე ანუ ტრენაჟორის დისპლეის ეკრანზე რეგისტრირდება სასიცოცხლო მართველობის ის ძირითადი პარამეტრები, რომელზედაც დამოკიდებულია საჰაერო ტრანსპორტის ფრენის უსაფრთხოება.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის მათემატიკური მოდელი ითვალისწინებს მისი მახასიათებლების კავშირს ატმოსფეროს პარამეტრებთან, ფრენის სიმაღლესთან და ფრენის სიჩქარესთან [55-58].

ისინი საშუალებას გვაძლევენ მოდელირება გაუკეთოთ ტრენაჟორის მუშაობის პირობებში შტატიან და შტატგარეშე სიტუაციებს, შესაძლო გაუმართაობას და დასაშვები ნორმებიდან კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის პარამეტრების გადახრას.

ზემოაღნიშნულიდან შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ტრენაჟორზე ჩატარებული სავარჯიშო სამუშაოს შედეგებისა და ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდით, რომელიც მოტანილია ზემოთ, შეგვიძლია მივიღოთ სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობის $P_{БП}=P_T P_П P_{СТ} P_{СП}$ შეფასება.

3.7. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის შეფასების ინჟინრული მეთოდი

მეორე თავის თანახმად, ამ სისტემის უსაფრთხო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმით $P_{БП,}$ შეიძლება ვიპოვოთ მოცემული [O,T] დროის ინტერვალში სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმი $P_{Ба.}$ საბოლოო ჯამში, კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის საიმედოობის განზოგადოებული კრიტერიუმი განისაზღვრება, $P = P_{БП}\, P_{Ба}$ სახით.

ამ კრიტერიუმის პირველი მდგენელი $P_{БП}$ წინამდებარე ნაშრომში პირველად არის შეყვანილი სისტემის განხილვაში, ხოლო $P_{БП}$ განსაზღვრის შემოთავაზებული მიდგომა, დაყვანილია ინჟინრულ მეთოდამდე. $P_{БП}$-დან განსხვავებით, მეორე $P_{Ба}$ მდგენელი, ადრე, ბევრ სამუშაოებში [10-12] იყო გამოკვლეული.

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია [O,T] დროის მოცემულ ინტერვალში სისტემის უავარიო მუშაობის ალბათობის $P_{Ба}$ შეფასების ახალი მიდგომა, რომელიც სისტემის შეფასების არსებულ მეთოდს ავსებს. მიდგომის სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ შემოთავაზებულია წონითი კოეფიციენტის η_i შეყვანა, რომლის დახმარებით გათვალისწინებულია მისი x_i პარამეტრების დასაშვებზე მეტად გადახრის ზეგავლენა სისტემაზე.

მეორე თავის თანახმად, ალბათობა $P_{Ба}$ გამოისახება შემდეგი სახით

$$P_{Ба,} = P_o(1 - q_1\eta_1)(1 - q_2\eta_2)\ldots(1 - q_N\eta_N)$$

აქ:

1) $q_i = P(x_i < a_i) = 1 - e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$,

თუ ტექნიკურ დოკუმენტაციაში x_i –სათვის მოცემულია ერთმხრივი დაშვების მოთხოვნა $x_i > a_i$ სახით;

2) $q_i = P(x_i > a_i) = e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$, თუ ტექნიკურ დოკუმენტაციაში x_i –სათვის მოცემულია ერთმხრივი დაშვების მოთხოვნა $x_i < a_i$ სახით;

3) $q_i = P(x_i \notin [a_1, b_i]) = e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$, თუ ტექნიკურ დოკუმენტაციაში x_i –სათვის მოცემულია ორმხრივი მოთხოვნა $a_i \le x_i \le b_i$

გამოსახულებაში $P_{Ба}$ მაჩვენებლისათვის რიცხვი P_o წარმოადგენს [O,T] დროის ინტერვალში სისტემის უავარიო მუშაობის ალბათობას, რომელიც გამოითვლება იმ პირობით, რომ x_i მახასიათებლებიდან ყოველი მათგანი აკმაყოფილებს [O,T] დროის ინტერვალში დაშვების მოთხოვნებს. სისტემის საიმედოობისადმი, დღევანდელი მოთხოვნებით სიდიდე $P_o \approx 1$

მოცემულ გამოსახულებაში რიცხვი $\eta_i = P(\bar{A}/\bar{A}_i)$ წარმოადგენს $\bar{A}$ ხდომილობის ალბათობას იმ პირობით, რომ მოხდა $\bar{A}_i$ ხდომილობა.

ამასთანავე, $\bar{A}$ და $\bar{A}_i$ – არის ხდომილობები, რომელიც შედგება შესაბამისად იმ სისტემისაგან, რომელიც [O,T] დროის ინტერვალში ვერ ასრულებს მასზე დაკისრებულ ფუნქციას და მისი მახასიათებლები x_i სცილდებიან დადგენილ ნორმებს.

სისტემის საიმედოობის შეფასებისადმი არსებული მიდგომის დროს ვარაუდობენ, რომ ყველა კოეფიციენტი η_i=1 ე.ი. ითვლება, რომ x_i მახასიათებლების დადგენილ ნორმაზე მეტი სიდიდით გადახრის დროს, როგორც ეს ტექნიკურ დოკუმენტაციაშია დათქმული, სისტემა გამოდის მწყობრიდან. ამ დროს სისტემის საიმედოობა $P_{Ба}$ განისაზღვრება ფორმულით

$$P_{Ба,} = (1-q_1)(1-q_2)\dots(1-q_N)$$

ჩვენი მიდგომით რეკომენდებულია გავითვალისწინოთ ის, რომ კოეფიციენტების მნიშვნელობები η_i, რომლებიც იცვლებიან $0 \le \eta_i \le 1$ ფარგლებში და ეწოდებათ მნიშვნელობის კოეფიციენტები ანუ წონითი კოეფიციენტები.

3.8. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების გაანგარიშება და მისი შეზღუდვის რეკომენდაციების დამუშავების ინჟინრული მეთოდი

ამ სისტემის მახასიათლებლების მიმართ დასაშვები მოთხოვნებია წაყენებული, რომელიც განისაზღვრება სისტემის გაზომვის ცდომილების

ძირითადი განტოლებითა და მისი ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭირო პირობებით [59-64].

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების გაანგარიშება და მისი შეზღუდვის რეკომენდაციების ინჟინრული მეთოდის დამუშავება გულისხმობს:

- კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის ნავიგაციური პარამეტრების გაზომვის ცდომილების გამომწვევი მიზეზებისა წყაროების გამოკვლევას (დადგენას);
- კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების შეზღუდვისა და შესაძლო კომპენსაციის ინჟინრული მეთოდის დამუშავება.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების გამომწვევ ძირითად წყაროდ თვითმფრინავის ფიუზელაჟის მეორადი გამოსხივება წარმოადგენს.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემა არაავტონომიურ მოწყობილებას წარმოადგენს. ამიტომ რადიონავიგაციური პარამეტრების გაზომვისათვის კუთხსაზომ მოწყობილობას მუშაობა მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურთან ერთობლივად უწევს. სწორედ, ერთობლივი მუშაობის პროცესი ქმნის თვითმფრინავის ფიუზელის მეორადი გამოსხივების პირობებს. თუ მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის მიერ გენერირებული და სივრცეში გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ენერგია დაეცემოდა მხოლოდ და მხოლოდ კუთხსაზომი სისტემის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრ ანტენას, მაშინ მიმართული ანტენა დაიკავებდა ზუსტად მიმყვანი რადიოსადგურისკენ პელენგის მიმართულებას და გაზომვის ცდომილებასაც არ ექნებოდა ადგილი მეორადი გამოსხივების არარსებობის გამო. მაგრამ, სინამდვილეში, ჩვენგან დამოუკიდებელი მიზეზების გამო, მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის ელექტრომაგნიტური ენერგია ერთდროულად ეცემა, როგორც მიმართული მოქმედების ანტენას ისევ თვითმფრინავის ფიუზელაჟის ზედაპირს. სწორედ, თვითმფრინავის ფიუზელაჟზე ზედაპირზე

დაცემული ელექტრომაგნიტური რხევები აინდუქცირებს მის ლითონის ზედაპირზე მოსული ტალღის სიხშირის ემძ-ს. ეს უკანასკნელი აღძრავს იგივე სიხშირის დენებს ლითონის ზედაპირზე და თვითმფრინავის ფიუზელიაჟი იწყებს მეორადი ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივებას. ფიუზელიაჟი გადაიქცევა მეორადი გამოსხივების წყაროდ.

ყოველივე ზემოაღნიშნულის გამო მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრ ანტენაზე ერთდროულად მოქმედებს ორი ელექტრომაგნიტური ველი – ძირითადი და მეორადი. ამის გამო ჩარჩოსებრ ანტენა ვერ ინარჩუნებს მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურისთან პელენგის მიმართულებას და რადიოკომპასის ჩარჩო და კურსის ინდიკატორის ისარი ღებულობს ამ ორი ელექტრომაგნიტური ველის ძალხაზების ვექტორების ტოლქმედის მიმართულებას.

სწორედ, კუთხსაზომი სისტემის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრ ანტენაზე ერთდროულად ორი ელექტრომაგნიტური ტალღის მოქმედება იწვევს რადიოსადგურის კურსის კუთხის (რკკ) გაზომვის ცდომილებას. გამომდინარე აქედან, მეორადი გამოსხივებით გამოწვეულ ცდომილებას შეგვიძლია რადიოდევიაცია დავარქვათ.

ჩვენი უპირველესი მიზანია რადიოდევიაციის შემცირება დასაშვებ 2,5-3^0 მაშინ, როდესაც მეორადი ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედებით ცდომილების მნიშვნელობა 22^0-ზე მეტია.

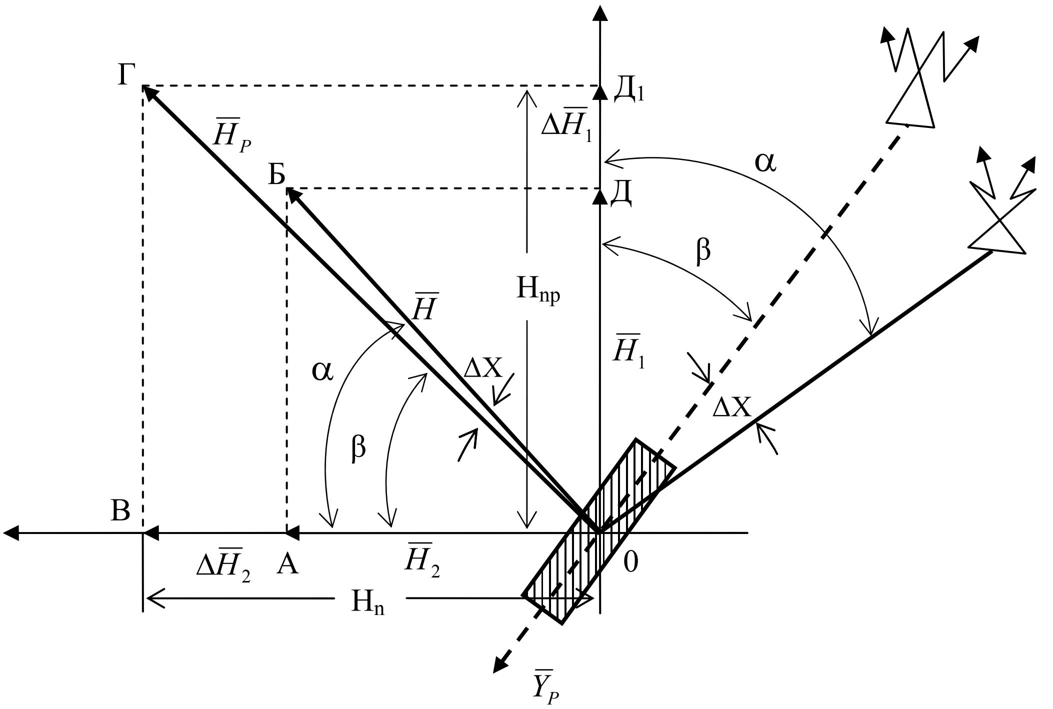
დასაშვებზე (2,5-3^0) მეტი რადიოდევიაციის შემთხვევაში – ნავიგაციისა და დაფრენის ნავიგაციური პარამეტრების არაზუსტი გაზომვის შედეგად გამოუსწორებელი შედეგი შეიძლება მივიღოთ. ამიტომ, დაფრენის რადიონავიგაციური სისტემების VOR, ILS და СП-50 რეჟიმებში მუშაობის სიზუსტეს, თვითმპრინავის დაფრენის პროცესში გადამწყვეტი მნისვნელობა აქვს.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების განსაზღვრისა და რადიოდევიაციის შემცირებისათვის საჭირო ინჟინრული მეთოდების დამუშავებისათვის აუცილებელია დავადგინოთ

მეორადი გამოსხივების ელექტრომაგნიტური ველის თვითმფრინავის ფიუზელიაჟის გრძივი ღერძისა და ამ ღერძის მართობულად განაწილებით კანონზომიერება. ამისათვის უპრიანია შევადგინოთ თვითმფრინავის ფიუზელიაჟის მთელ სივრცეში ელექტრომაგნიტური ველის ძალხაზების განაწილების ვექტორული დიაგრამა და განვსაზღვროთ ველის რეალური განაწილების სურათი. რადგანაც, ელექტრული და მაგნიტური ველების მოქმედების ეფექტი ერთნაირია, ამიტომ ვექტორულ დიაგრამას აგების დროს გამოვიყენებთ მხოლოდ მაგნიტური ველის ძალხაზების ვექტორებს (H).

რადიოდევიაციის განსაზღვრისათვის დაუშვათ, რომ კუთხსაზომი რადიოკომპასის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენაზე მოქმედებს მხოლოდ თვითმფრინავის ფიუზელიაჟის მეორადი გამოსხივების ელექტრომაგნიტური ველი [38].

მიღებული ტალღის მაგნიტური ველის ვექტორი H შეგვიძლია დავშალოთ ორ შემადგენელ H_1 და H_2 ნაწილად. სადაც ვექტორი H_1 არის თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მიმართულების თანხვედრილი ვექტორი, ხოლო ვექტორი H_2 არის თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მართობული (ნახ.1). კუთხე H და H_2 ვექტორებს შორის რადიოსადგურის კურსის კუთხის ტოლია.



ნახ. 1. თვითმფრინავის ფიუზელაჟზე მაგნიტური ველის განაწილების საანგარიშო ვექტორული დიაგრამა.

АБО მართკუთხა სამკუთხედიდან რადიოსადგურის კურსის კუთხე რკკ=α, ხოლო ВГО მართკუთხა სამკუთხედიდან რადიოკომპასის ათვლის კუთხე რაკ=β. მაშინ АБО მართკუთხა სამკუთხედიდან ვპოულობთ $\overline{H}_1$ და $\overline{H}_2$ მდგენელებს

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= H\sin\alpha \\ H_2 &= H\cos\alpha \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

ყველა მიმართულებით მოქმედი მეორადი მაგნიტური ველი ($\Delta\overline{H}_1$ და $\Delta\overline{H}_2$), რომელიც მოსული ველის მაგნიტური მდგენელის პროპორციულია, მათი სიდიდე განისაზღვრება

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_1 &= K_1 H_1 = K_1 H\sin\alpha \\ \Delta H_2 &= K_2 H_2 = K_2 H\cos\alpha \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

მე-2 გამოსახულებაში K_1 და K_2 არის მეორადი გამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტი.

თვითმფრინავის ფიუზელაჟის გრძივი ღერძის მიმართულებით მოქმედი საერთო მაგნიტური ველი H_{np}, მოსული მაგნიტური ამავე

მიმართულებით მოქმედი H_1 და მეორადი გამოსხივების ΔH_1 მაგნიტური ველების ჯამის ტოლია

$$H_{np} = H_1 + \Delta H_1 = H\sin\alpha + K_1 H\sin\alpha = H\sin\alpha(1+K_1),$$ ე. ი.

$$H_{np} = H\sin\alpha(1+K_1) \qquad (3)$$

თვითმფრინავის ფიუზელაჟის გრძივი ღერძის მართობული საერთო მაგნიტური ველი H_n, H_2 მდეგენელისა და მეორადი მაგნიტური ველის ΔH_2 ჯამის ტოლია

$$H_n = H_2 + \Delta H_2 = H\cos\alpha + K_2 H\cos\alpha = H\cos\alpha(1+K_2),$$

ე. ი. $$H_n = H\cos\alpha(1+K_2) \qquad (4)$$

როგორც ნახ. 1-დან ჩანს, რეზულტატური მაგნიტური ველის ვექტორი H_p არის ВГО მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზა, ხოლო H_n და H_{np} - კათეტები. H_p ვექტორი შეგვიძლია განვსაზღვროთ ВГО მართკუთხა სამკუთხედიდან.

$$H_p^2 = H_{np}^2 + H_n^2 = \left[H\sin\alpha\left(1+K_1\right)\right]^2 + \left[H\cos\alpha\left(1+K_2\right)\right]^2$$

საიდანაც $H_p = H\sqrt{\left[\sin\alpha\left(1+K_1\right)\ \right] + \left[\cos\alpha\left(1+K_2\right)\ \right]}$ (5).

იმავე (ВГО) მართკუთხა სამკუთხედიდან ვპოულობთ

$$\left.\begin{aligned} &H_{np} = H_p\sin\beta, \text{ საიდანაც } \sin\beta = \frac{H_{np}}{H_p} \\ &H_n = H_p\cos\beta, \text{ საიდანაც } \cos\beta = \frac{H_n}{H_p} \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

რადიოდევიაციის განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიპოვოთ რადიოსადგურის კურსის კუთხისა (რკკ) და რადიოსადგურის ათვლის (რაკ) კუთხეების სხვაობა. ამისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ორი კუთხის სხვაობის სინუსების ცნობილი ფორმულა

$$\sin(\alpha-\beta) = \sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cos\beta - \sin\beta\cos\alpha$$

$\sin(\alpha-\beta) = \sin\Delta X$, ე. ი.

$$\sin\Delta X = \sin\alpha\frac{H_n}{H_p} - \cos\alpha\frac{H_{np}}{H_p} \qquad (7)$$

მე-7 გამოსახულებაში შევიტანოთ H_n, H_p და H_{np} მნიშვნელობები, მივიღებთ

$$\begin{aligned}\sin \Delta X = \sin\alpha \frac{H\cos\alpha(1+K_1)}{H\sqrt{[\sin\alpha(1+K_1)]^2+[\cos\alpha(1+K_2)]^2}} - \\ -\cos\alpha \frac{H\sin\alpha(1+K_1)}{H\sqrt{[\sin\alpha(1+K_1)]^2+[\cos\alpha(1+K_2)]^2}}\end{aligned} \qquad (8)$$

მე-8 გამოსახულების გამარტივებით მივიღებთ:

$$\sin \Delta X = \frac{\sin\alpha H\cos\alpha(1+K_1) - \cos\alpha H\sin\alpha(1+K_2)}{H\sqrt{[\sin\alpha(1+K_1)]^2+[\cos\alpha(1+K_2)]^2}}. \qquad (9)$$

მაშასადამე, შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილება, ე. წ. რადიოდევიაცია, განისაზღვრება მე-9 ფორმულით.

მე-9 ფორმულის ანალიზით შეგვიძლია დავადგინოთ, თუ რაზეა დამოკიდებული რადიოდევიაცია sinΔX და მივიღოთ შესაბამისი ინჟინრული გადაწყვეტილება ამ ცდომილების შეზღუდვისა და შემცირებისათვის.

მე-9 ფორმულაში შემავალი K_1 და K_2 უკუგამოსხივების, ანუ ეგრეთ წოდებული მეორადი გამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტებია, რომლებიც მოცემული კონკრეტული ტიპისა და კონსტრუქციის თვითმფრინავებისათვის მუდმივი სიდიდეებია. შესაბამისად, რადიოდევიაცია ყოველ თვითმფრინავზე დამოკიდებულია მხოლოდ რადიოსადგურის კურსის კუთხეზე (რკკ). რადიოდევიაცია ნულის ტოლი ხდება მაშინ, როდესაც რადიოსადგურის კურსის კუთხე რკკ=0^0, 90^0, 180^0 და 270^0. რადიოდევიაცია იზრდება და მაქსიმალური ხდება მაშინ, როდესაც რკკ=45^0, 135^0, 225^0 და 315^0.

უკუგასხივების, ანუ ეგრეთ წოდებული მეორადი გასხივების K_1 და K_2 კოეფიციენტების სიდიდე უპირველესად დამოკიდებულია ამრეკლი ზედაპირის ელექტროდენის გამტარობაზე და ფორმაზე. მიახლოებით, თუ ჩავთვლით, რომ თვითმფრინავის ფიუზელაჟის ლითონის ზედაპირი ელექტრომაგნიტურ ტალღას კარგვების გარეშე აირეკლავს, მაშინ მეორადი მაგნიტური ველი H_2, რომელიც გრძივი

ღერძის მართობულია, სიდიდით პირველადი ველის ტოლია. სხვანაირად რომ ვთქვათ, კოეფიციენტი K_2 დაახლოებით ერთის ტოლია, ე. ი. $K_2 \approx 1$.

მეორადი ელექტრომაგნიტური ველის სიდიდე და მიმართულება დამოკიდებულია თვითმფრინავის კონფიგურაციაზე და გეომეტრიულ ზომაზე, რადიოტალღის მიღების მიმართულებაზე და რადიოსაგურის ტალღის სიგრძეზე.

რადგანაც რადიოკომპასები საშუალო ტალღის დიაპაზონში მუშაობს, ამიტომ თვითმფრინავის გეომეტრიული ზომა ყოველთვის გაცილებით ნაკლებია რადიოსადგურის ტალღის სიგრძეზე. თეორიიდან ცნობილია, რომ ასეთ შემთხვევაში მეორადი მაგნიტური ველი და რადიოსადგურის მაგნიტური ველი ჯამდება და იზრდება ამპლიტუდა. ამ ორი ველის შეკრებით იქმნება რეზულტატური მაგნიტური ველი H_p (იხ. ნახ. 1).

თუ მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგური განლაგებულია თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მიმართ 90^0-ით, მაშინ რეზულტატური (H_p) მაგნიტური ველის ერთ-ერთი შემადგენელი ვექტორი H_1 განლაგდება ფიუზელაჟის გრძივი ღერძის მიმართულებით. რადგანაც ფიუზელიაჟის სიგრძე გაცილებით მეტია მის განზე, ამიტომ მაგნიტური ძალხაზების H_1 შემჭიდროება გრძივი ღერძის მიმართულებით იქნება უმნიშვნელო და შესაბამისად უმნიშვნელო იქნება მეორადი მაგნიტური ველიც ΔH_1 (იხ. ნახ.1).

გავაანალიზოთ ეხლა თვითმფრინავის ფიუზელაჟის მეორადი მაგნიტური ველის ზემოქმედება რადიოკომპასის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენაზე. ვთქვათ, რადიოკომპასის ჩარჩოსებრი ანტენა თვითმფრინავის 0 წერტილზეა განლაგებული (ნახ.1). უმოვ-პოინტინგის ვექტორით Y_p ნაჩვენებია მიღებული ელექტრომაგნიტური ტალღის მიმართულება, ხოლო ვექტორით H – რადიოსადგურის მაგნიტური ველის მიმართულება. ვექტორი H შეგვიძლია დავშალოთ ორ შემადგენელ ნაწილად: H_1, რომელიც მიმართულია თვითმრინავის გრძივი ღერძის გასწვრივ და H_2, რომელიც მართობულია H_1 ვექტორის

მიმართულების ანუ თვითმფრინავის გრძივი ღერძის. H_1 მაგნიტური ველის მიერ თვითმფრინავის ფიუზელაჟის ზედაპირზე დაინდუქცირებული დენი წარმოქმნის ასევე გრძივი ღერძის მიმართულებით მეორად მაგნიტურ ველს ΔH_1. შესაბამისად, მეორე შემადგენელი H_2 მაგნიტური ველი წარმოქმნის თავისივე მიმართულების მეორად მაგნიტურ ველს ΔH_2 სადაც $H_1+\Delta H_1=H_{пр}$ არის თვითმფრინავის გრძივი ღერძის გასწვრივ მიმართული მაგნიტური ველი და მისი მნიშვნელობა პრაქტიკულად ნულის ტოლია. იმის გამო, რომ ფიუზელაჟის სიგრძე გაცილებით მეტია მისი განივკვეთის დიამეტრის სიგრძეზე.

მაშასადამე, შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მიმართულებით მოქმედებს ჯამური მაგნიტური ველი $H_1+\Delta H_1$, ხოლო ამავე ღერძის მართობულად კი $H_2+\Delta H_2$ ჯამური მაგნიტური ველი. საერთო მაგნიტური ველი – რეზულტატური მაგნიტური ველი H_p, რომელიც მოქმედებს კუთხსაზომი რადიოკომპასის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენაზე, ამ მაგნიტური ველების ჯამის ტოლია, რომელიც ნათლად ჩანს ნახ.1-ზე მოტანილი ვექტორული დიაგრამის ВГО მართკუთხა სამკუთხედიდან. სადაც რეზულტატური მაგნიტური ველი H_p არის ამ მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზა – $H_p^2=H_{пр}^2+H_п^2=(H_1+\Delta H_1)^2+(H_2+\Delta H_2)^2$.

თვითმფრინავის გრძივი ღერძის გასწვრივ მიმართული მეორადი მაგნიტური ველი ΔH_1 გაცილებით ნაკლებია თვითმფრინავის გრძივი ღერძის მართობულად მიმართულ მეორადი მაგნიტური ველზე ΔH_2. სწორედ, მეორადი მაგნიტური ველების $(\Delta H_1=\Delta H_2)$ უტოლობა იწვევს რეზულტატური მაგნიტური ველისა H_p და მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის მაგნიტური ველის H სხვადასხვა მიმართულებით გავრცელებას ე.ი. H_p და H მაგნიტური ძალხაზების ვექტორები სხვადასხვა მიმართულებისაა და დაძრულია ერთმანეთის მიმართ ΔX ცდომილების ტოლი გრადუსით (ნახ.1). ამ შემთხვევაში უმოვ-პოინტინგის ვექტორის Y_P გავრცელების მიმართულება

რეზულტატური მაგნიტური ვექტორის H_p-ის მართობული იქნება და ისიც შემობრუნდება ΔX კუთხით. მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენა დაიკავებს არასწორ მდგომარეობას მიმყვანი რადიოსადგურის მიმართ.

ზემოაღნიშნულის თანახმად, რადგანაც ფიუზელიაჟის სიგრძე გაცილებით მეტია მისი განივკვეთის დიამეტრის სიგრძეზე, ამიტომ თვითმფრინავის გრძივი ღერძის გასწვრივ მთელ სიგრძეზე მეორადი მაგნიტური ველი ძალიან სუსტია და პრაქტიკულად ნულის ტოლია, ე.ი. $\Delta H_1=0$. შესაბამისად, მეორადი გასხივების კოეფიციენტიც $K_1=0$.

როდესაც $\alpha=180\text{-}270^o$, რადიუდევიაცია დადებითია, ე.ი. ცდომილება მეტობითია. ხოლო, როდესაც $\alpha=270\text{-}360^o$, რადიოდევიაცია უარყოფითია, ე.ი. ცდომილება ნაკლებობითია.

მაშასადამე, ზემოთ მოტანილი კვლევის სამართლიანობის დასამტკიცებლად, რომელიც ადასტურებს $H_п>>H_{пр}$, მე-9 განტოლებაში შევიტანოთ: $K_1=0^o$, $K_2=1^o$ და $\alpha=135^o$. მაშინ

$$\sin\Delta X=\frac{(K_2-K_1)\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{[\sin\alpha(1+K_1)]^2+[\cos\alpha(1+K_2)]^2}}=\frac{(1-0)\sin135^0\cos135^0}{\sqrt{[\sin135^0(1+0)]^2+[\cos135^0(1+1)]^2}}=$$

$$=\frac{\sin(90+45)\cos(90+45)}{\sqrt{[\sin(90+45)]^2+[2\cos(90+45)]^2}}=\frac{(\sin90\cos45+\cos90\sin45)(\cos90\cos45-\sin90\sin45)}{\sqrt{(\sin90\cos45+\cos90\sin45)^2+(2\cos90\cos45-2\sin90\sin45)^2}}=$$

$$=\frac{\cos45(-\sin45)}{\sqrt{(\cos45)^2+4(\sin45)^2}}=\frac{\sqrt{2}/2\cdot\left(-\sqrt{2}/2\right)}{\sqrt{\left(\sqrt{2}/2\right)^2+\left(\sqrt{2}/2\right)^2\cdot4}}=\frac{-0,5}{\sqrt{2,5}}=-0,316$$

მაშინ $\arcsin0,316=18,8^0$. ე. ი. $\Delta X=-18,8^0$.

მაშასადამე, რადიოდევიაცია არის უარყოფითი, რადგანაც $\alpha=135^0$ და იგი მე-2 მეოთხედშია. მიღებული შედეგი იმაზე მიგვითითებს, რომ მე-9 განტოლება სწორად ასახავს რადიოდევიაციის დამოკიდებულებას თვითმფრინავის კონსტრუქციასა და რადიოსადგურის კურსის კუთხესთან.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ თანამედროვე თვითმფრინავებზე რადიოდევიაციის მაქსიმალური მნიშვნელობები ძალიან ახლოსაა მიღებულ შედეგთან $\Delta X=-18,8^0$.

რადგანაც K_1 კოეფიციენტი ყოველთვის გაცილებით ნაკლებია K_2 კოეფიციენტზე, ამიტომ I და III მეოთხედებში რადიოდევიაცია დადებითია, ხოლო II და IV მეოთხედებში კი უარყოფითი.

როგორც მე-9 განტოლებიდან ჩანს, ამ განტოლებაში არ შედის მაგნიტური ველის დაძაბულობის სიდიდე (იხ. ნახ. 1). ეს იმაზე მიგვითითებს, რომ რადიოდევიაციის სიდიდე ΔX არ არის დამიკიდებული მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის სიმძლავრეზე და ამ სადგურთან თვითმფრინავის დაშორებაზე.

ამრიგად, მე-9 განტოლების ანალიზი სრულიად ასაბუთებს რადიოდევიაციის დამოკიდებულებას თვითმფრინავის კონსტრუქციაზე, მიმყვანი რადიოსადგურის კუთხეზე და იძლევა რადიოდევიაციის შემცირების ინჟინრული გადაწყვეტილების მიღების საშუალებას.

რადიოდევიაციის შემცირების შემოთავაზებული მეთოდი: რადიოდევიაციის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზებისა და წყაროების კვლევის დროს დავრწმუნდით იმაში, რომ რადიოკომპასის პელენგირების ცდომილება გამოწვეულია ჩვენგან დამოუკიდებლად ბუნებაში მიმდინარე მეორადი გამოსხივების პროცესებით. რადიოკომპასების იდეალური მუშაობის პირობები მაშინ არსებობს ბუნებაში, როდესაც მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის ელექტრომაგნიტური ტალღები ეცემა მხოლოდ მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრ ანტენას და მეორად გამოსხივებას არა აქვს ადგილი. საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციისათვის ასეთი პირობების შექმნა ბუნებაში პრაქტიკულად შეუძლებელია. ჩარჩოსებრი, მიმართული მოქმედების ანტენაზე ერთდროულად ორი ტალღა ეცემა – ძირითადი და მეორადი გამოსხივების. ძირითადი არის მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურის მიერ გენერირებული ელექტრომაგნიტური ტალღა, ხოლო მეორადი კი თვითმფრინავის ფიუზელაჟის მიერ გამოსხივებული.

აგრეთვე, ჩვენ დავინახეთ, რომ თვითმფრინავის ფიუზელაჟის გრძივი ღერძისა და მისი განივკვეთის დიამეტრის სიგრძეები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, რაც იმის პირობას ქმნის, რომ

თვითმფრინავის გრძივი ღერძის გასწვრივ მაგნიტური ძალხაზების შემჭიდროება სუსტია და შესაბამისად მცირეა მეორადი გამოსხივების მაგნიტური ველის ΔH_1 დაძაბულობაც. ყოველივე ამის გამო მცირეა მეორადი გამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტი K_1. გამომდინარე იქედან შეგვიძლია ჩავთვალოთ რომ $K_1=0$ და $\Delta H_1=0$. მაშასადამე, ელექტრული ცენტრი გადის თვითმფრინავის გრძივ ღერძე, სადაც მაგნიტური ველის დაძაბულობა ძალიან სუსტია და პრაქტიკულად ნულის ტოლია. მაშასადამე, რადიოდევიაციის შემცირებისათვის საჭიროა:

1. რადიოკომპასის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენა დავამონტაჟოთ თვითმფრინავის გრძივი ღერძის ხაზზე;
2. რადიოკომპასის მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენა დავამონტაჟოთ გრძივი ღერძის მიმართულებით 50 მმ სიზუსტით;
3. ჩარჩოსებრი ანტენა დავამონტაჟოთ მაგნიტური ველის სალოკალიზაციო ნიშაში, სადაც ანტენის აქტიური მხარე დაფარულია რადიოტალღის გამტარი საფარით, ხოლო ნიშას დანარჩენი მხარე კი დაცულია ლითონის კონსტრუკციით;
4. მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენის აქტიური ზედაპირის ჩაღრმავება ნიშაში არ უნდა აღემატებოდეს 2 მმ-ს. ანტენის აქტიური მხარის ზედაპირი ზუსტად უნდა იყოს შეუღლებული ფიუზელაჟის ზედაპირთან;
5. მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენის აქტიური ზედაპირის ჩაღრმავება ნიშაში არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ სიდიდეს. ვინაიდან იგი არსებითად მოქმედებს ანტენის მოქმედ სიმაღლეზე, რაც ამცირებს ანტენის გამოყენების ეფექტურობას;
6. დაუშვებელია ანტენის ეფექტი, რაც მიმართული მოქმედების ანტენით, სიგნალის არამიმართული მიღებას ნიშნავს.
7. ფიუზელიაჟის გამოშვერილი ნაწილიდან მიმარძთული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენა დაშორებული უნდა იყოს არანაკლები 1.5 მეტრი მანძილით, ხოლო არამიმართული ანტენა კი – 0.5 მეტრი მანძილით.

8. დასაშვებია რადიოდევიაციის გაზრდა 1^{O}-მდე თვითმფრინავის 15^{O}-იანი კრენის დროს.

აგრეთვე, აუცილებელია რადიოდევიაციის კომპენსაცია საყოველთაოდ ცნობილი ლეკალას დეფორმაციის მეთოდის გამოყენებით.

კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის პარამეტრების კლასიფიკაცია

ამ სისტემის პარამეტრი x_i, რომლის დასაშვები მოთხოვნები ტექნიკურ დოკუმენტაციაშია დათქმული, გავყოთ სამ ძირითად ჯგუფად:

1. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის კრიტიკული პარამეტრები

x_i პარამეტრს – მახასიათებელს ეწოდება კრიტიკული, თუ მისთვის მიღებული დადგენილი ნორმიდან გადახრის გამო სისტემა გამოდის მწყობრიდან. მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ x_1 პარამეტრი – პელენგირების მდგრადობის მარაგი, რომლისთვისაც მიიღება ერთმხრივი დასაშვები $x_1>1$ სახის მოთხოვნა. $x_1\leq1$ შემთხვევაში პელენგირების მოშლა ხდება [12].

სისტემის უავარიო მუშაობის კრიტერიუმი $P_{Ба,}= P_o(1—q_1\,\eta_1)(1—q_2\,\eta_2)\dots\,(1\text{--}\,q_N\eta_N\,)$ ჩავწეროთ ასეთი სახით

$$P_{Ба}= P_o\, P_1\, P_2\, \dots P_N\ \ ,$$

სადაც P_i=1-$q_i\ \ \eta_i$ – კუთხსაზომი სისტემის წარმატებული ფუნქციონირების ალბათობა i -ური x_i მახასიათებელზე მისი წონითი კოეფიციენტის η_i გათვალისწინებით.

თუ პარამეტრი x_i კრიტიკულია, მაშინ მისი წონითი კოეფიციენტი η_i=1. ამრიგად, ზემოთ მოტანილი x_i პარამეტრისათვის η_1 კოეფიციენტი 1-ის ტოლია – η_1=1. ამასთანავე, სისტემის წარმატებული ფუნქციონირების ალბათობა, x_i პარამეტრის მიხედვით P_1=1-q_1. ვთქვათ, შესაძლებელია დაუშვათ x_1 სიდიდის ნორმალური განაწილება. მაშინ

$$P_1=\Phi\ (h_1)$$

სადაც $h_1 = \dfrac{\overline{x_1} - 1}{\sigma_1}$ ხოლო $\overline{x_1}$ და σ_1 – საშუალო მნიშვნელობა და x_1 მარაგის საშუალო კვადრატული გადახრა, თანაც $\Phi\ (h_1)$ – ლაპლასის ფუნქცია, რომლის ცხრილი შეგვიძლია ვიხილოთ [1].

სამუშაოს მონაცემებით [11], n=10 გამოცდით. x_1 მარაგის შემდეგი მნიშვნელობებია მიღებული: *1,42; 1,38; 1,36; 1,43; 1,44; 1,36; 1,37; 40; 1,4.* ამ მონაცემით საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის განსაზღვრით $\hat{x}_i$ =1,40, აგრეთვე შერჩევითი საშუალო კვადრატული გადახრის $\hat{\sigma}_i$ =0,13 დროს ვღებულობთ h_1 პარამეტრისათვის შემდეგი სახის შეფასებას

$$\hat{h}_1 = \frac{\hat{x}_1 - 1}{\hat{\sigma}_1} = \frac{1.4 - 1}{0.13} = 3.08$$

$\hat{h}_1$ =3.08 სიდიდით ვპოულობთ ცხრილიდან P_1 ალბათობის შეფასებას

$$P_1 = \Phi\ (h_1)$$

ხოლო $\hat{P}_1$ ფორმით იქნება

$$\hat{P}_1 = \Phi\ (3.08) = 0.999$$

ვთქვათ K – კრიტიკული პარამეტრის რიცხვი. მოცემულ დროის ინტერვალში (O,T) სისტემის უავარიო მუშაობის კრიტერიუმი ასე ჩაიწერება

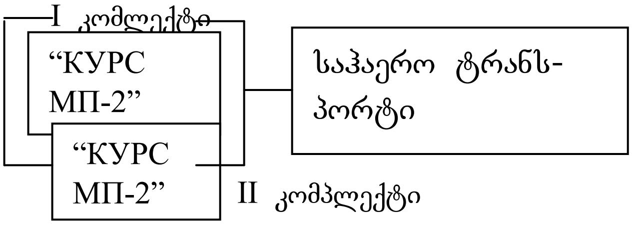
$$P_{Ба} = P_o \prod_{i=1}^{K} (1-q_i) \prod_{j=1}^{I} (1-q_j\eta_j)$$

აქ i – კრიტიკული პარამეტრის ნომერი; j – არაკრიტიკული პარამეტრის ნომერი, ხოლო I – მათი რიცხვია. ბოლო ფარდობაში პირობითი ალბათობების გადამრავლება ხდება, ე.ი. ყოველი თანამამრავლიდან თითოეული მათგანი განისაზღვრება იმ პირობით, რომ ხდომილობა, რომლის ალბათობა ნამრავლში ადრინდელი მოცემული მამრავლით განხორციელდა.

2.პირველი ჯგუფის კუთხსაზომი სისტემის არაკრიტიკული პარამეტრები

ამ ჯგუფში სისტემის ის პარამეტრები შევიყვანოთ, რომლის მნიშვნელობის დონე სხვადასხვა სქემებში სტრუქტურული დარეზერვებით არის შენარჩუნებული. ასეთი პარამეტრებისათვის გამოვიყენოთ y_j.

მაგალითის სახით შეიძლება მოვიყვანოთ ერთ საჰაერო ტრანსპორტზე მომუშავე ორი კომპლექტი “КУРС МП-2” სისტემა [12]. მოცემულ სქემაში ერთი “КУРС МП-2” ჩართვის და ამ სისტემის მუშაობისუნარიანობის შენარჩუნების დროს დანადგარს ნორმალური მუშაობის გაგრძელება შეუძლია. საიმედოობის სტრუქტურული სქემის აგების თვალსაზრისით, იგი ნიშნავს იმას, რომ ზოგიერთ რეჟიმებში “КУРС МП-2” დანადგარი პარალელურად არის შეერთებული, როგორც ეს ნახ. 2-ზეა მოტანილი.



ნახ. 2 “КУРС МП-2” სისტემის პარალელური შეერთების სქემა

ვთქვათ y_1 არის “КУРС МП-2”-ის ერთ-ერთი ის პარამეტრი, რომელიც სისტემის მუშაობას უზრუნველყოფს, ხოლო $[a_1, b_1]$ – გადახრის ის დასაშვები სიდიდე, რომლის ფარგლებშიაც უნდა იმყოფებოდეს პარამეტრები ტექნიკური დოკუმენტაციის საფუძველზე.

ვთქვათ, რომ ორივე “КУРС МП-2” ერთნაირია და ისინი ნახ.2-ზე ნაჩვენებ სქემაზე დამოუკიდებელია ერთმანეთისაგან.

მაშინ, სისტემის წარმატებული ფუნქციონირების ალბათობა, y_1 მახასიათებლის მიხედვით მისი წონითი კოეფიციენტის η_1 გათვალისწინებით, იქნება

$$P_1=1—q_1\,\eta_1=\ 1\text{-}\,q_1^2$$

უკანასკნელი გამოსახულება გამომდინარეობს ალბათობის თეორიის შეკრების ფორმულიდან და გამოყენებულია სისტემის დარეზერვების

გაანგარიშებაში. ამ მომენტში წონითი კოეფიციენტი განისაზღვრება მარტივ ფორმებში, როგორც

$$\eta_1 = q_1$$

ვთქვათ, $q_1 = P(y_1 \notin [a_1, b_1]) = e^{-\lambda_i a_i \beta_i} - e^{-\lambda_i a_i \beta_i}$ - y_1– პარამეტრის დასაშვებზე მეტ სიდიდით გადახრის ალბათობა $[a_1, b_1]$. ვთქვათ, რომ ცდების მონაცემებით λ_1 და β_1 კოეფიციენტების შეფასების შემდეგ ნაპოვნია მნიშვნელობა q=0.1 მაშინ, წონითი კოეფიციენტის გაუთვალისწინებლად, სისტემის წარმატებული ფუნქციონირება y_1 მახასიათებლის მიხედვით ტოლია $P_1 = 1 - q_1$ წონითი კოეფიციენტის η_1 გათვალისწინებით გვექნება

$$P_1 = 1 - q_1\,\eta_1 = 1 - q_1^2 = 1 - 0.1^2 = 0.99$$

უფრო ზოგად შემთხვევაში, პირველი ჯგუფის არაკრიტიკული პარამეტრებისათვის

$$\eta_j = q_j^{s-1}$$

სადაც $s = s_j$ – დარეზერვების ჯერადობა.

ვთქვათ I_1 – არის I ჯგუფის არაკრიტიკული პარამეტრების რიცხვი, მაშინ, სისტემის მუშაობის კრიტერიუმი მოცემულ [O,T] დროის ინტერვალში ჩაიწერება ასე

$$P_{Ба} = P_o \prod_{i=1}^{K} (1-q_i) \prod_{j'=1}^{I'} (1-q_j\eta_j) \prod_{j=1}^{I} (1-q_j\eta_j)$$

აქ i – კრიტიკული პარამეტრის ნომერი, j'– პირველი ჯგუფის არაკრიტიკული პარამეტრის ნომერი (I^1– მათი რიცხვი), $\eta_{j'} = q_j^{s-1}$ – პირველი ჯგუფის არაკრიტიკული პარამეტრისათვის წონითი კოეფიციენტი, ხოლო j – მეორე ჯგუფის არაკრიტიკული პარამეტრის ნომერი (I – მათი რიცხვი).

3. მეორე ჯგუფის კითხსაზომი სისტემების არაკრიტიკული პარამეტრები

მოცემულ ჯგუფში, სისტემის ის პარამეტრებია შეყვანილი, რომელთა დონის მნიშვნელობა სხვადასხვა ფუნქციონალური დარეზერვების სქემებშია შენარჩუნებული. ასეთი პარამეტრებისათვის

შემდეგი აღნიშვნა გამოვიყენოთ z_j. აქ ფუნქციონალური დარეზერვების ცნება შეყვანილია შემდეგ მოსაზრებასთან დაკავშირებით. წონითი კოეფიციენტის η_j გამოყენება გამოსახულებაში $P_j=1—q_j\eta_j$ ალბათობისათვის – სისტემის წარმატებული ფუნქციონირება j-ური არაკრიტიკული პარამეტრით z_j დარეზერვების ტოლფასია. თუმცა, მისგან განსხვავებით, მოცემულ შემთხვევაში რიცხვი $\eta_i \notin [0,1]$ შეიძლება განსხვავდებოდეს q_j^{s-1} მნიშვნელობისაგან, სადაც s-1 – მთელი რიცხვი.

წილადური მექანიზმი ანუ ფუნქციონალური დარეზერვება აგრეთვე არის სხვანაირი. დარეზერვების დროს საიმედოობის გაუმჯობესება სისტემაში ახალი ელემენტის შემოტანით ხდება (სტრუქტურული სიჭარბის უზრუნველყოფით ხდება). ფუნქციონალური დარეზერვების შემთხვევაში საიმედოობის გაუმჯობესება ხდება სხვადასხვაგვარი კონსტრუქციული მარაგით, რომელიც ჩადებულია სისტემის კონსრუქციულ სქემაში მისი დაპროექტების პროცესში (ფუნქციონალური სიჭარბის უზრუნველყოფის გზით). ამასთანავე, შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა მარაგი: მდგრადობით, სიმტკიცით, მართვადობით და ა.შ.

მაგალითად, თუ მიმართული მოქმედების ჩარჩოსებრი ანტენის მიწისზედა მიმყვანი გადამცემი რადიოსადგურისკენ მიმართულების პელენგირების მდგომარეობა არამდგრადია და ჩარჩოს მომქმედი სიმაღლეს მარაგი არ გააჩნია, აუცილებელია ნიშაში ანტენის დასაშვები ჩარღმავების სიზუსტე გადავამოწმოთ და საჭიროების შემთხვევაში დავარეგულიროთ.

წონითი კოეფიციენტების განსაზღვრა ტრენაჟორზე მუშაობის შედეგების საფუძველზე.

საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს დიდი მოცულობის სტატისტიკური მონაცემების არსებობის შემთხვევაში, წონითი კოეფიციენტების η_j შეფასებისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ბერნულის

გამოცდის კლასიკური მოდელი მისი ბოლო დამუშავების გათვალისწინებით.

ვთქვათ n არის ტრენაჟორზე გამოცდის საერთო რიცხვი, რომელშიაც მოდელირდება დადგენილი დასაშვები ნორმიდან $[a_j,b_j]$-y_j პარამეტრის გადახრა.

აღნიშვნოთ d-თი იმ შემთხვევების რაოდენობა, როდესაც ეკიპაჟმა ვერ შესძლო სისტემის წუნის კომპენსირების ხარჯზე ,,დაებრუნებინა'' პარამეტრი დასაშვებ ზღვრებში, ე.ი. გაესწორებინა დეფექტი $y_j \notin [a_j,b_j]$.

მაშინ უცნობი ალბათობისათვის η_j შეიძლება ვიპოვოთ:

– წერტილოვანი შეფასება $\hat{\eta}_j = 1 - \dfrac{d}{n}$;

– გარანტირებული შეფასება (ქვედა საზღვარი)

$$\underline{\eta} = \hat{\eta}_j - a\sqrt{\frac{-\ln(1-\nu)}{2n}}$$

თანახმად [9], რიცხვი γ წარმოადგენს სარწმუნო ალბათობას, სადაც სხვაობა β=1- γ დამკვეთის დასაშვები რიცხვია.

კოეფიციენტი a ითვალისწინებს აპრიორული ინფორმაციის შესაძლო არსებობას η_j ალბათობის მიმართებაში. ეს კოეფიციენტი იცვლება ფარგლებში $0 \le a \le 1$. ხშირად იგი მიღებულია 0,5 სიდიდის ტოლად. თუ აპრიორული ინფორმაცია არ არსებობს, მაშინ გამომდინარე აქედან a=1

კერძო შემთხვევაში, როდესაც n=10, d=1, γ=0,90 და a=0,5 ვღებულობთ გარანტირებული შეფასების შემდეგ მნიშვნელობას

$$\underline{\eta} = 1 - \frac{1}{10} - 0{,}5a\sqrt{\frac{-\ln 0{,}1}{20}} = 0{,}90 - 0{,}17 = 0{,}73$$

ზემოთ მოტანილი ორი შეფასებიდან, უპირატესობა ქვედა სარწმუნო საზღვარს აქვს, რადგანაც მისი განსაზღვრით გარანტირებულია $\eta_j \ge \underline{\eta}$ უტოლობის შესრულება არანაკლები γ ალბათობით.

ახალი სისტემის შექმნის ანუ ძველის მოდიფიკაციის დროს, უპირატესობა იმ მეთოდს აქვს, რომელიც საავიაციო ტრენაჟორზე სავარჯიშო სამუშაოს შედეგებით წონითი კოეფიციენტის შეფასების

საშუალებას გვაძლევს. სწორედ, ასეთი მეთოდებისათვის წარმატებით არის გამოყენებული ჩვენს მიერ შემოთავაზებული η_j კოეფიციენტის გაანგარიშების ახალი მეთოდიკა.

წონითი კოეფიციენტების განსაზღვრა სტატისტიკური მოდელირების შედეგებით

წონითი კოეფიციენტის განსაზღვრა $\eta_i=P(\bar{A}/\bar{A}_i)$ წარმოადგენს $\bar{A}$ ხდომილობის ალბათობას იმ პირობით, რომ მოხდა ხდომილობა $\bar{A}_i$. ამასთანავე $\bar{A}$ და $\bar{A}_i$ – არის ხდომილობა, რომელიც შედგება სისტემისადმი განპირობებული ფუნქციის [O,T] დროის ინტერვალში შეუსრულებლობისა და მახასიათებლების x_i დასაშვები ნორმიდან გადახრის რეალობისაგან.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვიპოვოთ η_i, $\bar{A}$ და $\bar{A}_i$ ხდომილობების სტატისტიკური მოდელირების გზით და შემდგომში პირობითი ალბათობის $\eta_i=P(\bar{A}/\bar{A}_i)$ განსაზღვრით. წონითი კოეფიციენტის ასეთი სქემით შეფასებაზეა მიძღვნილი ნაშრომი [15]. აქ მოკლედ განვიხილავთ შემოთავაზებული მეთოდის მოცემულ ამოცანის გადაწყვეტას.

$\bar{A}$ და $\bar{A}_i$ ხდომილობების სტატისტიკური მოდელირების პროცესი შეიძლება აგებული იქნეს არსებული მათემატიკური მოდელების ბაზაზე სისტემის შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფით.

ასეთი დამუშავება წინ უნდა უსწრებდეს $F_i(x)$ ფუნქციის განაწილების დადგენის სამუშაოებს და სისტემა x_i პარამეტრებისათვის ალბათობის სიმკვრივის $f_i(x)=F_i(x)'$ ფუნქციას.

ნაკრები ფუნქციების $F_i(x)$ და $F_j(x)$ საფუძველზე საჭიროა ვიპოვოთ ორი ტიპის წაკვეთილი განაწილება:

1. ალბათობის სიმკვრივის წაკვეთილი ფუნქცია $f_i(x)_I= f_i(x)/K_i$, სადაც $K_i=F_i(b_i)-F_i(a_i)$– არის წაკვეთის კოეფიციენტი. ეს ფუნქციები x_i იმ პარამეტრების მოდელირების საშუალებას გვაძლევენ, რომლებიც დადგენილი ნორმების დასაშვებ ზღვრებში $[a_i,b_i]$ დევს.

2. ალბათობის სიმკვრივის წაკვეთილი ფუნქცია $f_i(x)_2$ რომლებიც დადგენილი დასაშვები ფარგლებს გარეთ $[a_i,b_i]$ მდებარე x_i პარამეტრების განაწილების მოდელირების საშუალებას იძლევა. გამოსახულება $f_i(x)_2$ სხვადასხვანაირია ამისდა მიხედვით დასაშვები შეზღუდვები ცალმხრივია თუ ორმხრივი.

წონითი კოეფიციენტის $\eta_i=P(\bar{A}/\bar{A}_i)$ პოვნისათვის საჭიროა x_i პარამტრის მნიშვნელობის მოდელირება ალბათობის $f_i(x)_2$ სიმკვრივის საფუძველზე.

ამ დროს სისტემის ყველა სხვა x_i პარამეტრები მოდელირდებიან ფუნქციის შესაბამისი ალბათობის $f_i(x)_1$ სიმკვრივით. კომპიუტერზე N ასეთი სტატისტიკური გამოცდის დროს, d_i შემთხვევაში, სისტემის მტყუნებები დარეგისტრირდებიან მთლიანად. მაშინ $\eta_i \approx 1- d_i/N$

4. საჰაერო ტრანსპორტის რთული სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის ზოგადი პრინციპი

შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის ზოგადი სქემა, რომელშიც შეიძლება გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა სირთულის სისტემების მდგომარეობის ოპტიმალური მართვისთვის.

საჰაერო ტრანსპორტის რთული სისტემების სიცოცხლისუნარიანობა და გამოყენების ეფექტურობა რიგ ფაქტორებთან ერთად, ექსპლუატაციის პროცესში მათი ფუნქციონირების საიმედოობის რესურსით განისაზღვრება.

რთული სისტემის საერთო საიმედოობა შემადგენელი ელემენტების საიმედოობაზეა დამოკიდებული, ამიტომ მარტივი სისტემა რთულზე საიმედოა.

რთული სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის მართვა – სისტემის ელემენტების მტყუნების შემდეგ სისტემის ფუნქციონირების გაგრძელების შესაძლებლობის ალბათობის განსაზღვრის საშუალებას გვაძლევს, რომელსაც ავიაციაში სასიცოცხლო მნიშვნელობის დატვირთვა გააჩნია. რთული სისტემის ამა თუ იმ შემადგენელი ელემენტის მტყუნების შემდეგ სისტემის ფუნქციონირების გაგრძელების

უნარი უსაფრთხოების უზრუნველყოფისა და საჰაერო ტრანსპორტის კატასტროფისაგან ხსნის ერთადერთ ალბათურ გარანტიას შეადგენს.

კვლევის ძირითად საგანს, რთული სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის პრინციპის დამუშავება წარმოადგენს.

ჩვენი მიზანია შევიმუშაოთ რთული სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის ზოგადი სქემა. ვთქვათ, სისტემა სიჭარბით N ელემენტისაგან შედგება [1]. ამ შემთხვევაში ერთი ან რამოდენიმე ელემენტის მტყუნებით ყოველთვის არ ხდება მთელი სისტემის მტყუნება. შემოვიღოთ სისტემის ელემენტების მდგომარეობის პარამეტრი $V_i(t), i=\overline{1,N}$:

$Vi(t),i= \{$	0, გამართული i-ური ელემენტის დროს t მომენტში 1, გაუმართავი i-ური ელემენტის დროს t მომენტში

ავღნიშნოთ i-იური ელემენტის გამომუშავება $Q(t)$-თი t მომენტში. მაშინ სისტემის მდგომარეობის ვექტორი იქნება

$$V(t) =\{ V_i(t); Q_i(t);\ldots V_N(t), Q_N(t)\}. \qquad (1)$$

თუ $V(t) \in A_o \subset A,$

სადაც A- არის სისტემების შესაძლო მდგომარეობის არე;

A_o- არის მტყუნების ქვეარე, მაშინ სისტემა ითვლება მტყუნებულად.

ვივარაუდოთ, რომ ახალი სისტემა ექსპლუატაციაში შევიდა t=0 მომენტში, ხოლო სისტემის მდგომარეობაზე დაკვირვება კი ხორციელდება $t_i=i\Delta t(i=1,2\ldots)$ მომენტებში. ამ დაკვირვების შედეგად ცნობილი ხდება $V(t_i)$ ვექტორი და არამტყუნებული ელემენტების გამომუშავება. მტყუნების შემდეგ, უახლოეს დაკვირვების მომენტში იწყება სისტემის აღდგენა ყოველთვის საწყის მდგომარეობაში. თუ $V(t_i) \in A_o$, მაშინ ან გრძელდება დაკვირვება $t_{i-1}= t_{i+}\Delta t$ მომენტში ან t_i მომენტში $V(t_i)$ ვექტორი ბრუნდება საწყის ნულოვან მდგომარეობაში – სისტემა პროფილაქტიკურად განახლდება. ვთვლით, რომ სისტემის აღდგენის დრო (ან ღირებულება) T_o და პროფილაქტიკის დრო (ან ღირებულება) T_2 მუდმივი სიდიდეებია. ვარაუდობთ, რომ $T_o>T_2$

სისტემის მდგომარეობის კონტროლის დრო (ღირებულება) ვთვლით, რომ ნულის ტოლია. სისტემის პროფილაქტიკის ან აღდგენის სამუშაოების დამთავრების მომენტები, ჩვენს ვარაუდებში არის რეგენერაციის – აღდგენის პროცესის რეგენერაციის მომენტები, რომელიც ახასიათებს სისტემის მდგომარეობას. რეგენერაციის მეზობელ მომენტებს შორის ინტერვალს ვუწოდოთ რეგენერაციის პერიოდი. ამიტომ, სისტემის მომსახურეობის სტრატეგიას განვსაზღვრავთ რეგენერაციის პერიოდისათვის. საძიებელი სტრატეგიისათვის შერჩევა განისაზღვრება სისტემის $\{V(t_k);Q(t_k)\}$ მდგომარეობის A არეს დაყოფით სამი A_o, A_1 და A_2 არგადამკვეთი ქვეარედ. თუ ვექტორი $\{V(t_k);Q(t_k)\}$ ხვდება A_0, A_1 და A_2 ქვეარეში, მაშინ ხორციელდება სისტემის აღდგენა, დაკვირვების გაგრძელება ან სისტემის პროფილაქტიკა. რადგანაც A_o ქვეარე წინასწარ განისაზღვრება, ამიტომ ამოცანა დაიყვანება A_1 და A_2 არეების ოპტიმალური (ქვემოთ შემოღებული კრიტერიუმის) განსაზღვრაზე.

შევჩერდეთ ოპტიმიზაციის კრიტერიუმზე. ვივარაუდოთ, რომ ჩვენ მოგვეცა რომელიმე სახით A_1 *და* A_2 არეების განსაზღვრის საშუალება. მაშასადამე, $\{V(t);Q(t)\}$ პროცესის A_1 არედან A_2 არეში ანუ A_0 არეში გადასვლის მომენტის განსაზღვრის საშუალება. თუ რეგენერაციის პერიოდზე A_1 არეში სისტემის ყოფნის დრო არის t, მაშინ რეგენერაციის პერიოდზე ხვედრითი ხარჯები იქნება.

$y=(A_0, A_1, A_2)=y_t$ {	T_2/t, თუ t მომენტში მოხდა A_2 არეში გადასვლა T_0/t, თუ t მომენტში მოხდა A_0 არეში გადასვლა

ქვეარეში სისტემის ყოფნის დრო t დამოკიდებულია (A_0, A_1, A_2) დაყოფისაგან და წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეებს. ჩვენი ამოცანა, ასეთ არეებს A_1^X და A_2^X განსაზღვრაში მდგომარეობს, რომლისთვისაც საჭიროა მივაღწიოთ

$$min\frac{M\{f_t(T_o,T_2)\}}{M\{f\}} \qquad (3)$$

სადაც $f_t(T_o,T_2)$ არის რეგენერაციის პერიოდზე დანახარჯები. იმ შემთხვევაში, როდესაც *t* სიდიდის შესაძლო ცვლილება მცირეა, შეიძლება გადავიდეთ მე-3 კრიტერიუმიდან მე-4 კრიტერიუმზე.

$$\tilde{Y}(A_o, A_1^x, A_2^x) = min\,\tilde{Y}(A_o, A_1, A_2) = A, A_1 A_2 \qquad (4)$$

სადაც $M[y_t] = \tilde{Y}(A_o, A_1, A_2)$

[2] არის ნაჩვენები, რომ მე-4 კრიტერიუმით *A* არეს ოპტიმალური დაყოფის წესი ისეთია, რომ ყოველი წერტილი, რომლისთვისაც სრულდება მე-5 უტოლობა

$$P\{\{V(t_k),Q(t_k)\} \in A_o/[\{V(t_i);\,Q(t_i))\},\;\; i=\overline{O,K-1}]\} \le \frac{T_2}{(T_o - T_2)(K-1)}, \qquad (5)$$

A_1^x არეს ეკუთვნის.

აღვნიშნეთ, რომ რთული სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის ოპტიმალური მართვის შემოთავაზებული სქემა შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ნებისმიერი სისტემისათვის, სახელდობრ: დატვრთული და დაუტვირთავი რეზერვის შემთხვევაში, სისტემის ელემენტების პარალელურ-მიმდევრობითი შეერთებისას, განშტოებული სქემების გამოყენებისას, აგრეთვე გამომუშავების მიხედვით სისტემის შემდგენელი ელემენტების ოპტიმალური მომსახურეობისა და სხვა შემთხვევაში.

1. დადგენილია, რომ ამჟამად შრომებში ოპერატორის ანუ ეკიპაჟის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის შეფასების სივრცეში ,,ადამიანის ფაქტორი'' რაოდენობრივი ფორმით არ არის გათვალისწინებული და რთული ტექნიკური სისტემა განიხილება მხოლოდ, როგორც სუფთა ტექნიკური სისტემა.

ამასთანავე, ოპერატორის მიზეზით მტყუნებამ შეიძლება მისი საერთო რიცხვიდან 70%-მდე შეადგინოს.

ჩამოყალიბებულია ახალი ამოცანის დაყენების ფორმა: ოპერატორის მიერ მართული საჰაერო ტარნსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის შეფასების მეთოდების დამუშავება,

ძირითადი პარამეტრის დადგენილ ნორმიდან შესაძლო გადახრის ზეგავლენის გათვალისწინებით.

2. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორის სწავლების პროცესის ახალი მოდელი, სწავლების თანამედროვე ტექნიკურ საშუალებებზე – საავიაციო ტრენაჟორებზე.

სწავლების არსებული მოდელისაგან განსხვავებით შემოთავაზებული მეთოდი რაოდენობრივი ფორმით ითვალისწინებს სწავლების პროცესში ინფორმაციის ნაკადის გარდაქმნის პროცესს.

მატრიცულ ფორმაში მოდელი გამოხატავს ურთიერთკავშირს $T_o=A_oT$ სასწავლო გეგმის T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_o მატრიცებს შორის, სადაც A_o – არის მისი მომზადების მატრიცა. მოდელი პირველად იძლევა სასწავლო გეგმის ცალკეული განყოფილებებისა და თემების ოპერატორის სწავლების ხარისხზე ურთიერთგავლენის აღრიცხვის საშუალებას.

2.1. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორის დონის ახალი მაჩვენებელი

მოტანილია, რომ ოპერატორის მომზადების დონისა და მის მიერ სასწავლო გეგმის ათვისების მაჩვენებელს დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_o მატრიცებს შორის $P(T,\ T_o)$ მანძილი წარმოადგენს.

$P(T,\ T_o)$-სთან დამატებით პირველად არის შემოთავაზებული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის მართვისადმი ოპერატორის მიდრეკილების (ნიჭიერების) მაჩვენებელი r^o. ნიჭიერების მაჩვენებელი მუშაობაში განისაზღვრება, როგორც კორელაციის – ურთიერთდამოკიდებულების კოეფიციენტი დავალების T მატრიცასა და ოპერატორის პასუხების T_o მატრიცებს შორის.

2.2. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის ოპერატორის სწავლების პროცესის დინამიკური მოდელი

მეთოდი, ოპერატორის საკვალიფიკაციო კატეგორიაზე ტესტირების პროცენტული წილის პროგნოზირების საშუალებას იძლევა. მასში

ჩადებულია სიახლე, ოპერატორის ამ წილის სტაციონალური მნიშვნელობის შეფასების ნაწილში.

2.3. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორის სწავლების დროს ცოდნის ათვისებისა და დაკარგვის პროცესების აღრიცხვის ახალი მოდელი

პირველად არის შემოთავაზებული და გამოკვლეული რაოდენობრივი დინამიკური მოდელი, რომელიც ცოდნის ათვისების, განვითარებისა და დაკარგვის, აგრეთვე სწავლების პროცესის ორგანიზებისა და აგების პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

3. დამუშავებულია ოპერატორის მიერ მართული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის ძირითადი ალბათური კრიტერიუმები

კრიტერიუმი წარმოადგენს ოპერატორის მიერ მართული რთული ტექნიკური სისტემის მასზე დაკისრებული ფუნქციის წარმატებით შესრულებას მუშაობის [O,T] დროის ინტერვალში.

ძირითადი კრიტერიუმი გამოსახულია ნამრავლის სახით $P=P_{БП}$ $P_{БА}$, აქ $P_{БП}$ – არის რთული ტექნიკური სისტემის უსაფრთხო მართვის ალბათობა, ხოლო $P_{БА}$ არის რთული ტექნიკური სისტემების უავარიო მუშაობის ალბათობა [O,T] მოცემული დროის ინტერვალში.

3.1. ***პირველად არის შემოთავაზებული საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის ოპერატორის მიერ უსაფრთხო მართვის ალბათური კრიტერიუმის $P_{БП}$ შეფასების მეთოდი***

წინამდებარე ნაშრომში ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდი დაფუძნებულია ოპერატორის მომზადების დონის მაჩვენებლისა და რთული ტექნიკური სისტემის მართვაში ოპერატორის ნიჭიერების დონის მაჩვენებლის გამოყენებაზე.

3.2. დამუშავებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის უავარიო მუშაობის ალბათური კრიტერიუმის შეფასების ახალი მეთოდი წონითი კოეფიციენტების გამოყენებით, რომელიც ითვალისწინებს რთული ტექნიკური სისტემის კომპენსაციის შესაძლებლობას.

მოტანილი მეთოდი საშუალებას იძლევა გამორიცხული იქნეს რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლის დაუსაბუთებელი შემცირება წონითი კოეფიციენტების გაუთვალისწინებლობის შემთხვევაში.

3.3 შემოთავაზებულია საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემის საიმედოობის გაანგარიშების განზოგადოებული მეთოდი.

მოდელი იყენებს განაწილების კლასიფიკაციას ,,დაბერებისა'' და ,,განახლების'' ნიშნით და ითვალისწინებს ვეიბულას განაწილების უნივერსალურ ხარისხს.

4. *ჩატარებული თეორიული გამოკვლევის საფუძველზე კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილების გაანგარიშება და მისი შეზღუდვის ინჟინრული მეთოდია დამუშავებული.*

4.1. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის ცდომილების გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდი.

მეთოდი პირველად გვაძლევს საშუალებას მარტივ ფორმით განვსაზღროთ კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის გაზომვის ცდომილება და მისი გამომწვევი მიზეზები. აგრათვე რადიოდევიაციის გამომწვევი მეორადი გამოსხივების პროპორციულობის კოეფიციენტების K_1 და K_2 დამოკიდებულება საჰაერო ტრანსპორტის კონსტრუქციაზე.

4.2. კუთხსაზომი რადიონავიგაციური სისტემის ცდომილების შეზღუდვის ინჟინრული მეთოდი.

მეთოდი პირველად გვაძლევს საშუალებას მივიღოთ რადიდევიაციის შეზღუდვის ეფექტური ინჟინრული გადაწკვეტილებები და ამით შესაძლო ფარგლებში მაქსიმალურად შევამციროთ რადიოსადგურის კურსის კუთხის გაზომვის ცდომილებები, რომელსაც უდიდესი მნიშვნელობა აქვს თვითმფრინავის დაფრენის ეტაპზე საიმედოობის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

4.3. საჰაერო ტრანსპორტის ნავიგაციისა და დაფრენის საბორტო რადიონავიგაციური სისტემების დარეზერვების ინჟინრული გადაწყვეტა.

დაფრენა, როგორც საჰაერო ტრანსპორტის ექსპლუატაციის პროცესის ყველაზე პრიორიტეტული ეტაპი, მითუმეტეს მაშინ, როდესაც ადგილი აქვს ინსტრუმენტალურ დაფრენას რთულ მეტეოროლოგიურ პირობებში, დაფრენის უსაფრთხოებაში გადამწყვეტი როლი დაფრენის რადიოტექნიკურ მოწყობილობას ეკუთვნის ეკიპაჟის პროფესიონალიზმთან ერთად. ამიტომ, უპრიანია ამ სისტემის დარეზერვების მეთოდის გამოყენება (ნახ.2).

ორი სისტემის ერთდროულად პარალელურად ჩართვის შემთხვევაში, ერთი სისტემის მწყობრიდან გამოსვლის დროს მუშაობას მეორე სისტემა იწყებს და პირიქით. მიუხედავად იმისა თუ რომელი სისტემა იქნება დინამიკურ რეჟიმში, დაფრენის პროცესი შეუფერხებლად განხორციელდება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ა.რურუა, თვითმფრინავების რადიომოწყობილობა, თბილისი, 1971.
2. ა.რურუა, ელექტრორადიოტექნიკური მოწყობილობების დაპროექტების საფუძვლები, თბილისი, 1971.
3. ა.რურუა, თვითმფრინავების ელექტრორადიომოწყობილობების დაპროექტება, მონტაჟი და გამოცდა, თბილისი, 1973.
4. ა.რურუა, საჰაერო ხომალდების რთული სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის მართვის პრინციპების შესახებ ,,ჟურნალი ,,ინტელექტი'' №2(25), 2006.
5. ა.რურუა, საჰაერო ტრანსპორტის რთული ტექნიკური სისტემების უსაფრთხო მართვის ზოგიერთი მაჩვენებლები. ჟურნალი ,,ინტელექტი'', 2006.
6. Руруа А.С. Разработка вероятностных критериев надежности сложных технических систем воздушного транспорта //В журн.“Georgian Engineering News”, №3, 2006.
7. Судаков Р.С. Матричные информационные модели. М.: МГАУ им. Горячкина, 1999.

   Буш. Э., Мостеллер Ф. Математическая теория обучения. М. Мир, 1965.
8. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. М.: Наука, 1984.
9. Васильев Б.В., Козлов Б.А., Ткаченко Л.Г. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств. «Сов. Радио», 1964.
10. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. «Сов. Радио», 1971.
11. Ушаков И.А. Методы решения простейших задач оптимального резервирования при наличии ограничений. «Сов. Радио», 1969.
12. Адамович Н.В. Управляемость машин. М.: Машиностроение, 1977.
13. Безопасность полетов./Под ред. Сакача Р.А., М.: Транспорт, 1993.
14. Основы моделирования сложных систем. Под ред. Кузьмина И.В., Киев, Наукова думка, 1981.
15. Катулев А.Н., Северцев Н.А. Исследование операций: принципы принятия решений и обеспечения безопасности. М.: Наука, 1999.

16. Калачев Г.С. Самолет, летчик и безопасность полета. М.: Машиностроение, 1979.
17. Москаленко В.Я., Обрубов А.Г., Предтеченский А.Н. Авиационные пилотажные стенды и тренажеры. М.: МАИ, 1973.
18. Коваленко И.Н., Москатов Г.К., Барзилович Е.Ю. Полумарковские модели в задачах проектирования систем управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973.
19. Дж. Мейстер, Дж. Рабидо. Инженерно-психологическая оценка при разработке систем управления./Пер. с англ., Сов. Радио, 1970.
20. Маньшин Г.Г., Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Методы профилактического обслуживания эргатических систем. М.: Минск, Наука и техника, 1983.
21. И.Т. Смирнов, - Монтаж и испытание электрооборудования самолетов, Москва, 1961 г.
22. Э.Г.Паленьи – Оборудование самолетов, Москва, 1968 г. М.Ф.Семичастов – Монтаж оборудования самолетов, Москва, 1955.
23. შ. ბებიაშვილი – საიმედოობის თეორიის საფუძვლები, თბილისი, 1969წ.
24. ო.ნამიჩეიშვილი – საიმედოობის თეორია, თბილისი, 1984 წ.
25. М.Г. Котик, А.В. Павлов, И.М. Машковский, Н.Г. Шитаев – Летные испытания самолетов, Москва, 1968г.
26. Д.Н. Сапиро – Авиационные электрические аппараты и механизмы, Москва, 1962 г.
27. Я.М. Сорин – Надежность радиоэлектронной аппаратуры, Москва, 1961 г.
28. Под. ред. Ю.А. Попова – Вопросы электроавтоматики и электрооборудования самолетов, Москва, 1962 г.
29. М.В. Гутовский – Пособие по проектированию и расчету елементов и систем авиационного электрооборудования, Москва 1961 г.
30. М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, А.С. Богачев – Авиационные радионавигационные устройства и системы, под ред. М.С. Ярлыкова, Москва, 1980 г.
31. В.А. Боднер – Авиационные приборы, Москва, 1969 г.

32. Л.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор - Авиационные приборы, Москва, 1964 г.
33. Энциклопедия современной техники, автоматизация производства и промышленная электроника, Москва, 1962 г.
34. Г.И. Ермулаев, А.Г. Гумулин, И.Л. Прагер, Е.В. Софронов – Основы радиолокации и радиолокационное оборудование летательных аппаратов, Москва, 1967 г.
35. С.Куюнджич, Методы и модели надежности и безопасности эксплуатации сложных технических систем воздушного транспорта, Москва.
36. Д.Н. Сапиро – Монтаж и испытание электрооборудования самолетов, Москва, 1969г.
37. С.Я. Авраменко – Надежность и контроль электрооборудования летательных аппаратов. Надежность электрооборудования. Ленинградский институт авиационного приборостроения, Ленинград, 1979 г.
38. Под редакцией К.Е. Полищука – Некоторые пути рационализации электрических сетей самолета, гос. изд. оборонной промышленности, Москва, 1975 г.
39. В.В. Мусатов – Расчет элементов и устройств электроэнергетических систем летательных аппаратов гражданской авиации, часть I, 1972 г.
40. В.В. Гутовский и др. – Пособие по проектированию и расчету элементов и систем авиационного оборудования, часть II, 1972 г.
41. В.В. Гутовский и др. – Пособие по проектированию и расчету элементов и систем авиационного оборудования, часть I, 1961 г.
42. В.В. Гутовский и др. – Пособие по проектированию и расчету элементов и систем авиационного оборудования, часть III, 1967 г.
43. А.И. Кубарев – Надежность в машиностроении, 1977 г.
44. М.А. Близавети – Повышение надежности машин, 1973 г.
45. Р.В. Кугель – Испытания машин на надежность, 1975 г.
46. И.М. Маламедов – Физические основы надежности, 1970 г.
47. Методические указания. Система сбора и обработки информации. Классификатор отказов и повреждения, 1974 г.

48. П.П. Гель – Конструирование самолетной радиоэлектронной аппаратуры, 1965 г.
49. В.В. Гутовский – Расчет и проектирование элементов и систем авиационного электрооборудования, 1967 г.
50. П.С. Давыдов и П.А. Иванов – Техническое диагностирование авиационного радиоэлектрооборудования, 1987 г.
51. С.Д. Данич – Спецоборудование летательных аппаратов, 1975 г.
52. Ц.Н. Липчин и Л.Ц. Липчин – Надежность самолетных навигационно-вычислительных устройств, 1973 г.
53. А.В. Михайлов – Точность радиоэлектронных устройств. Анализ и синтез точности радиоэлектронных устройств летательных аппаратов, 1976 г.
54. А.П. Петров – Радиолокационные характеристики летательных аппаратов, 1985 г.
55. В.М. Косих – Радиотехническое оборудование аэропортов и воздушных трасс гражданской авиации, 1979 г.
56. С.К. Совин – точность и работоспособность радиоэлектронных систем летательных аппаратов, 1988 г.
57. С.В. Моисеев – Моделирование элементов и систем электрооборудования летательных аппаратов, 1989 г.
58. С.В. Моисеев – Экономические критерии выбора радиоэлектронных комплексов самолетов, 1984 г.
59. С.В. Моисеев и др. – Совершенствование пилотажно-навигационного оборудования и его влияние на эффективность эксплуатации гражданской авиации, 1988 г.
60. М.К. Прохоров – Математические методы контроля качества и надежности, 1989 г.
61. А.М. Широков – Надежность радиоэлектронных устройств, Москва, 1972 г.
62. А.Ш. Николаев – Решение задач надежности и эксплуатации авиационного оборудования
63. А.Н. Синяков и др. – Методы исследования навигационных устройств летательных аппаратов, 1978 г.

სარჩევი