საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნინო ჯოჯუა

მტყუნებამდგრადი ტექნიკური სისტემების შექმნის პრობლემები და მათი გადაწყვეტის ეფექტური მეთოდები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2011

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტაქნიკურ უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის, კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის, კომპიუტერული სისტემების და ქსელების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ი. მიქაძე**

ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **რ.კაკუბავა**

ოფიციალური ოპონენტები: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ვ. ხოჭოლავა**

ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ზ. მიქაძე**

დისერტაციის დაცვა შედგება 2011 წლის ------ ------------------- --------- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი 6, აუდიტორია № 311.

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში(0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77), ხოლო ავტორეფერატისა სტუ–ს ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული

მდივანი ტ.მ.დ., პროფესორი თ. კაიშაური

ნაშრომის ზოგადი დახასითება

სადისერტაცი თემის აქტუალობა: საზოგადოების განვითარების დონე მჭიდროდ დაკავშირებული და განპირობებულია სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის მიღწევებით. შესაბამისად მეცნიერების მიღწევების ბაზაზე იქმნება რთული ტექნიკური და ტექნოლოგიური სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ადამიანის როგორც ფიზიკური, ისე გონებრივი შრომისნაყოფიერების მრავალჯერად გაზრდას.

რაც უფრო რთულია ამოცანები, რომელთა შესრულებაც ევალება ტექნიკურ სისტემას(ტს), მით უფრო რთულია ამ სისტემის და შემადგენელი კომპონენტების (ელემენტების) სტრუქტურა, მით უფრო დიდია კომპონენტების და მათ შორის კავშირების რაოდენობა. რამდენადაც არც ერთი ფიზიკური ობიექტი არ შეიძლება დამზადებული იქნეს აბსოლუტური სრულყოფილებით, ანუ უმცირესი დეფექტების გარეშე, ყოველთვის არის საშიშროება, რომ ეს დეფექტები გამოწვევენ ელემენტის პარამეტრების გადახრას და გარკვეული გარეგანი და შიანგანი შეშფოთებების პირობებში ამ ობიექტის მტყუნებას. მტყუნების საშიშროება ანუ მისი ალბათობა მით უფრო მატულობს, რაც უფრო გადის დრო, რადგანაც ფიზიკური ობიექტი ექვემდებარება ცვეთასა და დაბერების ბუნებრივ პროცესებს. კომპონენტთა რაოდენობის ზრდასთან ერთად იზრდება სისტემაში მტყუნებათა წარმოშობის ალბათობაც. ამ ალბათობის შესამცირებლად, ამ თვალსაზრისით, აუცილებელია, სულ უფრო მეტად საიმედო ელემენტების წარმოება, რომელიც თავის მხრივ შეზღუდულია თანამედროვე ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით.

მაშასადამე, რთული ტექნიკური სისტემების, მათ შორის კომპიუტერული სისტემების და ქსელების საიმედოობის ამაღლების პირაპირი გზაა შემადგენელი ელემენტების, მოწყობილობების და მათი დამაკავშირებელი ფიზიკური საშუალებების საიმედოობის ამაღლება. მაგრამ, ნებისმიერ ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებს აქვს ზღვარი. ამდენად, მტყუნებათა და შეფერხებათა შემთხვევითი მოვლენების აბსოლუტური აცილება შეუძლებელია. ამ დროს იყენებენ საიმედოობის

ამაღლების სხვადასხვა მეთოდებს სიჭარბის გამოყენებით, რომლებიც სისტემაში ბუნებრივად არსებობენ ან შეიყვანება დამატებით.

სიჭარბე სისტემაში შეიძლება იყოს აპარატურული, დროითი, ინფორმაციული.

აპარატურული სიჭარბე სისტემაში შეიტანება ელემენტების, მოწყობილობების ან სისტემის დარეზერვებით.

დროითი რეზერვი ნიშნავს, რომ ამოცანის გადაწყვეტის დრო ნაკლებია იმ ოპერატიულ დროზე, როდესაც საჭიროა გადაწყვეტის შედეგის გამოყენება.

დროის არსებული რეზერვის გამოყენება შეიძლება ამოცანის ან მისი დამახინჯებული ნაწილის (ეტაპის) ხელახალი გათვლისათვის.

ინფორმაციული სიჭარბის გამოყენება შიძლება იმ შემთხვევაში თუ მონაცემებში არსებობს (ან ხელოვნურად შეტანილია) ისეთი ინფორმაცია, რომელიც უშუალოდ გათვლისათვის არ არის აუცილებელი, მაგრამ მუშავდება მონაცემთან ერთად და საშუალებას იძლევა გაკონტროლდეს ჩატარებული ოპერაციების შედეგები.

ცნობილია, რომ ანალიზური მოდელები რთული ტს–ის ძნელი გამოსაყენებელია, რადგანაც მკვეთრად იზრდება პარამეტრების რაოდენობა და უკიდურესად რთულდება მათემატიკური მოდელი. მაგრამ, ადეკვატური მოდელების შემთხვევაში, ისინი მკაფიო წარმოდგენას იძლევიან ობიექტის ძირითადი მახასიათებლების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ურთიერთდამოკიდებულებების შესახებ, მათ შორის საიმედოობის მახასიათებლების შესახებ. ამდენად ანალიზური მოდელების გამოყენება მიზანშეწონილია ტს-ის პროექტირების საწყის სტადიაში, როდესაც განისაზღვრება ობიექტის სტრატეგიული პარამეტრები და თვისებები, ხდება ვარიანტების ურთიერთშედარება და შეჯერება.

მოცემული ნაშრომი ეხება კომპიუტერულ სისტემებში და ქსელებში სტრუქტურული და დროითი რეზერვების გამოყენებას გარკვეული ტიპიური, პრაქტიკული პრობლემების გადასაწყვეტად. შემუშავებულია შესაბამისი ანალიზური მოდელები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მოხდეს დასაპროექტებელი ობიექტების საიმედოობის მაჩვენებლების დადგენა, შეფასება და გათვალისწინება.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ნაშრომში დამუშავებული საკითხები აქტუალურია და გააჩნიათ სათანადო პრაქტიკული ღირებულებები.

კვლევის მიზანი. სადისერტაციო თემის მიზანს წარმოადგენს რთულ ტექნიკურ სისტემებში, განსაკუთრებით კომპიუტერულ სისტემებში და ქსელებში ამოცანათა გადაწყვეტის საიმედოობის ალბათური შეფასებების ანალიზური მოდელების შექმნა სტრუქტურული და დროითი რეზერვების გამოყენების პირობებში.

აქიდან გამომდინარე, ნაშრომის ძირითადი ამოცამებია:

— კომპიუტერულ სისტემებში და ქსელებში მტყუნებების წარმოშობის მიზეზების, მათი სახეების და შეფასების საშუალებების ანალიზი;

— კომპიუტერულ სისტემებში და ქსელებში სტრუქტურული და დროითი რეზერვების გამოყენების პრინციპების ანალიზი;

— კომპიუტერულ სისტემებში და ქსელებში ამოცანათა გადაწყვეტის საიმედოობის მაჩვენებლების გათვლის ანალიზური მოდელების დამუშავება;

— **კვლევის იბიექტი.** რთული ტექნიკური ობიექტები, განსაკუთრებით კომპიუტერული სისტემები და ქსელები.

სამეცნიერო სიახლე. სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული ანალიზური მოდელები საშუალებას იძლევიან კომპიუტერული სისტემებში და ქსელებში შეირჩეს აპარატურის საიმედოობის ისეთი მახასითებლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამოცანათა ამოხსნის შედეგების მაღალ სარწმუნოობას.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომში გამოყენებულია ალბათობის თეორიის, საიმედოობის თეორიის, დიფერენციალურ და ინტეგრალურ განტოლებათა თეორიის, ოპერატიული აღრიცხვის მეთოდები.

პრაქტიკული ღირებულება. სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს იმაში, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია, დაპროექტების ადრეულ სტადიაში

განისაზღვროს ამოცანის ამოხსნის სარწმუნოობის ის დონე, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის ფუნქციონირების მოთხოვნილ ეფექტიანობას.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო თემის გარკვეული ნაწილი მოხსენებულია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია"ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008", მოხსენებათა კრებული, თბილისი, 2008 წ.

კონფერენცია მიძღვნილი აკადემიკოს ივერი ფრანგიშვილის და-ბადების 80 წლისთავისადმი, მოხსენებათა კრებული, თბილისი, 2010 წ.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემის მიმართულებით გამოქვეყნებულია ექვსი ნაშრომი სეს-ის მიერ რეკომენდებულ სამეცნიერო ჟურნალებში.

ნამუშევრის შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა და გამახვილებულია ყურადღება იმაზე, რომ რთული ტექნიკური სისტემების ეფექტიანობის ერთ–ერთი ძირითადი მახასიათებელია საიმედოობა. განსაზღვრულია სამუშაოს მიზანი, კვლევის მეთოდები და შედეგების პრაქტიკული ღირებულებები.

პირველ თავში განხილულია რთული ტექნიკური სისტემების საიმედობის მაჩვენებლების შერჩევის საკითხები, როდესაც სისტემაში მიმდინარე ამოცანები მტყუნებების გამო ექვემდებარება დამახინჯებებს.

აღნიშნულია, რომ საიმედობის იმ მახასიათებლების გამოყენება, რომლებიც ვარგისია მარტივი ნაკეთობებისათვის მიზანშეუწონელია რთული სისტემებისათვის. ითვლება, რომ მარტივ ნაკეთობებში ყოველი ელემენტის მტყუნება იწვევს ნაკეთობის მტყუნებას, რთულ სისტემებში ეს არ დასტურდება, რამდენადაც სისტემებს გააჩნიათ ფუნქციონალური სიჭარბე და შესაძლებელია გარკვეული დანაკარგებით, მაგრამ ამოცანის ბოლომდე შესრულება. ამიტომ ფუნქციონალურად რთული სისტემებისათვის მტყუნების ცნების ჩამოყალიბება ჩვეულებრივი გაგებით შეუძლებელია.

მაგრამ, ამ ცნების გარეშეც სისტემის საიმედობის შეფასება შეუძლებელია. ამიტომ ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა განისაზღვროს თუ რა იგულისხმება მტყუნების ქვეშ.

ითვლება, რომ მუშაობის ხარისხის ყველაზე მიზანშეწონილ და ზოგად კრიტერიუმად, რომელიც მოიცავს საიმედობასაც, უნდა იყოს სისტემის ეფექტიანობა.

როგორც აღნიშნულია ლიტერატურაში, საინჟინრო ფორმულები ეფექტიანობის შეფასებისათვის საკმაოდ რთულია და ძნელად გამოსაყენებელი. ამიტომ, შეფასებები ძირითადად წარმოებს უცაბედი მტყუნებების ინტენსივობების (λ–მახასიათებლების) გასაშუალებული სიდიდეების საფუძველზე.

საჭიროა, საწყისი მომენტიდან დამპროექტებელმა სისტემის საიმედობის მაჩვენებლები ისე გადაანაწილოს ქვესისტემების, კვანძების და ელემენტების საიმედობაზე, რომ დაკმაყოფილდეს დამკვეთის მოთხოვნები, ამასთან მინიმალური დანახარჯებით.

ამ მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად მიზანშეწონილია და ბევრ შემთხვევაში აუცილებელი ანალიზური მოდელების გამოყენება. ამასთან, მხოლოდ უცაბედი მტყუნებების მოდელებიც კი იძლევიან იმის მტკიცების საშუალებას, რომ სისტემის ეფექტიანობა არ იქნება მოცემულზე ნაკლები.

როგორც აღნიშნული იყო, ყველაზე სრულყოფილად სისტემის საიმედობას ასახავს ფუნქციონალური საიმედობა, რაც გამოიხატება აპარატურულ-პროგრამული კომპლექსის მიერ ამოცანათა კორექტული შესრულების ალბათობაში. ამიტომ, მიზანშეწონილია ნამუშევრის ან მისი ნაწილების შესრულების დროის შეთანხმება აპარატურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროსთან.

დამახინჯებული ნამუშევრის ან მისი ფრაგმენტის გამეორებითი შესრულება დანაკარგების გარეშე შეიძლება იმ შემთხვევაში თუ არსებობს დროის რაიმე მარაგი(სიჭარბე), რომელიც წარმოადგენს სხვაობას ოპერატიულ (დირექტიულ) დროს – t და ამოცანის შესრულების მინიმალურად საჭირო დროს $t_ა$ -ს შორის – $t - t_ა > 0$.

დროითი რეზერვების მქონე სისტემებისათვის მტყუნება დგება მაშინ, როდესაც დროის დანაკარგები ნამუშევრის აღდგენაზე აჭარბებს დროის მარაგს.

მოცემულ სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია რამდენიმე მოდელი, რომლებიც იძლევიან სისტემის ფუნქციონალური საიმედობის შეფასების საშუალებას სხვადასხვა ხასიათის მტყუნებების პირობებში.

მეორე თავში დასაბუთებულია, რომ სტრუქტურული რეზერვირების გამოყენება დაკავშირებულია რთული ტექნიკური ობიექტების მმართველი სისტემების სინთეზის ძირითად მეთოდებთან: ვარიანტული – საუკეთესო ვარიანტის არჩევა ეფექტიანობის განზოგადოებული მაჩვენებლის მიხედვით, ან კერძო მაჩვენებლების მიხედვით, როდესაც საჭირო ხდება გადაწყვეტილებათა მიღების მრავალკრიტერიული მოდელის აგება და მისი გამოკვლევა.

სტრუქტურული რეზერვირებ, როგორც სტრუქტურული მართვის ორგანიზაცია საჭიროებს შემდეგი ფუნქციების განხორციელებას.

<u>ტექნიკური დიაგნოსტიკის</u> ფუნქცია – ეს არის სტრუქტურული მართვის კონტურის ინფორმაციული ფუნქცია და ის მოიცავს: ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის დადგენას, მდგომარეობის ცვლილების ადგილის ლოკალიზაცია, ცვლილების სახეობისა და სიღრმის შეფასება.

<u>ობიექტის სტრუქტურის რეკონფიგურაციის</u> ფუნქცია, რაც მოიცავს: ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებას, ობიექტის დასაშვები სტრუქტურის საუკეთესო ვარიანტის არჩევას, სისტემის რეკონფიგურაციას და შედეგების კონტროლს.

<u>ავარიული დაცვის</u> ფუნქცია მოიცავს: ობიექტის მტყუნების შეფასებას, ავარიული მტყუნებისას – მისი არეალის ლოკალიზაციას, სისტემის გადაყვანას შესაძლებელ ქმედუნარიან მდგომარეობაში ან მტყუნებულ მდგომარეობაში.

<u>რეზერვების მართვის</u> ფუნქცია, რაც მოიცავს: სარეზერვო ელემენტების შერჩევას, მათ ჩართვას, დარეზერვების შედეგების კონტროლს.

<u>ტექნიკური მომსახურების</u> ფუნქცია ტექნიკური მომსახურების პროფილაქტიკური სამუშაოებისა და რემონტის ჩატარებას, სამუშაოების შედეგების კონტროლს.

სტრუქტურის შეშფოთებები ახასიათებს როგორც მართვის ობიექტს, ასევე მართვის კონტურების აპარატურულ და პროგრამულ

საშუალებებს, ამიტომ მიზანშეწონილია ისინი განხილულ იქნას ერთიანად, როგორც სტრუქტურული მართვის ობიექტი, ხოლო ობიექტის საიმედოობის უზრუნველყოფის ღონისძიებათა ერთობლიობა, ჩამოყალიბდეს როგორც სტრუქტურული მართვის ამოცანა.

მითითებულია, რომ მართვის ჩალაგებული სტრუქტურების გამოყენება ზრდის სისტემის საიმედოობას, ჩალაგების სიღრმე შეზღუდულია ტექნიკური და ეკონომიკური მიზანშეწონილობით. ამასთან, არსებითად მნიშვნელოვანია სტრუქტურული მართვის კონტურებს შორის ურთიერთქმედების ორგანიზაცია.

სისტემების ფუნქციონირების ხარისხი და საიმედოობა, როგორც აღიარებულია, 70-80%-ით განისაზღვრება, დაპროექტების სტადიაზე. საპროექტო გადაწყვეტილების ხარისხის მაჩვენებელი უწოდებენ ეფექტიანობის მაჩვენებელს და დაუკავშირებულია ცვლადებთან: ტექნიკური პარამეტრები (ფუნქციათა x_1 ვექტორი), ექსპლუატაციის პირობები (ფუნქციათა x_2 ვექტორი), საიმედოობის მაჩვენებელი R და t დროზ (კალენდარული ან სამუშაო დრო). ქიდან გამომდინარე ანალიზური დაპროექტების ამოცანა შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს:

$$E[F(\vec{\mathbf{x}}_1,\ \vec{\mathbf{x}}_2,\ R,\ t)] \rightarrow \max \qquad (\vec{\mathbf{x}}_1,\ \vec{\mathbf{x}}_2)\ \in Q,$$

სადაც დასმულია ეფექტიანობის F მაჩვენებლის მაქსიმიზაციის ამოცანა, E არის მათემატიკური მოლოდინის სიმბოლო.

განხილულია რთული სისტემის ძირითადი და დამხმარე მოწყობილობათა საიმედოობის თანაფარდობის დადგენის საკითხი. ნაჩვენებია, რომ მართვის ობიექტის მოცემული საიმედოობის პირობებში მმართველი სისტემის საიმედოობის გაზრდა ეფექტურია მხოლოდ გარკვეულ ზღვრამდე(არის შესაბამისი გრაფიკი).

მითითებულია, რომ საიმედოობის ტრადიციული მაჩვენებლების გარდა(მტყუნებამდე საშუალო ნამუშევარი, მზადყოფნის კოეფიციენტი და სხვა) მნიშვნელოვანია ისეთი ინტეგრალური მაჩვენებლის შემოტანა, როგორიცაა საიმედოობის გავლენა სისტემების ფუნქციონირების ხარისხზე და ეფექტიანობაზე.

ქსელური სისტემებისათვის გამოიყენება სამი მახასიათებელი: პირველი მომსახურების ხარისხის დაქვეითება ქსელში; მეორე -

მუშაობისუუნარო პერიოდის ხანგრძლივობა (მოცდენა); მესამე - მტყუნების გავლენის მასშტაბები ქსელში. ამათგან, ყველაზე მტკივნეულია მოცდენის დრო, რომლის მნიშვნელობა გარკვეული დონის შემდეგ მიუღებელია.

ამგვარად, ცხადი ხდება მტყუნებული ტექნიკური სისტემების და მათი კომპონენტების მოცდენის ხანგრძლივობის ზუსტი ალბათური ანალიზის აქტუალობა.

ქვემოთ განხილულ მოდელებში კვლევის ობიექტად გამოყენებულია კომპიუტერული სისტემები, მაგრამ მოდელები გამოსადეგია ნებისმიერი ნაკეთობებისათვის.

მოდელი 1. განვიხილულია სისტემა, რომელიც შედგება: ორი ელემენტისგან - ძირითადი და სარეზერვო; აღდგენის ორგანო, რომელიც აგრეთვე წარმოადგენს სარეზერვო ელემენტის გადამრთველს; ორგანიზებულია ძირითადი ელემენტის მუშაობისუნარიანობის უწყვეტი, იდეალური კონტროლი, რომელიც მყისიერად აღმოაჩენს მის მტყუნებას. ძირითადი ელემენტის მტყუნების შემდეგ მის ადგილზე ჩაირთვება სარეზერვო, თუ ის ამ მომენტში იმყოფება გადართვის მზდყოფნის მდგომარეობაში (მდგომარება I), მტყუნებული კი გადაიცემა აღდგენაზე.

თუ, სარეზერვო არ იმყოფება გადართვის მზადყოფნის მდგომარეობაში (მდგომარეობა II), მაშინ ეს უკანასკნელი გადაირთვება I მდგომარეობაში გადასვლის შემდეგ. სისტემის მტყუნება დგება ძირითადი ელემენტის მტყუნების დროს. დავარქვათ პირველ ტიპს მტყუნება იმისა, რომელიც წარმოიქმნება სარეზერვო ელემენტის I მდგომარეობის დროს. ანალოგიურად შეიტანება მეორე ტიპის მტყუნების ცნება.

სისტემის მდგომარეობას მტყუნების მომენტიდან სარეზერვო ელემენტის ძირითადის ადგილზე ჩართვამდე, დავარქვათ სისტემის მოცდენა.

შემოვიტანოთ აღნიშვნები: $X_i^{(K)}$- უმტყუნო მუშობის ხანგრძლივობა (ნამუშევარი) პირველ მტყუნებამდე - ძირითადი ელემენტისათვის $(K = 1)$ და სარეზერვო ელემენტისათვის $(K = 2)$.

$X_i^{(K)}, \quad i \geq 2$ - ანალოგიური სიდიდეები, დაწყებული პირველი აღდგენიდან

$$D_1^{(K)}(t) = P\left\{X_1^{(K)} < t\right\}, \qquad k = 1,2$$

$$D^{(k)}(t) = D_i^{(K)} = P\left\{X_i^{(K)} < t\right\}, \qquad i \geq 2, \quad k = 1,2$$

დაწერილი ნიშნავს, რომ ყველა, დაწყებული $i = 2$ -დან, გააჩნიათ ერთნაირი განაწილება ყოველი $(K = 1)$ და $(K = 2)$-თვის, ე.ი. მხოლოდ პირველი ნამუშევრები $X_1^{(1)}$ და $X_1^{(2)}$, როგორც ძირითადი ისე სარეზერვო ელემენტებისათვის, განსხვავდება ყველა შემდგომი ნამუშევრებისაგან ალბათური თვალსაზრისით.

$Y_i^{(k)}$ K-ური ელემენტის $(K = 1,2)$ აღდგენის ხანგრძლივობაა i-ური მტყუნების შემდეგ.

$$G(t) = G_i^{(k)}(t) = P\left\{Y_i^{(k)} < t\right\}, \quad i \geq 1, \quad k = 1,2$$

ე.ი. აღდგენის ყველა ხანგრძლივობები, როგორც ძირითადი ისე სარეზერვო ელემენტისათვის, ერთობლიობაში გააჩნიათ ერთნაირი განაწილება.

$R_j(\tau)$ - შემდეგი მოვლენის ალბათობაა: $R_j(\tau)$ { τ სიგრძის დროითი მონაკვეთის ბოლოს სარეზერვო ელემენტი მზადაა გადართვისათვის; ამ მონაკვეთის დასაწყისში - $\tau = 0$, დაიწყო მისი ნამუშევარი $(j = 0)$, ან აღდგენა $(j = 1)$}.

$q_j(t, u)du$ - შემდეგი მოვლენის ალბათობაა: $B_j(t, u, du)$ ={ τ სიგრძის დროითი მონაკვეთის ბოლოში სარეზერვო ელემენტი არ არის გადართვის მზადყოფნის მდგომარეობაში; მისი ამ მდგომარეობაში მოყვანის დრო η_τ მოთავსებულია $[u, u + du]$.

ყოველი i-ური რეგენერაციული ციკლი წარმოადგენს ორი შემთხვევითი სიდიდის ჯამს: $X_i + Y_i$, სადაც $X_i = X_i^{(k)}$, Y_i ხოლო აღნიშნავს სისტემის i-ური მოცდენის შემთხვევით ხანგრძლივობას. რეგენერაციის ყოველ ციკლს, პირველის გარდა, გააჩნია ერთნაირი განაწილება.

რეგენერაციის ამ ციკლებს (ე.ი. დაწყებული მეორედან) და სისტემის მოცდენის ხანგძლივობას ასეთ ციკლებში დავარქვათ ტიპიური.

ნაშრომის ჩარჩოებში $X_i,\ i \geq 1$ განაწილება ცნობილია. ისახება მიზანი: განისაზღვროს Y_1 და $Y_i,\ i \geq 2$ შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების ფუნქცია.

მოცდენის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია სარეზერვო ელემენტის მდგომარეობაზე ძირითადის მტყუნების მომენტში და სარეზერვო ელემენტის მდგომარეობაზე ციკლის დასაწყისში. აღვნიშნოთ Y_i განაწილების პირობითი ფუნქცია შემდეგით:

$$G_j(\tau, t) = P\{Y_i < t | X_i = \tau\},\ \ i \geq 2, j = 0,1$$

თუ რეგენერაციის ციკლის დასაწყისი ემთხვევა ძირითადი ელემენტის ნამუშევრის დასაწყიის, მაშინ $j = 0$, სხვაგვარად $j = 1$.

დავიწყოთ $G_j(\tau, t)$ განსაზღვრა.

დებულება 1. ფუნქცია $G_j(\tau, t)$ გამოისახება შემდეგი წესით

$$G_j(\tau, t) = R_j(\tau) \cdot F(t) + \int_0^t q_j(\tau, u) \cdot F(t - u) du \tag{1}$$

დამტკიცება: (1) ფორმულა მიღირება შემდეგი ალბათური თვალსაზრისით: თუ ძირითადი ელემენტის მტყუნების მომენტში τ სარეზერვო მუშაობისუნარიანია – მოვლენა $B_j(\tau)$ (ალბათობაა$R_j(\tau)$), მოცდენის დრო ემთხვევა სარეზერვოს გადართვის დროს (განაწილების ფუნქციით $F(t)$). შემდეგ, თუ ძირითადი ელემენტის მტყუნების მომენტში τ სარეზერვო არ არის მზად და ასეთ მზადყოფნამდე დარჩენილ დროის ხანგრძლივობა არის $\eta_\tau \in [u, u + du]$-ეს $B_j(\tau, u, du)$ მოვლენაა (ალბათობაა $q_j(\tau, u, du)$), მაშინ $Y_i,\ i \geq 1$პირობითი განაწილების ფუნქცია ტოლია (სიზუსტით $0\ (du)$):

$$q_j^{(2)}(\tau, u) \cdot F(t - u) du$$

u ცვლადის ყველა მნიშვნელობების გათვალისწინებით გვექნება:

$$\int_0^t q_j^{(2)}(\tau,u)F(t-u)du \tag{8}$$

ეს უკანასკნელი წარმოადგენს Y_i (დუბლირებული სისტემის მოცდენა) განაწილების პირობით ფუნქციას. II ტიპის მტყუნება შემდეგ მოცდენის დრო წარმოადგენს ჯამს დარჩენილი დროისა (I მდგომარეობაში მოხვედრამდე) η_τ და შემდგომი გადართვისა. ალბათობა მოვლენისა $\{\eta_\tau + \xi < t\}$ ტოლია (2), რომელიც წარმოადგენს (1) მარჯვენა მხარის მეორე წევრს.

დებულება დამტკიცებულია.

შედეგად ვღებულობთ დუბლირებულის სისტემის მოცდენის ხანგრძლივობის უპირობო განაწილების ფუნქციას

$$G_j(t) = \int_0^\infty G_j(\tau,t)dD^{(1)}(\tau) \tag{3}$$

როგორც (1)-დან ჩანს განაწილების ფუნქციები (პირობითი და უპირობო) დამოკიდებულია $R_j(\tau)$ და $q_j(\tau,u)$ გამოსახულებებზე, რომლებიც განისაზღვრებიან სარეზერვო ელემენტის მუშაობისუნარიანობის კონტროლის და დიაგნოსტიკის თავისებურებებით.

მოდელი 2. მრავალ შემთხვევაში გასამმაგებული სისტემის ფუნქციონირების პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი სახით.

სისტემაში არსებობს აღმდგენი (გადამრთველი) ორგანო (აო). ძირითადის მტყუნების შემთხვევაში მის ადგილზე გადაირთვება ერთ-ერთი მუშაობისუნარიანი სარეზერვო ელემენტი, თუ ორივე ელემენტი მუშაობისუნარიანია. თუ ძირითადის მტყუნების დროს ორივე სარეზერვო ელემენტი მუშაობისუუნაროა, მაშინ ერთ-ერთის აღდგენის შემდეგ ის გადაირთვება ძირითადის ადგილზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ძირითადის მტყუნების მომენტში ერთ-ერთი სარეზერვო ელემენტი მუშაობისუნარიანია, ხოლო მეორე აღდგენაშია, მაშინ ჯერ მთავრდება აღდგენა, ხოლო შემდეგ ხდება მისი გადართვა ძირითადის ადგილზე.

სისტემაში როგანიზებულია როგორც ძირითადი, ისე სარეზერვო ელემენტების მუშაობისუნარიანობის უწყვეტი, იდეალური ცონტროლი.

ამრიგად, ძირითადი ელემენტის მტყუნების მომენტში სარეზერვო ელემენტების ქვესისტემა შეიძლება იყოს შემდეგ მდგომარეობებში:

პირველი - ორივე ელემენტი მუშაობისუნარიანია;

მეორე - ერთი ელემენტი მუშაობისუნარიანია, მეორე აღდგენაში;

მესამე - ორივე ელემენტი მუშაობის უუნაროა, ერთ-ერთი აღდგენაშია.

ძირითადი ელემენტის მტყუნების შემდეგ დგება სისტემის მტყუნება. სარზერვო ელემენტების ქვესისტემის მდგომარეობებზე დამოკიდებულებით, შესაბამისად გვექნება I, II და II ტიპის მტყუნებები.

მოცდენებიც იყოფა სამ ტიპად. I ტიპის მოცდენის ხანგრძლივობა ემთხვევა სარეზერვო ელემენტის გადართვის ხანგრძლივობას. მოცდენის დამთავრების შემდეგ, სარეზერვო ელემენტების ქვესისტემა იმყოფება მეორე მდგომარეობაში და მტყუნებული ელემენტის აღდგენა იწყება. II ტიპის მოცდენის ხანგრძლივობა წარმოადგენს ორი შემთხვევითი სიდიდის ჯამს: აღდგენის დარჩენილი დროის და შემდგომი გადართვის დროს. იგივე ეხება III ტიპის მოცდენას.

ორივე შემთხვევაში ერთი მუშაობისუუნარო ელემენტის აღდგენა მხოლოდ იწყება.

გასამმაგებული სისტემის ფუნქციონირების პროცესი აღიწერება ციკლების მიმდევრობით $\{(X_n + Y_n),\ n > 1\}$, სადაც X_n სისტემის უმტყუნო მუშაობის ხანგრძლივობაა, ხოლო Y_n მოცდენის ხანგრძლივობა.

ამასთან $X_n,\ n \geq 1$ ერთანაირად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდეებია და ისინი ემთხვევიან ძირითადი ელემენტის უმტყუნო მუშაობის შემთხვევით ხანგრძლივობას.

რაც შეეხება $Y_n,\ n \geq 1$, ისინი დამოკიდებულია, როგორც ციკლის საწყის მდგომარეობაზე (მუშაობისუუნარო სარეზერვო ელემენტების რაოდენობა), ასევე $X_n,\ n \geq 1$ სიდიდეზე.

აღვნიშნოთ მოცდენის ხანგრძლივობის პირობითი განაწილების ფუნქცია შემდეგით $G_i(t_r) = P\{Y_n < t|(X_n =\}$ ციკლის დასაწყისში სარეზერვო ელემენტები იმყოფება i მდგომარეობაში $n \geq 2$, $i = 0,1$. მათ ვუწოდოთ i სახის ციკლები.

ყველა ციკლი შესაძლებელია პირველის გარდა და იქნება „0“ ან „1“ სახის. დავარქვათ მათ ტიპიური ციკლები.

ამრიგად, „0“ სახის ციკლი იწყება ორი მუშაობისუუუნარო სარეზერვო ელემენეტიდან ერთ-ერთის აღდგენით, ხოლო „1“ ტიპის ციკლი - ერთი მუშაობისუუნარო ელემენტის აღდგენით.

შემოვიტანოთ აღნიშვნა: $X_n^{(k)}$, $i \geq 1$ - n-ური უმტყუნო მუშაობის ხანგრძლივობა ძირითადი $k = 1$ და საერეზერვო ელემენტებისათვის $(k = 2,3)$

$D_k(t) = D_n^{(k)}\{X_n^{(k)} < t\}$, $k = 1,2,3$

$Y_n^{(k)}$, $i \geq 1$ - K -ური ელემენტის n -ური აღდგენის ხანგრძლივობა

$$G(t) = \int_0^t g(u)dv = G_n^{(k)}(t) = P\left\{Y_n^{(k)} < t\right\} \quad k = 1,2,3; \quad n \geq 1$$

იგულისხმება, რომ

$$D^{(1)}(t) = \begin{cases} 0, & \text{როცა } t \leq 0 \\ 1 - e^{\alpha t} & \text{როცა } t > 0 \end{cases} \qquad D^{(2)}(t) = \begin{cases} 0, & \text{როცა } t \leq 0 \\ 1 - e^{\beta t} & \text{როცა } t > 0 \end{cases}$$

ძირითადი და სარეზერვო ელემენტები ამტყუნებენ ინტენსივობით α და β.

$Z_{n'}$ $n \geq 1$ - n -ური გადართვის ხანგრძლივობა.

$F(t) = F_n(t) = P\{Z_n < t\}$

$R_{i0}(t) = P\{t$ დროის მომენტში სარეზერვო ელემენტები იმყოფება 0 მდგომარეობაში. $t = 0$მომენტში ის იმყოფებოდა i მდგომარეობაში }
$i = 0,1,2;$

$q_{ij}(t,u)du = P\{t$ დროის მომენტში სარეზერვო ელემენტების ქვესისტემა იმყოფება j მდგომარეობაში. ერთი ელემენტი აღდგენაშია:

აღდგენის დარჩენილი დრო $\eta(t) \in (u, u+du)$. დროის $t=0$ მომენტში ის იმყოფებოდა i მდგომარეობაში } $i=0,1,2;$ $j=1,2$.

მოცდენის ორი ტიპის ხანგრძლივობების განაწილების საძიებო ფუნქციისათვის ვღებულობთ შემდეგ გამოსახულებას

$$G_i(\tau,t) = R_{i0}(\tau)\cdot F(t) + \int_0^t [q_{i1}(\tau,v) + q_{i2}(\tau,v)]F(t-v)dv \tag{4}$$

ან ოპერაციულ ფორმაში ლაპლასის გარდაქმნის შემდეგ

$$G_i(t) = \int_0^\infty G_i(t,\tau)dD^{(1)}(\tau) = \int_0^\infty \alpha e^{-\alpha\tau} G_i(\tau,t) = \alpha\cdot \overline{G}(\alpha,s) \tag{5}$$

I და II ტიპის მოცდენების განაწილების ფუნქცია (უპირობო) მიიღება (4)-ის ინტეგრირებით $[0,\infty)$ ზღვრებში

$$G_i(t) = \int_0^\infty G_i(t,\tau)dD^{(1)}(\tau) = \int_0^\infty \alpha e^{-\alpha\tau} G_i(\tau,t) = \alpha\cdot \overline{G}(\alpha,s)$$

ოპერეციულ ფორმაში

$\overline{G}_i(s) = \alpha\overline{\overline{G}}_i(\alpha,s)$; $R_{i0}(t)$ და $q_{ij}(t,u)$ ფუნქციების მიმართ დგება

ვოლტერის II ტიპის ინტეგრალური განტოლებები

$$\left.\begin{aligned}
R_{00}(t) &= e^{-2\beta t} + \int_0^t 2\beta e^{-2\beta u}\cdot R_{10}(t-v)dv \\
R_{10}(t) &= \int_0^t g(v)\cdot e^{-\beta v}\cdot R_{00}(t-v)dv + \int_0^t g(v)(1-e^{-\beta v})\cdot R_{10}(t-v)dv \\
R_{20}(t) &= \int_0^t g(v)\cdot R_{10}(t-v)dv
\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

$$\left.\begin{aligned}
q_{01}(t,u) &= \int_0^t 2\beta e^{-2\beta v}\cdot q_{11}(t-v,u)dv \\
q_{02}(t,u) &= \int_0^t 2\beta e^{-2\beta v}\cdot q_{12}(t-v,u)dv \\
q_{11}(t,u) &= g(t+u)e^{-\beta t} + \int_0^t g(v)e^{-\beta v}\cdot q_{01}(t-v,u)dv + \int_0^t g(v)(1-e^{-\beta v})\cdot q_{11}(t-v,u)dv \\
q_{12}(t,u) &= \int_0^t g(v)e^{-\beta v}\cdot q_{02}(t-v,u)dv + \int_0^t g(v)(1-e^{-\beta v})q_{12}(t-v,u)dv \\
q_{21}(t,u) &= \int_0^t g(v)\cdot q_{11}(t-v,u)dv \\
q_{22}(t,u) &= g(t+u) + \int_0^t g(v)\cdot q_{12}(t-v,u)dv
\end{aligned}\right\} \tag{7}$$

(6) და (7) სისტემებში t ცვლადით (ოპერაციული ცვლადი ω) ლაპლასის გარდქმნაზე გადასვლის შემდეგ ვღებულობთ

$$\left.\begin{aligned}
&\bar{R}_{00}(\omega)=\frac{1}{\omega+2\beta}+\frac{2\beta}{\omega+2\beta}\bar{R}_{10}(\omega)\\
&\bar{R}_{10}(\omega)=\bar{g}(\omega+\beta)\bar{R}_{00}(\omega)+\left[\bar{g}(\omega)-\bar{g}(\omega+\beta)\right]\bar{R}_{10}(\omega)\\
&\bar{R}_{20}(\omega)=\bar{g}(\omega)\bar{R}_{10}(\omega)
\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

ლაპლასის გამოსახულება აღნიშნულია ხაზით ორიგინალის სიმბოლოს თავზე.

$$\left.\begin{aligned}
&\bar{q}_{01}(\omega,u)=\frac{2\beta}{\omega+2\beta}\cdot\bar{q}_{11}(\omega,u)\\
&\bar{q}_{02}(\omega,u)=\frac{2\beta}{\omega+2\beta}\cdot\bar{q}_{12}(\omega,u)\\
&\bar{q}_{11}(\omega,u)=e^{(\omega+\beta)}\left[\bar{g}(\omega+\beta)-\int_0^u e^{-(\omega+\beta)v}g(v)dv\right]+\bar{g}(\omega+\beta)\cdot\bar{q}_{01}(\omega,u)+\\
&\qquad+\left[\bar{g}(\omega)-\bar{g}(\omega+\beta)\right]\bar{q}_{11}(\omega,u)\\
&\bar{q}_{12}(\omega,u)=\bar{g}(\omega+\beta)\cdot\bar{q}_{02}(\omega,u)+\left[\bar{g}(\omega)-\bar{g}(\omega+\beta)\bar{q}_{12}(\omega,u)\right]\\
&\bar{q}_{21}(\omega,u)=\bar{q}(\omega)\cdot\bar{q}_{11}(\omega,u)\\
&\bar{q}_{22}(\omega,u)=e^{\omega u}\left[\bar{g}(\omega)-\int_0^u \bar{e}^{\omega u}g(x)dx\right]+\bar{g}(\omega)\cdot\bar{q}_{12}(\omega,u)
\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

(9)-ში ლაპლასის ორმაგ იგარდაქმნა ცვლადით u (ოპერაციული ცვლადი S) (8) და (9)-დან მივიღებთ ალგებრულ განტოლებათა სისტემას $\bar{R}_{ij}(\omega)$ და $\bar{\bar{q}}_{ij}(\omega,s)$მიმართ. ამ სისტემის $\bar{R}_{10}(\omega)$, $\bar{R}_{20}(\omega)$, $\bar{\bar{q}}_{11}(\omega,s)$, $\bar{\bar{q}}_{12}(\omega,s)$,$\bar{\bar{q}}_{21}(\omega,s)$ და $\bar{\bar{q}}_{22}(\omega,s)$ მიმართ ამონახსნის ჩასმა (5)-ში იძლევა დასმული ამოცანის ამოხსნას.

მოდელი 3. აქ აღწერილია არასრული ფუნქციონალური რეზერვირების ამოცანა. რთული ტექნიკური და ტექნოლოგიური ობიექტების მმართველ-გამომთვლელი სისტემების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს საიმედოობა. სისტემების ბირთვს წარმოადგენს მმართველი გამოთვლელი მანქანა (მგმ), რომელიც ახდენს ობიექტის ოპტიმალური მართვის ალგორითმის რეალიზაციას.

რთული ობიექტების კონტროლისა და მართვის სისტემები, როგორც წესი, იგება იერარქიული წესით. მართვის ობიექტი იყოფა

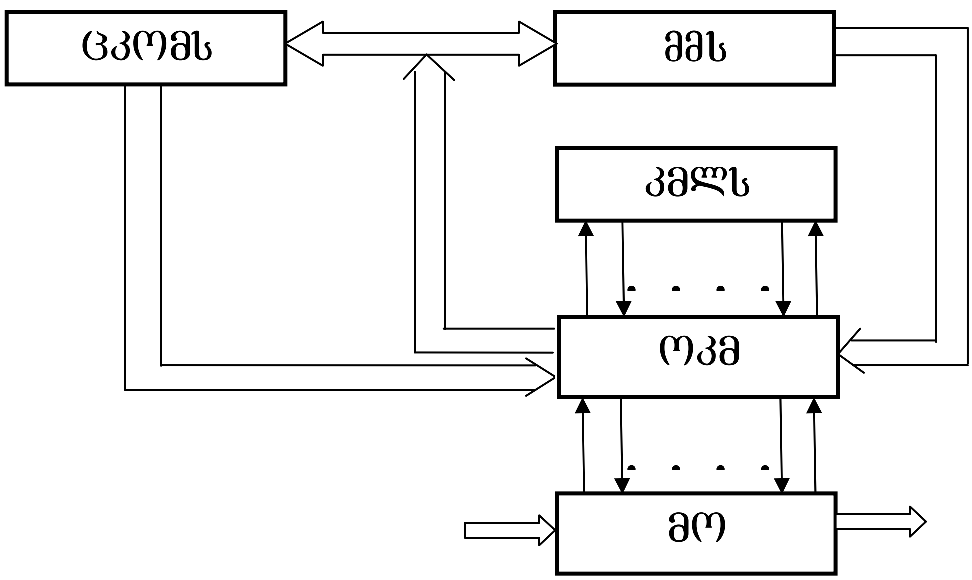
ცალკეულ ნაწილებად, რომელთაც გააჩნიათ კონტროლის, რეგულირების და მართვის ლოკალური საშუალებები და შედიან ზედა ქვესისტემაში, როგორც ქვესისტემა. ისინი ახორციელებენ მართვის ლოკალურ მიზნობრივ ფუნქციებს–შეინარჩუნონ სარეგულირებელი პარამეტრების მნიშვნელობები დადგენილ ზღვრებში.

იერარქიის უკანასკნელ ზედა საფეხურზე დგას მბმ. როგორც წესი, ამავე დონეზე ფუნქციონირებს ცენტრალიზებული კონტროლის და ოპერატიული მართვის სისტემა (ცკომს), რომელიც ადამიან-ოპერატორს საშუალებას აძლევს აკონტროლოს ობიექტის მდგომარეობა და საჭირო შემთხვევაში ჩაერიოს მართვის პროცესში.

სისტემების საიმედოობის ამაღლების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს სტრუქტურული რეზერვირება, რომელმაც შეიძლება მოიცვას როგორც მთელი სისტემა, ასევე, მისი ნაწილები. მაგრამ, სტრუქტურული რეზერვირება დაკავშირებულია ეკონომიკურ დანახარჯებთან, რომელიც იმდენად დიდია, რამდენადაც რთულია მართვის სისტემა, რამდენად მრავალრიცხოვანია დარეზერვირებული ნაწილები, რამდენად დიდია რეზერვირების ჯერადობა.

რთულ სისტემებში ცალკეული მტყუნებები არ იწვევენ მთლიანად სისტემის მტყუნებას, არამედ აქვეითებს მის ეფექტიანობას. გარკვეული რაოდენობის ერთდროული მტყუნებების დროს შესაძლებელია ძირითადი სისტემის მტყუნება და მართვა გადაეცემა, კონტროლისა და მართვის ლოკალური საშუალებებს. ამ მომენტიდან გლობალური მართვაში ერთვება ცკომს, რომელიც, შეზღუდულ საზღვრებში, მაგრამ ასრულებს ამ ფუნქციებს მბმ-ის აღდგენამდე.

ქვემოთ მოცემულია სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.



იგულისხმება, რომ ცკომს-ი თავის ფუნქციებს ახორციელებს ობიექტთან კავშირის იმ მოწყობილობებით, რომლებიც გამოიყენებოდა მბმ-ის მიერ.

ობიექტთან კავშირის მოწყობილობებს (ოკმ) გააჩნიათ საშუალებები ობიექტიდან აიღონ სამართავი პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობები და გადასცენ ის მბმ-ს, ხოლო მბმ-დან მიიღონ მმართველი მონაცემები და გადასცენ ის შემსრულებელ მექნიზმებს.

კონტროლისა და მართვის ლოკალური სისტემების (კმლს) ფუნქციაა შეინარჩუნონ სამართავი ობიექტის პარამეტრების მნიშვნელობები დასაშვებ საზღვრებში.

ნამუშევარ [1]-ში დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები მმართველი სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობის და უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის გათვლისათვის.

ნამუშევარში ითვლება, რომ როგორც უფრო რთულ მოწყობილობებში, მბმ-ში მტყუნების ალბათობა მეტია, ვიდრე ცკომს-ში. მოდელში ითვლება, რომ პირველად ამტყუნებს მბმ, ხოლო მის აღდგენამდე მართვას ახორციელებს ცკომს. აღდგენის შემდეგ მართვა უბრუნდება მბმ-ს. თუ მბმ-ის აღდგენამდე ამტყუნა ცკომს-მა, მაშინ ამტყუნებს ცენტრალიზებული მართვის სისტემა მთლიანად.

შემოტანილია შემდეგი ცვლადები:

η - მბმ-ის უმტყუნო მუშაობის დრო;

γ - ცკომს-ის უმტყუნო მუშაობის დრო;

ξ - მბმ-ის აღდგენის დრო;

შემოტანილია შემდეგი ფუნქციები:

$R(x)$ - სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა x დროის განმავლობაში;

$\Phi(x)$- სისტემის პირველი სრული მტყუნების დროის განაწილების ფუნქციაა;

$R(x) = 1 - \Phi(x)$

$P[\eta < t]$- დროის განაწილება მბმ-ის მტყუნებამდე;

$P[\gamma < t]$- დროის განაწილება ცკომს-ის მტყუნებამდე;

$P[\xi < t]$- არდგენის დროის განაწილება.

$\Psi(x)$ იმის ალბათობა, რომ სისტემა იმუშავებს უმტყუნოდ x დროის განმავლობაში, იმ პირობით, რომ საწყის მომენტში ამტყუნებს „ძირითადი“ მანქანა -მბმ.

განსახილველ პროცესში რეგენერაციის წერტილების არსებობა საშუალებას იძლევა შევადგინოთ შემდეგი ინტეგრალური განტოლებები:

$$R(x) = 1 - G(x) + \int_0^x \Psi(x - y)dG(y) \tag{10}$$

$$\Psi(z) = [1 - F(z)][1 - A(z)] + \int_0^z [1 - A(y)]R(z - y)dF(y) \tag{11}$$

ლაპლასის ცნობილი გარდაქმნით მიიღება:

$$r(s) = \int_0^\infty e^{-sx} R(x)dx \qquad \Psi(s) = \int_0^\infty e^{-sx}\Psi(x)dx \tag{12}$$

$$f(s) = \int_0^\infty e^{-sx}[1 - F(x)]dA(x) \qquad a(s) = \int_0^\infty e^{-sx}[1 - A(x)]dF(x) \tag{13}$$

$$g(s) = \int_0^\infty e^{-sx} dG(x)$$

რიგი გარდაქმნების შემდეგ მიივიღება:

$$\phi(s) = \frac{g(s)f(s)}{1 - g(s)a(s)} \tag{14}$$

ს არის სისტემის „სიცოცხლის“ დროის ალბათობის ფუნქცია ლაპლასის ფორმაში.

აღვნიშნოთ T_0-ით მტყუნებამდე დროის საშუალო მნიშვნელობა. რამდენადაც ცნობილია

$$T_0 = -[\phi(s)]'_{s=0}$$

მე-(14)-ე გამოსახულების გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$T_0 = \frac{g'(0) - a'(0) - f'(0)}{1 - a(0)} \tag{15}$$

იმის გამო, რომ მტყუნებები მბმ-ში და ცკომს-ში დგება მათი კომპონენტების მრავლობითი მტყუნებების დროს და შესაბამისად, აღდგენა შედგება მრავალფაზური მოქმედებებისაგან, მიზანშეწონილია მტყუნებების და აღდგენების დრო ჩავთვალოთ ერლანგის კანონით განაწილებულად. განაწილების ფუნქციებისათვის გვაქვს:

$$G(x) = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(\lambda_1 x)^i}{i!} e^{-\lambda_1 x}$$

სადაც, m -მბმ-ში ერთდროულად მომხდარი მტყუნებების რაოდენობაა;

$$A(x) = 1 - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(\lambda_2 x)^j}{j!} e^{-\lambda_2 x}$$

სადაც, n - ცკომს-ში ერთდროულად მომხდარი მტყუნებების რაოდენობაა;

$$F(x) = 1 - \sum_{l=0}^{k-1} \frac{(\mu x)^l}{l!} e^{-\mu x}$$

სადაც, k -მბმ-ის აღდგენის ფაზების რაოდენობაა. შესაბამისად გვაქვს:

$$dG(x) = \frac{\lambda_1^m x^{m-1}}{(m-1)!} e^{-\lambda_1 x} dx \quad , \quad dA(x) = \frac{\lambda_2^n x^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda_2 x} dx \quad ,$$

$$dF(x) = \frac{\mu^k x^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\mu x} dx$$

ამ გამოსახულებების (12) და (13) ფორმულებში გამოყენება გვაძლევს:

$$g'(s) = \frac{m\lambda_1^m}{(s+\lambda_1)^{m+1}} \quad ,$$

$$a(s) = \frac{\mu^k}{(k-1)!} \cdot \left(\frac{1}{s+\lambda_2+\mu}\right)^k \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \frac{\lambda_2^j}{j!} \frac{(j+k-1)!}{(s+\lambda_2+\mu)^j}$$

$$a'(s) = \frac{\mu^k}{(k-1)!} \cdot \left(\frac{1}{s+\lambda_2+\mu}\right)^{k+1} \cdot \sum_{j=0}^{n-1} \frac{\lambda_2^j (j+k)!}{j!\,(s+\lambda_2+\mu)^j}$$

$$f'(s) = \frac{\lambda_2^n}{(n-1)!} \cdot \left(\frac{1}{s+\lambda_2+\mu}\right)^{n+1} \cdot \sum_{l=0}^{k-1} \frac{\mu^l}{l!} \frac{(l+n)!}{(s+\lambda_2+\mu)^l}$$

ფორმულებში $g'(0)$, $a(0)$, $a'(0)$, $f'(0)$ კონკრეტული მნიშვნელობების ჩასმა და (15)-ში გამოყენება იძლევა სისტემის მტყუნებამდე ნამუშევარ საშუალო დროს.

რამდენადაც, აღდგენის დრო აღწერილი სისტემებისათვის კრიტიკულია, მიზანშეწონილია გავითვალოთ სისტემის x დროში

ნორმალური ფუნქციონირების ალბათობა, რომელშიც გათვალისწინებულია სისტემის აღდგენაზე დროის დანახარჯი მისი სრული მტყუნების შემდეგ [4].

$$R_{\text{ნ.ფ.}}(x) = K_{\text{მზ}} R(x)$$

სადაც, $R_{\text{ნ.ფ.}}(x)$ სისტემის ნორმალური ფუნქციონირების ალბათობაა,.

$$K_{\text{მზ}} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{მც}}}$$

მზადყოფნის კოეფიციენტია, $T_{\text{მც}}$ სისტემის მოცდენის დროა.

უწყვეტი პროცესების მმართველი სისტემებისათვის: $T_0 + T_{\text{მც}} = T_{\text{კ}}$, სადაც $T_{\text{კ}}$ სისტემის მუშაობის კალენდარული დროა. მაშინ

$$K_{\text{მზ}} = \frac{T_0}{T_{\text{კ}}}$$

მესამე თავში მოცემულია მრავალპროცესორიან (მრავალმანქანიან) გამოთვლით სისტემებში (მპზს, მმზს) ამოცანის შესრულების ალბათობის შეფასების მოდელები დროითი რეზერვირების გათვალისწინებით.

ანალოგიურად ერთმანქანიანი სისტემებისა, მპზს–ში და მმზს–ში ამოცანის შესრულების ალბათობა აღიწერება ფუნქცია $\Phi_{ij}(u)$ საშუალებით. განვსაზღვროთ Φ_{ij} ფუნქცია ზოგიერთი პრაქტიკულად მნიშვნელოვანი მოდელებისათვის.

მოდელი 1. განხილულია შემთხვევა, როდესაც ორი იდენტური მოწყობილობა პარალელურად ამუშავებს ერთ ამოცანას. მდგრადი და თვითმოცილებადი მტყუნებების ინტენსივობები შესაბამისად უდრის α და β. მდგრადი მტყუნებები აღმოჩნდება უწყვეტი ოპერატიული კონტროლის მიერ მყისეულად, მისი წარმოშობის მომენტში და მოწყობილობა გადაიცემა აღდგენაზე; ხელშეშლის შეცდომები აღმოჩნდება ორი მოწყობილობის ნამუშევრის შედარებით და განსხვავების აღმოჩენის შემთხვევაში ამოცანა (ან მისი ეტაპი) სრულდება განმეორებით; დროის სიმცირის გამო მტყუნებები და ხელშეშლები კონტოლის დროს არ წარმოიშვება; ყოველი ამოცანის (ეტაპის) ამოხსნის დრო მუდმივია და განაწილებულია ფუნქციით:

$$F(u)=\begin{cases}0, \text{ როცა } & u \le \tau \\ 1, \text{ როცა } & u > \tau\end{cases}$$

აღვნიშნოთ კონტროლის და აღდგენის დროის განაწილების ფუნქციები შესაბამისად V(t) და G(t).

რადგანაც შედეგის სარწმუნოობა დასტურდება წესით „2-დან 2“, ამიტომ, განვსაზღვროთ მხოლოდ ალბათობა $\Phi_{22}(t)$:

$$\Phi_{22}(t)=\int_0^t e^{-2u(\alpha+\beta)}V(t-u)dF(u)+\int_0^t e^{-2\alpha u}dF(u)(1-e^{-2\beta u})\times$$
$$\times\int_0^{t-u}\Phi_{22}(t-u-\upsilon)dV(\upsilon)+\int_0^t 2\alpha e^{2\alpha u}du\overline{F}(u)\int_0^{t-u}dG_{12}(v)\Phi_{22}(t-u-v) \qquad (16)$$

აქ, $G_{12}(v)$ განაწილების ფუნქციააიმისა, რომ v დროის განმავლობაში ორივე მოწყობილობა იქნება მუშაობისუნარიანი და ის განისაზღვრება განტოლებათა შემდეგი სისტემიდან:

$$G_{12}(t)=\int_0^t e^{-\alpha v}dG(v)+\int_0^t \alpha e^{-\alpha v}\overline{G}(v)\overline{G}_{02}(t-v)dv;$$

$$G_{02}(t)=\int G_{12}(t-v)dG(v) \qquad (17)$$

ვიყენებთ (16) და (17) მიმართ ლაპლასი-სტილტესის გადაქმნას, ვღებულობთ:

$$\Phi_{22}(s)=\bar{f}(s+2\alpha+2\beta)\frac{\overline{V}(s)}{s}+[\bar{f}(s+2\alpha)-\bar{f}(s+2\beta)]\times$$
$$\times v(s)\overline{\Phi}_{22}(s)+2\alpha\frac{1-f(s+2\alpha)}{s+\alpha}\overline{g}_{22}(s)\overline{\Phi}_{22}(s) \qquad (18)$$

$$\overline{g}_{12}(s)=\overline{g}(s+\alpha)+\alpha\frac{1-\overline{g}(s+\alpha)}{s+\alpha}\overline{g}_{02}(s) \qquad (19)$$

$$\overline{g}_{02}(s)=\overline{g}(s)\overline{g}_{12}(s);$$

$$v(s)\doteq V(t);\quad \overline{g}_{12}(s)\doteq G'_{12}(t);\qquad \bar{f}(s)\doteq F'(t);\ \bar{f}(s)=e^{-s\tau}.$$

(18) და (19) გარდაქმნების შემდეგ ვღებულობთ:

$$\overline{\Phi}_{22}(s) = \bar{f}(s+2\alpha+2\beta)\bar{v}(s)/s[1-(\bar{f}(s+2\alpha)-\bar{f}(s+2\beta)\bar{v}(s)-\frac{2\alpha(1-\bar{f}(s+2\alpha)}{s+2\alpha}\bar{g}_{12}(s)$$

აქ, $\bar{g}_{12}(s) = \dfrac{(s+\alpha)\bar{g}(s+\alpha}{s+\alpha[1-\bar{g}(s+\alpha))\bar{g}(s)}$

მოდელი 2. ერთგვაროვანი მპბს, რომელიც შედგება m ძირითადი და n-m სარეზერვო მოწყობილობებისაგან ასრულებს უცვლელი E მოცულობის ამოცანას. დავალება ნაწილდება ყველა ძირითად მოწყობილობას შორის; მპბს-ის ყველა (ერთგვაროვანი) მოწყობილობა ურთიერთშეცვლადია და ამუშავებენ ამოცანას ურთიერთდახმარების რეჟიმში; უმტყუნო მუშაობის პირობებში ამოცანა შეიძლება შეასრულოს ერთმა მოწყობილობამ $\tau_{\text{ა}} = E/C$ დროის განმავლობაში, ხოლო i მოწყობილობამ $u = E/(C \cdot f(i)) = \tau_{\text{ა}} \cdot f(i)$.. აქ, C – მპბს-ის ყოველი მოწყობილობის წარმადობაა; $f(i)(1 \le f(i) \le i)$ განისაზღვრება აპარატურული და დროითი რესურსების დანახარჯით კომპლექსური მუშაობის განხორციელებისათვის $i(i=1,\overline{m})$ მუშაობისუნარიანი მოწყობილობების მიერ; მუშა მოწყობილობების მტყუნების ინტენსივობაა β_1, ხოლო რეზერვების β_2; აღდგენის დრო შემთხვევითია და განაწილებულია მაჩვენებლიანი კანონით, ინტენსივობით μ_1; ცალკეული მოწყობილობების მტყუნება არ აუფასურებს უკვე შესულებულ ნამუშევარს; მპბს რეკონფიგურაციის დრო (i მდგომარეობიდან j–ში გადასვლა)შემთხვევითი სიდიდეა და განაწილებულია რაღაც ფუნქციით $G_{ij}(v)$ (სისტემის მდგომარეობათა შეცვლა ხორციელდება ცენტრალური მმართველი პროგრამის მიერ, რომელიც საჭიროების შემთხვევაში გადაანაწილებს დარჩენილ სამუშაოს მუშაობისუნარიან მოწყობილობებს შორის). სისტემის მუშაობის დანარჩენი მუშა პირობები ემთხვევა არამუშა მდგომარეობის პირობებს. აღვნიშნოთ $\Phi_{ij}(t,x)$ალბათობა იმისა, რომ ამოცანის შესრულება დამთავრდება t-ზე ნაკლებ დროში მპბს-ის j-ური მდგომარეობის პირობებში, იმ პირობით, რომ t=0 მომენტში სისტემა იმყოფებოდა i-ურ მგდომარეობაში და ამოცანის დამთავრებისათვის საჭირო იყო $y = \tau_{\text{ა}} - x$ დრო, თუ მუშაობისუნარიან მდგომარეობაში

იქნებოდა ერთი მოწყობილობა (ე. ი. სამუშაო გადათვლილია ერთ მოწყობილობაზე).

ცხადია, რომ $\Phi_{ij}(t) = \Phi_{ij}(t,0)$

განსახილველი მოდელისათვის $\Phi_{ij}(t,x)$ ფუნქციები, როცა

$$\overline{F}(x)\Phi_{1j}(t,x) = \delta_{ij}\int_0^t \exp(-C_i^0 u)duF(x+n_i u) + (1-\delta_{in})\mu_1 \cdot \int_0^t \exp(-C_i^0 u)\overline{F}(x+n_i u)du \times$$

$$\times \int_0^{t-u} \Phi_{i+1,j}(t-u-v, x+n_i u)dG_{i,i+1}(v) + C_i \int_0^t \exp(-C_i^0 u)\overline{F}(x+n_i u)du \int_0^{t-u} \Phi_{i-1,j}(t-u-v, x+n_i u) \times$$

$$\times dG_{i,i-1}(v),$$

(20)

$n \ge 2$ $(m = \overline{1,n})$ $i = \overline{2,n}$, განისაზღვრება შემდეგი განტოლებებით:

$$\overline{\mathrm{F}}(x)\Phi_{ij}(t,x) = \delta_{1j}\int_0^t \exp(-C_1^0 u)duF(x+u) + \mu_1 \int_0^t \exp(-C_1^0 u)\overline{F}(x+u)du \times$$

$$\times \int_0^{t-u} \Phi_{2,j}(t-u-v, x+u)dG_{12}(v) + \beta_1 \int_0^t \exp(-C_1^0 u\overline{F}(x+u)du \int_0^{t-u} \mu_1 \exp(-\mu_1 v)dv \times$$

$$\times \int_0^{t-u-v} \Phi_{1,j}(t-u-v-\upsilon, x+u)dG_{01}(\upsilon)$$

$$j = \overline{1,n} \qquad (21)$$

აქ, $C_i = i\beta_1\delta_0(i<m) + [m\beta_1 + (i-m)\beta_2]\delta_1(i \ge m)$; $C_i^0 = (1-\delta_{in})\mu_1 + C_i$;

$n_i = \delta_0(i<m)f(i) + \delta_1(i \ge m)f(m)$; $\overline{F}(x) = 1 - F(x)$.

საწყის და სასაზღვრო პირობებს აქვს სახე:

$\Phi_{ij}(0,x) = 0$, როცა $x \ne \tau_ა$ $(i, j = \overline{1,n})$;

$$\Phi_{ij}(t,x) = \begin{cases} \delta_{ij}, & \text{როცა } x = \tau_ა, \\ 0, \text{ როცა } x > \tau_ა, & i, j = \overline{1,n}, \ (t \in 0,\infty) \end{cases}$$

მაგალითისათვის განვმარტოთ $\Phi_{ij}(t,x)$, როცა $i > m$ და $i \ne n$.

პირველი წევრი ეს არის ერთობლივი ალბათობა იმისა, რომ ამოცანა დამთავრდება დროის ინტერვალში $(u, u+du)$, თუ ის დაიწყება t=0 მომენტში, i მუშაობისუნარიანი m ძირითადი და i-m სარეზერვო მოწყობილობების პირობებში, ამასთან u დროის განმავლობაში

არცერთი არ ამტყუნებს და არ დამთავრდება არცერთი n-i მტყუნებული მოწყობილობის აღდგენა.

მეორე წევრი ალბათობაა იმისა, რომ დროის $(u, u+du)$, ინტერვალში დამთავრდება n-i-დან ერთ-ერთი t=0 მომენტში მტყუნებაში მყოფი მოწყობილობის აღდგენა; u დროის განმავლობაში არ დამთავრდება ამოცანის გადაწყვეტა და არ ამტყუნებს არც ძირითადი და არც სარეზერვო მოწყობილობები; რეკონფიგურაციისათვის დაიხარჯება υ დრო; ამოცანას დაამთავრებს სისტემა j-რ მდგომარეობაში, t-u-υ დროში, თუ სისტემა იყო t=u+υ მომენტში i+1 მდგომარეობაში და სამუშაოს დამთავრებას ჭირდებოდა ერთი მოწყობილობის უწყვეტი მუშაობა $\tau_ა - x - mu$ დრო.

მესამე წევრი, ეს არის ალბათობა იმისა, რომ დროის $(u, u+du)$ ინტერვალში ამტყუნებს ერთ-ერთი ძირითადი ან სარეზერვო მოწყობილობა, u დროში არ დამთავრდება ამოცანის გადაწყვეტა და t=0 მომენტში მტყუნებაში მყოფი მოწყობილობის აღდგენა; რეკონფიგურაციას დასჭირდა υ დრო; ამოცანის გადაწყვეტა დამთავრდება j მდგომარეობაში მყოფი სისტემის მიერ t-u-υ დროში, თუ სისტემა t=u+υ მომენტში იმყოფებოდა i+1 მდგომარეობაში და სამუშაოს დამთავრებას სჭირდება ერთი მოწყობილობის უწყვეტი მუშაობა t-x-mu დროის განმავლობაში.

აღვნიშნოთ:

$$\Psi_{ij}(t,x) = \overline{F}(x)\Phi_{ij}(t,x)\left(\Psi_{ij}(t,0) = \Phi_{ij}(t)\right) ;\overline{\psi}_{ij}(s,x) \mathrel{\dot{=}} \Psi_{ij}(t,x) ;\;\; \overline{g}_{ij}(s) \mathrel{\dot{=}} G'(t) .$$

შესაბამისად: $\Psi_{ij}(0,x) = 0$, $x \neq \tau_ა$ $(i, j = \overline{1,n})$;

$$\Psi_{ij} = \begin{cases} \delta_{ij}, \text{ როცა } x = \tau_ა \\ 0, \text{ როცა } x > \tau_ა \end{cases} \qquad (i, j = \overline{1,n})$$

ფორმულების (20) და (21)-ის მიმართ ლაპლასი-სტილტესის გარდაქმნის გამოყენებით და შემდგომი გარდაქმნებით ვღებულობთ:

$$\exp\left[-(s+C_i^0)x/n_i\right]\overline{\psi}_{ij}(s,x)=\left\{\delta_{ij}\exp\left[-(s+C_i^0)\tau_{ა}/n_i\right]\right\}/s+\left\{\left[(1-\delta_{in})\mu_1\overline{g}_{i,i+1}(s)\right]/n\right\}\times$$
$$\times\int_x^{\tau_{ა}}\exp\left[-(s+C_i^0)\tau/n_i\right]\overline{\psi}_{i+1,j}(s,\tau)d\tau+\left[C_i\overline{g}_{i,i+1}(s)/n_i\right]\times\int_x^{\tau_{ა}}\exp\left[-(s+C_i^0)\tau/n_i\right]\overline{\psi}_{i-1,j}(s,\tau)d\tau$$
$$i=\overline{2,n}\ ,\qquad j=\overline{1,n}\qquad\qquad (22)$$

$$\exp\left[-(s+C_i^0)x\right]\overline{\psi}_{1j}(s,x)=\delta_{1j}\left\{\exp[-(s+C_i^0)\tau_{ა}]\right\}/s+\mu_1\overline{g}_{12}(s)\int_x^{\tau_{ა}}\exp[-(s+C_1^0)\tau]\overline{\psi}_{2j}(s,\tau)d\tau+$$
$$+[\beta_1\mu_1\overline{g}_{01}(s)/(\mu_1+s)]\int_x^{\tau_{ა}}\exp[-(s+C_i^0)\tau]\cdot\overline{\psi}_{1j}(s,\tau)d\tau$$
$$(23)$$

$$\overline{\psi}_{ij}(s,x)=\begin{cases}\delta_{ij}/s,\ \text{როცა}\ x=\tau_{ა}\\ 0,\ \text{როცა}\ x>\tau_{ა}\end{cases},\qquad i,j=\overline{1,n}$$

რადგანაც ფუნქცია $\overline{\psi}_{ij}(s,x)$, $0\le x\le\tau_{ა}$ ინტერვალში უწყვეტად დიფერენცირებადია, (22) და (23) განტოლებების გადიფერენცირებით x-ით ვღებულობთ მეორე რიგის სხვაობით, ერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას მუდმივი კოეფიციენტებით:

$$\begin{aligned}&\overline{\psi}'_{ij}(s,x)-[(s+C_i^0)/n_i]\overline{\psi}_{ij}(s,x)+[(1-\delta_{in})\mu_1\overline{g}_{i,i+1}(s)/n_i]\times\\&\times\overline{\psi}_{i+1,j}(s,x)+[C_i\overline{g}_{i,i-1}(s)/n_i]\overline{\psi}_{i-1,j}(s,x)=0\end{aligned}\ ,\ i=\overline{1,n}\qquad (24)$$

$$\overline{\psi}'_{ij}(s,x)+[(\beta_1\mu_1\overline{g}_{01}(s)/(s+\mu_1)-(s+C_1^0)/n_1]\cdot\overline{\psi}_{1j}(s,x)+\mu_1\overline{g}_{12}(s)\overline{\psi}_{2j}(s,x)=0,$$
$$j=\overline{1,n}\qquad (25)$$

აღვნიშნოთ დრო, რომელიც საჭიროა t=0 მომენტში დაწყებული სამუშაოს დასამთავრებლად y-ით. შევცვალოთ x (24) და (26) განტოლებებში $\tau_{ა}-y$-ით და გამოვიყენოთ ლაპლასის გარდაქმნა y არგუმენტით და იმის გათვალისწინებით, რომ $\overline{\psi}^0_{ij}(s,y)=\delta_{ij}/s$, როცა y=0 და $\overline{\psi}^0_{ij}(s,y)=0$, როცა y<0, მივიღებთ:

$$-[\omega\overline{\overline{\psi}}{}^0_{ij}(s,\omega)-\delta_{ij}/s]-[(s+C_i^0)/n_i]\overline{\overline{\psi}}{}^0_{i,j}(s,\omega)+[(1-\delta_{in})\mu_1\overline{g}_{i.i+1}(s)/n_i]\overline{\overline{\psi}}{}^0_{i+1,j}(s,\omega)+$$
$$+(C_i\overline{g}_{i,i-1}(s)/n_i)\cdot\overline{\overline{\psi}}{}^0_{i-1,j}(s,\omega)=0$$
$$(26)$$

$$i=\overline{2,n}\ ,\ j=\overline{1,n}\ ,\ \overline{\overline{\psi}}{}^0_{n+1,j}(s,\omega)=0.$$

$$-[\omega\overline{\overline{\psi}}{}^0_{1j}(s,\omega)-\delta_{1j}/s]+[\beta_1\mu_1\overline{g}_{01}(s)/(s+\mu_1)-(s+C_1^0)]\overline{\overline{\psi}}{}^0_{1,j}(s,\omega)+\mu_1\overline{g}_{12}(s)\overline{\overline{\psi}}_{2j}(s,\omega)=0$$
$$(27)$$

აღვნიშნოთ D-ით (26) და (27) განტოლებების $\overline{\overline{\psi}}_{ij}(s,x)$ უცნობების კოეფიციენტების კვადრატული მატრიცა, ხოლო დეტერმინანტი $|D|$-ით:

$$D=\begin{vmatrix} -\omega-\dfrac{\beta_1\mu_1\overline{g}_{01}(s)}{s+\mu_1}+s+C_1^0 & \mu_1\overline{g}_{12}(s) & 0 & \cdots & 0 \\ [C_2^0\overline{g}_{21}(s)/n_2] & -[\omega+(s+C_2^0)/n_2] & [\mu_1 g_{23}(s)/n_2] & \cdots & 0 \\ 0 & [C_3^0\overline{g}_{32}(s)/n_3] & -[\omega+(s+C_3^0/n_3] & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & -[\omega+(s+C_n^0)/n_n] \end{vmatrix}$$

(26) და (28) სისტემის ამოხსნით და გარდაქმნებით ვღებულობთ:

$$\overline{\psi}_{ij}^{0}(s,y)=\left[\frac{(-1)^{i-j+1}}{s}\prod_{\upsilon=j+1}^{i}C_{\upsilon}^{0}\overline{g}_{\upsilon,\upsilon-1}(s)/n_{\upsilon}\right]\cdot\sum_{k=1}^{n}\frac{D_{j-1}(s,\omega_k)\Delta_{n-i}(s,\omega_k)}{\left|D\;(s,\omega)\right|'_{\omega=\omega_k}}\cdot e^{\omega_k(\tau_{ა}-x)}$$

$$i\geq j\,; \qquad (28)$$

$$\overline{\psi}_{ij}^{0}(s,y)=\left[\frac{(-1)^{i-j+1}}{s}\mu_1^{j-i}\prod_{\upsilon=i}^{j-1}\frac{\overline{g}_{\upsilon,\upsilon+1}(s)}{n_{\upsilon}}\right]\cdot\sum_{k=1}^{n}\frac{D_{i-1}(s,\omega_k)\Delta_{n-j}(s,\omega_k)}{\left|D\;(s,\omega)\right|'_{\omega=\omega_k}}\cdot e^{\omega_k(\tau_{ა}-x)}$$

$$i\leq j \qquad (29)$$ აქ,

$$\left|D\;(s,\omega)\right|'_{\omega=\omega_k}=-[D_{n-1}(s,\omega_k)+\sum_{j=2}^{n}\frac{(D_{n-j}(s,\omega_k))^2}{D_{n-1}(s,\omega_k)}\cdot\prod_{\upsilon=1}^{j-1}B_{n-\upsilon+1}^{0}(s)]\,.$$

თუ ჩავსვამთ (29)-ში x=0, მივიღებთ $\overline{\psi}_{ij}^{0}(s,\tau_{ა})=\overline{\psi}_{ij}(s,0)=\overline{\Psi}_{ij}(s)=\Phi_{ij}(s)$ და შესაბამისად $\overline{\varphi}_{ij}(s)=S\overline{\Phi}_{ij}(s)$, რითაც განისაზღვრა საძიებელი ფუნქციის სახე ლაპლასურ ფორმაში.

დ ა ს კ ვ ნ ა

ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგები

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების მიმართ შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ ტექნიკური სისტემების საიმედოობის მაღალი დონის უზრუნველყოფა მით უფრო მნიშვნელოვანია რაც უფრო რთულია სისტემა და საპასუხისმგებლოა გადასაწყვეტი ამოცანები. დასაბუთებულია, რომ საიმედოობის შესაბამისი დონე უნდა იყოს გათვალისწინებული დაპროექტების სტადიაში. ამ დროს მიზანშეწონილია ანალიზური მოდელების გამოყენება, რამდენადაც ისინი იძლევიან სისტემის სტრატეგიული მახასიათებლების ანალიზის საშუალებას.

2. ჩატარებულია საფუძვლიანი ანალიზი სტრუქტურული და დროითი რეზერვირების პრინციპების, საშუალებების და გამოყენების მიზანშეწონილობის შესახებ. შემუშავებულია ანალიზური მოდელების აგების, განაწილების ფუნქციების გამოყენების მეთოდები.

3. შემუშავებულია ანალიზური მოდელები სტრუქტურულად რეზერვირებული გარკვეული ტიპის ტექნიკური სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლების გათვლისა და შეფასებისათვის, სისტემაში მოქმედი უცაბედი და თანდათანობოთი მტყუნებების, უწყვეტი და იდეალური კონტროლის არსებობის პირობებისთვის.

4. შემუშავებულია ანალიზური მოდელები დროითი რეზერვის მქონე გარკვეული ტიპის ტექნიკური სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლების გათვლისა და შეფასებისათვის, სისტემაში მოქმედი უცაბედი და თანდათანობოთი მტყუნებების, უწყვეტი და პერიოდული იდეალური კონტროლის არსებობის პირობებისთვის.

5. სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები რეკომენდებულია გამოყენებულიქნეს სამეცნიერო–კვლევით და საპროექტო ორგანიზაციებში, რათა დაპროექტების საწყის სტადიაში შეირჩეს ტექნიკური სისტემის საიმედოობისა და მასზე გადასაწყვეტი

ამოცანების ისეთი მახასიათებლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ შედეგების მაქსიმალურ სარწმუნოობას.

The basic theoretical and practical results

We can make the following conclusions about the results of dissertation:

1. The dissertation shows that high level of reliability of technical systems is very important when the system is complex and the problems are crucial. The dissertation substantiates that corresponding level of reliability must be foreseen at the stage of designing. At this time models of analysis are useful, because they enable to analyze the system's strategical parameters.

2. The dissertation thoroughly analyzes the principles of structural and temporal reservation and advisability of usage of such means. Besides, the methods of usage of models of analysis and of distribution functions are developed.

3. The dissertation develops the models of analysis for prediction and estimation of parameters of reliability of several technical systems which are structurally reserved. In this case we have possibility of immediate and gradual failure and ideal and continuous control.

4. The dissertation develops the models of analysis for prediction and estimation of parameters of reliability of several technical systems which are temporally reserved. In this case we have possibility of immediate and gradual failure and ideal and continuous control

5. The results of dissertation are recommended to be used in the scientific and designing organizations, because the parameters of reliability of technical systems must be chosen at the initial stage of projection and these parameters guarantee the maximal trustworthiness of results.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია სამეცნიერო სტატიებში:

1. Джоджуа З.С.,Арабули Н.В., Джоджуа Н.В. К вопросу определения функции готовности некоторых видов оборудования. "Georgian Engineering News, №2,2006, с. 138_140.

2. О способе определения вероятности решения задачи на многопроцессорных ВС при наличии резерва времени. სტუ, შრომები, მართვის ავტომატიზირებული სისტემები №1(2) თბილისი, 2007 წ.

3. Об одной модели определения вероятности решения задачи на ВС. სტუ, შრომები №4(466) თბილისი, 2007 წ.

4. Об одной модели определения числовых характеристик вероятности решения задачина ВС. სტუ, შრომები №1(467) თბილისი, 2008 წ.

5. Об одной задаче неполного функционального резервирования. სტუ, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია"ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008", მოხსენებათა კრებული, თბილისი, 2008 წ.

6. ზოგიერთი სარეზერვო სისტემის მოცდენის შესახებ. სტუ, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია მიძღვნილი აკადემიკოს ივერი ფრანგიშვილის დაბადების 80 წლისთავისადმი, მოხსენებათა კრებული, თბილისი, 2010 წ.