

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვლადიმერ ადამია

ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის  
შეფასების და ამაღლების მოდელები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2011 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის  
კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის  
კომპიუტერული სისტემებისა და ქსელების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: **ტმდ. პროფ. ილია მიქაძე**

**ტმდ. პროფ. რევაზ კაკუბავა**

რეცენზენტები: **ტმკ. პროფ. გივი ფიფია**

**ტმკ. რონალდ კუკავა**

დაცვა შედგება 2011 წლის "28" აპრილს, 2 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და  
მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფაკულტეტის სადისერტაციო  
საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი სრ. პროფ. თ. კაიშაური

## ABSTRACT

Modern life is impossible to imagine without use of various networks. Networks are able to resolve many issues of economy. For example, there are banking, industrial, governmental, military and etc networks. All networks have their own topology and information is transferred according to it. Network topology plays the most important role in quality transfer of information.

Determination of efficiency of network structure is difficult and very labor-intensive. Data networks among above mentioned networks are most expensive, though despite of existing differences it is possible to separate a class of tasks to determine rational structure of networks. These tasks are common for all data networks and can be resolved by same means and methods.

This dissertation includes following : creation of quantitative methods of data networks functional analysis, improvement of fault tolerance of computational methods and provision of maximum data exchange speed by processing time reduction of failure corrections. Dissertation also includes evaluation of those parameters, which determine network reliability and economic efficiency.

First chapter includes research subject, specifically organizational principles of fault tolerant informational computational processes, their technical predecessors and analysis. Problem of technical systems and data networks functional quality evaluation and provision is determined as well as its possible solutions. Particularly, issues of development of fault resistant technical systems, methods to improve system's reliability and trustworthiness, short review of research subject and current state of unresolved issues, stated problem's existing and new mathematical models. Short analysis of research literature is added. Based on above mentioned materials, comparative analysis of methods of fault resistant technical systems and ways to improve their reliability and trustworthiness is done and conclusion is made that structural and time reservation is the most effective method. It is well known that this type of reservation does not require excessive expenses. In addition, efficiency criteria are determined.

Second chapter describes mathematical models which are used in design of technical systems and computational network structures. Particularly, models of service systems' functions are reviewed, which are distinguished by control system organization and strategies of their use. It is assumed that amount of completed tasks

and recovery time are random variables distributed normally and faults and error trend are subject to Poisson law.

In addition, second chapter includes mathematical models, which use Laplace transformation to determine mathematical expectation of packet (data) transfer time after taking into account communication channel errors. Several specific cases are included.

Third chapter consists of research results for effective structure design methodology of data networks. This methodology includes three sequential stages: building of network using minimal length communication channel, building basic in - out data structure and optimal structure.

At the end of this paper conclusions are made based on conducted research.

## **ნაშრომის ზოგადი დასასიათება**

### **თემის აქტუალურობა**

ცივილიზაციის სწრაფმა განვითარებამ, რომელიც განსაკუთრებით იგრძნობა მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, გამოიწვია ინფორმაციის მსოფლიო ნაკადის არნახული ტემპით ზრდა. ამასთან, ადამიანის – ამ ინფორმაციის მომხმარებლის – შესაძლებლობები, მისი აღქმისა და გადამუშავების თვალსაზრისით საუკუნეების მანძილზე რჩება დაახლოებით ერთსა და იმავე, ფრიად შეზღუდულ, დონეზე. საჭირო ინფორმაციის დროულად მოძებნის შეუძლებლობა განაპირობებს მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევების არასრულ გამოყენებას, ე.ი. დროისა და ძალის დაკარგვას, პროგრესის დამუხრუჭებას.

ადამიანის მოკრძალებულ შესაძლებლობებსა და ინფორმაციის თითქმის თვალუწვდენელ ნაკადს შორის ამ შეუსაბამობამ წარმოშვა სწორედ ჩემს მიერ დასმული პრობლემა: ინფორმაციული ქსელების მახასიათებლების ეფექტურობის ამაღლების მეთოდების დამუშავება.

განაწილებული საინფორმაციო – გადამცემი სისტემების ფართო დანერგვის თვალსაზრისით ერთ-ერთი ძირითადი სიძნელე მდგომარეობს მათ არც თუ იაფ ღირებულებაში. ქსელების ღირებულების შემცირების ტემპები მნიშვნელოვნად ჩამორჩებიან ქსელური კომპონენტების (მაგ.

პერსონალური კომპიუტერების) ღირებულების შემცირების ტემპებს. ამიტომ ქსელების შექმნაზე ყოველგვარი დანახარჯების შემცირების შესაძლებლობების გამონახვა, აგრეთვე უკვე არსებულ ქსელებში გამოყენებული მატერიალური და შრომითი რესურსების ეფექტურობის ამაღლების გზების კვლევა-ძიება წარმოადგენს აქტუალურ პრობლემას, რომლის ზოგიერთი ნაწილის გადაწყვეტას ეძღვნება აღნიშნული სადისერტაციო ნაშრომი.

მაღალეფექტური საინფორმაციო – გამომთვლელი ქსელური სტრუქტურების პროექტირებისას სამეცნიერო კვლევების ძირითადი პრობლემა მდგომარეობს ქსელის ძირითადი პარამეტრებისა და იმ კომპონენტების მახასიათებლებზე ტექნიკური მოთხოვნების სრულყოფილ განსაზღვრაში, რომელთა საფუძველზეც წყდება ოპტიმალური ქსელური რესურსების შერჩევის ამოცანები, საინფორმაციო ნაკადების მართვა და სხვა პრობლემები. ყველაზე რთულ პრობლემას საინფორმაციო ქსელების შექმნის დროს წარმოადგენს ქსელის ეფექტური სტრუქტურის შექმნის ან შერჩევის პრობლემა, რომელიც განსაზღვრავს ქსელზე ძირითად მატერიალურ დანახარჯებს. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად საჭიროა დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები – ძირითადი ინსტრუმენტი საინფორმაციო – გადამცემი ქსელური სტრუქტურის შესაქმნელად გადაწყვეტილებების მიღებაში, რომელთა ბაზაზეც ხდება შესაძლებელი დამუშავდეს ოპტიმალური ქსელების სისტემური პროექტირების მეთოდიკა.

### **სამუშაოს მიზანი**

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს მონაცემთა გადაცემის ქსელების ფუნქციონალური ანალიზის რაოდენობრივი მეთოდების შექმნა. გამოთვლითი პროცესის მტყუნებადმდგრადობის ამაღლების ხერხების დამუშავება და ტექნიკური სისტემების მაქსიმალური გამტარუნარიანობის უზრუნველყოფა მტყუნებათა შედეგების ლიკვიდაციაზე დახარჯული დროის შემცირების ხარჯზე, ასევე, იმ მაჩვენებლების შეფასება, რომლებიც განაპირობებენ მათ საიმედოობასა და ეკონომიურ ეფექტიანობას.

ამიტომ, აღნიშნული მიზნიდან გამომდინარე, ნაშრომის ძირითადი ამოცანებია: ორიგინალთან მაქსიმალურად მიახლოებული მათემატიკური მოდელების შექმნა და დამუშავება; ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებლების შერჩევა, დასაბუთება და ანალიზი.

### **კვლევის ობიექტი**

კომპიუტერული სისტემები, სადაც გამოიყენება პაკეტური გადაცემა.

### **კვლევის მეთოდები**

ნაშრომში გამოყენებულია: საიმედოობისა და შემთხვევით პროცესთა თეორია; დიფერენციალური და ინტეგრალური განტოლებები; ლაპლასის გარდაქმნები მათემატიკური მოდელირება; ქსელების პროექტირების თეორია; შემთხვევითი სიდიდეების თეორია.

### **ნაშრომის ძირითადი შედეგები**

- დამუშავებულია კავშირის არხის ახალი მათემატიკური მოდელები მდგრადი და თვითლიკვიდირებადი მტყუნებების გათვალისწინებით, რომლებიც ორიენტირებულია ამოცანის შესრულების დროის მინიმიზაციისაკენ.

- დამუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების კავშირის არხების საიმედოობის გაზრდისათვის განკუთვნილი ტექნიკური და ტექნოლოგიური ხასიათის მოდელები და ალგორითმები.

- დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები, ქსელში პაკეტის გადაცემის რეალური დროის შეფასებისათვის, კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს;

- შემუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების ინფორმაციული ქსელების ეფექტური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდიკა.

### **მეცნიერული სიახლე**

წარმოდგენილი სამუშაოს მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს მონაცემთა გადაცემის ქსელების ახალი მათემატიკური მოდელების

დამუშავებაში, რომლებიც არსებულისაგან განსხვავებით ითვალისწინებენ საწყისი მონაცემების მინიმალურ შეზღუდვებს. გარდა ამისა ამ მოდელების ბაზაზე დამუშავებულია საინფორმაციო პაკეტების მიმღებ-გადამცემი ქსელების ეფექტური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდოლოგია.

### **კუბლიკაციები**

დისერტაციის თემის ირგვლივ გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო ნაშრომი. ასევე სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი კვლევის შედეგები აპრობირებულია სამეცნიერო – ტექნიკურ კონფერენციებზე:

### **სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა**

დისერტაცია შედგება შესავლის, 3 თავისაგან, დასკვნისაგან და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 148 გვერდს. იგი შესდგება ძირითადი ნაბეჭდი ტექსტის 141 გვერდისა და 8 ნახაზისაგან. გამოყენებული ლიტერატურის სია შედგება 103 დასახელებისაგან.

### **სამუშაოს შინაარსი**

*შესავალში* დასაბუთებულია დისერტაციის თემის აქტუალობა, განსაზღვრულია სამუშაოს მიზანი და კვლევის მეთოდები.

*დისერტაციის პირველ თავში* განხილულია კვლევის ობიექტი, კერძოდ, მტყუნებადმდგრადი ინფორმაციულ - გამოთვლითი პროცესების ორგანიზაციის პრინციპები, მათი ტექნიკური წინამძღვრების მიმოხილვა და ანალიზი. დასმულია ტექნიკური სისტემების და მონაცემთა გადაცემის ქსელების ფუნქციონირების ხარისხის შეფასებისა და უზრუნველყოფის პრობლემა. მიმოხილულია ამ პრობლემის გადაწყვეტის გზები. კერძოდ, მტყუნებადმდგრადი ტექნიკური სისტემების დამუშავების პრობლემები, მათი საიმედოობისა და სარწმუნოობის ამაღლების მეთოდები, კვლევის საგნისა და

ზოგიერთ გადაუწყვეტელ საკითხთა თანამედროვე მდგომარეობის მოკლე მიმოხილვა, დასმული პრობლემის გადაწყვეტის არსებული და ახალი მათემატიკური მეთოდები. ჩატარებულია ლიტერატურის მოკლე ანალიზი და ნაჩვენებია გადაუწყვეტელი ამოცანები. ნაჩვენებია, რომ ინფორმაციის გადამცემმა ქსელმა უნდა უზრუნველყოს ინფორმაციის დროული ჩაბარება წყაროდან - მიმღებამდე მინიმალური დანახარჯებით.

დროულობის ძირითადი მაჩვენებელია  $T_{ნაბ}$  - ინფორმაციის ჩაბარების დრო, რომელიც დამოკიდებულია კავშირის არსებობა და ტექნიკური საშუალებების სისწრაფეზე, მათ საიმედოობაზე, ქსელის სტრუქტურაზე და სხვა ტექნიკურ მაჩვენებლებზე. თავის მხრივ ქსელის კომპონენტების ხარისხის უზრუნველყოფა დამოკიდებულია იმ დანახარჯების სიდიდეზე, რომელიც გამოიყოფა ქსელის შექმნაზე. აქედან გამომდინარე,  $T_{ნაბ}$  ფუნქცია შეიძლება გამოყენებულ იქნას ეფექტურობის კრიტერიუმად, რომელიც თავისთავში აერთიანებს ყველა კერძო კრიტერიუმს.

ქსელის სტრუქტურის კვლევის ამოცანები დაყვანილი უნდა იქნენ შემდეგი ფუნქციების მიღებამდე:

$$C_i = C(\bar{T}_{ნაბ_i}, \lambda_l, K, \lambda_k, \tau_l, \tau_2, K, \tau_k, F_i^k(t), P_i^k, N_i, K_{q_i}) \quad (1)$$

$$K_{q_i} = K(\bar{T}_{ნაბ_i}, \lambda_l, K, \lambda_k, \tau_l, \tau_2, K, \tau_k, F_i^k(t), C_i, P_i^k, N_i, K_{q_i}) \quad (2)$$

სადაც  $K_{q_i}, C_i$  - ქსელის სტრუქტურის  $i$ -ური არხის შესაბამისად გამტარუნარიანობისა და მზადყოფნის კოეფიციენტის ეფექტური მნიშვნელობებია, როცა  $i = 1, 2, 3, \dots, \mu$ ;

$\bar{T}_{ნაბ_i}$  - შეტყობინებების (პაკეტების) ჩაბარების დაყოფნება  $i$ -ურ არხში;

$\lambda_j, \tau_j$  - შეტყობინებების (პაკეტების) ნაკადების ინტენსივობებია  $i$ -ურ არხში შესაბამისად როგორც სამომსახურეო, ისე მომხმარებელზე გადასაცემი ინფორმაციისა ( $j = 1, 2, 3, \dots, k$ );

$F_i^k(t)$  - შეტყობინებათა შესაბამისი ნაკადებისა და მათი სიგრძეების  $i$ -ურ არხში განაწილების კანონი;



$P_i^k$  –  $i$ -ურ არხში შეტყობინებების  $k$ -ური ნაკადის დამახინჯების ალბათობა;

$N_i$  – სააბონენტო სადგურების რიცხვი, მიერთებული  $i$ -ურ არხზე;

$K_{\Phi_i}$  – საიმედოობა ( $i$ -ური არხის მზადყოფნის კოეფიციენტი).

(1) და (2) გამოსახულებების მიღება წარმოადგენს ჩატარებული კვლევის ძირითად ამოცანას, რადგან მათი მდგენელები წარმოადგენენ ქსელის ძირითად პარამეტრებს. მთავარ პარამეტრებად მათი მიკუთვნება აიხსნება იმით, რომ ისინი ახასიათებენ ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ შემადგენლობას და მის ეკონომიკურ მახვენებლებს.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული კვლევის მიზნისა და ამოცანების მათემატიკური ფორმულირება ყოველგვარი ზემოთხსენებულის გათვალისწინებით შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

ვიპოვოთ პირობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მიზნობრივი ფუნქციის მინიმუმს:

$$\begin{cases} U_c = U(Q_i, m_i, K_{\Phi_i}, C_i, U_r, M, N) = \min \\ \text{და } \bar{T}_{\text{ნაბ}} \leq T_{\text{ნაბ.მ.}} \end{cases} \quad (3)$$

სადაც,  $\bar{T}_{\text{ნაბ}}, T_{\text{ნაბ.მ.}}$  – შესაბამისად რეალური და მოცემული შემკვეთის მიერ დაყოვნებაა ქსელში.

აღნიშნულ პარაგრაფში ფორმულირებული პრობლემების გადასაჭრელად საჭიროა შეირჩეს ეფექტური მეთოდები საკვლევი ამოცანების გადასაჭრელად, მასობრივი მომსახურების თეორია, შემთხვევითი სიდიდეების თეორია, მათემატიკური პროგრამირება.

**მეორე თავში** აღწერილია მათემატიკური მოდელები, რომლებიც გამოიყენება ტექნიკური სისტემებისა და გამოთვლითი ქსელების სტრუქტურების პროექტირებაში. კერძოდ, განიხილება მომსახურე სისტემების ფუნქციონირების მოდელები, რომლებიც განსხვავდებიან კონტროლის სისტემის ორგანიზებით და მისი გამოყენების მიღებული სტრატეგიით, იმ ვარაუდით, რომ შესრულებული ამოცანის მოცულობა

და აღდგენის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს განაწილების ნებისმიერი კანონით, ხოლო მტყუნებები და შეფერხებათა ნაკადი ემორჩილება პუასონის კანონს.

განხილულ მოდელებში მიღებულია, რომ, მომსახურე სისტემას აქვს ერთი ქმედითუნაირიანი მდგომარეობა ( $m=1$  ან  $n=1$ ); ამოცანის გადაწყვეტის დროის განაწილების ფუნქციაა -  $\Psi(t)$ . ყოველი ეტაპის შესრულების სრული დრო (განაწილების ფუნქციით  $F_j(t)$  ( $j=1, n$ )) მოიცავს  $n$  დროს, რომელიც აუცილებელია განაწილების  $F_{j1}(t)$  ფუნქციის მქონე ეტაპის წარმოქმნისათვის და აგრეთვე მოიცავს  $F_{j2}(t)$  განაწილების ფუნქციის მქონე ეტაპის ამოხსნის საკუთარ დროს.

გარდა ამისა, ამ თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელები, რომლებშიც განსაზღვრულია პაკეტის გადაცემის დრო კავშირის არხში წარმოქმნილი შეცდომების გათვალისწინებით

### **მოდელი 1. შეტყობინების გადაცემის დროის განსაზღვრა უწყვეტი კონტროლით**

კომპიუტერზე გადასაწვევტი ამოცანა დაყოფილია  $n$  ეტაპებად. თითოეული ეტაპის შესრულების დრო წარმოადგენს დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი  $F(x)$  კანონით. შეიძლება აღიძრას ორი სახის მტყუნება (ხელისშემშლელი ფაქტორი)  $\alpha$  და  $\beta$  ინტენსივობით. პირველი სახის  $\alpha$  მტყუნება წარმოადგენს მდგრადს, ხოლო მეორე  $\beta$  სახის-თვითმოცილებადს. კომპიუტერში გამოყენებულია სპეციალური კოდი, რომელიც აღმოაჩენს ორმაგ შეცდომებს და კორექტირებას უკეთებს ცალკეულ შეცდომებს. აღმოჩენის შემდეგ წარმოებს რემონტი. რემონტის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი  $G(u)$  კანონით. მდგრადი ხელისშემშლელი ფაქტორების აღძვრის დროს ხდება დამახინჯებული ეტაპების გადათვლა, ხოლო თვითლიკვიდირებადი ხელისშემშლელი ფაქტორების აღძვრის შემდეგ გაგრძელება ხდება შეწყვეტილი ადგილიდან. მოცემულ დროში ამოცანის გადაწყვეტის განხორციელებაა  $\Phi_j(t, x)$ , განსაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებიდან:

$$\Phi_j(t, x) = \int_0^t e^{-\alpha u} d_u F(x+u) \Phi_{j+1}(t-u, 0) + \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} \bar{F}(x+u) \Phi_j^{(1)}(t-u, x+u) du \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Phi_j^{(1)}(t, x) &= \int_0^t e^{-\alpha u} e^{-\beta u} d_u F(x+u) \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u, 0) + \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} e^{-\beta u} \bar{F}(x+u) du \times \\ &\times \int_0^{t-u} dG_1(v) \cdot \Phi_j(t-u-v, 0) + \int_0^t \beta e^{-\alpha u} e^{-\beta u} du \bar{F}(x+u) \int_0^{t-u} dG_2(v) \Phi_j(t-u-v, x+u) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{სადაც } \bar{F}(u) = 1 - F(u);$$

ლაპლასის გარდაქმნაზე გადასვლით და მათი ამოხსნით, მივიღებთ განტოლებათა სისტემას ოთხი უცნობით:

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_j(s, 0) &= \frac{(A_1 + A_2) \cdot M}{M - K}; \\ \Phi_j^{(1)}(s, 0) &= \frac{(s + \alpha)[(A_1 + A_2)(M - K) + K((A_1 + A_2))] - (A_1 \lambda_1 + A_2 \lambda_2)(M - K)}{\alpha(M - K)}; \\ \Phi_j(s, \tau) &= A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c} = \frac{1}{s}; \\ \Phi_j^{(1)}(s, \tau) &= \frac{(s + \alpha)(A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c}) - (A_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 \tau})}{\alpha} = \frac{1}{s}; \end{aligned} \right. \quad (6)$$

სადაც:

$$M = (s + \alpha)(s + \alpha + \beta) - \alpha \beta g_2(s); \quad K = \alpha^2 g_1(s); \quad d = \alpha g_1(s) \Phi_j(s, 0);$$

$$a = -\frac{1}{\alpha}; \quad b = \frac{2s + 2\alpha + \beta}{\alpha}; \quad c = -\left[ \frac{(s + \alpha)(s + \alpha + \beta)}{\alpha} - \beta g_2(s) \right];$$

$$\lambda_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad \lambda_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad A_1 = \frac{1/s (f - b')}{a'f - d'b'};$$

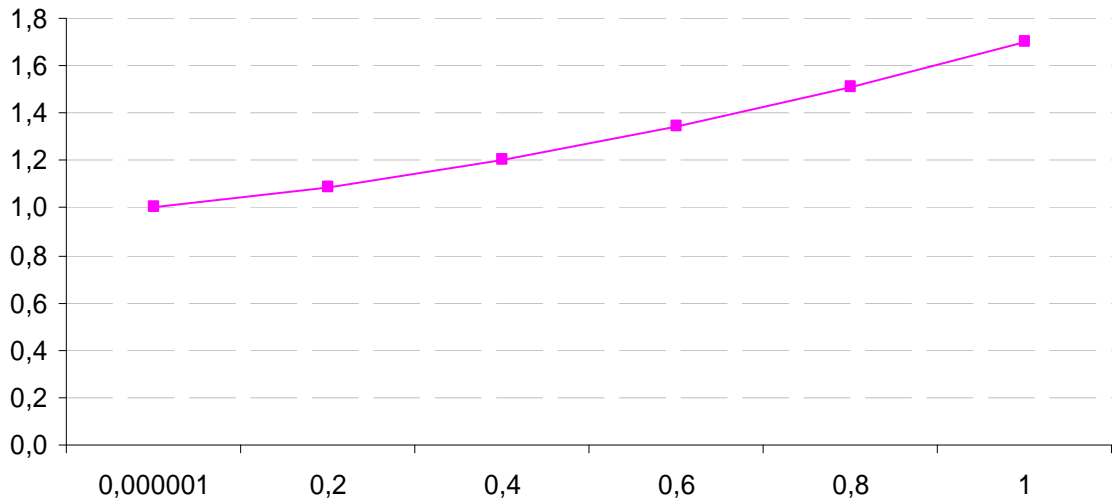
$$A_2 = \frac{1/s (a' - d')}{a'f - d'b'}; \quad a' = \frac{e^{\lambda_1 \tau} (M - k) + k}{M - K}; \quad b' = \frac{e^{\lambda_2 \tau} (M - K) + K}{M - K};$$

$$d' = \frac{(M e^{\lambda_1 \tau} - K e^{\lambda_1 \tau} + K) - \lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} (M - K)}{\alpha(M - K)}; \quad f = \frac{(M e^{\lambda_2 \tau} - K e^{\lambda_2 \tau} + K)(s + \alpha) - \lambda_2 e^{\lambda_2 \tau} (M - K)}{\alpha(M - k)}.$$

ვიცით, რა  $\Phi_j(s, 0)$ , შეგვიძლია განვსაზღვროთ შეტყობინების გადაცემის დროის მათემატიკური ლოდინი ცნობილი ფორმულით:

$$T = -s \Phi_j(s, 0) \Big|_{s=0}' = \lim_s \frac{1 - s \Phi(s, 0)}{s};$$

ამ მოდელში გრაფიკის სახით წარმოდგენილია შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური ლოდინის  $\alpha$  მტყუნებაზე დამოკიდებულება.



**მოდელი 2. პაკეტის გადაცემის დროის განსაზღვრა კავშირის არხში წარმოქმნილი შეცდომების გათვალისწინებით**

ამ მოდელის მიხედვით კავშირის არხში გამავალი შეტყობინება იყოფა პაკეტებად. გადაცემის ბოლოში თითოეული პაკეტი მოწმდება მიმღების მიერ. გაუმართაობის აღმოჩენის შემთხვევაში, კავშირის არხი გადაეცემა აღდგენაზე, რის შემდეგაც განმეორდება პაკეტის გადაცემა. საჭიროა განისაზღვროს: პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქცია, მისი საშუალო მნიშვნელობა, შეტყობინების პაკეტებად დაყოფის ეფექტური მნიშვნელობა და გადაცემის სიჩქარე, რომელიც უზრუნველყოფს კავშირის არხის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას.

$\Phi_0^3(t)$  – პაკეტის გადაცემის რეალური დროის განაწილების ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებიდან:

$$\begin{aligned} \Phi_0^3(t) = & \int_0^t dF_3(u)e^{-\alpha(c)u}V(t-u) + \int_0^t dF_3(u)(1-e^{-\alpha(c)u}) \int_0^{t-u} dV(v) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dG(\eta)\Phi_0^3(t-u-v-\eta) \end{aligned} \quad (7)$$

სადაც:  $F_3(u)$  – იდეალური კავშირის შემთხვევაში პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქცია ( $f(u) = F'(u)$ );  $\alpha(c)$  – კავშირის არხების მტყუნებათა ინტენსივობა, რომელიც დამოკიდებულია მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეზე;  $V(t)$  – პაკეტის გადაცემის სისწორის კონტროლის დროის განაწილების ფუნქცია ( $V(t) = V'(t)$ );  $N_3$  – პაკეტში საინფორმაციო სიმბოლოების რიცხვია

$(N_3 = N_3/n)$ ;  $G(u)$ -მტყუნებადი კავშირის არხის აღდგენის დროის განაწილების ფუნქცია ( $g(u) = G'(u)$ );

(7)-ის მიმართ ლაპლასის გარდაქმნის გამოყენებით, მივიღებთ:

$$\Phi_6^3(s) = f_3(s + \alpha(c))\nu(s)/s + \nu(s)g(s)\Phi_6^3(s)[f_3(s) - f_3(s + \alpha(c))] \quad (8)$$

რომლის ამოხსნის შედეგად, ვიღებთ:

$$\Phi_6^3(s) = f_3(s + \alpha(c))\nu(s)/s \{1 - \nu(s)g(s)[f(s) - f(s + \alpha(c))]\} \quad (9)$$

სადაც,  $f_3(s + \alpha(c)) = e^{-(N_3 + nN_g)(s + \alpha(c))/nc}$ ;  $\nu(s) = \int_0^\infty e^{-st} dY(t)$ ;

$$f_n(s) = e^{-(N_3 + nN_g)s/nc}; \quad g(s) = \int_0^\infty e^{-st} dG(t).$$

$\Phi_6^3(s)$ -ის მიღებით, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ  $\Phi_6^3(s) = (S\Phi_6^3(s))^n / S$ .

პაკეტის გადაცემის დროის მათემატიკური მოლოდინი, როცა  $\alpha(c) = \gamma c^m$

$$T_6^3 = -n\tau_{\text{აღ}} + \left( n\tau_{\text{კ}} + n\tau_{\text{აღ}} + \frac{N_3 + nN_g}{C} \right) \cdot \exp[(N_3 + nN_g)\alpha(c)/nC] \quad (10)$$

სადაც,  $\tau_{\text{აღ}} = -g(s)|_{s=0}'$  - მტყუნების აღმოფხვრის დროის მათემატიკური მოლოდინი;  $\tau_{\text{კ}} = -V(s)|_{s=0}'$  - უშეცდომოდ გადაცემული პაკეტის კონტროლის დროის მათემატიკური მოლოდინია.

$n$ -ის და  $c$ -ს საუკეთესო მნიშვნელობის საპოვნელად, როდესაც  $T_6^3(n, c)$  მიიღებს უმცირეს მნიშვნელობას ფიქსირებული  $N_3$  დროს, ამოხსნილია შემდეგი განტოლება:

$$\frac{\partial T_6^3(n, c)}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial T_6^3(n, c)}{\partial c} = 0. \quad (11)$$

$T_6^3(n, c)$  მნიშვნელობის (11)-ში ჩასმით, მიღებულია:

$$\left\{ \begin{aligned} & -\tau_{\text{სგ}} + \left[ \tau_{\text{კ}} + \tau_{\text{სგ}} + \frac{N_{\text{გ}}}{C} - \left( n\tau_{\text{კ}} + n\tau_{\text{სგ}} + \frac{N_{\text{ა}} + nN_{\text{გ}}}{C} \right) \right] \gamma C^{m-1} N_{\text{ა}} / n^2 \times \\ & \times \exp[(N_{\text{ა}} + nN_{\text{გ}}) \gamma C^{m-1} / n] = 0; \\ & n(\tau_{\text{კ}} + \tau_{\text{სგ}}) C^m + (N_{\text{ა}} + nN_{\text{გ}}) C^{m-1} = n/\gamma(m-1), \quad m \neq 1. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

**მოდელი 3. შეტყობინების გადაცემის დროის განსაზღვრა ბოლოში კონტროლით**

კომპიუტერზე გადასაწვევტი ამოცანა დაყოფილია  $n$  ეტაპებად. თითოეული ეტაპის შესრულების დრო წარმოადგენს დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი  $F(x)$  კანონით. შეიძლება აღიძრას ერთი სახის მტყუნება  $\alpha$  ინტენსივობით. კომპიუტერში გამოყენებულია მაკონტროლებელი კოდი, რომელიც აღმოაჩენს ორმაგ შეცდომას თითოეული პაკეტის გადაცემის ბოლოს. შეცდომის აღმოჩენის შემდეგ წარმოებს რემონტი. რემონტის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი  $G(u)$  კანონით. მოითხოვება მოცემულ დროში ამოცანის გადაწვევტის განხორციელებადობის განსაზღვრა.

დასმული ამოცანის გადასაწვევტად განხილულია  $\Phi_j(t)$ - ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა დამუშავება დამთავრდება  $t$ - ზე ნაკლებ დროში. პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების  $\Phi_j(t)$  ფუნქციისათვის, ადგილი აქვს შემდეგ ინტეგრალურ დამოკიდებულებას:

$$\begin{aligned} \Phi_j(t) &= \int_0^t dF(u) e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}(t-u) + \int_0^t dF(u) \alpha u e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \\ &+ \int_0^t dF(u) \cdot \sum_{i=2}^{\infty} (\alpha u)^i e^{-\alpha u} \times \int_0^{t-u} dG(v) \cdot \Phi_j(t-u-v); \quad (13) \\ \Phi_j^{(1)}(t) &= \int_0^t dF(u) e^{-\alpha u} \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \int_0^t dF(u) \cdot (1 - e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dG(v) \Phi_j(t-u-v); \end{aligned}$$

გამოვიყენებთ რა, ლაპლასის გარდაქმნას (13)-თვის, მივიღებთ:

$$\Phi_{(j)}(s) = \Phi_{j+1}(s) f(s + \alpha) + \alpha \tau e^{-(s+\alpha)\tau} \Phi_{j+1}^{(1)}(s) + g(s) \Phi_j(s) \times [f(s) - f(s + \alpha) - \alpha \tau e^{-(s+\alpha)\tau}] \quad (14)$$

$$\Phi_j^{(1)}(s) = \Phi_{j+1}^{(1)}(s) f(s + \alpha) + [f(s) - f(s + \alpha)] \cdot g(s) \Phi_j(s)$$

(14)-ში საშუალო მნიშვნელობაზე გადასვლით, მივიღებთ:

$$T_j = \frac{T_{j+1}f(\alpha) + \alpha f(\alpha)T_{j+1}^{(1)} + \tau_0[1 - f(\alpha) - \alpha f(\alpha)] + \tau_s}{f(\alpha) + \alpha f(\alpha)} \quad (15)$$

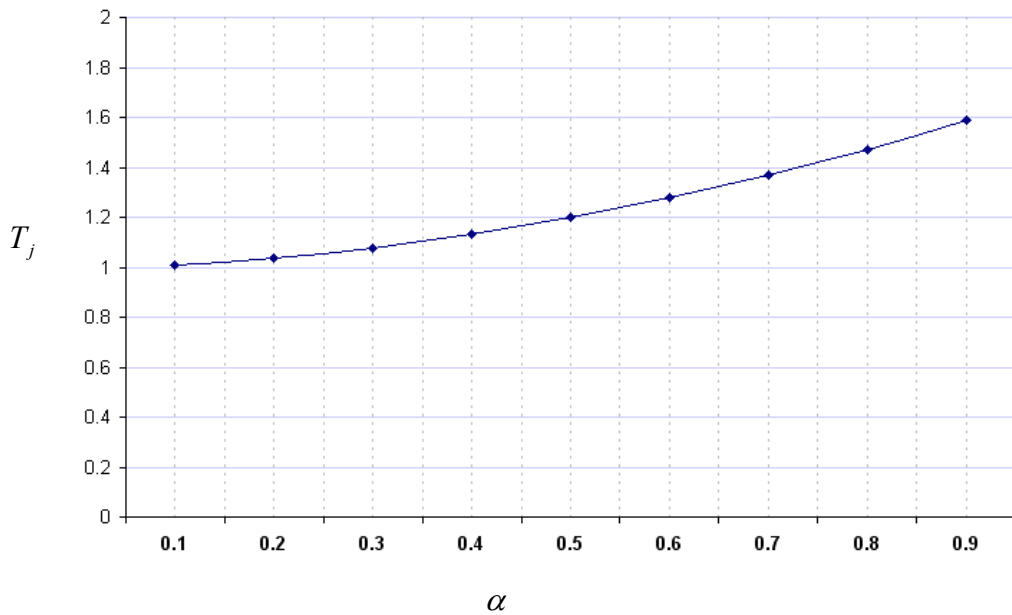
$$T_j^{(1)} = T_{j+1}^{(1)}f(\alpha) + T_j[1 - f(\alpha)] + \tau_0[1 - f(\alpha)] + \tau_s$$

(15) განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$T_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-j} f(\alpha)^{n-j-i} [\alpha f(\alpha)T_{n-i+1}^{(1)} + A]B^i}{B^{n-j+1}}$$

$$T_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-j} f(\alpha)^{n-j-i} [(1 - f(\alpha))(T_{n-i} + \tau_0) + \tau]$$

ამ მოდელში გრაფიკის სახით წარმოდგენილია შეტყობინების გადაცემის დროის მათემატიკურ ლოდინის  $\alpha$ -ზე დამოკიდებულება.



#### მოდელი 4. არასიმულ და არასარწმუნო მომსახურე სისტემა ოპერატიულ - აპარატურული კონტროლით

ოპერატიულ-აპარატურული კონტროლით მოწოდება გამოთვლების მიმდინარეობის სისწორე და გაუმართაობის აღმოჩენის შემთხვევაში მომსახურე სისტემა აღდგება, რის შემდეგაც განმეორებით სრულდება პროგრამის განსაზღვრული ნაწილი. თუ აპარატურული კონტროლი ვერ აღმოაჩენს ყველა შეცდომას ან მომსახურე სისტემის ყველა კვანძს ვერ მოიცავს, ასეთ შემთხვევაში მომსახურე სისტემა აგრძელებს

გამოთვლას იქამდე, სანამ თავს არ იჩენს აღმოჩენადი მტყუნება, ან დადგება პერიოდული კონტროლის მომენტი. განხილულ მოდელში გათვალისწინებულია, როგორც მომსახურე სისტემის, ასევე საკონტროლო აპარატურის საიმედოობა. განხილულია შემთხვევა, როცა მომსახურეობა იწყება ქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით. მტყუნებათა ნაკადი განაწილებულია პუასონის კანონით  $\lambda$  ინტენსივობით, რომელიც მოიცავს აგრეთვე საკონტროლო აპარატურის მტყუნებების ინტენსივობას  $\lambda_j$ ; უწყვეტი კონტროლის მტყუნებების აღმოჩენის ალბათობა შეადგენს  $R$ ; საკონტროლო აპარატურის მტყუნება თავის შედეგებით ეკვივალენტურია მომსახურე სისტემის ძირითადი აპარატურის მტყუნებების; აღდგენისა და პერიოდული კონტროლის დრო წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს შესაბამისად  $G(t)$  და  $V(t)$  განაწილების ფუნქციებით; ყველა  $n$  ეტაპის გადაწყვეტის დრო წარმოადგენს ერთნაირად განაწილებულ  $F(t)$  შემთხვევით სიდიდეს. აღმოჩენადი მტყუნებების ინტენსივობა შეადგენს  $\alpha = \lambda_j + R(\lambda - \lambda_j)$ , აღმოუჩენადის კი შეადგენს  $\beta = (1 - R)(\lambda - \lambda_j)$ . აშკარაა, რომ ადგილი აქვს ტოლობას  $\alpha + \beta = \lambda$ . მომსახურე სისტემაზე ამოცანის შესრულების პროცესი აღწერილია შემდეგი ნახვევის ტიპის ინტეგრალური განტოლებით:

$$\begin{aligned}
 \Phi_j(t) = & \int_0^t dF^{(n-j+1)}(u)e^{-\lambda u}V(t-u) + \\
 & + \sum_{i=0}^{n-j} \int_0^t \alpha e^{-\lambda u} [F^{(i)}(u) - F^{(i+1)}(u)] du \int_0^{t-u} dG(v)\Phi_{j+i}(t-u-v) + \\
 & + \int_0^t dF^{(n-j+1)}(u)[1 - e^{-\beta u}]e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dV(v)\Phi_j(t-u-v) + \\
 & + \int_0^t \alpha e^{-\lambda u} du [1 - e^{-\beta u}] [1 - F^{(n-j+1)}(u)] \int_0^{t-u} dG(v)\Phi_j(t-u-v), \\
 & j = \overline{1, n},
 \end{aligned} \tag{16}$$

სასაზღვრო პირობით  $\Phi_{n+1}(t) = V(t)$ .

გამოვიყენებთ რა (16) სისტემის მიმართ ლაპლასის გარდაქმნას და ამოგხსნით მას  $\varphi_1(s) \neq \Phi_1(t)$  მიმართებით, მივიღებთ:



$$\varphi_1(s) = \frac{v(s)}{s} \prod_{j=1}^n b_j(s)/a_j(s), \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{სადაც } a_j(s) &= 1 - [f^{(n-j+1)}(s + \alpha) - f^{(n-j+1)}(s + \lambda)]v(s) - \\ &- \frac{\alpha[1 - f(s + \lambda)]g(s)}{s + \lambda} - \left[ \frac{f^{(n-j+1)}(s + \lambda) - 1}{s + \lambda} - \frac{f^{(n-j+1)}(s + \alpha) - 1}{s + \alpha} \right] \alpha g(s), \\ b_i(s) &= f(s + \lambda) - \alpha g(s) f(s + \lambda) \left[ \frac{f^{(n-j)}(s + \lambda) - 1}{s + \lambda} - \frac{f^{(n-j)}(s + \alpha) - 1}{s + \alpha} \right] - \\ &- [f^{(n-j)}(s + \alpha) - f^{(n-j)}(s + \lambda)] f(s + \lambda) v(s); \\ \varphi_j(s) &= \int_0^\infty e^{-st} \Phi_j(t) dt \quad (j = \overline{1, n}), \quad g(s) = \int_0^\infty e^{-st} dG(t), \\ v(s) &= \int_0^\infty e^{-st} dV(t), \quad f(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF(t) \end{aligned}$$

ადვილად ვრწმუნდებით რომ  $\varphi_1(s)$  წარმოადგენს განაწილების ფუნქციას.

$n$  ეტაპის მქონე ამოცანის შესრულების  $T_1$  დროის მათემატიკური ლოდინის გამოსახულებას, თუ მისი ამოხსნა იწყება გამართული მომსახურე სისტემის პირველი ეტაპიდან, აქვს შემდეგი სახე:

$$T_1 = -|s\Psi_1(s)|'_{s=0} = \tau_k + \sum_{j=1}^n d_j / a_j, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{სადაც } d_j &= \frac{1 + \alpha\tau_{\text{სლ}}}{\alpha} \{ [1 - f(\lambda)][f(\alpha) - f(\lambda)f^{n-j}(\alpha)] + \\ &+ \tau_j [f(\alpha) - f(\lambda)] f^{n-j}(\alpha), \quad a_j = f(\lambda) [\beta f^{n-j}(\lambda) + \alpha] / \lambda \end{aligned}$$

აქ  $\tau_j = -v'(0)$  და  $\tau_{\text{სლ}} = -g'(0)$  შესაბამისად პერიოდულ კონტროლისა და აღდგენის საშუალო დროა.

## მოდელი 2. მომსახურე სისტემა პროგრამული კონტროლით

შესასრულებელი სამუშაო დაყოფილია  $N$  ნაწილად, თითოეული ნაწილი  $n$  ერთნაირად განაწილებულ ეტაპად. მომსახურე სისტემის მუშაობის შედეგების სისწორის შემოწმება ხდება ყოველ ეტაპზე ამოხსნის გამეორების გზით, ორი ისეთი შედეგის გამოჩენამდე, რომლებიც ერთმანეთს ემთხვევა. ამის გამო მცირდება გამოთვლის შედეგებზე შეფერხების გავლენა. გამოთვლის შედეგების დაცვა მდგრადი მტყუნებების გავლენისაგან ხდება დროის განსაზღვრულ შუალედებში პერიოდული კონტროლის საშუალებით. პერიოდული კონტროლი

მოიცავს აუცილებლობის შემთხვევაში მომსახურე სისტემის საკონტროლო აპარატურის აღდგენას.

ანალოგიური განხილვების საფუძველზე  $\Phi_1(t)$  და  $\Psi_1(t)$  ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებით:

$$\begin{aligned} \Phi_j(t) = & \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v) + \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \times \\ & \times \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha \tau} \int_0^{t-u-v-\tau} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau-v) + L, \quad j = \overline{1, n}, \quad \Phi_{n+1}^{(i)}(t) = 1; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\Psi_1(t) = \int_0^t d\Phi_1(u)e^{-\beta u} V(t-u) + \int_0^t d\Phi_1(u)(1-e^{-\beta u}) \int_0^{t-u} dV(v)\Psi_1(t-u-v)$$

სადაც,  $V(t)$ -არის პერიოდული კონტროლის განაწილების ფუნქცია;  $\alpha$  – თვითმოცილებადი მტყუნებების ინტენსივობა;  $\beta$  – მდგრადი მტყუნებების ინტენსივობა;  $\Phi_1(t)$  -  $t$ -ზე ნაკლებ დროში  $n$  ეტაპების შესრულების ალბათობა, მხოლოდ თვითმოცილებადი მტყუნებების დროს;  $\Psi_1(t)$  -  $n$  ეტაპების ამოხსნის დროის განაწილების ფუნქცია, როგორც თვითმოცილებადი, ასევე მდგრადი მტყუნებების დროს. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა მომსახურება იწყება ქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით.

(19) განტოლებათა სისტემის გარდაქმნით და  $\varphi_1(s)$  და  $\Psi(s)$  მიმართ მათი ამოხსნით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \varphi_1(s) &= s^{-1} \{f(s+\alpha)/[1-f(s)+f(s+\alpha)]\}^{2n}, \\ \Psi_1(s) &= [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda) / s \{ [1-f(s+\beta) + \\ &+ f(s+\lambda)]^{2n} [(1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} - v(s) f^{2n}(s+\alpha) + \\ &+ [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda), \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{სადაც:} \quad \lambda = \alpha + \beta, \quad f(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF(t), \quad v(s) = \int_0^\infty e^{-st} dV(t),$$

$$\varphi_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \Phi_1(t) dt, \quad \Psi_1(s) = \int_0^\infty e^{-st} \Psi_1(t) dt$$

გავითვალისწინებთ რა, რომ  $T_1^n = -|sQ_1(s)|'_{s=0}$  და  $T_1 = -|s\Phi_1(s)|'_{s=0}$ ,

მივიღებთ:

$$\begin{aligned} T_1^n &= -2nf'(0)f^{-1}(\alpha) \quad \text{და} \\ T_1 &= -[2nf'(0)f^{-1}(\alpha) + v'(0)] \times [1 - f(\beta) + f(\lambda)]^{2n} / f^{2n}(\lambda), \end{aligned} \quad (21)$$

სადაც,  $f'(0)$  და  $v'(0)$  - არის შესაბამისად ეტაპის ამოხსნისა და პერიოდული კონტროლის მათემატიკური ლოდინი.

მთელი ამოცანის ამოხსნის სრული საშუალო დრო:

$$T_0 = NT_1 \quad (22)$$

### მოდელი 3. მომსახურე სისტემა პროგრამულ - აპარატურული კონტროლით

ამ მოდელში შეფერხებების აღმოჩენა შესაძლებელია ამოცანის თითოეული ეტაპის ორმაგი რეალიზაციის მეთოდით, ხოლო მტყუნებების კი - აპარატურული საშუალებებით დროის იმავე იმპერვალში, რომელშიც შეფერხებები. შესრულებული სამუშაო გაყოფილია არათანაბარ ეტაპებად მათი ამოხსნის დროის განაწილების ნებისმიერი  $F_j(t)$ ,  $j = \overline{1, n}$  კანონით, ხოლო შეფერხებებისა და მტყუნებების ინტენსივობები  $\alpha$  და  $\beta$ ,  $j = \overline{1, n}$ , შესაბამისად დამოკიდებულია გადასაწყვეტ ეტაპებზე.

დასმულ ამოცანას შეესაბამება შემდეგი ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned} \Phi_1(t) &= \int_0^t e^{-(\alpha_j + \beta_j)x} dF_{j2}^*(x) \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_{j+1}(t-x-y) + \\ &+ \int_0^t dF_{j2}^*(x) e^{-\beta_j x} [1 - e^{-\alpha_j x}] \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_j(t-x-y) + \\ &+ \int_0^t \beta_j e^{-\beta_j x} [1 - F_{j2}^*(x)] dx \int_0^{t-x} dG_2(y) \Phi_1(t-x-y) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\Phi_{n+1}(t) = 1; \quad j = \overline{1, n},$$

სადაც  $F_{j2}^*(x)$  არის  $F_j(x)$  განაწილების ფუნქციის ორჯერადი ნახვევი.

გამოვიყენებთ რა (23) - თვის ლაპლასის გარდაქმნას, მივიღებთ:

$$\begin{cases} a_j(s)\Psi_j(s) - b_j(s)\Psi_j(s) + c_j(s)\Psi_{j+1}(s) = 0 \\ \Psi_{n+1}(s) = \frac{1}{s}; \quad j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (24)$$

სადაც:

$$\begin{aligned} a_j(s) &= \frac{g_2(s)\beta_j[1 - f_j^2(p_{1j})]}{p_{1j}}, \\ b_j(s) &= 1 - g_1(s)[f_j^2(p_{1j}) - f_j^2(p_{2j})]; \\ c_j(s) &= g_1(s)f_j^2(p_{2j}); \quad p_{1j} = s + \beta_j; \quad p_{2j} = s + \alpha_j + \beta_j. \end{aligned} \quad (25)$$

(24) სისტემის ამოხსნას  $T_j$ -ის მიმართებაში, აქვს სახე:

$$\Psi_1(s) = \left[ \prod_{i=1}^n \frac{c_i}{b_i} \right] \left[ 1 - \sum_{m=1}^n a_m \prod_{i=1}^m \frac{c_i - 1}{b_i} \right]^{-1} \frac{1}{s}; \quad c_0 = 1. \quad (26)$$

თუ ამოცანის გადაწყვეტა იწყება  $j$ -ური ეტაპიდან, მაშინ (24)-ის გარდაქმნით  $T_j$ -ს მნიშვნელობასთან მიმართებაში, მივიღებთ:

$$\begin{cases} T_{n+1} = 0; \quad j = \overline{1, n} \\ a_{j0}T_1 - b_{j0}T_j + c_{j0}T_{j+1} = d_{j0} \end{cases} \quad (27)$$

სადაც:  $a_{j0}, b_{j0}, c_{j0}$  განისაზღვრებიან (25)-დან და ისინი ტოლია

$$a_j, b_j, c_j \text{ როცა } s = 0, \quad \partial d_{j0} = \left| a_j - b_j + c_j \right|_{s=0}.$$

(27) განტოლების  $T_1$ -ის მიმართებაში ამოხსნით, მივიღებთ:

$$T_1 = \frac{\sum_{m=1}^n d_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}}}{\left[ \sum_{m=1}^n a_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}} \right] - 1} \quad (28)$$

სადაც მიღებულია, რომ  $c_{00} = 1$ .

**მესამე თავში** დამუშავებულია ეფექტური ქსელური სტრუქტურების პროექტირების მეთოდოლოგია. ეს მეთოდოლოგია მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

საწყისი მონაცემების ანალიზი და გათვლები;

ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა. საბაზო სტრუქტურის არჩევა დამყარებულია შემდეგი დამოკიდებულების განსაზღვრით:

$$E_6 K_{\text{სს}} + U_{\text{სს}} + \sum_i^f U_{\text{აღ}_i}(l_{\text{ბღ}_i}) = \min \quad (29)$$

სადაც,  $K_{\text{სს}}$  – სააბონენტო სადგურების რაოდენობაა “მაგისტრალში” (“მარყუჟში”);  $U_{\text{სს}}$  – ერთი სააბონენტო სადგურის ღირებულებაა;  $U_{\text{აღ}_i}(l_{\text{ბღ}_i}) - l_{\text{ბღ}_i}$  – გაჭიმულობის მქონე კავშირის არხის არენდის ღირებულებაა ქსელის ერთი წლით ექსპლუატაციის დროს;  $E_6$  – ნორმატიული კოეფიციენტი.

ქსელის საბაზო სტრუქტურის წარმოქმნისა და გათვლის თანმიმდევრობა დაიყვანება შემდეგზე:

1) ხისმაგვარი სტრუქტურიდან საბოლოო პუნქტების შეერთების გზით წარმოიქმნება მინიმალური შესაძლო რაოდენობის “მარყუჟის” ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს სტრუქტურაზე დანახარჯების მინიმუმს.

2) მიღებული სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის აიგება სტრუქტურული მატრიცა.

3) გამოითვლება იმ ნაკადის მაქსიმალურად დასაშვები ინტენსიობა  $\lambda_{i \max}$ , რომელიც შეიძლება მიმართული იქნეს თითოეულ  $i$ -ურ არხში;  $i$ -ური არხის გამტარუნარიანობა; შეტყობინების ჩაბარების დრო  $T_{\text{ჩაბ}_i}$ .

4) სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის ყველა  $a_i$  წყაროდან  $a_s$  მიმღებისაკენ განაწილდება საინფორმაციო ნაკადები  $\lambda_{i \max}$  მნიშვნელობის გათვალისწინებით.

5) არსებული სტრუქტურებისთვის გამოითვლება ქსელის ყველა არხების გამტარუნარიანობა აბსოლუტურად საიმედო არხების დროს და კავშირის იმ არხებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი მზადყოფნის კოეფიციენტი.

6) გამოითვლება საბაზო სტრუქტურების კავშირის ყველა არხების მზადყოფნის კოეფიციენტი;

7) საბაზო სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის განისაზღვრება წარმოქმნილი “მარყუჟის” მზადყოფნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

8) განისაზღვრება “მარყუჟის” მზადყოფნის კოეფიციენტი, წარმოქმნილი არასაიმედო არხებისაგან.

9) სწარმოებს  $\alpha$ -ური “მარყუჟის” დუბლირების აუცილებლობის შეფასება.

10) განისაზღვრება გზების (კავშირიანობის) საჭირო რიცხვი კვანძების (სააბონენტო სადგურების) თითოეული  $a_t$  და  $a_s$  წყვილისათვის.

11) წარმოებს მე-10 პუნქტში გათვლილი კავშირიანობის მნიშვნელობის უზრუნველყოფის შემოწმება.

12) განისაზღვრება დანახარჯები განსახილველი საბაზო სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის.

13) საბაზო სტრუქტურის შესაძლო ვარიანტებიდან ამოირჩევა ის, რომელიც ხასიათდება ნაკლები დანახარჯებით კავშირის არხების საერთო გაჭიმულობაზე, რომელსაც გააჩნია არხის გამტარუნარიანობის საჭირო მნიშვნელობა.

14) წარმოებს ქსელში შეტყობინებების დროული ჩაბარების პირობა.

ბაზური ვარიანტის ამორჩევის შემდეგ გაითვლება ქსელური სტრუქტურის ოპტიმიზაციის მეთოდიკა.

ქსელის სტრუქტურის მეთოდიკა შეიცავს ეტაპების შემდეგ თანმიმდევრობას პაკეტებისა და შეტყობინებების კომუტაციის რეჟიმში ქსელის მუშაობისათვის:

1. არხებში ინფორმაციის ჩაბარების მოცემული  $T_{ჩაბ_i}$  დროის მცირე მნიშვნელობებისა და დატვირთვის დიდი მნიშვნელობის დროს ზუსტდება  $C_i$  გამტარუნარიანობების სიდიდეები, რომლებიც განსაზღვრული არიან მე-5 პუნქტში (ბაზური სტრუქტურის გათვლისას) კავშირის არხების გამტარუნარიანობების შესარჩევად დისკრეტული დიაპაზონიდან ამოირჩევა რეალური მნიშვნელობები.

2. ხდება არხების მზადყოფნის კოეფიციენტის მნიშვნელობის განსაზღვრა

3. კვანძების თითოეული  $a_t$  და  $a_s$  წყვილისათვის განისაზღვრება მწყობრიდან ერთდროული გამოსვლის სიხშირე შემდეგი ფორმულით:

$$Z_{\text{მ.გ.}M_s} = \sum_{s=1}^{M_s} \frac{I}{t_{bs}} \prod_{i=1}^{M_s} (1 - K_{\text{მ}si}) \quad (S = 1, 2, \dots, M_s) \quad (30)$$

4. განისაზღვრება  $a_t$  და  $a_s$  კვანძების თითოეული წყვილისათვის მწყობრიდან გამოსული გზის მტყუნების აღმოფხვრის საშუალო დრო შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{\tau}_{\text{მ.გ.}M_s} = \left[ \sum_{bc} \frac{I}{t_{bc}} \right]^{-1} \quad (31)$$

5. განისაზღვრება დაყოვნების საშუალო დრო ძირითადი გზის თითოეულ, აბსოლუტურად საიმედო  $i$ -ურ არხში  $a_t$  და  $a_s$  კვანძების თითოეული წყვილისათვის შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{T}_{is} = \bar{w}_{is} + \frac{\rho_i}{\lambda_i} \quad (32)$$

სადაც  $\bar{w}_{is}$  –  $i$ -ური არხით შეტყობინებების უპრიორიტეტო გადაცემაზე რიგში ლოდინის საშუალო დროა, რომელიც განისაზღვრება  $s$ -ური გზისათვის შემდეგი გამოსახულებით:

$$\bar{w}_{is} = \frac{\sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \cdot \bar{\tau}_{l_i}^c (1 + K_{l_i}^2)}{2 \left( 1 - \sum_{l_3} \rho_{l_{3i}} \right) \left( 1 - \sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \right)} \quad (33)$$

სადაც  $K'$  – პრიორიტეტული და არაპრიორიტეტული არაერთგვაროვანი ნაკადების საერთო რაოდენობაა, რომლებიც მიეწოდება  $s$ -ური გზის  $i$ -ურ არხს;

6. განისაზღვრება ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების დროის საშუალო მნიშვნელობა  $T_{\text{ჩაბ}}$  ფორმულით:

$$\bar{T}_{\text{ჩაბ}} = \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\gamma} \bar{T}_i \quad (34)$$

სადაც,  $T_{\text{ჩაბ}} \leq T_{\text{ჩაბ.შ}}$

7. განისაზღვრება თითოეულ  $s$ -ურ არხში საშუალო დაყოვნების დრო, არხების შესაძლო მტყუნებათა გათვალისწინებით, ფორმულით

$\bar{T}_{is} + \Delta\bar{T}_{\text{ნაბ.}i}$  რომელის მნიშვნელობაც ნაკლები ან ტოლი უნდა იყოს  $\Delta\bar{T}_{\text{ნაბ.}i}$ -ის.

8. განისაზღვრება ოპტიმალური კავშირიანობა  $M_{\min}$  (გზების ან არხების ოპტიმალური რიცხვი) ქსელის ყველა  $a_i$  და  $a_s$  წყვილს შორის  $Z_{\text{მ.გ.}M_s}$  და  $\bar{\tau}_{\text{მ.გ.}M_s}$  გათვლებების საფუძველზე და შეირჩევა მათი ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც უზრუნველყოფს ტოლობას

$$\bar{T}_{is} + \Delta\bar{T}_{\text{ნაბ.}i} = T_{\text{ნაბ.შ.}i} \quad (35)$$

9.  $M_{\min}$  მნიშვნელობებისათვის ზუსტდება არხების მზადყოფნის ოპტიმალური  $K_{\text{მ.}i}$  კოეფიციენტების სიდიდეები.

10. განისაზღვრება დანახარჯები ქსელის შექმნილ სტრუქტურაზე ფორმულით

$$U_{\text{ღირ}} = \sum_{j=1}^{M_{\text{ს.ს.}}} U_{\text{ს.ს.}j} + \sum_{i=1}^{M_{\text{მ.}}} U_{\text{მ.}i}(l_i, c_i) + \sum_{k=1}^{M_{\text{გ.}}} U_{\text{გ.}k}(l_k, c_k) \quad (36)$$

სადაც,  $U_{\text{ს.ს.}j}$  – კომუტაციის ან კონცენტრაციის (სააბონენტო სადგურის)  $j$ -ური კვანძების ღირებულება;  $M_{\text{ს.ს.}}$  – ქსელში გამოყენებული სააბონენტო სადგურების რაოდენობა;  $U_{\text{მ.}i}(l_i, c_i)$  – კავშირის მაღალსიჩქარიანი არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით;  $M_{\text{მ.}}$  – ქსელში მაღალსიჩქარიანი არხების რაოდენობა, რომლებიც აერთებენ ერთმანეთთან სააბონენტო სადგურებს;  $U_{\text{გ.}k}(l_k, c_k)$  – კავშირის დაბალსიჩქარიანი არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით;  $M_{\text{გ.}}$  – ქსელში დაბალსიჩქარიანი არხების რაოდენობა, რომლებიც გამოიყენება სააბონენტო პუნქტების სააბონენტო სადგურებთან და სააბონენტო სადგურების ერთმანეთთან მისაერთებლად.

დანახარჯების მიღებული სიდიდე შედარდება ხისმაგვარ და საბაზო სტრუქტურებზე დანახარჯებთან. ამ დანახარჯების სხვაობა ახასიათებს შექმნილი სტრუქტურის ეფექტურობას.



ყოველივე ამ განსაკუთრებულობების გათვალისწინებით ჯერ აიგება ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურა, შემდეგ საბაზო, ხოლო ბოლოს კი ეს უკანასკნელი ოპტიმიზირდება იმ თანმიმდევრობით, რომელიც განხილულია აღნიშნულ პარაგრაფში

## დასკვნა

### თეორიული და პრაქტიკული შედეგები

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებულია შემდეგი მეცნიერული და პრაქტიკული შედეგები:

1. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები, რომელთა ანალიზის შედეგად შერჩეულია ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებლები. არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე შესრულებულია მომსახურე სისტემის მტყუნებათა კლასიფიკაცია; გაანალიზებულია დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემის დროს შეცდომების აღძვრის ხასიათი, მტყუნებადმდგრადი მონაცემთა გადაცემის არსების შექმნის პრობლემები, საიმედოობისა და სარწმუნოობის ამალგების მეთოდები, ზოგიერთი გადაუწყვეტელი საკითხების თანამედროვე მდგომარეობა და მოცემულია მათი გადაწყვეტის გზები.

2. დამუშავებულია კავშირის არხის ახალი მათემატიკური მოდელები მდგრადი მტყუნებისა და თვითლიკვიდირებადი მტყუნებების გათვალისწინებით, რომელიც ორიენტირებულია ამოცანის შესრულების დროის მინიმიზაციისაკენ. განხილულია დავალების შესრულების (გამოთვლების) მაღალ ეფექტურად მართვის ორგანიზაციის ხერხი, რომელიც მაქსიმალურს ხდის გამტარუნარიანობას.

ამ მოდელებში შესასრულებელი დავალების მოცულობა და აღდგენის დრო წარმოადგენს შემთხვევითი სიდიდეს ნებისმიერი განაწილების კანონით, ხოლო მტყუნებათა და შეფერხებათა ნაკადები ემორჩილება პუასონის კანონს.

3. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები ქსელში პაკეტის ჩაბარების რეალური დროის შეფასებისათვის კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს.

4. დამუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების ეფექტური სტრუქტურების გათვლის მეთოდთა, რომელიც მოიცავს სამ თანმიმდევრობით

ეტაპს: კავშირის არსების მინიმალური გაჭიმულობის მქონე ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურის გათვლა, ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა და მონაცემთა მიმღებ-გადამცემი ქსელის ეფექტური სტრუქტურის გათვლა.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ სამეცნიერო სტატიებში:**

1. В. Адамия, Н. Арабули. Технология передачи голоса по IP. Georgian engineering News, 2007, №2, ISSN 1512-0287. p.138-140;

2. В. Адамия, Н.В. Мачаварияни, Л. Ш. Элиаური, Н. Арабули. Криптографическая защита информации в локальной сети. Georgian engineering News, 2007, №3, ISSN 1512-0287. p.106-110;

3. V. Adamia., N. Arabuli. Protection Of Information In Compiuter Networks. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები. ISSN1512-0996 N3(465). 2007. გვ. 34-37;

4. В. Адамия, Н. Арабули, Л. Ш. Элиаური. Об одном методе определения предельного интервального коэффициента готовности. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. 2008. გვ. 169-172.

5. В. Адамия. Технология беспроводной связи. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. გვ. 275-277. 2008

6. В. Адамия, Н. Арабули, Л. Ш. Элиаური. Определение коэффициента производительности технической системы с учетом ее надежности. პირველი ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. მიმდინარე გამოწვევები ცოდნის მართვაში - „ცოდნა ცხოვრებისათვის“. გორის უნივერსიტეტი. საქართველო 2008. გვ. 52-54.

7. R. Xurodze, R. Kakubava, V. Adamia, N. Jojua. On the Downtime of Some Standby Systems. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები 2010. (ჩაშვებულია გამოსაცემად).