

ადამია ვლადიმერი

ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის
შეფასების და ამაღლების მოდელები

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
აპრილი, 2011წ.

საავტორო უფლება, 2011 © ვლადიმერ ადამია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავცანით ადამია ვლადიმერის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის შეფასების და ამაღლების მოდელები” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი:

ხელმძღვანელი: ტექნიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, პროფესორი
რევაზ კაკუბავა

რეცენზენტი: ტექნიკის მეცნიერებათა
კანდიდატი
როლანდ კუკავა

რეცენზენტი: ფიზიკა-მათემატიკის
მეცნიერებათა
კანდიდატი, პროფესორი
გივი ფიფია

ავტორი: ადამია ვლადიმერი

დასახელება: ინფო-საკომუნიკაციო ქსელების საიმედოობის შეფასების და ამაღლების მოდელები

ფაკულტეტი : ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

ინდივიდუალური პროგნოზების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ქსელის ეფექტური სტრუქტურის განსაზღვრა მიეკუთვნება სხვადასხვა დანიშნულების გამომთვლელი ქსელების პროექტირების შედეგებით რთულ და შრომატევად ამოცანათა რიცხვს. ინფორმაციის გადამცემი ქსელები, წარმოადგენენ მრავალნაირი სისტემების ყველაზე ძვირადღირებულ ნაწილს, თუმცა მიუხედავად ასეთი სისტემების არსებითი განსხვავებისა შეიძლება გამოვეყნოთ ამოცანათა გარკვეული კლასი მათი რაციონალური სტრუქტურის განსაზღვრისათვის, რომლებიც წარმოადგენენ საერთოს ინფორმაციის გადამცემი ყველანაირი სტრუქტურებისათვის და რომლებიც შეიძლება გადაწყდნენ ერთი და იგივე მეთოდების დახმარებით.

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, წარმოადგენს აღნიშნული დისერტაციის კვლევის საგანს.

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. არსებული მასალების შესწავლის საფუძველზე მიღებულია ტექნიკური სისტემების საიმედოობის და მტყუნება-მდგრადობის გაზრდის სხვადასხვა მეთოდების და საშუალებების შედარებითი ანალიზი, რომლის შედეგების საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა, რომ სტრუქტურული და დროითი რეზერვირება წარმოადგენს ყველაზე ეფექტურ მეთოდს. როგორც ცნობილია, რეზერვირების ეს უკანასკნელი ტიპი არ არის დაკავშირებული სახსრების მნიშვნელოვან ხარჯებთან. ამასთან ერთად, განსაზღვრულია ეფექტურობის კრიტერიუმები.

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.

გარდა ამისა, ამ თავში აღწერილია მათემატიკური მოდელები, რომლებშიც ლაპლასის გარდაქმნის მიხედვით განსაზღვრულია პაკეტის (შეტყობინების) გადაცემის დროის მათემატიკური მოლოდინი კავშირის არხში წარმოქმნილი შეცდომების გათვალისწინებით და განხილულია კერძო შემთხვევები.

მესამე თავში გადმოცემულია კვლევის შედეგების გამოყენების საკითხები საინფორმაციო ქსელების ეფექტური სტრუქტურების პროექტირების დამუშავებული მეთოდისათვის. ეს მეთოდიკა მოიცავს სამ მიმდევრობით ეტაპს: ქსელის აგებას კავშირის არხების მინიმალური

სიგრძით, მონაცემთა მიმღებ – გადამცემი ქსელის ბაზური სტრუქტურისა და ოპტიმალური სტრუქტურის აგებას.

ნაშრომის ბოლოს მოყვანილია დასკვნები, სადაც მოცემულია ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები.

ABSTRACT

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.

შინაარსი

შესავალი.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა.

- 1.1. კვლევის ობიექტი და ძირითადი ამოცანები.
- 1.2. ლიტერატურის მოკლე ანალიზი ინფორმაციის მიმღებ - გადამცემი ქსელების შესახებ.
- 1.3. ქსელური სტრუქტურების ეფექტურობის კრიტერიუმების შერჩევა და დასაბუთება.
- 1.4. კვლევის ძირითადი ამოცანების ფორმულირება.
- 1.5. მტყუნებადმდგრადი ტექნიკური სისტემების საიმედოობის და სარწმუნოობის ამაღლების მეთოდები.
- 1.6. მტყუნებათა კლისიფიკაცია.
 - 1.6.1. მტყუნებები მონაცემთა გადაცემის არხებში.
 - 1.6.2. სიჭარბე, როგორც საიმედოობის ამაღლების საშუალება.
 - 1.6.3 ინფორმაციული რეზერვირება.
 - 1.6.4. დროითი რეზერვირება.
- 1.7. დასმული პრობლემის გამოკვლევის მეთოდები.

პირველი თავის დასკვნა.

თავი 2. ინფო-კომუნიკაციური ქსელების რაციონალური სტრუქტურების მოდელის დამუშავება და ანალიზი.

- 2.1. მოდელი ქსელის გამტარუნარიანობის გათვლისათვის არხის ღირებულების მის გამტარუნარიანობაზე წრფივი და არაწრფივი დამოკიდებულებების შემთხვევაში.
- 2.2. ქსელის რაციონალური სტრუქტურის შეფასების ამოცანის გადაწყვეტის ზოგადი მიდგომა.
 - 2.2.1. ქსელის საჭირო საიმედოობის განსაზღვრა და ეფექტური გამტარუნარიანობის შეფასება.
- 2.3. მათემატიკური მოდელების დამუშავება ქსელის გამტარუნარიანობის გათვლისათვის.

- 2.3.1. ხელისშემშლელი ფაქტორების გავლენა დავალების შესრულების დროის ხანგრძლივობაზე.
- 2.3.2. მათემატიკური მოდელები სხვადასხვა ხელისშემშლელი ფაქტორების გათვალისწინებით.
- 2.3.3. პაკეტის ჩაბარების დროის განსაზღვრა კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს.
- 2.3.4. დავალების შესრულების დროის განსაზღვრა უწყვეტი კონტროლით.
- 2.3.5. დავალების შესრულების დროის განსაზღვრა ბოლოში კონტროლით.
- 2.4. ტექნიკური სისტემები მომუშავე დროითი სიჭარბით.
 - 2.4.1. არასიმედო და არასარწმუნო მომსახურე სისტემა ოპერატიულ აპარატურული კონტროლით.
 - 2.4.2. მომსახურე სისტემა პროგრამული კონტროლით.
 - 2.4.3. მომსახურე სისტემა პროგრამულ – აპარატურული კონტროლით.
- 2.5. შედარებითი ანალიზი.

მეორე თავის დასკვნა.

თავი 3. მონაცემთა მიღება-გადაცემის ეფექტური ქსელური სისტემების პროექტირების მეთოდის დამუშავება.

 - 3.1. ზოგადი მოთხოვნები და პროექტირების ძირითადი ეტაპები.
 - 3.2. საწყისი მონაცემების გათვლა და მათი განზოგადოება.
 - 3.3. ინფო-კომუნიკაციური ქსელური სტრუქტურების საბაზო ვარიანტის გათვლა.
 - 3.3.1. ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურის გათვლა.
 - 3.3.2. ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა.
 - 3.4. ქსელის საბაზო სტრუქტურის ოპტიმიზაციის მეთოდოლოგია.

მესამე თავის დასკვნა.

დასკვნა.

ლიტერატურა.

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 2.1;

ცხრილი 2.2;

ცხრილი 2.3;

ცხრილი 2.4;

ცხრილი 2.5;

ცხრილი 2.6;

ცხრილი 2.7;

ცხრილი 3.1;

ცხრილი 3.2 ;

ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 1.1. ქსელის სტრუქტურის ტოპოლოგიები;
- ნახ. 2.1 და 2.2. პაკეტის გადაცემის ეფექტური დრო, ქსელში წარმოქმნილი შეცდომების და დამახინჯებების აღმოფხვრის დროის გათვალისწინებით;
- ნახ. 2.3. შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური ლოდინის დამოკიდებულების α -ზე;
- ნახაზი 2.4. შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური ლოდინის დამოკიდებულების α -ზე;
- ნახ. 2.5 ქსელის გასაანალიზებელი სტრუქტურა;
- ნახ. 3.1 ა) არამიმართულებიანი ქსელი წიბოების მოცემული მანძილებით: ბ) უმოკლესი ხის აგების თანმიმდევრობა, სადაც ფრჩხილებში ნაჩვენებია წიბოების შეყვანის რიგი;
- ნახ. 3.2. ქსელის საბაზო სტრუქტურის წარმოქმნის მაგალითი;

შესავალი

თანამედროვე ეპოქა სამართლიანად ითვლება ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროს საყოველთაო კომპიუტერიზაციის ეპოქად. ბოლო პერიოდი კი განსაკუთრებით ხასიათდება საინფორმაციო – გამომთვლელი ქსელების ფართო განვითარებით. სახალხო მეურნეობის თანამედროვე დარგები ვერ შეძლებენ ეფექტურად მუშაობას მათ საწარმოებსა და ორგანიზაციებს შორის საჭირო ინფორმაციის დროული ურთიერთგაცვლის გარეშე. უკვე შექმნილია სხვადასხვა ქსელები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან დანიშნულებით, ტოპოლოგიებით, მასშტაბურობითა და სხვადასხვა ტექნიკური საშუალებების კონსტრუქციული თავისებურებებით. ტერიტორიების მიხედვით, რომლებსაც მოიცავენ ქსელები, განასხვავებენ გლობალურ, რეგიონალურ და ლოკალურ ქსელებს. ისინი ქსელური სტრუქტურების შესახებ თანამედროვე ლიტერატურაში მოიხსენიება როგორც კამპუსებად, კორპორაციულ ქსელებად და ა.შ. [12,18,28,48,50,-60,69,70].

გლობალური და რეგიონალური ქსელები განსხვავდებიან მათი შექმნისა და ექსპლუატაციის მაღალი ღირებულებით, სტრუქტურის სირთულით, კავშირგაბმულობის ძვირადღირებული არხების დიდი გაჭიმულობებით, საკომუტაციო კვანძების დიდი რაოდენობით. მათი ანალიზის განზოგადოებისათვის ასეთ ქსელებს (ქსელურ სისტემებს) აღნიშნულ დისერტაციაში ვუწოდებთ განაწილებული სისტემებს.

განაწილებული საინფორმაციო – გადამცემი სისტემების სახალხო მეურნეობის დარგებში ფართო დანერგვის თვალსაზრისით ერთ-ერთი ძირითადი სიძნელე მდგომარეობს მათ მაღალ 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 მეთოდოლოგია.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ტექნიკური სისტემების, მათ შორის 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.

დასმული მიზნის თანახმად დისერტაციის ძირითად ამოცანებს შეადგენს:

- ისეთი აპარატის შექმნა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს საფუძვლიანად შეირჩეს გამოყენებული ტექნიკური სისტემების საიმედოობაზე მოთხოვნები და მოხდეს მათი შეფასება. აღნიშნულმა აპარატმა უნდა მოგვცეს ტექნიკური სისტემის გამოყენების საუკეთესო

დროითი დიაგრამა. ასევე კონტროლის სისტემის ზოგიერთი მახასიათებლის დაკავშირება დავალების შესრულების ალბათობასთან და საშუალო დროსთან.

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

- საიმედოობის შეფასების და გაზრდის მეთოდების ალგორითმების შემუშავება დროითი და სტრუქტურული რეზერვირების დახმარებით, უმტყუნო მუშაობის დროის განაწილების ფუნქციის წარმოდგენის აპროქსიმაციის მეთოდის გამოყენებით.

- ნებისმიერი დანიშნულების კავშირის არხების საიმედოობის გაზრდისათვის განკუთვნილი ტექნიკური და ტექნოლოგიური ხასიათის მოდელების და ალგორითმების დამუშავება.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. კვლევის ობიექტი და ძირითადი ამოცანები

ქსელის ეფექტური სტრუქტურის განსაზღვრა მიეკუთვნება სხვადასხვა დანიშნულების გამომთვლელი ქსელების პროექტირების შედეგებით რთულ და შრომატევად ამოცანათა რიცხვს. ინფორმაციის გადამცემა ქსელები, წარმოადგენენ მრავალნაირი სისტემების ყველაზე ძვირადღირებულ ნაწილს, თუმცა მიუხედავად ასეთი სისტემების არსებითი განსხვავებისა შეიძლება გამოვყოთ ამოცანათა გარკვეული კლასი მათი რაციონალური სტრუქტურის განსაზღვრისათვის, რომლებიც წარმოადგენენ საერთოს ინფორმაციის გადამცემა ყველანაირი სტრუქტურებისათვის და რომლებიც შეიძლება გადაწყდნენ ერთი და იგივე მეთოდების დახმარებით. ამგვარი დებულების ასახსნელად საჭიროა განვიხილოთ ინფორმაციის გადაცემის განსაკუთრებულობები სხვადასხვა სისტემებში, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ ქსელის სტრუქტურაზე და რომელიც წარმოადგენს აღნიშნული დისერტაციის კვლევის საგანს.

გლობალური ან ლოკალური გამომთვლელი ქსელის ნებისმიერი სტრუქტურის ეფექტურობა განისაზღვრება ტექნიკურ საშუალებათა შერჩეული შემადგენლობითა და მახასიათებლების მნიშვნელობებით, მათი ურთიერთქმედებების ორგანიზაციით, ასევე ექსპლუატაციის დროს ამ საშუალებათა კომპლექსის ტექნიკური მომსახურების ორგანიზაციით. საინფორმაციო პაკეტების მიმღებ – გადამცემ ქსელებში შეიძლება გამოვყოთ შემადგენელი ნაწილების (კომპონენტების, რესურსების) შემდეგი ერთობლიობა:

1) სააბონენტო პუნქტები (კვანძები, სადგურები), რომელთა დახმარებითაც ქსელის მომხმარებლებს (აბონენტებს) შეჰყავთ ქსელში და იღებენ ქსელიდან ინფორმაციას. სააბონენტო პუნქტები წარმოადგენენ შეტყობინებების წყაროებსა და მომხმარებლებს. მათ შეუძლიათ მოიცვან

ინფორმაციის შეტანა – გამოტანის, შენახვის, დამუშავებისა და ასახვის მოწყობილობები (ძირითადად პერსონალური კომპიუტერების სახით);

2) კომუტაციისა და კონცენტრაციის კვანძები. განზოგადოებისათვის შემდგომში მათ ვუწოდოთ სადგურები, რომელთა დანიშნულებაა ნაკადების განაწილება, დამუშავება, შენახვა, მიღება – გადაცემა და სხვა. ასეთი კვანძები მთელ რიგ საინფორმაციო – გამომთვლელ ქსელებში შეიცავენ პერსონალურ კომპიუტერებს ან დიდი მოცულობის მონაცემთა ბაზების მქონე მანქანებს გამოთვლით ცენტრებში;

3) კავშირის (კავშირგაბმულობის) არხები. ისინი უზრუნველყოფენ ინფორმაციის გადაცემას სივრცეში;

4) საინფორმაციო ნაკადების მართვის სისტემები;

5) ქსელის მუშაობის ხარისხისა და ტექნიკური მომსახურების საკონტროლო (დიაგნოსტიკური) სისტემები.

მთლიანი ქსელის კომპონენტების შექმნის დროს საჭიროა განისაზღვროს ქსელის შედარებით უფრო რაციონალური სტრუქტურა; სივრცითი კომუტაციის მეთოდი: არხების, შეტყობინებების ან პაკეტების კომუტაცია; გამოყენებული კავშირგაბმულობის არხის სახე: რადიო, სატელეგრაფო, სატელეფონო ან ოპტიკურ ბოჭკოვანი; ქსელში საინფორმაციო ნაკადების მართვის პროცედურა: ცენტრალიზებული, ლოკალური ან გლობალური. ყველა ამ ამოცანების გადაწყვეტა სწარმოებს იმის და მიხედვით თუ რა დანიშნულება გააჩნია დასაპროექტებელ ქსელებს, რა რესურსებთან გვაქვს საქმე, ანდა როგორია ქსელის შექმნაზე დასაშვები დანახარჯები.

განვიხილოთ ზემოთ ნახსენები საინფორმაციო – გადამცემი ქსელების ძირითადი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ასე მაგალითად, ქსელებში, რომლებიც მუშაობენ არხების კომუტაციით საინფორმაციო გაცვლის დასაწყისს წყაროსა და მიმღებს შორის წინ უსწრებს მათ შორის პირდაპირი შეერთება, რომელიც გაივლის კავშირის მთელ რიგ შუალედურ კვანძებს. ინფორმაციის გადაცემის ამგვარად წარმოდგენილი ტრაქტი გამოეყოფა მთელი დიალოგის

მანძილზე მხოლოდ ორ მომხმარებელს, რაც იწვევს კავშირის არხების გამოყენების დაბალ ეფექტურობას (ქსელში ინფორმაციის გადაცემის ტრაქტების გამოყენება ასეთ დროს შეადგენს მათი თეორიული შესაძლებლობების მხოლოდ 20–30%-ს). საჭირო მიმართულებით კავშირგაბმულობის არხების დაკავება ქმნის დიდ დაყოვნებას სხვა მომხმარებლების შეერთების დამყარებაში. მომხმარებელთა შეერთებაში მტყუნებების ალბათობის შესამცირებლად საჭიროა გამოყენებული იქნეს არხების საკმაოდ დიდი რიცხვი ქსელში, რაც ითვლება ერთ-ერთ ძირითად უარყოფით მხარედ ქსელებისა, რომლებიც მუშაობენ არხების კომუტაციით. ამას გარდა ეს მეთოდი საჭიროებს ქსელში ერთნაირი ტიპის აპარატურის გამოყენებას. თუმცა აქვე უნდა ავღნიშნოთ ისიც, რომ ამ მეთოდს გააჩნია რიგი უპირატესობებიც: ქსელში ინფორმაციის გადაცემისა და ნაკადების მართვისათვის გამოყენებული შედარებით ნაკლები სირთულის აპარატურა, რაც საბოლოო ჯამში უზრუნველყოფს ნაკლებ დანახარჯებს საინფორმაციო – გადამცემი ქსელების შესაქმნელად; შეტყობინებების გადაცემის დიდი სიჩქარის უზრუნველყოფის შესაძლებლობა იმის ხარჯზე, რომ გამორიცხულია დაყოვნებები ქსელში კვანძების რიგში ლოდინისა და სამომსახურეო ინფორმაციებით არხების დაკავების თვალსაზრისით; შესაძლებელია აბონენტებს შორის ხანგრძლივი და უშუალო დიალოგი დროის რეალურ მასშტაბებში. ეს უკანასკნელი უპირატესობა ხშირად წარმოადგენს გადამწყვეტს ამ მეთოდის შერჩევის დროს.

შეტყობინებების კომუტაციის მეთოდი არ მოითხოვს დროით დანახარჯებს იმ აბონენტებს შორის წინასწარ შეერთებებზე, რომლებიც ერთმანეთს უცვლიან ინფორმაციებს. ამ მეთოდის დროს შეტყობინება იგზავნება საკომუტაციო კვანძებში, სადაც იგი ჩადგება რიგში შემდგომი გადაცემისათვის მისთვის მიკუთვნებული მისამართით და მომსახურეობის პრიორიტეტით. ქსელის აღჭურვილობის გამოყენების ეფექტურობამ შეტყობინების კომუტაციის დროს შეიძლება მიაღწიოს 80%-ზე მეტს. ამ მეთოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს შეტყობინებების მნიშვნელოვანი შეყოვნებები ქსელის შუალედურ კვანძებში, ამ კვანძებში მეხსიერების დიდი მოცულობის საჭიროება,

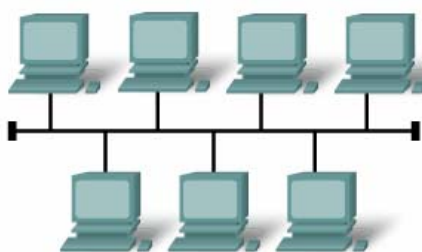
ასევე საკორესპონდენტო აბონენტებს შორის კავშირის დიალოგური რეჟიმის ორგანიზაციის შეუძლებლობა.

პაკეტების კომუტაციის მეთოდი ფართო გამოყენებას პოულობს ინფორმაციის გადაცემის საბაზო ქსელებში [17]. ამ მეთოდის დროს მომხმარებელთა გრძელი შეტყობინებები იყოფა ერთნაირი სიგრძის ცალკეულ პაკეტებად, რომლებიც შეიტანება და გადაიცემა საბაზო ქსელში (ხშირად მათ უწოდებენ დეიტაგრამებს).

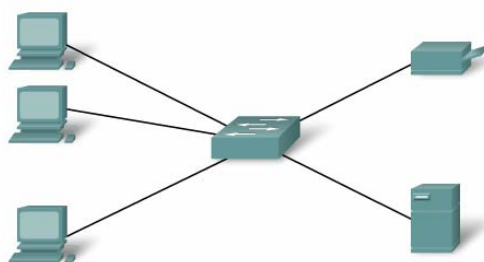
საბაზო ქსელში ინფორმაციის გადაცემას ახორციელებენ ტელერაფისა და ტელეფონის საერთაშორისო საკონსულტაციო კომიტეტის რეკომენდაციების შესაბამისად. პაკეტის მიერ გადაცემული თითოეული ბრძანება ასრულებს ერთ-ერთ გარკვეულ ფუნქციას სერვისის ფუნქციათა რაღაც სიმრავლიდან. პაკეტების კომუტაციის დროს ინფორმაციის გადაცემა სწარმოებს სამომსახურეო ბრძანებებით (პროტოკოლებით), რომლებიც გამოიყენება ტრაფიკის ნაკადის მართვისათვის და რომლებიც უზრუნველყოფენ ინფორმაციის უშეცდომო მიღებას, აგრეთვე სადიაგნოსტიკო ამოცანების გადაწყვეტას. რეკომენდაციები ითვალისწინებენ წყაროდან მიმღებისაკენ პაკეტების გადაცემას დეიტაგრამულ ან ვირტუალურ რეჟიმში.

ცნობილია, ისეთი შეტყობინება, რომელიც მარკერის სახელწოდებითაა ცნობილი, როგორც წესი, მეტწილად გამოიყენება რგოლური სტრუქტურის საინფორმაციო-გამომთვლელ ქსელებში. შეტყობინებების პაკეტები გადაიცემა (მაგ. ინტერნეტის ქსელში) სხვადასხვა, მათ შორის პარალელური მარშრუტებით, რის ხარჯზეც მიიღწევა ადრესატამდე შეტყობინების ჩაბარება მეტად მცირე დროში მეტი გარანტიით. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ქსელის მუშაობის დეიტაგრამული რეჟიმი ყოველთვის არ იცავს მიმღებისაკენ შეტყობინებების პაკეტების მისვლის საჭირო თანმიმდევრობას. ამ რეჟიმის დროს შესაძლებელია “მარყუჟის” წარმოქმნა პაკეტების გადაცემაში, ასევე სხვა ჩიხური სიტუაციები, რომლებიც ხელს უშლიან ადრესატამდე შეტყობინებების ყველა პაკეტების კორექტულად ჩაბარებას. ამგვარი უარყოფითი მხარეების თავიდან ასაცილებლად დეიტაგრამული რეჟიმი “შეივსება” ე. წ. ვირტუალური

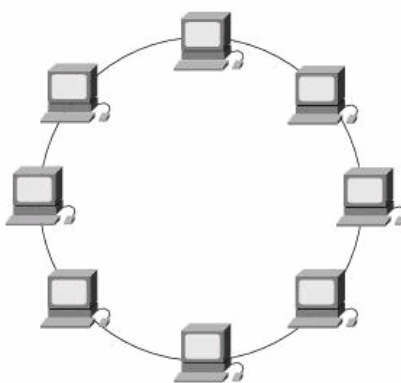
გამოძახებით, რომლის არსი მდგომარეობს შემდეგში: მანამდე, სანამ ქსელში დაიწყებოდა შეტყობინების პაკეტების გადაცემა, აბონენტი – წყარო ადრესატს უგზავნის სამომსახურეო პაკეტს (ვირტუალურ გამოძახებას). მიიღებს რა ვირტუალური გამოძახების პაკეტს, ადრესატი



ა) სალტე ტოპოლოგია



ა) ვარსკვლავი ტოპოლოგია



ა) წრე ტოპოლოგია

ნახ. 1.1. ქსელის სტრუქტურის ტოპოლოგიები

პასუხობს დასტურით შეტყობინების მიღებაზე და თავის მხრივ არეზერვირებს ამ შეტყობინებისათვის საჭირო მესხიერების მოცულო-

ბას, ეი. აბონენტი-წყარო ადრესატს უგზავნის პაკეტს მას შემდეგ,

რაც ამ უკანასკნელიდან მიიღებს თანხმობას.

ერთ-ერთ რთულ და პასუხსაგებ ამოცანას მონაცემთა მიმღებ - გადამცემი ქსელების პროექტირებისას წარმოადგენს ქსელის საჭირო სტრუქტურის შერჩევა, რომელიც განისაზღვრება მონაცემთა გადამცემი სისტემის დანიშნულებით, მის შესაქმნელად გამოყოფილი მატერიალური სახსრებით და ქსელის გამოყენების სფეროთი. ქსელის სტრუქტურის შესაძლო ტოპოლოგიები ნაჩვენებია ნახ.1.1-ზე.

კავშირგაბმულობის ახალი არხების მაღალი დანახარჯების გამო, ამჟამად განაწილებულ ქსელებში, ფართოდ გამოიყენება შედარებით ნაკლები, მაგრამ საკმაოდ ძვირადღირებული ჩვეულებრივი სატელეფონო არხები. ეს, უპირველეს ყოვლისა, აიხსნება იმით, რომ ისინი უკვე დიდი ხანია შექმნილია, მოიცავენ მეტად დიდ ტერიტორიებს და წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნენ მონაცემთა გადაცემისათვის. აღსანიშნავია, რომ კავშირგაბმულობის არხების გამოყენების ვადა შეადგენს 20-40 წელიწადს. ეს იმ დროს, როცა ქსელებში გამოყენებული გამოთვლითი ტექნიკა იცვლება ყოველ 5-10 წელიწადში [8]. ყოველივე ეს კი მიუთითებს იმაზე, რომ მეტად საჭირო და აუცილებელია კავშირგაბმულობის არხების ეფექტური გამოყენება, როგორც ნებისმიერი ქსელის სტრუქტურის ძირითადი კომპონენტისა.

1.2. ლიტერატურის მოკლე ანალიზი ინფორმაციის მიმღებ -გადამცემი ქსელების შესახებ

სხვადასხვა დანიშნულების ქსელური სტრუქტურების ანალიზისა და სინთეზის საკითხებისადმი მიძღვნილია საკმაოდ ბევრი ნაშრომი. ჩვენ შევეცებით მხოლოდ ძირითად მათგანს, რომლებიც ეხება წარმოდგენილი ნაშრომის თემატიკას. ამასთან, ყველა გაანალიზებული სამუშაო მეტად მოხერხებულია განვიხილოთ შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

1) სამუშაოები ქსელებისა და საინფორმაციო მონაცემების გადამცემი სისტემების სისტემური პროექტირების შესახებ;

2) სამუშაოები საკვლევი სისტემების ეფექტურობის შეფასების შესახებ;

3) სამუშაოები, რომლებშიც გადაწყვეტილია ქსელური რესურსების ოპტიმიზაციის ამოცანები რთული სისტემების შესაქმნელად. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ქსელური სტრუქტურების ანალიზისა და სინთეზის დროს;

4) სამუშაოები, რომლებიც შეიცავენ მეთოდებს, რომლებიც წარმოადგენენ ძირითადს ქსელების ანალიზისა და სინთეზის ჩატარების მიზნით.

ვიხილავთ რა, სამუშაოებს პირველი ნიშნის მიხედვით, საჭიროა შეეჩერდეთ უპირველეს ყოვლისა შრომებზე [17, 18, 24, 27, 36, 34, 41, 49, 56, 66, 68, 69, 73, 72 და სხვა], სადაც გადმოცემულია სისტემური პროექტირების პრობლემები და მეთოდები, მოყვანილია ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ოპტიმიზაციისათვის მთელი რიგი საჭირო შედეგები ქსელების ანალიზისა და სინთეზის მიზნით. ამ სამუშაოებში მათემატიკური მოდელების საფუძველზე გადმოცემულია კავშირის ახების გამტარუნარიანობის, მარშრუტიზაციისა და ნაკადების მართვის შერჩევის საკითხები ინფორმაციის გადამცემ რთულ ქსელებში, რომლებიც მუშაობენ არხების კომუტაციის, შეტყობინებებისა და პაკეტების კომუტაციის რეჟიმებში, მოყვანილია სააბონენტო პუნქტების საჭირო რაოდენობის გათვლის ალგორითმები, აგრეთვე კონცენტრაციისა და კომუტაციის რაოდენობის საანგარიშო მეთოდები, განხილულია ქსელური კავშირების არხების აგების ამოცანები მინიმალური ღირებულებით. ამ ჯგუფის შრომებში ოპტიმიზაციის ამოცანები წყდება ეფექტურობის კერძო კრიტერიუმების საფუძველზე (66, 68 სამუშაოს გარდა) მათი ურთიერთშორის კავშირის გათვალისწინების გარეშე. მონაცემთა გადასაცემი ქსელების პროექტირებისათვის ეფექტურობის კრიტერიუმად ხშირად იყენებენ შეტყობინებების ან პაკეტების ჩაბარების საშუალო დროს $\bar{T}_{ჩაბ}$ ინფორმაციის წყაროდან – მომხმარ-

რებლამდე. ეს კრიტერიუმი ზემოთნაჩვენებ შრომებში გაითვლება მხოლოდ საინფორმაციო შეტყობინებების ნაკადის პარამეტრების, კავშირგაბმულობის არხების დაკავების, ან ქსელის კომპონენტებში ინფორმაციის დამუშავების დროს გათვალისწინებით შემდეგი ფორმულის დახმარებით, მოყვანილ ფუნდამენტურ შრომებში [36, 34]:

$$\bar{T}_{\text{ნაბ}} = \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\gamma} \left[\frac{1}{\mu C_i - \lambda_i} \right], \quad (1.1)$$

სადაც, λ_i - ტრაფიკის ინტენსივობა, რომელიც მიეწოდება i -ურ არხს; γ - შიდა ტრაფიკის ინტენსივობა; $1/\mu C_i$ - პაკეტის მომსახურების საშუალო დრო წამში.

როგორც ჩანს (1.1)-დან, $\bar{T}_{\text{ნაბ}}$ -ის გათვლის დროს მხედველობაში არ მიიღება აპარატურისა და კავშირგაბმულობის არხის მტყუნებები, განსხვავებანი შეტყობინებათა საინფორმაციო ნაკადების სიგრძეებში, საინფორმაციო ნაკადების მართვის გავლენა, ხელშეშლების გავლენა და სხვა ფაქტორები. ამიტომ ფორმულა (1.1) და მისი ანალოგური სხვა დამოკიდებულებები შეიძლება გამოყენებული იქნენ აბსოლიტურად საიმედო ქსელებისათვის ან ინფორმაციის გადამცემა ისეთი ქსელების გათვლის დროს, რომლებიც მუშაობენ უმნიშვნელო დატვირთვებზე. ხელსაწყოთა არასაიმედოობის გავლენის მხედველობაში მიღება განიხილება [15]-ში, სადაც მათემატიკური მოდელები აგებულია შემდეგი ორი დაშვებით: მტყუნებები წარმოიქმნებიან დროის იმ მომენტში, როცა სისტემაში არის მოთხოვნები და როცა ისინი არ არის. ამ დაშვებების შესაბამისად მიღებულია გამოსათვლელი დამოკიდებულებების ორი სახე, რაც იწვევს გარკვეულ უხერხულობას. ქსელის პროექტირებისათვის საჭიროა მოდელი, რომელშიც ერთდროულად გაითვალისწინება ორივე ეს დაშვებები.

ინფორმაციის გადამცემა ქსელების პროექტირებისათვის დიდ ინტერესს წარმოადგენს სამუშაო [49]. მასში მოყვანილია ქსელებში გამოყენებული გამომთვლელი სისტემების ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები. სხვებისაგან განსხვავებით ამ ნაშრომში ავტორები განიხილავენ ზოგად შემთხვევაში სისტემის ეფექტურობის გლობალური კრიტერიუმის

ფორმირების საკითხს. მათ მოჰყავთ სისტემის კომპონენტების მუშაობის ხარისხის დამოკიდებულებები ინფორმაციების არაერთგვაროვანი ნაკადების მიწოდების დროს. ეს დამოკიდებულებები მიღებულია პოლანეკ – ხინჩინის ფორმულის დახმარებით. ამასთან მიღებული შედეგები სრულიად ემთხვევა მიღებულ იმ შედეგებს, რომლებიც გაცილებით ადრეა გამოქვეყნებული. მოყვნილია რიგში ლოდინის დროს განაწილების მიხლოვებითი ფუნქცია არაერთგვაროვანი ნაკადებისათვის. თუმცა იხილავენ რა საკითხს ეფექტურობის გლობალური კრიტერიუმის შესახებ, ავტორები ქსელის ოპტიმიზაციის საკითხების გადაწყვეტისათვის იყენებენ კერძო კრიტერიუმებს. ამავე მიზნებისათვისაც არ გამოიყენება კომპონენტის მოდელი, რომელზედაც მიეწოდება არაერთგვაროვანი ნაკადები.

ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოკვლევებისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ლ. კლეინროკისა [36, 34] და ჯ. მარტინის [41] შრომები. ასე მაგალითად [36, 34]-ში განიხილება კავშირგაბმულობის არხების გამტარუნარიანობის განსაზღვრისა და ქსელებში ნაკადების განაწილების საკითხები. ამასთან გამოკვლეულია სხვადასხვა დამოკიდებულებები არხების ღირებულებისა მათ გამტარუნარიანობასთან, მიღებულია ძალზე საინტერესო და საჭირო ფორმულები ქსელების პროექტირებისათვის. თუმცა ეს გამოსათვლელი ფორმულები სამართლიანია მხოლოდ იმ პირობის დროს, როცა კავშირგაბმულობის არხები აბსოლიტურად საიმედოა არიან, ხოლო ქსელში ცირკულირებენ შეტყობინებების ერთნაირი სიგრძის ნაკადები, რაც ჩანს (1.1) ფორმულიდან. ეს ზღუდავს მათ გამოყენებას ქსელების გათვლებში, ვინაიდან [36, 34 და სხვა] ნაშრომებში მიღებული დამოკიდებულებები შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ შეფასებებისათვის. ჯ. მარტინს თავის შრომებში [41 და სხვა] მოჰყავს მასალა ინფორმაციის გადამცემა ქსელების სისტემური ანალიზისათვის. თუმცა მის ნაშრომებში გამოკვლეულია ქსელები შეტყობინებების ერთნაირი სიგრძის ნაკადებით. ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოკვლევების ყურადღებას იმსახურებს თავი 3.4., სადაც განიხილება მინიმალური გაჭიმულობის კავშირგაბმულობის ქსელის აგების ამოცანა, მოყვანილია ქსელების სტრუქტურების გათვლის მაგალითები. უეჭველია ეს მასალა გამოყენებული უნდა იქნეს ოპტიმალური სტრუქტურის აგების ამოცანათა

გადაწყვეტაში. კერძოდ, იმ ნაწილში თუ როგორ იქნეს შერჩეული სხვადასხვა დანიშნულების სააბონენტო სადგურების განლაგების ადგილმდებარეობა და როგორ მიუერთდეს მათ სააბონენტო პუნქტები.

ქსელის პროექტირების პრაქტიკაში ძალზე ფასეულს წარმოადგენს მ. შვარცის ნაშრომი [69], რომლის შედეგებზე ხდება მინიშვნები აღნიშნულ სადისერტაციო ნაშრომში. ამ სამუშაოს მნიშვნელობა მდგომარეობს ლ. კლეინროკის მეთოდით ქსელების სტრუქტურების ფრაგმენტების პრაქტიკული გათვლების მაგალითებში. მ. შვარცი თავის ნაშრომში დიდ ყურადღებას უთმობს ქსელის სტრუქტურის პროექტირების საკითხებს (თავი 9, 10), ამასთან განიხილება სტრუქტურების ოპტიმიზაციის უკვე დამუშავებული ალგორითმების (ეჟენ – ვილიამსის, პრიმას, კრუსკალის და სხვა) დადებითი და უარყოფითი მხარეები. თუმცა ამ ნამუშევრებშიც იგულისხმება, რომ ქსელში გადაიცემა ერთგვაროვანი პუასონური ნაკადები, ხოლო არსები წარმოადგენენ აბსოლიტურად საიმედოს.

საჭიროა ასევე შევნიშნოთ, რომ აღნიშნულ სამუშაოებში ქსელის პროექტირების ამოცანათა გადაწყვეტის დროს არ გამოიკვლევა სტრუქტურის მახასიათებლებზე გამოყენებული პროტოკოლების გავლენა, რომელთა საფუძველზეც სწარმოებს ქსელის მუშაობა. ამიტომ პროტოკოლების განსაკუთრებულობების გავლენის საკითხები უნდა აღებული იქნეს საფუძვლად ჩვენს მიერ ჩატარებულ გამოკვლევებში.

ქსელების სტრუქტურების პროექტირების საკითხებს ეძღვნება სამუშაოები [21 და სხვა]. ამასთან გამოიყენება გრაფების თეორიის რეზულტატები, სადაც წიბოების წონების სახით იგულისხმება ცნობილი ფუნქციონალური დამოკიდებულებები კავშირგაბმულობის არსების ღირებულებისა მათ გაჭიმულობაზე და გამტარუნარიანობაზე, რაც ყოველთვის არაა ცნობილი. ამას გარდა ქსელში ნაკადები იგულისხმებიან ისევ ერთგვაროვნად.

გრაფთა თეორიის გამოყენებით ქსელების ანალიზისა და სინთეზისათვის მიძღვნილ მრავალრიცხოვან ნაშრომებში [62, 65, 68 და სხვა] მოყვანილია ქსელების გამოკვლევების პრაქტიკულად ყველა მეთოდის

ზედმიწვევითი აღწერა. აუცილებელია ლიტერატურულ წყაროებში გადმოცემული მეთოდების მისადაგება განსახილველი ქსელების სპეციფიურობაზე. ეს პირველ რიგში ეხება ქსელის არაერთგვაროვან ნაკადებს. ამიტომ გრაფთა თეორიის, პეტრის ქსელების მეთოდების გამოყენება აუცილებელი და მიზანშეწონილია მათი შესაბამისი სრულყოფით.

სხვადასხვა დანიშნულების ქსელური სტრუქტურების პროექტირების შესახებ ლიტერატურის ანალიზის დროს საჭიროა განსაკუთრებულად შევჩერდეთ სამუშაოზე [74], რომელშიც ქსელების ანალიზისა და სინთეზის სხვადასხვა ამოცანები წყდება ეფექტურობის ერთიანი კრიტერიუმების დახმარებით. ყველა გამოსათვლელი დამოკიდებულებები მიღებულია პუასონური ნაკადებისა და მომსახურეობის ექსპონენციალური დროის შემთხვევისათვის, თუმცა კეთდება მცდელობა ზოგიერთ ამოცანებში უარი თქვან განაწილების ექსპონენციალურ კანონზე. თუმცა განაწილების კანონების გავლენა ქსელის სტრუქტურის ძირითად მახასიათებლებზე (წარმადობა, საიმედოობა), გამოყენებული პროტოკოლის გავლენა, რჩებიან გამოუკვლევადი. ამას გარდა იყენებენ რა სტრუქტურების ანალიზისა და სინთეზისათვის გრაფების თეორიის რეზულტატებს, ამ სამუშაოებში ისე როგორც სხვა ნაშრომებში, სრულიად უყურადღებოდ რჩება ქსელის კვანძების საჭირო კავშირიანობის შეფასების საკითხი. ოპტიმალური კავშირიანობის შეფასების შესახებ ამოცანის გადაწყვეტის გარეშე შეუძლებელია გადაწყდეს ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის პრობლემა. ამიტომ აღნიშნულმა საკითხმა თავისი ასახვა უნდა ჰპოვოს ჩვენს მიერ ჩატარებულ გამოკვლევებში.

მეორე ჯგუფის სამუშაოებიდან, რომლებიც ეხება ქსელების შესაქმნელი სტრუქტურების ეფექტურობის შეფასების საკითხებს, საჭიროა აღინიშნოს [17, 18, 36, 34, 3, 66]. ამ სამუშაოებში, თუ არ ჩავთვლით ბოლო ნაშრომს, ეფექტურობის კრიტერიუმად იყენებენ მომხმარებელამდე ინფორმაციის ჩაბარების საშუალო დროს, საიმედოობას, ხელისშემშლელების მიმართ მდგრადობასა და სხვა მაჩვენებლებს. ყველა ეს კრიტერიუმები გვევლინებიან ეფექტურობის კერძო კრიტერიუმებად, რომელთა დახმარებითაც წყდება ქსელის შექმნის ესა

თუ ის ამოცანა. ამასთან ძირითად უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ ეს კრიტერიუმები არაა დაკავშირებული ერთმანეთთან. სწრაფვა გაუმჯობესდეს ეფექტურობის ყველა მაჩვენებლების მნიშვნელობა, მათი ურთიერთკავშირის გარეშე, იწვევს დანახარჯების მკვეთრ გაზრდას შესაქმნელი ქსელისათვის. ამიტომ, როგორც აღნიშნულია [66]-ში, საჭიროა გამოყენებული იქნეს ეფექტურობის ერთიანი განზოგადოებული კრიტერიუმები, რომლითაც ობიექტურად გათვალისწინებული იქნება კერძო კრიტერიუმების ურთიერთკავშირი. ასეთ განზოგადოებულ კრიტერიუმს, როგორც უკვე ავღნიშნოთ, წარმოადგენს, დანახარჯები შესაქმნელ ქსელზე, ქსელში ინფორმაციის ჩაბარების (გაგზავნიდან მიმღებამდე) დროითი შეზღუდვების დროს.

მესამე ნიშნის მიხედვით სამუშაოთა შორის ჩვენ ჩამოვთვლით მხოლოდ ისეთებს, რომლებიც უზრუნველყოფს დანახარჯების მინიმიზაციას შესაქმნელ ქსელზე. მათ მიეკუთვნება სამუშაოები საიმედოობის, რესურსების ოპტიმალური განაწილების და სხვა შესახებ, რომლებიც მოყვანილია დისერტაციის ბოლოს გამოყენებული ლიტერატურის სიაში. ამ სამუშაოებზე თითოეული თავის ტექსტში გაკეთებულია მინიშნებები, ვინაიდან მათი დახმარებით შესაძლებელია გადაწყდეს ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის ესა თუ ის ამოცანა.

მეოთხე ნიშნის სამუშაოები აღნიშნული იქნება პარაგრაფში იმ მეთოდებისა და აპარატის შერჩევის დროს, რომლებიც საჭიროა ქსელების სტრუქტურის ოპტიმიზაციის მათემატიკური მოდელების აგებისათვის, ასევე ამ სამუშაოებზე მინიშნებას გავაკეთებთ აღნიშნულ დისერტაციაში წარმოებული გამოკვლევების შესაბამის პარაგრაფებში.

ამგვარად, აღნიშნულ პარაგრაფში მოყვანილი მასალიდან ჩანს ჯერ კიდევ გადაუჭრელი ამოცანების წრე, რომლებიც განსაზღვრავენ წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის მიზანსა და მიმართულებას სხვადასხვა დანიშნულების ქსელების სტრუქტურების ოპტიმიზაციისათვის მათემატიკური მოდელების შესაქმნელად. მანამდე კი სანამ გადავიდოდეთ იმ საკითხების განხილვაზე, რომლებიც საჭიროა გადა-

წყვეტილი იქნეს, მიზანშეწონილია შეირჩეს და დასაბუთდეს ქსელის სტრუქტურის ეფექტურობის კრიტერიუმები.

1.3. ქსელური სტრუქტურების ეფექტურობის კრიტერიუმების შერჩევა და დასაბუთება

კრიტერიუმებზე მოთხოვნებიდან გამომდინარე, დასაწყისში საჭიროა განისაზღვროს ინფორმაციის გადამცემი ქსელის ძირითადი დანიშნულება: ინფორმაციის გადამცემა ქსელმა უნდა უზრუნველყოს ინფორმაციის დროული ჩაბარება წყაროდან მიმღებზე, მინიმალური კაპიტალური და მიმდინარე დანახარჯების დროს შესაქმნელ ქსელზე.

დროულობის ძირითად მაჩვენებლებს წარმოადგენენ ინფორმაციის ჩაბარების დრო ან ქსელზე რეაქციის დრო (სისტემებისათვის მოთხოვნა-პასუხებით) $T_{\text{ჩაბ}}$ ასევე ალბათობა $P(T_{\text{ჩაბ}} \leq T_{\text{ჩაბ.მ}})$ იმისა, რომ მნიშვნელობა $T_{\text{ჩაბ}}$ არ გადაამეტებს წინასწარ მოცემულ სიდიდეს $T_{\text{ჩაბ.მ}}$ [66].

ძნელი არ არის დადგინდეს, რომ შეტყობინების ჩაბარების დროის მნიშვნელობა $T_{\text{ჩაბ}}$ და ალბათობა $P(T_{\text{ჩაბ}} \leq T_{\text{ჩაბ.მ}})$ დამოკიდებულნი არიან ტექნიკური საშუალებებისა და კავშირის არხების კომპლექსის წარმადობაზე (სწრაფქმედებაზე); მათ საიმედოობაზე; კვანძების რაოდენობაზე, რომელსაც გაივლის ინფორმაცია მისი წყაროდან მიმღებისაკენ და მათი დატვირთულობის ხარისხზე; ქსელის სტრუქტურაზე; კვანძების არხების აპარატურის შეკეთება – უნარიანობაზე და ინფორმაციის გადამცემი ქსელის სხვა ტექნიკურ და საექსპლუატაციო მახასიათებლებზე. თავის მხრივ, ქსელის კომპონენტების ამა თუ იმ ხარისხის უზრუნველყოფა დამოკიდებულია იმ დანახარჯების სიდიდეზე, რომლებიც გამოიყოფა ამ მიზნებისათვის.

ცხადია, დრო $T_{\text{ჩაბ}}$ და ალბათობა $P(T_{\text{ჩაბ}} \leq T_{\text{ჩაბ.მ}})$ თავისთავად რაღაცნაირად ახასიათებენ ნებისმიერი ქსელის ყველა ძირითად ტექნიკურ,

ეკონომიკურ, საექსპლუატაციო მახასიათებლებსა და პარამეტრებს, რაც ზოგადი სახით ჩაიწერება შემდეგნაირად [66]:

$$P(T_{\text{ნ.ბ.}} \leq T_{\text{ნ.ბ.მ}}) = P(\Theta_i, A_j, R_s, D_n^n, L_n^c, P_{\text{მტყ}}, \Pi_k, N_s, Z_\ell, H, \dots) \quad (1.2)$$

$$T_{\text{ნ.ბ.}} = T(\Theta_i, A_j, R_s, D_n^n, L_n^c, P_{\text{მტყ}}, \Pi_k, N_s, Z_\ell, H, \dots) \quad (1.3)$$

სადაც $\Theta_i \in \Theta$ – ინფორმაციის გადამცემი ქსელისა და კავშირგაბმულობის $i=1,2,3,\dots$ არხების გათვალისწინებული პარამეტრების სიმრავლეა; $A_j \in A$ – საინფორმაციო გაცვლის გათვალისწინებული ალგორითმების ($j=1,2,3,\dots$) სიმრავლეა; $R_s \in R$ – ქსელში ინფორმაციის გადაცემის შესაძლო მარშრუტების ($s=1,2,3,\dots$) სიმრავლეა; $D_n^n \in D^n$ – საინფორმაციო ნაკადების $i=1,2,3,\dots$ პარამეტრების სიმრავლეა; $L_n^c \in L^c$ – სამოსამსახურეო ნაკადების პარამეტრების სიმრავლეა; $P_{\text{მტყ}} \in P_o$ – პარამეტრების სიმრავლეა, რომლებიც ახასიათებენ გადასაცემი, ან მისაღები ინფორმაციის შეცდომებს ($m=0,1,2,\dots$); $\Pi_k \in \Pi$ – პარამეტრების სიმრავლეა, რომლებიც ახასიათებენ ინფორმაციის გადამცემი ტრაქტის მტყუნებებს და მის აღდგენას; $N_s \in N$ – კავშირგაბმულობის კვანძების სიმრავლეა; $Z_\ell \in Z$ – ფაქტორების სიმრავლე, რომლებიც ახასიათებენ ქსელის შენარჩუნებას მზადყოფნაში მისი ექსპლუატაციის დროს ($\ell=1,2,3,\dots$); H – ქსელის შექმნაზე და მის ექსპლუატაციაზე მოყვანილი ეკონომიკური დანახარჯებია.

ამგვარად, თუ ფუნქციები $P(T_{\text{ნ.ბ.}} \leq T_{\text{ნ.ბ.მ}})$ და $T_{\text{ნ.ბ.}}$ გამოიხატება ინფორმაციის გადამცემი ქსელის მახასიათებლებით ცხადად, მაშინ ისინი შეიძლება გამოდგნენ როგორც კარგი ეფექტურობის კრიტერიუმები, რომლებიც აერთიანებენ თავის თავში ყველა კერძო კრიტერიუმებს, შემოთავაზებულს ლიტერატურაში [3, 15, 16, 18, 24, 30, 36, 56, 58 და სხვა]. გამოიხატოს $P(T_{\text{ნ.ბ.}} \leq T_{\text{ნ.ბ.მ}})$ და $T_{\text{ნ.ბ.}}$ ფუნქციების დამოკიდებულება ცხადი სახით ქსელის ყველა პარამეტრებზე, მისი შექმნისა და ექსპლუატაციის დანახარჯებზე, ვერ ხერხდება. ამიტომ

მიზანშეწონილია გამოიყოს (1.2) და (1.3)–დან ეფექტურობის დამოუკიდებელ კრიტერიუმებად ყველა დანახარჯები მონაცემთა გადამცემი ქსელების შექმნაზე და ექსპლუატაციაზე, რომლებიც განსაზღვრავენ მოყვანილ დანახარჯებს, ხოლო შემდეგ გამოიხატოს (1.2) და (1.3) დამოკიდებულებები მონაცემთა გადამცემი ქსელისა და საინფორმაციო ნაკადების მთავარი პარამეტრებით. თუ რომელი პარამეტრები მივიღოთ მთავარ პარამეტრებად, დამოკიდებულია ჩატარებული გამოკვლევების მიზანზე. ზემოთ მოყვანილი ფუნქციებიდან ჩაბარების დრო $T_{ჩაბ.}$ წარმოადგენს უფრო გასაგებს არა მარტო ქსელების დამპროექტებლებისთვის, არამედ თვით მომხმარებლებისთვისაც. ამიტომ შემდგომში ჩვენ გამოვიყენებთ (1.3) ფუნქციას. ეფექტურობის ამ მაჩვენებლის მნიშვნელობა წარმოადგენს ძირითადს გადაწყვეტილებების მისაღებად ინფორმაციის გადამცემი ქსელების პროექტირების, წარმოებისა და ექსპლუატაციის მრავალრიცხოვან ამოცანებში, თუ კი ამავე დროს ერთდროულად მხედველობაში მიიღება სისტემისა და მისი შემადგენელი ყველა სხვა პარამეტრების ურთიერთკავშირი და მნიშვნელობები. საკითხის ასეთი დაყენებით შეტყობინებების ჩაბარების დრო, როგორც ქსელების ეფექტურობის მთავარი კრიტერიუმი, წარმოადგენს უფრო მოხერხებულს და მარტივს მონაცემთა გადამცემი ქსელების ოპტიმიზაციის ჩასატარებლად ვიდრე ალბათობა $P(T_{ჩაბ.} \leq T_{ჩაბ.მ.})$. ეს ნაჩვენები იქნება შემდეგ პარაგრაფში.

შეტყობინებების ჩაბარების დრო, ინფორმაციის გადამცემ ქსელებში, წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს, რომლისთვისაც სამართლიანია სტატისტიკური მდგრადობის თვისება [18, 36], ამიტომ ეფექტურობის კრიტერიუმის სახით შეიძლება განვიხილოთ ჩაბარების $\bar{T}_{ჩაბ.}$ დროის მათემატიკური მოლოდინი მისი დისპერსიის გათვალისწინებით, როგორც ფუნქციისა ქსელის მთავარი პარამეტრების, ინფორმაციის ნაკადებისა და სხვა. ქვემოთ დავამტკიცებთ, რომ ინფორმაციისა და მტყუნებების ნაკადების განაწილების კანონებზე, მათი მომსახურების დროზე ზოგადად მიღებული დაშვებებისათვის შესაძლებელია მივიღოთ საკმაოდ მოსახერხებელი საინჟინრო გათვლებისათვის $\bar{T}_{ჩაბ.}$ დამოკიდებულებები ქსელის ყველა ძირითადი პარამეტრებიდან, ტრაფიკიდან და

საექსპლუატაციო – ტექნიკური მახასიათებლებიდან. ვინაიდან საპროექტო სისტემის ხარისხი უფრო არსებითადაა დამოკიდებული მატერიალურ დანახარჯებზე, ამიტომ მონაცემთა გადამცემი ქსელის ღირებულება, განსაზღვრული კაპიტალური და მიმდინარე დანახარჯებით, წარმოადგენს ეფექტურობის მეორე ძირითად კრიტერიუმს. ეს ღირებულება შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ქსელზე წაყენებული მოთხოვნების უზრუნველსაყოფად დანახარჯების ცალკეული მდგენელების ადიტიური ფუნქციით. ასეთი მიდგომის დროს ვიღებთ ქსელების ორ ურთიერთდამოკიდებულ ეფექტურობის კრიტერიუმს, რაც იწვევს მიღებული იქნეს გადაწყვეტილება სპეციფიკური საკითხების გადასაჭრელად (შესაძლო სიმრავლიდან შეირჩეს საუკეთესო ვარიანტი).

მონაცემთა გადამცემი ქსელის საუკეთესო ვარიანტი შეიძლება განისაზღვროს იმ მინიმალური $\bar{T}_{\text{ნაბ}}$ მნიშვნელობით, რომლისათვისაც ქსელზე დანახარჯები არ აღემატება რაიმე წინასწარ მოცემულ მნიშვნელობებს. ამგვარად, ინფორმაციის გადამცემი ქსელის კრიტერიუმებად, რაც ანალოგიურია ქსელის სტრუქტურისა, შეიძლება შერჩეული იქნენ: დანახარჯების მინიმუმი შესაქმნელ სისტემაზე ქსელში ინფორმაციის ჩაბარების შეზღუდული დროის პირობებში ანდა ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების დროის მინიმუმი მის ღირებულებაზე შეზღუდვების დროს.

ტექნიკური სისტემების მოდელის ანალიზის საბოლოო მიზანს წარმოადგენს დახმარების აღმოჩენა, სისტემების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ეტაპებზე ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად. დამპროექტებლები, როგორც წესი, ისწრაფვიან ამოიჩინონ სისტემის სტრუქტურის საუკეთესო ვარიანტი რამოდენიმე შესაძლებლიდან, ეფექტურობის არჩეულ მაჩვენებელთა შესაბამისობის თვალსაზრისით (მიზნის ფუნქცია, ხარისხის კრიტერიუმი).

ეფექტურობის მაჩვენებლის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ საკვანძო საკითხს. ეფექტურობის მაჩვენებლებით ხასიათდება დასახულ მიზნებთან სისტემის შესაბამისობის ხარისხი. ეფექტურობის მაჩვენებლები უპირველეს ყოვლისა ასახავენ სისტემის მთავარ

მიზნობრივ ამოცანას, ითვალისწინებენ სხვადასხვა პარამეტრების ზემოქმედებას სისტემის მიერ დასმული ამოცანების შესრულების ხარისხზე [7, 8, 43, 44, 61].

დაპროექტების მიზნებისა და მათი დანიშნულებისადმი სისტემის შესაბამისობის რაოდენობრივ მახასიათებლებს უწოდებენ ეფექტურობის კრიტერიუმებს ან მაჩვენებლებს. ეფექტურობა უნდა ასახავდეს სისტემის გარკვეულ მიზანშეწონილობას რიცხვით მნიშვნელობებში და ახასიათებდეს სისტემის ფუნქციონირების ხარისხს. ეფექტურობის კრიტერიუმი უნდა იყოს მოხერხებული გამოსათვლელად და მგრძობიარე ძირითადი პარამეტრებისადმი.

რთული სისტემების ეფექტურობის კრიტერიუმების მნიშვნელობები დამოკიდებულია შიგა და გარე პარამეტრების დიდ რაოდენობაზე. გარე პარამეტრები წარმოადგენენ საწყის მონაცემებს, რომლებიც არ იცვლებიან პროექტირების დროს, ხოლო შიგა პარამეტრები იცვლებიან ეფექტურობის ექსტრემალური მნიშვნელობის მისაღებად. არასაიმედო ხელსაწყოებიანი მომსახურე სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობაზე მოქმედებს შემდეგი ფაქტორები:

1. მოთხოვნათა შემავალი ნაკადების მახასიათებლები და პარამეტრები;

2. მოთხოვნათა მომსახურების მახასიათებლები და პარამეტრები, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებულნი არიან მომსახურე სისტემის მახასიათებლებზე;

3. შეწყვეტილი მოთხოვნების მომსახურების დამთავრების ვარიანტების მახასიათებლები;

4. ქმედითუნარიანობის კონტროლის შერჩეული მეთოდის მახასიათებლები;

ზემოთ განხილული სისტემების განსაკუთრებით მნიშვნელოვან ეფექტურობის მაჩვენებლებად უნდა ჩაითვალოს:

1. რეალური მწარმოებლურობის კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს მომსახურე სისტემის აბსოლუტური საიმედოობის პირობებში დავალების შესასრულებლად საჭირო აუცილებელი სუფთა დროის შეფარდებას, მომსახურე სისტემის მიერ დავალების შესრულების დროის მათემატიკურ ლოდინთან, მისი საიმედოობის გათვალისწინებით. ეს მაჩვენებელი უნდა განისაზღვროს დავალების შესრულების ალბათობის მოცემული მნიშვნელობისათვის. ამ მაჩვენებლის მნიშველობა საშუალებას იძლევა, მაგალითად, გადაწყდეს მონაცემთა გადაცემის არხის პროექტირების დროს აუცილებელი ოპერატიურობა. მომსახურე სისტემის (მონაცემთა გადაცემის არხები, ეგმ და ა.შ.) ორი ტიპიდან: სწრაფადმოქმედი, მაგრამ ნაკლებად საიმედო და ნაკლებად სწრაფადმოქმედი, მაგრამ უფრო საიმედო, ბუნებრივია უპირატესობა უნდა მივანიჭოთ იმ მომსახურე სისტემას, რომელიც ხასიათდება რეალური მწარმოებლურობის უფრო მაღალი კოეფიციენტი, დავალების შესრულების ალბათობის ერთიდაიგივე მნიშვნელობის დროს.

2. მოთხოვნის სისტემაში დაყოვნების დრო [33, 34], რომელიც შედგება რიგში ლოდინის დროის და მომსახურების დროისაგან. ასეთი სისტემის ეკონომიური შეფასებისათვის შეიძლება დაუშვათ, რომ დროის ერთეულის ლოდინისათვის დანიშნულია გარკვეული ჯარიმა, რომელიც იზრდება დაგვიანების დროის პროპორციულად ან იცვლება ნახტომით ამ დროის გარკვეული მნიშვნელობებისათვის.

3. აღწერილი სახის სისტემების ეფექტურობის მნიშვნელოვან მაჩვენებელს წარმოადგენს რიგის სიგრძე. რიგის სიგრძე ეწოდება ერთდროულად მომლოდინე მოთხოვნათა რაოდენობას. რიგის სიგრძის მახასიათებლების გათვალისწინება, როგორც წესი, ხდება მომლოდინე მოთხოვნების შენახვისათვის მახსოვრობის აუცილებელი მოცულობის შერჩევისას [7, 27, 43, 44, 63, 66].

სისტემის ეკონომიური შეფასებისათვის, ამ თვალსაზრისით, შეიძლება შემოვიღოთ გარკვეული ფუნქცია, რომელიც დამოკიდებულია

რიგის სიგრძეზე და მასსოვრობის აუცილებელი მოცულობის შესაქმნელად საჭირო ხარჯებზე.

შეიძლება ვამტკიცოდ, რომ ეფექტურობის უფრო ზოგადი (ინტეგრალური) კრიტერიუმები დამოკიდებული იქნება უკვე ჩამოთვლილ კერძო კრიტერიუმებზე, რა თქმა უნდა, კონკრეტულ სიტუაციაში ყოველი მათგანის მნიშვნელობის გათვალისწინებით. შემდგომში გამოსაკვლევი სისტემების ეფექტურობის კრიტერიუმებად ჩვენ გამოვიყენებთ ამ მაჩვენებლებს.

14. კვლევის ძირითადი ამოცანების ფორმულირება

ქსელების ნებისმიერი სტრუქტურა ხასიათდება არხებისა და სააბონენტო სადგურების რაოდენობით, რომლებიც საჭიროა სააბონენტო პუნქტებიდან ინფორმაციის გადასაცემად. სააბონენტო სადგურების რაოდენობა ერთმანეთთან ისე უნდა იყვნენ დაკავშირებული, რომ უზრუნველყონ მომხმარებელამდე ინფორმაციის საიმედო და დროული ჩაბარება. ამასთან საჭიროა ამ ინფორმაციის ჩაბარება რესურსების მინიმალური, აუცილებელი რაოდენობით, რომლებიც უზრუნველყოფენ შესაქმნელ ქსელზე დანახარჯთა მინიმიზაციას. დანახარჯების მინიმიზაცია შეიძლება უზრუნველყოს კავშირის ყველა არხების მინიმალურმა გაჭიმულობამ, გამოყენებული სააბონენტო სადგურების მინიმალურმა რაოდენობამ და დაბალმა ღირებულებამ. არხების ღირებულება განისაზღვრება არხის ხარისხით, რომელიც ხასიათდება არა მარტო გამტარუნარიანობით, არამედ ხელისშემშლელების მიმართ მდგრადობით (საიმედოობით) და სხვა მაჩვენებლებით. სააბონენტო სადგურების ღირებულება განისაზღვრება ასევე მრავალი მაჩვენებლებით (გადაცემის სიჩქარით, მესხიერების მოცულობით, ხელისშემშლელების მიმართ მდგრადობით, სააბონენტო პუნქტების რაოდენობით). ცხადია ქსელის შესაქმნელ სტრუქტურაზე დანახარჯების მინიმიზაციისათვის საჭიროა განისაზღვროს ამა თუ იმ მახასიათებლების ან პარამეტრების

მნიშვნელობები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ქსელის კომპონენტების ღირებულებაზე და ინფორმაციის დროულ ჩაბარებაზე.

თავის მხრივ არხების და სააბონენტო სადგურების მახასიათებლები წარმოადგენენ ფუნქციებს მრავალი შინაგანი და გარეგანი ფაქტორებით, რომლებიც გავლენას ახდენენ მათ მნიშვნელობაზე. ყველა მახასიათებლის, ასევე მათზე გავლენის მომხდენი ყველა ფაქტორის განსაზღვრა ერთი სადისერტაციო ნაშრომის ფარგლებში შეუძლებელია. ამიტომ შევჩერდებით იმ საკითხებზე, რომლებიც ეხება შედარებით ნაკლებად გამოკვლეულ პრობლემათა რიცხვს და გამოყოფთ მხოლოდ მთავარ მახასიათებლებს და პარამეტრებს, რომლებიც ძლიერ გავლენას ახდენენ ქსელის სტრუქტურაზე.

შესაქმნელ ქსელზე და ინფორმაციის დროულ ჩაბარებაზე ეკონომიკური დანახარჯები მნიშვნელოვნად განისაზღვრება მისი კომპონენტების საიმედოობითა და წარმადობით. ეს მახასიათებლები, გამოყენებული უნდა იქნენ აღნიშნულ სადისერტაციო ნაშრომშიც.

თავის მხრივ, არხების საიმედოობა და გამტარუნარიანობა უნდა განისაზღვროს ინფორმაციის საჭირო დროული ჩაბარებისა და მისი გადაცემის თავისებურებების (შეტყობინებებით, პაკეტებით, საინფორმაციო გაცვლისთვის გამოყენებული კონკრეტული ალგორითმებით - პროტოკოლებით და სხვა) გათვალისწინებით. ამიტომ ქსელში ინფორმაციის ჩაბარების დროის შეფასება, მისი გადაცემის თავისებურებების გათვალისწინებით, წარმოადგენს ძირითად ამოცანას. ვინაიდან ინფორმაციის ჩაბარების დრო და მისი შემადგენლები წარმოადგენენ შემთხვევით სიდიდეებს, ამიტომ ქსელის სტრუქტურის გათვლებში საჭიროა გავითვალისწინოთ მისი მათემატიკური მოლოდინი. თავის მხრივ მათემატიკური მოლოდინი დამოკიდებულია შემთხვევითი სიდიდეების განაწილებათა კანონებზე. ამავე კანონებზეა დამოკიდებული აგრეთვე ქსელის გამტარუნარიანობა, საიმედოობა, ე.ი. ზოგადად ქსელის სტრუქტურა.

ამიტომ სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს ქსელის სტრუქტურის მახასიათებლების სიდიდეზე შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონების გავლენის განსაზღვრა, რაც შეიძლება

ჩაითვალოს სიახლედ, ვინაიდან ზემოაღნიშნულ ნაშრომებში ქსელის მახასიათებლები განისაზღვრებოდა დეტერმინირებული მიდგომის საფუძველზე ან განაწილების ექსპონენციალური კანონის დაშვების დროს. საკითხის ამგვარი დაყენებიდან გამომდინარე წარმოდგენილ სადისერტაციო ნამუშრომში გადაწყვეტილი უნდა იქნეს შემდეგი ამოცანები:

- დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები ქსელის ეფექტური გამტარუნარიანობის გათვლისათვის;
- დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები ქსელის სტრუქტურის ეფექტური საიმედოობის გათვლისათვის;
- დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები ქსელში პაკეტის გადაცემის რეალური დროის შეფასებისათვის;
- დამუშავდეს ნებისმიერი დანიშნულების ქსელების ეფექტური სტრუქტურების პროექტირების მეთოდიკა.

ზემოთ ფორმულირებული ამოცანებიდან ჩანს ჩატარებული კვლევის მიმართულება და განსახილველ ამოცანათა სირთულე. მათი გადაწყვეტა მოგვცემს ინფორმაციის გადამცემი, ამჟამად არსებული ქსელების მოდერნიზაციისა და ახალი ქსელური სტრუქტურების პროექტირების ტექნიკურ – ეკონომიკურ დასაბუთებას მონაცემთა გადამცემი საინფორმაციო – გამომთვლელი ქსელების შექმნისა და ექსპლუატაციის ყველა ეტაპებზე. ამასთან ძირითადი ყურადღება უნდა დაეთმოს ისეთი ძირითადი მახასიათებლების განსაზღვრასა და ოპტიმალური მნიშვნელობების უზრუნველყოფას, როგორცაა წარმადობა, საიმედოობა, ხელიშემშლელების მიმართ მდგრადობა და ღირებულება, რომლებიც დახასიათებულია ინფორმაციის გადამცემი ქსელისა და მისი კომპონენტების მრავალი პარამეტრებით.

ზოგად შემთხვევაში ჩატარებული კვლევის ამოცანები დაყვანილი უნდა იქნენ ცხადი სახით შემდეგი ფუნქციების მიღებამდე:

$$C_i^{\text{ობ}} = C(\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}, \lambda_1, \dots, \lambda_k, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, F_i^k(t), P_i^k, N_i, K_{\text{გ}_i}) \quad (1.4)$$

$$K_{\theta_i}^{\text{ობ}} = K(\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}, \lambda_1, \dots, \lambda_k, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, F_i^k(t), C_i, P_i^k, N_i, K_{\theta_i}) \quad (1.5)$$

სადაც $K_{\theta_i}^{\text{ობ}}, C_i^{\text{ობ}}$ – ქსელის სტრუქტურის i -ური არხის შესაბამისად მზადყოფნის კოეფიციენტისა და გამტარუნარიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობებია, $i=1,2,3,\dots,\mu$; $\bar{T}_{\text{ნაბ}_i}$ – შეტყობინებების (პაკეტების) ჩაბარების დაყოვნება i -ურ არხში; λ_i, τ_j – შეტყობინებების 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 ალბათობაა; N_i – სააბონენტო სადგურების რიცხვი, მიერთებული i -ურ არხზე. K_{θ_i} – საიმედოობა (i -ური არხის მზადყოფნის კოეფიციენტი).

(1.4) და (1.5) გამოსახულებების მიღება წარმოადგენს ჩატარებული კვლევის ძირითად ამოცანას. (1.4) და (1.5) – ის მდგენელები წარმოადგენენ ქსელის ძირითად პარამეტრებს. მთავარ პარამეტრებად მათი მიკუთვნება აიხსნება იმით, რომ ისინი ახასიათებენ ინფორმაციის გადაცემი ქსელების ხარისხობრივ და რაოდენობრივ შემადგენლობას და მის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ზემოთაღნიშნული მთავარი პარამეტრების უმრავლესობას გააჩნიათ მარტივი ურთიერთკავშირი სხვა პარამეტრებთან. ასე მაგალითად, მონაცემთა გადასაცემი ქსელის მომხმარებელთა რიცხვის გაზრდა მაშინვე აისახება ტრაფიკის ინტენსიობის მნიშვნელობაზე. ამავე პარამეტრით მჭიდროთაა დაკავშირებული სიგნალების დანახარჯებისა და ხელისშემშლელების მიმართ მდგრადობის თვისებები. ხელისშემშლელები და დამახინჯებები იწვევენ ინფორმაციის განმეორებით გადაცემის აუცილებლობას, რაც ახდენს გავლენას ინფორმაციის ნაკადების ინტენსივობის გაზრდაზე. დამახინჯებების ინტენსივობის მნიშვნელობების მიხედვით ფასდება ინფორმაციის უტყუარი მიღების ალბა-

თობა და ა.შ. მსგავსი ანალოგიური ურთიერთკავშირები შეიძლება დამყარებული იქნეს სხვა პარამეტრებთანაც.

მივიღებთ რა (1.4) და (1.5) გამოსახულებებს ცხადი სახით, საჭიროა შეფასდეს ქსელის სტრუქტურის ეკონომიკური კრიტერიუმი შემდეგი დამოკიდებულების დახმარებით:

$$U_{\text{ღ}} = U(\Theta_i, m_i, K_{\text{აი}}, C_i, U_r, M, N) \quad (1.6)$$

სადაც $U_{\text{ღ}}$ – ქსელის საპროექტო სტრუქტურის ღირებულებაა; Θ_i – კავშირის i -ური არხის ღირებულება ($i=1, \dots, M$); m_i – კავშირის სარეზერვო არხების ღირებულება; M, N – შესაბამისად კავშირის არხებისა და სააბონენტო სადგურების რაოდენობაა ქსელში; U_r – r -ური სააბონენტო სადგურის ღირებულებაა ($r=1, 2, \dots, N$).

ცხადია, რომ i -ური არხის ღირებულება Θ_i თვითონ წარმოადგენს ფუნქციას წარმადობისა, არხის გაჭიმულობისა და ა.შ., პარამეტრებისაგან (არგუმენტებისა), ხოლო ქსელზე საერთო დანახარჯები კი დამოკიდებულია კავშირიანობაზე (იგულისხმება როგორც გეოგრაფიული მასშტაბები, ასევე შემადგენელი ქსელური რესურსების ღირებულებებისა და მომსახურების ხარჯებიც).

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

ვიპოვოთ პირობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მიზნობრივი ფუნქციის მინიმუმს:

$$\begin{cases} U_{\text{ღ}} = U(Q_i, m_i, K_{\text{აი}}, C_i, U_r, M, N) = \min \\ \text{და } \bar{T}_{\text{ნაბ}} \leq T_{\text{ნაბ.გ.}} \end{cases} \quad (1.7)$$

ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ეფექტური სტრუქტურების მათემატიკური მოდელებისა და პროექტირების მეთოდის დასამუშა-

ვებლად საჭიროა მოკლედ განვიხილოთ მეთოდები, რომელთა ბაზაზეც გადაწყდება ოპტიმიზაციის ამოცანები და ამასთან დაკავშირებული დაშვებები და შეზღუდვები. ეს საშუალებას მოგვცემს დამატებით დადგინდეს გადაუწყვეტელი საკითხები.

ქსელებში მიმდინარე პროცესები წარმოადგენენ შემთხვევით პროცესებს, მათი თვისებები შეუძლებელია გამოკვლეული იქნეს დეტერმინიზმის პოზიციებიდან, ამიტომაც პროცესების ანალიზში და სინთეზში აუცილებელია ალბათური მიდგომა [9, 15, 25 და სხვა]. გამონაკლისს წარმოადგენს ქსელის ტოპოლოგიის სინთეზის პირველი ეტაპი, დაფუძნებული გრაფების თეორიის მეთოდებზე [61, 59, 43 და სხვა], როცა კავშირის არხები ითვლება აბსოლუტურად საიმედოდ. გამოკვლევებში მიღებული ყველა მეთოდებიდან ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ანალიზისათვის უფრო მისაღებია მასობრივი მომსახურების თეორიის მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ერთი და იგივე მოდელის დახმარებით ფორმალიზებული იქნეს სისტემისა და მისი კომპონენტების სხვადასხვა პროცესები. მასობრივი მომსახურების თეორიის გამოყენების მიზანშეწონილობა დამაჯერებლად დამტკიცებულია [14, 20, 36, 34, 37]–ში. თუმცა მასობრივი მომსახურების მარტო მეთოდები არ მიესადაგება ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ეფექტიანობის ამოცანებს. ამიტომ მათთან დამატებით საჭიროა გამოყენებული იქნეს მათემატიკური პროგრამირების, ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლებისა და რთული სისტემის ოპტიმიზაციის სხვა მეთოდები [6, 7, 16, 19, 26, 32], ასევე სტატისტიკური მოდელირება.

მასობრივი მომსახურების თეორიაში შედარებით სრულადაა დამუშავებული წრფივი საჩვენებელი ქსელების მოდელები, რომლებმაც ფართო გამოყენება ჰპოვეს ინფორმაციის გადამცემი ქსელების ანალიზსა და სინთეზში [18, 24, 27, 41, 56, 69]. ამასთან, ქსელის თითოეული კომპონენტი განიხილება როგორც $/ / 1$ ტიპის მასობრივი მომსახურების სისტემა [35]. ასეთი დაშვება შეიძლება სამართლიანი იყოს მხოლოდ სისტემის პირველი ფაზისათვის, რომელზედაც მიეწოდება ერთგვაროვანი ნაკადი [66], წარმოქმნილი ინფორმაციის

მრავალი წყაროს მიერ. შეკვეთების მომსახურების დროის ექსპონენციალური განაწილება ინფორმაციის გადამცემაში ქსელის ზოგიერთ კომპონენტში ასევე კარგადაა დასაბუთებული [49, 66]–ში. თუმცა ეს არ შეიძლება ითქვას კავშირის არსებზე შემდეგი მიზეზების გამო. ამჟამად არსებული პროტოკოლების თანახმად ინფორმაციის გადამცემა შეიძლება სწარმოებდეს მუდმივი სიგრძის პაკეტებით. ამას გარდა, შემთხვევითი სიგრძის ინფორმაციის გადამცემის დროს, თითოეული გადასაცემა შეტყობინება შეივსება სამოსამსახურეო ბიტებით, რომელთა ჯამური სიგრძე შეიძლება იყოს მუდმივი [17, 18]. ცხადია, კავშირის არსებისათვის მომსახურების დრო არ შეიძლება განხილული იქნეს როგორც საჩვენებელი, არამედ კავშირის არსებიდან გამომავალ ნაკადში საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს ბოლო ქმედება. ანალოგიურად შეიძლება ითქვას კომპონენტებისათვისაც, რომლებსაც მიეწოდებათ შეკვეთების ერთგვაროვანი ნაკადები. ამიტომ, მკაცრად რომ ვთქვათ, ჩავატაროთ მიმდევრობით შეერთებული / /1 ტიპის მასობრივი მომსახურების სისტემით ინფორმაციის გადამცემა ქსელუბის ფორმალიზაცია განაწილების კანონის პუასონურისაგან გადახრების გათვალისწინების გარეშე, მეტად დიდი სიფრთხილეა საჭირო, რაც დამტკიცებული იქნება წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში.

თუმცა / /1 ტიპის მასობრივი მომსახურების სისტემისათვის საბოლოო გადაწყვეტის პოვნა ვერ ხერხდება და ამიტომაც იძულებულნი ვართ შევიტანოთ გარკვეული დასაბუთებული დაშვებები, რაც პირველ რიგში ეხება ინფორმაციის შემავალი და გამავალი ნაკადების განაწილების კანონებს, ქსელების კომპონენტებში მისი დამუშავების დროს და შეტყობინებათა სიგრძეებს. საჭიროა ამ საკითხებს მიექცეს განსაკუთრებული ყურადღება, ვინაიდან მათზეა დამოკიდებული გათვლების სიზუსტე და უტყუარობა. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა შევნიშნოთ შემდეგი: ახალი ქსელის პროექტირების დროს, ანდა მისი მოდერნიზაციისას დამპროექტებელი იმყოფება სრულ გაურკვევლობაში განაწილების აღნიშნული კანონების მიმართ, ვინაიდან არ არსებობს შესაბამისი სტატისტიკა, წინასწარ უცნობია სააბონენტო პუნქტების რაოდენობის გაფართოების შესაძლებლობა და უფრო სრულყოფილი აღჭურვილობის მახასიათებლები. უკეთეს შემთხვევაში დამპროექტე-

ბელს ეძლევა შესაბამისი სიდიდეების ცვლილებების შესაძლო საზღვრები. ამიტომ გათვლებისათვის გამოიყენება ანალოგიური ქსელების სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი, რაც მკაცრად რომ ვთქვათ, არ შეძლება ჩაითვალოს საკმარისად სწორად შესაქმნელი სისტემისათვის. ყველა ეს მოთხოვნს დამაჯერებელ დასაბუთებას პროექტირების პრაქტიკაში მიღებული ჰიპოთეზებისა შემთხვევითი სიდიდეების განაწილების კანონების შესახებ.

შედარებით დასაბუთებულს წარმოადგენს ჰიპოთეზა შემავალი ნაკადების განაწილებების პუასონური კანონების შესახებ. მის დასაბუთებას შეიცავს ნაშრომი [54], რომლის არსი დაიყვანება შემდეგზე: თუ არსებობს ინფორმაციის წყაროს საკმაოდ დიდი რაოდენობა (10–ზე მეტი), მაშინ ასეთი წყაროებიდან ჯამური ნაკადი იქნება პუასონური იმასთან დამოუკიდებლად, თუ როგორია თითოეული წყაროს ნაკადის განაწილების კანონი. ამასთან წინ იწვევს მოთხოვნა იმის შესახებ, რომ ნაკადი წყაროდან არსებით გავლენას არ ახდენდეს ჯამურ ნაკადზე. ეს ჰიპოთეზა პოულობს თავის სამართლიანობის მტკიცებას მთელ რიგ მომუშავე სისტემებში [69].

პუასონური კანონის შესახებ ჰიპოთეზის გამოყენების მოხერხებულობა აიხსნება იმით, რომ შედარებით მარტივად მიიღება გათვლების საწარმოებლად მოხერხებული სახით დამოკიდებულებები, რომელთა მიღება სხვა კანონების დროს შეუძლებელია.

ზოგად შემთხვევაში საწყისი მონაცემების განუსაზღვრელობის დროს დამპროექტებელს მოეთხოვება იცოდეს ქსელური სისტემის მახასიათებლების ან პარამეტრების მნიშვნელობათა ცვლილებების შესაძლო საზღვრები. ამიტომ საჭიროა მიღებული იქნეს გამოსახულება მახასიათებლებისათვის სისტემის “ადვილ” რეჟიმში მუშაობის დროს, რომელიც წარმოიქმნება შეტყობინებათა მუდმივი სიგრძის დროს. ქსელისა და მისი კომპონენტების მუშაობის ხარისხის რიცხვითი მახასიათებლების მნიშვნელობები შეტყობინებათა სიგრძეების განაწილების ნებისმიერი კანონების დროს ყოველთვის მდებარეობს იმ მნიშვნელობებს შორის, რომლებიც მიიღება ექსპონენციალური და რეგულარული კანონისათვის.

ქსელის სტრუქტურის ეფექტიანობის ამოცანების გადაწყვეტის დროს საჭიროა კავშირის თითოეულ არხში მიწოდებული ნაკადების შესახებ ცოდნა. ასეთი ცოდნა შეიძლება მიღებული იქნეს ქსელის ყველა მარშრუტებზე ნაკადების განაწილების შემდეგ, რაც წარმოადგენს ცალკე საკვლევ პრობლემას. ამიტომ ქსელის სტრუქტურის ეფექტურობის მახასიათებლების განსაზღვრის დროს ვაკეთებთ დაშვებას იმის შესახებ, რომ ქსელში ნაკადები განაწილებულია.

ამგვარად, სადიცსერტაციო ნაშრომში ფორმულირებული საკვლევი ამოცანების დამუშავებისას ძირითადი დაშვებები, რომლებსაც ჩვენ ვაკეთებთ, მდგომარეობს შემდეგში:

– ქსელის შესასვლელზე მიეწოდება პუასონური ნაკადები ცნობილი ინტენსიობებით;

– შეტყობინებათა ხანგრძლიობები და მტყუნებათა აღმოფხვრის დროები განაწილებულია ნებისმიერი კანონით ცნობილი საშუალო მნიშვნელობებით;

– ქსელების მუშაობის ხარისხის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლებისა და შერჩეული სტრუქტურის სახით მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს მასობრივი მომსახურების სისტემის შემდეგი მახასიათებლები: ხელსაწყოს (კავშირის არხის ან სააბონენტო სადგურის) ჩატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება მიწოდებული ნაკადის ინტენსიობის ნამრავლით მომსახურების საშუალო დროზე, გაზომილი წამებში; ხელსაწყოს დატვირთვა, რომელიც განისაზღვრება ნაკადის ინტენსიობის ნამრავლით შეტყობინებათა (პაკეტების) საშუალო სიგრძეზე, გაზომილი ბიტებში; თითოეულ არხში რიგში ლოდინის საშუალო დრო, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{w}_i = \int_0^{\infty} w_i dF(w_i) \quad (1.6)$$

სადაც $F(w_i)$ –მომსახურების დაწყების ლოდინის w ხანგრძლიობის განაწილების ფუნქცია;

ქსელის არხში მოთხოვნათა შეყოვნების საშუალო დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$\overline{U}_i = \int_0^{\infty} U_i dF(U_i) \quad (1.13)$$

სადაც $F(U_i)$ –მომსახურების სისტემაში მოთხოვნათა ყოფნის ხანგრძლიობის განაწილების ფუნქციაა.

კავშირის არხში მოთხოვნათა საშუალო რიცხვი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n \quad (1.14)$$

სადაც P_n –აღბათობაა იმისა, რომ არხში (რიგში და გადაცემაზე) იმყოფება n განაცხადი (შეტყობინებები).

ამგვარად, განხილულია კვლევის ძირითადი მეთოდები, დასაბუთებულია ძირითადი დაშვებები შემთხვევითი სიდიდეების განაწილებების კანონების შესახებ ინფორმაციის გადამცემ ქსელებში. ეს საშუალებას გვაძლევს შევუდგეთ მატემატიკური მოდელების ანალიზსა და სინთეზს ინფორმაციის გადაცემის ქსელების ეფექტური სტრუქტურების შექმნისათვის.

1.5. მტყუნებადმდგრადი ტექნიკური სისტემების საიმედოობის

და სარწმუნოების ამაღლების მეთოდები

ტექნიკური სისტემების პროექტირების დროს რეალიზდება მათ მიერ იმ ფუნქციათა ჩამონათვალის შესრულების შესაძლებლობა, რომელიც გათვალისწინებულია ტექნიკური დავალებით. სტრუქტურული

და აპარატურული რეალიზაცია პროექტირების საწყის ეტაპებზე დაიყვანება მინიმალური აუცილებელი ვარიანტის შექმნაზე [7, 8, 47]. ნებისმიერი ელემენტის (კვანძის, ბლოკის) მტყუნებას მიყვავართ ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებული ერთი, ან რამდენიმე ფუნქციის შეუსრულებლობამდე.

სისტემის მინიმალური ვარიანტის საიმედოობის მახასიათებლები იშვიათად აკმაყოფილებენ წამოყენებულ მოთხოვნებს, რის გამოც საჭირო ხდება გამოყენებულ იქნას მათი საიმედოობის და სარწმუნოობის გაზრდის სხვადასხვა მეთოდები. ამიტომ, მტყუნების წარმოშობის მიზეზების ზემოთ მოყვანილი ანალიზი მათი არსებობის ყველა ეტაპზე, აგრეთვე მათემატიკური დამოკიდებულებების საიმედოობის მაჩვენებლების გაანგარიშებისათვის და მათი ეფექტურობის კრიტერიუმებისათვის, საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნა, რომ საჭირო მაღალი დონის საიმედოობის უზრუნველყოფა და შენარჩუნება პრინციპულად შესაძლებელია მხოლოდ საიმედოობის ამალღების შემდეგი მეთოდების გამოყენებით: 1) აპარატურის მტყუნების ინტენსიურობის შემცირებით; 2) აღდგენის საშუალო დროის შემცირებით; 3) აპარატურული და დროითი რეზერვირებით. საიმედოობის გაზრდის აღნიშნული მეთოდების პრაქტიკული რეალიზაცია შეიძლება ხორციელდებოდეს მათი არსებობის ყველა ეტაპზე.

საიმედოობის ამალღების პრობლემა პირველ რიგში უნდა გადაიჭრას მაღალი საიმედოობის (მტყუნების ნაკლები ინტენსივობის) მქონე მოწყობილობებისა და ელემენტების შექმნის და გამოყენების საფუძველზე. თუმცა, ამ მხრივ შესაძლებლობები შეზღუდულია და ყოველთვის არ არის შესაძლებელი შეიქმნას მაღალი საიმედოობის მქონე სისტემა. აღდგენის საშუალო დროის შემცირების მეთოდი წარმოადგენს ერთობლიობას ინჟინერულ-ტექნიკური, ორგანიზაციულ-ტექნიკური და ტექნოლოგიური ხერხებისა და ოპერაციებისა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტექნიკური სისტემების საიმედოობის ამალღებას და ამდენად ამცირებენ მტყუნებათა რიცხვს. ეს მეთოდი გულისხმობს აგრეთვე არამწარმოებლური დროის შემცირებას,

რომელიც აუცილებელია მტყუნების გამომწვევი მიზეზების აღმოჩენისა და აღმოფხვრისათვის.

ტექნიკური სისტემების აღდგენის პროცესი გულისხმობს შემდეგ ოპერაციებს [17, 45]: მტყუნების ფაქტის არსებობის აღმოჩენა; მტყუნების გამომწვევი მიზეზების აღმოჩენა; აღდგენისათვის საჭირო მოხერხებულობის უზრუნველყოფა.

მტყუნების წარმოქმნის შემდგომი დრო, ზოგად შემთხვევაში, შეიძლება დაიყოს სამ ნაწილად: დრო მტყუნების წარმოქმნის მომენტიდან კონტროლის სპეციალური სისტემის მიერ მტყუნების ფაქტის არსებობის დადგენამდე; დრო მტყუნების ფაქტის არსებობის დადგენიდან, მტყუნების ადგილების აღმოჩენამდე ან მტყუნების მიზეზების დადგენამდე; დრო მტყუნების ადგილების აღმოჩენიდან ან მტყუნების მიზეზის დადგენიდან აღდგენის მომენტამდე ან მწყობრიდან გამოსული ელემენტის შეცვლამდე. იმისათვის, რომ შევამციროთ დროის თითოეული ან ნაწილის ხანგრძლივობა, აუცილებელია ამადლდეს კონტროლის სპეციალური სისტემის და დაზიანების ადგილის მოძებნის ეფექტურობა, აპარატების კონსტრუქციის და ეგმ-ის ხარისხი, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაცია და ა.შ.

ტექნიკური სისტემების საიმედოობის გაზრდის ზოგადი თეორიული მეთოდები პრაქტიკულად რეალიზდება სხვადასხვა საორგანიზაციო-ტექნიკური, საინჟინრო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური ღონისძიებების განხორციელების დროს.

1.6. მტყუნებთან კლისიფიკაცია

ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები (ეგმ) გამოიყენებიან სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში. მათ ბაზაზე შექმნილი მონაცემთა გადაცემის ქსელები უზრუნველყოფენ ინფორმაციის გაცვლას ცალკეულ ობიექტებს შორის ორობითი სიგნალების საშუალებით. თუმცა ორობითი სიგნალების გადაცემა ეგმ-ის

საშუალებით, არსებითად განსხვავდება სატელეგრაფო შეტყობინებათა გადაცემისაგან. ტელეგრაფიაში ოპერატორის მიერ გადასაცემი ინფორმაციის მოცულობა არ აღემატება 15-30 ბიტ-ს წმ-ში, მაშინ როცა ინფორმაციის გაცვლა ეგმ-ებს შორის შეიძლება აღწევდეს რამოდენიმე ასეულ ათას ბიტ-ს წმ-ში. ასეთი უზარმაზარი ინფორმაციის ნაკადები განპირობებულია იმით, რომ თანამედროვე ეგმ-ებს შეუძლიათ მილიონობით ოპერაციის შესრულება წმ-ში.

სატელეგრაფო კავშირის დროს დამაკმაყოფილებელი მუშაობა ხასიათდება სიგნალის არასწორად მიღების ალბათობის 10^{-4} რიგით, მაშინ როცა ეგმ-ებს შორის ინფორმაციის გადაცემის დროს მოითხოვება შეცდომის ბევრად უფრო მცირე ალბათობა - 10^{-8} - 10^{-9} რიგის. ეს განსხვავება აიხსნება იმით, რომ ტელეგრაფიას ძირითადად საქმე აქვს ისეთი აზრობრივი შეტყობინებების გადაცემასთან რომელიც მიმღებს საშუალებას აძლევს აღადგინოს „აზრობრივად“ დამახინჯებული ინფორმაციის დიდი ნაწილი. ეგმ-ებს შორის გადასაცემი ციფრული ინფორმაცია, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სპეციალურ ზომებს, არ ხასიათდება ასეთი შინაგანი შესაძლებლობებით. ამიტომ ძალიან იშვიათმა შეცდომებმაც კი შეიძლება არსებითად დაამახინჯონ ეგმ-ის მუშაობის შედეგები ან მასში შეყვანილი ინფორმაციის შინაარსი. აქედან გამომდინარე, მონაცემთა გადაცემის არხებში გადასაცემი ინფორმაციის საიმედოობას უყენებენ ძალიან მაღალ მოთხოვნებს. იმასთან დაკავშირებით, რომ მონაცემთა გადაცემის საჭიროება წარმოიშვა მაშინ, როცა უკვე არსებობდა საკმაოდ განვითარებული სატელეგრაფო და სატელეფონო არხები ყველაზე უფრო ბუნებრივი და რაციონალური ხერხი ამ საჭიროების დაკმაყოფილებისა, მდგომარეობდა უკვე არსებული არხების, პირველ რიგში კი ტონალური სიხშირის სტანდარტული არხების გამოყენებაში. ამ უკანასკნელის დაპროექტება ხდებოდა ანალოგიური სიგნალების გადაცემისთვის, ამიტომ ეკონომიური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, რეგლამენტირდებოდა მხოლოდ ის პირველადი ელექტრული მახასიათებლები, რომლებიც აუცილებელია დამაკმაყოფილებელი სატელეფონო კავშირის დამყარებისათვის.

მონაცემთა გადაცემის განვითარებამ მოითხოვა სრულიად ახალი მიდგომა არხების პირველადი მახასიათებლებისადმი, რომლებიც უზრუნველყოფენ დიდი მოცულობის ინფორმაციის გადაცემას.

თუ ტონალური სიხშირის არხს განვიხილავთ, როგორც ინფორმაციის გადაცემის გარემოს, რომელიც ზემოქმედებს დისკრეტული სიგნალის ხარისხზე, მაშინ არხის პარამეტრები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ხარვეზების (ხმაურის) მახასიათებლები, რომლებიც იყოფიან ორ ჯგუფად – ადიტიურები და არაადიტიურები [70, 85, 86]

ადიტიურს უწოდებენ ხარვეზებს, რომელთა ენერგიაც არხში შემოდის გარედან და რომელთა ძაბვაც წრფივად იკრიბება სიგნალთან. ზოგადი სახით ადიტიური ხარვეზები შედგებიან სამი მდგენელისაგან: ფლუქტუაციური, ჰარმონიური და იმპულსური. ფლუქტუაციური ხარვეზი, რომლის ქვეშაც როგორც წესი, ესმით მრავალი შემთხვევითი ფაქტორის ჯამი: სიტბური ხმაურები, გადასვლები მოსაზღვრე არხებიდან და ა.შ. ექვემდებარება ნორმალურ კანონს ნულოვანი საშუალოთი და იგი რეალურ არხებში უმნიშვნელო გავლენას ახდენს დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემის ხარისხზე. მიუხედავად ამისა, ფლუქტუაციური ხარვეზების ზემოქმედების კომბინირებამ სხვა ხელისშემშლელ ზემოქმედებებთან შეიძლება არსებითად გააუარესოს მონაცემთა გადაცემის ხარისხობრივი მაჩვენებლები.

ჰარმონიულ ხარვეზებს აქვთ არხის გამტარუნარიანობაზე გაცილებით ვიწრო სიხშირის ზოლი.

იმპულსური ხარვეზი წარმოადგენს მცირე ხანგრძლივობის იმპულსს, რომელიც სრულიად თანაზომადია დისკრეტული ინფორმაციის ელემენტარული გზავნილის ხანგრძლივობასთან. დიდი ამპლიტუდის შემთხვევაში, მას საკმაოდ დიდი ალბათობით შეუძლია გამოიწვიოს შეცდომა გადასაცემ ინფორმაციაში. გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ სატელეფონო არხებში იმპულსური ხარვეზები წარმოადგენენ მონაცემთა გადაცემის დროს შეცდომების წარმოქმნის ერთ-ერთ ძირითად მიზეზს.

მეორე ჯგუფი ხელისშემშლელი ფაქტორებისა – არაადიტიური ხარვეზები – განისაზღვრებიან არხის გადაცემის კოეფიციენტის არაწრფივი დამოკიდებულებით არხის პარამეტრებისაგან (სიხშირე, ამპლიტუტა) და დროისაგან ე.ი. დაუმახინჯებელი გადაცემის პირობას წარმოადგენს, არხის შემდეგი მახასიათებლების მუდმივობა, გარკვეულ ნორმირებულ დასაშვებ დიაპაზონში:

- ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლები;
- ამპლიტუდური მახასიათებლები;
- ნარჩენი მილევალობის სტაბილურობა;
- ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლების სტაბილურობა.

მონაცემთა გადაცემის თანამედროვე სისტემებში მიღებულია ეფექტური ზომები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ამ მახასიათებლების მუდმივობას გარკვეულ საზღვრებში.

ბოლო წლებში გაირკვა, რომ მონაცემთა გადაცემის არხში აღვილი აქვს შედარებით ხანმოკლე შესვენებების დიდ რაოდენობას, რომლებიც უმნიშვნელოდ უშლიან ხელს სატელეფონო საუბრებს, ამასთან მკვეთრად აუარესებენ გადასაცემი დისკრეტული ინფორმაციის სარწმუნოებას და საიმედოობას.

უნდა ავლნიშნოთ, რომ შეცდომათა გამოკვლევის შედეგად დადგენილია შეცდომათა დაჯგუფება, ინტენსიურობის შეცვლა დღე-ღამისა და კვირის სხვადასხვა პერიოდში იმის მიხედვით, თუ როგორია სისტემის შემჭიდროება, ტექნიკური მდგომარეობა მაგისტრალის სივრცე და პროფილაქტიკური სამუშაოების ჩატარება. კერძოდ, შეცდომათა ნაკადის მნიშვნელოვან განსაკუთრებულობას წარმოადგენს მათი დაჯგუფება. ხელისშემშლელი ზემოქმედების ხანგრძლივობა ხშირად აღემატება ერთეულოვანი ბიტების (ელემენტების) მიერ გატარებული იმპულსების ხანგრძლივობას, რის გამოც ხარვეზის ერთი ზემოქმედება მაშინვე გადაფარავს ერთეულოვანი ელემენტების ჯგუფს. მაგალითად: მოდულაციის $B = 1200$ ბოდი სიხქარის დროს $20 \cdot 10^{-3}$ წყვეტა

„აზიანებს“ 24 ერთეულოვანი ელემენტს. ცხადია, პირობითი ალბათობა მოცემული ერთეულოვანი ელემენტების დაზიანებისა, როდესაც შეცდომათა პაკეტის შიგნით დაზიანებულია წინა მდებარე ელემენტები, ძალიან დიდია. შეცდომათა დაჯგუფებას მრავალ რეალურ არხებში აქვს ძალიან რთული ხასიათი [50, 69, 70, 85, 86]. შეცდომები ჯგუფდებიან პაკეტებში, ხოლო პაკეტები უფრო რთულ სტრუქტურებში. თუმცა ბუნებრივია დაეუშვათ, რომ საბოლოო ჯამში ყოველთვის არსებობენ ხელისშემშლელი ზემოქმედებები, რომლებიც წარმოიქმნიან ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად და გამომდინარე აქედან, უნდა არსებობდნენ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი შეცდომათა პაკეტები. ხარვეზის ხასიათის ნელა ცვლილების გამო ხელისშემშლელი ზემოქმედება შეიძლება იყოს ძალიან ხანგრძლივი და არაერთგვაროვანი. ამიტომ დამოუკიდებელი შეცდომები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან სიგრძითა და სტრუქტურით.

არსებობს „შეცდომათა პაკეტი“-ს ცნების მრავალი განსაზღვრება. ჩვეულებრივ პაკეტს უწოდებენ შეცდომათა ჯგუფს, რომელშიც ცალკეული შეცდომით მიღებული ელემენტები დაშორებულია ერთმანეთისაგან არაუმეტეს r სწორად მიღებული ელემენტისა. r რიცხვს უწოდებენ დამცავ ინტერვალს, პაკეტირების ინტერვალს ან პაკეტწარმოქმნის კრიტერიუმს. დამცავი ინტერვალის სიგრძეს ირჩევენ იმის მიხედვით, თუ როგორია კონკრეტული ამოცანა. კერძოდ, ხარვეზდამცავი კოდების თვისებების გამოსაკვლევად r ინტერვალის თანაზომადი უნდა იყოს კოდების კომბინაციის სიგრძესთან. ორობით არხებში ხარვეზების მოქმედებამ შეიძლება მიგვიყვანოს შეცდომებამდე ერთეულოვანი ელემენტების რეგისტრაციის დროს. ჩვეულებრივ შეცდომებს განასხვავებენ მათი წარმოქმნის ბუნების მიხედვით. სინქრონიზაციის შეცდომები (ამოვარდნა და ჩართვა არასწორი ერთეულოვანი ელემენტებისა) დაკავშირებულია გენერატორული ალგურვილობის არასტაბილურობასთან და სინქრონიზაციის დარღვევასთან ძლიერი ხარვეზების პერიოდში.

1.6.1. მტყუნებები მონაცემთა გადაცემის არხებში

მტყუნებას უწოდებენ მოვლენას, რომელიც იწვევს მონაცემთა გადაცემის ტრაქტის ფუნქციების სრულ ან ნაწილობრივ შეწყვეტას. მტყუნებები შეიძლება იყოს უეცარი, რომელიც გამოწვეულია, მაგალითად, კავშირის ხაზის მექანიკური დაზიანებით ენერგომომარაგების წყაროებით, მომსახურე პერსონალის არასწორი მოქმედებით და თანდათანობითი, რომელიც გამოწვეულია მასალებისა და დეტალების დაძველებით.

განასხვავებენ მდგრად და თვითლიკვირიდირებად (დროებით) მტყუნებებს. მდგრადი მტყუნებების აღმოსაფხვრელად აუცილებელია სარემონტო სამუშაოების ჩატარება. თვითლიკვირიდირებადი მტყუნებები, როგორც წესი, გამოწვეულია გარე და შიგა წყაროებიდან ხარვეზების ზემოქმედებით, აგრეთვე მომსახურე პერსონალის არასწორი მოქმედებით.

ისეთ რთულ სისტემებში, როგორცაა, მონაცემთა გადაცემის ტრაქტი მტყუნებების გამომწვევი მიზეზების დიდი რაოდენობისა და მრავალფეროვნების გამო, მდგრადი მტყუნებების ხანგრძლივობა შეიძლება მერყეობდეს მნიშვნელოვნად. თვითლიკვირიდირებად მტყუნებებს, როგორც წესი, აქვთ შედარებით მცირე ხანგრძლივობა.

ამრიგად, მონაცემთა გადაცემის ტრაქტებში მტყუნებები წარმოიქმნებიან დროის შემთხვევით მომენტში და აქვთ სხვადასხვა ხანგრძლივობა, ამასთან ამ უკანასკნელსაც აქვს შემთხვევითი ხასიათი. მონაცემთა გადაცემის ტრაქტის საიმედოობა ხასიათდება, როგორც ტრაქტის შესაძლებლობა უზრუნველყოს გარკვეული მოცულობის ინფორმაციის გადაცემა მოცემული სარწმუნოობით დადგენილი დროის მონაკვეთში ე.ი. გარკვეული სიჩქარით.

საიმედოობის დაქვეითება შეიძლება მოხდეს, თუ ნორმალური სარწმუნოობის გადაცემის სიჩქარე აღმოჩნდება მოცემულზე დაბალი ან ნორმალური სიჩქარის დროს გადაცემის სარწმუნოობა ქვეითდება დადგენილზე დაბლა ან გადაცემის, როგორც სიჩქარე, ისე სარწმუნოობა, ქვეითდება მოცემულზე დაბლა.

ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე ჩვეულებრივ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს, რომელიც დამოკიდებულია კავშირის არხის ტიპზე და მონაცემთა გადაცემის აპარატურაზე. ნორმალური მუშაობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე შერჩეულ იქნას კავშირის არხებში გადაცემის საშუალო სიჩქარეზე უფრო ნაკლები, რომელიც განპირობებულია არხის ტიპით და მონაცემთა გადაცემის აპარატურით. ამ სიჩქარეების ტოლობის შემთხვევაში მონაცემთა გადაცემის ტრაქტით ინფორმაციის გადაცემის დროს ნებისმიერი, ყველაზე მოკლე შესვენებაც კი გამოიწვევს მტყუნებას ე.ი. ადგილი ექნება საიმედოობის დაქვეითებას [49, 85, 86].

განვიხილოთ მეორე შემთხვევა. მოცემული სიჩქარის დროს გადაცემის სარწმუნოობა განისაზღვრება კავშირის არხის ტიპით და მონაცემთა გადაცემის აპარატურით. თუ საჭირო სარწმუნოება ნაკლებია ან ტოლი არხის სარწმუნოობაზე, მაშინ ინფორმაცია გადაეცემა სარწმუნოების ამადლების გარეშე და მოცემული შემთხვევა დაემთხვევა ზემოთ განხილულ შემთხვევას, როდესაც საიმედოობა კლებულობს მხოლოდ გადაცემის სიჩქარის დაუშვებელი შემცირების ხარჯზე. თუ კი საჭირო სარწმუნოობა მეტია დისკრეტული არხის რეალურ სარწმუნოებაზე, მაშინ მოითხოვება მისი ამადლება. ამას შეიძლება მივაღწიოთ ჭარბი კოდირების გამოყენებით, რომლის საშუალებითაც შეიძლება აღმოვაჩინოთ და კორექცია გავუკეთოთ შეცდომებს, მაგრამ ეს დაკავშირებულია გადასაცემი ინფორმაციის დანაკარგთან. ე.ი. მისი მოცულობის გაზრდასთან, რაც თავის მხრივ აქვეითებს დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემის ეფექტურ სიჩქარეს. იმისათვის, რომ შევინარჩუნოთ უწინდელი მწარმოებლურობა, მოითხოვება გადაცემის სიჩქარის ამადლება. ხოლო, რადგან ეფექტური სიჩქარის სიდიდე, როგორც წესი, წინასწარ მოცემულია, ამიტომ ჭარბი

კოდირებისას მცირდება შესვენებების დასაშვები დრო, რასაც აგრეთვე მიყვავართ საიმედოობის დაქვეითებამდე.

მესამე შემთხვევა წარმოადგენს წინა ორი შემთხვევის ერთობლიობას: საიმედოობის დაქვეითება, საბოლოო ჯამში განპირობებულია გადაცემის სინქარის მოცემული საზღვრების დაქვეითებით.

ამრიგად, მტყუნების კრიტერიუმს წარმოადგენს გადაცემის სინქარის შემცირება, რაც უფრო ნათლად ვლინდება მონაცემთა გადაცემის „ტემპიან“ სისტემებში, სადაც ინფორმაციის დაძველება მტყუნების ტოლფასია.

მონაცემთა გადაცემის ტრაქტი შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: მონაცემთა გადაცემის აპარატურისაგან (მგა) და კავშირის არხებისაგან. გამომდინარე აქედან, ტრაქტის მტყუნებათა ნაკადი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მგა-ს და კავშირის არხების მტყუნებათა ნაკადების კომპოზიცია. რადგან დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემის დროს შეცდომები ხშირად წარმოიქმნება კავშირის არხებში, ვიდრე მონაცემთა გადაცემის ქსელის სხვა უბნებში, ამიტომ შემდგომი მიზნებისათვის მიზანშეწონილია აქ შემოვიფარგლოთ კავშირის არხების საიმედოობის მხოლოდ ლიტერატურაში [7, 47, 49] ცნობილი მასალის მოყვანით.

მონაცემთა გადაცემისათვის გამოყენებული კავშირის არხების სიგრძე მერყეობს რამოდენიმე კილომეტრიდან მრავალ ათას კილომეტრამდე. განსაკუთრებით რთულია საქალაქთაშორისო კავშირის არხები, რომლებიც მოიცავენ გადამცემი ხაზის გრძელ უბნებს და დიდი რაოდენობის შუალედურ აპარატურას, რომლებიც განთავსებულია ათასობით კილომეტრების სირგძეზე.

თანამედროვე კავშირის მაგისტრალების ავტომატიზაციის მაღალი ხარისხის მიუხედავად, მათი უწყვეტი საექსპლუატაციო მზადყოფნა უზრუნველყოფილია მომსახურე პერსონალის დიდი რიცხვით. ამიტომ საიმედოობის გათვლისათვის გამოიყენება მასალები, რომლებიც მიღებულია სპეციალური გაზომვების საშუალებით არხებში

მტყუნებათა შესახებ მოპოვებული მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე ან ექსპლუატაციის გამოცდილების განზოგადების საფუძველზე [50, 70, 85, 86] .

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ მტყუნებები სატელეფონო არხებში, რომლებიც წარმოქმნილია კავშირის საკაბელო მაგისტრალეებში, სხვადასხვა მიზეზების გამო იყოფა სამ ჯგუფად: 1-ხანგრძლივი, 2-საშუალო ხანგრძლივობის, 3-ხანმოკლე.

ხანგრძლივი მტყუნებების გამომწვევ მიზეზებს წარმოადგენენ კაბელისა და სტაციონალური მოწყობილობების დაზიანებები. ასეთი მტყუნებები გრძელდებიან რამოდენიმე ათეული წუთიდან რამოდენიმე საათამდე.

საშუალო ხანგრძლივობის მტყუნებები – რამოდენიმე წამიდან 5-10 წუთამდე, როგორც წესი, წარმოიქმნიან სადგურის მოწყობილობის (აღჭურვილობის) გაუმართაობის დროს.

ხანმოკლე მტყუნებები წარმოიქმნიან ჭექა-ქუხილის მუხტების გავლენით, ელექტროფიცირებული რკინიგზებით, აპარატურაში ცუდი კონტაქტების არსებობით და ა.შ. როგორც წესი, ხანმოკლე მტყუნებათა ეს სახე გაცილებით მრავალმრიცხოვანია. მათი რიცხვი წარმოადგენს მტყუნებათა საერთო რაოდენობის დაახლოებით 80-90%-ს.

1.6.2 სიჭარბე, როგორც საიმედოობის

ამაღლების საშუალება

ტექნიკური სისტემები, რომლებიც თავის შემადგენლობაში შეიცავენ არასაიმედო მოწყობილობებს, როგორც წესი, მოითხოვენ დამატებით საშუალებებს საიმედოობის მაღალი დონის შენარჩუნების

მიზნით. ჩვეულებრივ ეს საშუალებები დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის სიჭარბის გამოყენებასთან.

სიჭარბე – ეს არის დამატებითი საშუალებები და შესაძლებლობები მინიმალურად აუცილებელის ზევით, სისტემის მიერ ტექნიკური პირობებით მოცემული ფუნქციების შესასრულებლად. სიჭარბის შემოღების მიზანია სისტემის ელემენტებში მტყუნების წარმოქმნის შემდეგ სისტემის ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველყოფა. განასხავებენ სტრუქტურულ (აპარატურულ), ინფორმაციულ და დროით რეზერვირებას, რომლებიც თავის მხრივ იყოფიან მრავალ ნაირსახეობად.

სტრუქტურული რეზერვირება ითვალისწინებს დამატებითი ელემენტების გამოყენებას. იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ სისტემის მინიმალურად აუცილებელ ვარიანტში ძირითად ელემენტებთან ერთად გამოყენებულია დამატებითი ელემენტები, ზოგჯერ კი ერთი სისტემის ნაცვლად გათვალისწინებულია რამდენიმე იდენტური სისტემის გამოყენება. მაგალითად, ისეთ ტექნიკურ სისტემებში, როგორცაა მონაცემთა გადაცემის არხი, როდესაც ერთი სატელეფონო არხით შექმნილი მონაცემთა გადაცემის ტრაქტის (მგტ) საიმედოობა აღმოჩნდება არასაკმარისი, მას ამადლებენ მგტ-ში ახალი ელემენტების დამატებით, რომელთაც უნარი შესწევთ შეასრულონ ძირითადი ელემენტების ფუნქციები მათი მტყუნების შემთხვევაში. მარეზერვირებელ ელემენტად შეიძლება არჩეულ იქნას, როგორც ცალკეული ბლოკი, კვანძი ან მგა მთლიანად, ასევე კავშირის არხის შუალედური მონაკვეთი ან მთელი არხი და ბოლოს მგტ მთლიანად. ამ შემთხვევაში რეზერვირების ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევა უნდა მოხდეს ტექნიკური სისტემის ცალკეული მონაკვეთების საიმედოობის გათვალისწინებით, ტექნიკურ - ეკონომიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური ვარიანტების მოძებნის გზით [63, 72, 73].

თანამედროვე ტექნიკურ სისტემებში ძირითადად გამოიყენება ავტომატური გადამრთველები, რადგან მტყუნების აღმოჩენა და

რეზერვის ხელით ჩართვა მოითხოვს იმდენ დროს, რომ რეზერვირება კარგავს თავის აზრს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ავტომატური გადართვაც კი ვერ უზრუნველყოფს საიმედოობის მოცემულ მოთხოვნებს, გამოიყენება მუდმივი რეზერვირება.

რეზერვირების ამა თუ იმ მეთოდის შერჩევა ჩვეულებრივ ხდება ეკონომიური მოსაზრებიდან გამომდინარე. ბოლოს შევნიშნოთ, რომ მგტ-ს ყველაზე ნაკლებად საიმედო ნაწილს, როგორც წესი, წარმოადგენს კავშირის არხები. მათი აუცილებელი საიმედოობა მიიღწევა დამატებითი სარეზერვო არხების გამოყენებით.

1.6.3 ინფორმაციული რეზერვირება

ინფორმაციული რეზერვირება ფართოდ გამოიყენება ტექნიკურ სისტემებში, რომელიც ითვალისწინებს ჭარბი ინფორმაციის გამოყენებას. მის უმარტივეს მაგალითს წარმოადგენს მონაცემთა გადაცემის ქსელებში ერთი და იგივე შეტყობინების მრავალჯერადი გადაცემა კავშირის არხით. გარდა ამისა, მონაცემთა გადაცემის სისტემებში გამოიყენება ინფორმაციის ჭარბი კოდირება. კერძოდ, გამოიყენება თვითკორექტირებადი კოდები, რომელთა საშუალებითაც ხდება მონაცემთა გადაცემის აპარატურის მტყუნების შედეგად წარმოშობილი შეცდომების აღმოჩენა და გასწორება. ამასთან, მონაცემთა გადაცემის სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება, არ ირღვევა. ჭარბი კოდირების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს შეცდომათა აღმოჩენა და გასწორება დისკრეტული არხის გამოსასვლელზე.

უფრო ზოგადი სახით „ინფორმაციული სიჭარბის“ ცნება ფორმულირებული იყო ა. ხარკევიჩის [75] მიერ. ინფორმაციული სიჭარბის არსებობის ერთადერთი პირობაა რაიმე ალფავიტის

აკრძალული სიტყვების არსებობა, რომლებიც არ არის გამოყენებული ინფორმაციის წყაროს მიერ. ეს პირობა შეიძლება შესრულდეს შესამოწმებელი ორობითი სიმბოლოების დამატებით, რაც თავის მხრივ იწვევს გადასაცემი მონაცემების დაგრძელებას. მაგალითად, მონაცემთა გადაცემის უმრავლეს არსებში არსებული შეცდომათა პაკეტების სიგრძე ზოგჯერ ასეული ორობითი სიმბოლოა. მათი გასწორებისათვის საჭირო იქნებოდა კოდები, რომელთა კოდური კომბინაციის სიგრძე იზომება ათასობით თანრიგით, რისი რეალიზებაც ტექნიკურად რთულია. ამიტომ მონაცემთა გადაცემის არსებული სისტემების უმრავლესობაში საიმედოობის ამაღლება დაფუძნებულია შეცდომების აღმოჩენაზე და განმეორებით გადაცემაზე. შეცდომათა აღმოსაჩენად ძირითადად გამოიყენება ორი ტიპის კოდები: ციკლური და მატრიცული, რაც განპირობებულია კოდირებისა და დეკოდირების აპარატურული ან პროგრამული რეალიზაციის სიმარტივით.

1.6.4. დროითი რეზერვირება

დიდი ხნის განმავლობაში სტრუქტურული (აპარატურული) რეზერვირება ითვლებოდა უნივერსალურ მეთოდად, რომელიც ინფორმაციულ სიჭარბესთან ერთად საშუალებას იძლეოდა არასაიმედო ელემენტებისაგან შექმნილიყო სანდო სისტემები [41, 52, 53, 82]. ასეთი შეხედულება დომინირებდა 60-იან წლებამდე, ეყრდნობოდა რა მრავალ ცნობილ მეცნიერთა ავტორიტეტს. (ჯ. ფონ ნეიმანი, კ. შენონი და სხვა).

ტექნიკის განვითარებისა და გამოყენებული სისტემების გართულების შემდგომ ეტაპებზე აღმოჩნდა, რომ აპარატურული რეალიზაციისას ეს მეთოდები არ არიან უნაკლო. მიზეზს, უპირველეს ყოვლისა, წარმოადგენს მტყუნებათა რამოდენიმე ტიპის არსებობა, კონტროლისა და დიაგნოსტიკის არაიდეალურობა, აგრეთვე რეზერვების გადამრთველის არასაიმედოობა, დატვირთვის გადანაწილება ცალკეული ელემენტების მტყუნების დროს და ა.შ. ამიტომ სპეციალისტთა ყურადღება მიმართულია დროითი რეზერვირებისაკენ [4, 5, 6, 9, 82, 83].

სიჭარბის ეს სახე ბოლო დროს სარგებლობს განსაკუთრებული პოპულარობით. დროის რეზერვი შეიძლება დაიხარჯოს არა მარტო მწყობრიდან გამოსული აპარატურის აღდგენაზე და აპარატურული რეზერვის გადართვაზე, არამედ მტყუნებათა აღმოჩენაზე, მტყუნებით გაუფასურებული სამუშაოების გამეორებაზე, ტექნიკური მახასიათებლების აღდგენაზე ან ქმედითუნარიან მდგომარეობაში მყოფი სისტემის ჩატვირთვის მოლოდინზე.

არსებობს დროითი რეზერვირების მრავალი წყარო. პირველ რიგში ის შეიძლება შეიქმნას დავალების შესრულების აუცილებელი დროის გაზრდის ხარჯზე. მეორე ძირითად წყაროს წარმოადგენს მწარმოებლურობის მარაგი, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ დავალების შესრულების მინიმალური დრო. მწარმოებლურობის მარაგი შეიძლება შეიქმნას სისტემის ელემენტების სწრაფმოქმედების გაზრდით ან დაბალი მწარმოებლურობის მქონე რამოდენიმე მოწყობილობის ერთ კომპლექსში გაერთიანებით.

დროითი რეზერვის წყაროდ შეიძლება აგრეთვე გამოყენებული იქნას ფუნქციონალური ინერციულობა. მრავალი ტექნიკური სისტემის მუშაობაში დაშვებულია უმნიშვნელო შესვენებები ფუნქციონირების ხარისხის დაკარგვის გარეშე. ისინი შეიძლება გამოყენებული იქნას, კერძოდ მტყუნების აღმოფხვრისათვის აპარატურული რეზერვის ჩართვის გზით. ზოგიერთ შემთხვევაში დასაშვები შესვენება აღწევს მნიშვნელოვან სიდიდეს და ამ დროში შესაძლებელია არა მარტო რეზერვის ჩართვა, არამედ, სარემონტო სამუშაოების ჩატარებაც. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის რომ, უმეტეს შემთხვევაში განსაზღვრული ხარისხით ფუნქციონირებისათვის საჭირო დროის რეზერვს ფლობენ თვით სისტემები დამატებითი საშუალებების გარეშე.

დროითი რეზერვირების ღირსებები შემდეგია [5, 11, 12, 18, 29]:

1) სისტემის საიმედოობის მაჩვენებლების გაუმჯობესება ხშირად არ არის დაკავშირებული აპარატურის რაოდენობის გაზრდასთან და დამატებითი სახსრების დახარჯვასთან, არამედ დაფუძნებულია სისტემაში არსებული დროის რეზერვის გამოყენებაზე, ან მის შექმნაზე.

ჭარბი დრო შეიძლება წამოიშვას მაგალითად, ა) მონაცემთა პაკეტის (შეტყობინების) გადაცემისათვის საჭირო მინიმალურად აუცილებელი დროის გაზრდის ხარჯზე; ბ) წარმოებულობის მარაგის ხარჯზე, რომელიც შეიძლება შეიქმნას მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის გაზრდით.

2) დროის რეზერვის გათვალისწინება საშუალებას გვაძლევს ავსახოთ ჭეშმარიტი საიმედოობა ე.ი. უფრო ობიექტურად შევაფასოდ ნორმალური ფუნქციონირების შესაძლებლობა სხვადასხვა მადესტაბილიზირებელი ფაქტორების ურთიერთმოქმედების პირობებში.

სისტემები დროის რეზერვირებით ხასიათდებიან გარკვეული სპეციფიკური შტრიხებით, რომელთა მოცემა აუცილებელია სისტემის მტყუნების კრიტერიუმის სწორად ფორმულირებისათვის, საიმედოობის მაჩვენებლების და მათი შეფასების მეთოდების შერჩევისათვის.

1.7. დასმული პრობლემის გამოკვლევის მეთოდები

ტექნიკური სისტემების გამოკვლევისა და პროექტირებისათვის, როგორც წესი, გამოიყენება ანალიზური და იმიტაციური მოდელირების მეთოდები, აგრეთვე რეალური ექპერიმენტები. თითოეულს მითითებული მეთოდებიდან აქვს თავისი, როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი მხარეები და აქვს თავისი უპირატესი გამოყენების სფეროები.

კერძოდ, იმიტაციური მოდელირებისას გამოკვლევა მიმდინარეობს რეალური ობიექტის პროგრამული ასლის საშუალებით, რაც უქვევლად მის დიდ ღირსებას წარმოადგენს. თუმცა, რაც უფრო დეტალურია იმიტაციური მოდელი და ამდენად უფრო ახლოსაა რეალურთან, მით უფრო რთულია მისი დამუშავება და გამართვა. თუ ამას დაემატებთ შეფასებების მიღების დიდ შრომატევადობას, გასაგები გახდება იმიტაციური მოდელირების მრავალი პრობლემა [1]. იმიტაციური მოდელირების გზით მიღებულ შედეგებს ყოველთვის აქვთ კერძო

ხასიათი და მოკლებულნი არიან თვალსაჩინოებას. გარდა ამისა, მოდელირების ცდომილება დამოკიდებულია საწყისი მონაცემების მნიშვნელობებზე. რაც შეეხება ექსპერიმენტულ გამოკვლევას, რომელიც მეთოდურად ყველაზე მარტივია, რეალიზაციისათვის საჭიროებს სპეციალურ საცდელ ცენტრებს. ამრიგად, შედეგების სარწმუნოობა და მათი ინტერპრეტაციის სიმარტივე, საკმაოდ ძნელად მიიღწევა.

ჩამოთვლილთაგან მეთოდურად ყველაზე უფრო რთულია ანალიზური მოდელირება, რომელსაც მიეკუთვნება მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილი შედეგები. ანალიზური მოდელირების და რეალური ობიექტების ადეკვატურობა ყოველთვის ეჭვს იწვევს. მიუხედავად ამისა, იმ შემთხვევებში, როდესაც ანალიზური მოდელის მიახლოება ობიექტისადმი ითვლება მისაღებად, უზრუნველყოფილია ანალიზის ისეთი სიღრმე და სისრულე, რომელიც სხვა მეთოდებით მიიღწევა მხოლოდ დიდი მოცულობის იმიტაციური მოდელირებისა და ექსპერიმენტების ჩატარებით.

ზემოთ თქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძალიან ხშირად, ტექნიკურ სისტემებში მიმდინარე პროცესების გამოკვლევასა და ყველაზე მისაღები ხერხია ანალიზური მიდგომა. იგი უზრუნველყოფს პროცესების უკეთესად აღქმას. ნაშრომში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია ანალიზური მეთოდი - ნახევრადმარკოვული პროცესები. მოკლედ შევჩერდეთ მის აღწერაზე.

პირველი თავის დასკვნა

ლიტერატურულ წყაროებში მოყვანილი ქსელების მოდელების ეფექტური სტრუქტურების განსაზღვრის ანალიზის საფუძველზე დადგინილი იქნა, რომ არსებული მოდელები აგებულია დაშვებებზე, რომლებიც ყოველთვის არ შეესაბამებიან ქსელების მუშაობის რეალურ პირობებს. ხშირად ეს მათემატიკური მოდელები არ ითვალისწინებენ ინფორმაციის მიღება-გადაცემის თავისებურებებს.

ერთ-ერთ განმსაზღვრელი პირობა, რომელიც იძლევა გარანტიას, რომ რეალური სისტემების კვლევის შედეგები იქნება ობიექტური, წარმოადგენს მისი კორექტული მათემატიკური მოდელის შექმნა. რთული ტექნიკური სისტემების ფუნქციონირება, როგორც წესი, მიმდინარეობს მათზე მადესტაბილიზირებელი ფაქტორების უწყვეტი ზემოქმედების პირობებში, რაც იწვევს მათ მტყუნებებს და შეფერხებებს. ამ ფაქტორების, მათ შორის ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებების მტყუნება-მდგრადობის, საიმედოობის და სარწმუნოობის შეფასების და უზრუნველყოფის მეთოდების დამუშავება წარმოადგენს თანამედროვე სამეცნიერო კვლევის წამყვან მიმართულებას.

მოცემულ თავში მიმოხილულია მაღალი საიმედოობის და მტყუნებების მიმართ მდგრადი ტექნიკური სისტემები. განხილულია მათი მათემატიკური მოდელების შერჩევისა და დაფუძნების საკითხები. სისტემაში დავალებათა შემოსვლის და მტყუნებების აღძვრის პროცესების შემთხვევითი ხასიათიდან გამომდინარე მათემატიკურ მოდელად არჩეულია ნახევრადმარკოვული პროცესები. არსებული მასალების შესწავლის საფუძველზე ჩატარებულია ტექნიკური სისტემების საიმედოობის და მტყუნება-მდგრადობის გაზრდის სხვადასხვა მეთოდების და საშუალებების შედარებითი ანალიზი. ამ ანალიზის შედეგების საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა, რომ სტრუქტურული და დროითი რეზერვირება წარმოადგენს ყველაზე ეფექტურ მეთოდს. როგორც ცნობილია, რეზერვირების ეს უკანასკნელი ტიპი არ არის დაკავშირებული სახსრების მნიშვნელოვან ხარჯებთან. ამასთან ერთად, განსაზღვრულია ეფექტურობის კრიტერიუმები. დასაბუთებულია ალბათობათა განაწილების ზოგიერთი კანონების გამოყენების შესაძლებლობა, როგორც უეცარი, ასევე თანდათანობითი მტყუნებების მათემატიკური მოდელების სახით.

დასახული მიზნის მისაღწევად საჭიროა დამუშავდეს მათემატიკური მოდელები, რომელთა დახმარებით განსაზღვრული უნდა იქნას ქსელის გამტარუნარიანობისა და საიმედოობის ოპტიმალური მნიშვნელობები, განისაზღვროს შეტყობინების ჩაბარების რეალური დრო.

თავი 2. ინფო-კომუნიკაციური ქსელების რაციონალური სტრუქტურების მოდელების დამუშავება და ანალიზი

აღნიშნული თავის ძირითადი ამოცანაა საჭირო ანალიზური მასალის შერჩევა, საინფორმაციო ქსელების სტრუქტურების ანალიზისა და სინთეზის პრობლემების გადაწყვეტისათვის. ამასთან ძირითადი ყურადღება უნდა მიექცეს გამოყენებული მეთოდებისა და მათემატიკური მოდელების დადებით და უარყოფით მხარეებს, რაც საშუალებას მოგვცემს დაგეგმვით კვლევების პროგრამა ახალი მოდელების დასამუშავებლად ან გავაუმჯობესოთ უკვე არსებული მოდელები გათვლების სიზუსტის ამაღლების მიზნით, ასევე დაგამუშაოთ ქსელის ეფექტური სტრუქტურის აგების მეთოდოლოგია. ამას გარდა აღნიშნულ თავში მოყვანილი მოდელები და მეთოდები საშუალებას მოგვცემს შევამოწმოთ შემდგომი კვლევის ჩატარება.

2.1. მოდელი ქსელის გამტარუნარიანობის გათვლისათვის არხის ღირებულების მის გამტარუნარიანობაზე წრფივი და არაწრფივი დამოკიდებულებების შემთხვევაში

ჩავთვალოთ, რომ არხის გამტარუნარიანობის მნიშვნელობა შეიძლება ამორჩეული იქნეს მისი შესაძლო არაუარყოფითი მნიშვნელობების უწყვეტი დიაპაზონიდან. გამტარუნარიანობის შესაძლო მნიშვნელობების დისკრეტული ხასიათი შეიძლება გათვალისწინებული იქნეს შესაბამისი დამრგვალებით უახლოეს დისკრეტულ მნიშვნელობამდე, რაც ასახული იქნება ქსელის რაციონალური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდოლოგიაში.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ ქსელის მოცემული ტოპოლოგიის დროს წინასწარ ცნობილი ნაკადებით $\{A_i\}$ გამტარუნარიანობის შერჩევის პრობლემის ნებისმიერი სარეალიზაციო გადაწყვეტა უნდა იყოს ისეთი, რომ i -ურ არხს ჰქონდეს ისეთი გამტარუნარიანობა, რომელიც აკმაყოფილებს

შემდეგ უტოლობას $C_i > \lambda_i/\mu$ [36]. სადაც λ_i/μ – მოცემული i -ური არხის დატვირთვა (ბიტების საშუალო რიცხვი წამში, რომელიც გადის ამ არხში).

დაუშვათ ქსელის არენდის ღირებულების დამოკიდებულებას მის გამტარუნარიანობასთან აქვს სახე:

$$d_i(C_i) = d_i C_i$$

აქ d_i – ღირებულებაა i -ური არხისათვის ერთეულოვან გამტარუნარიანობაზე ანგარიშით.

საჭიროა ავლნიშნოთ, რომ d_i კოეფიციენტი შეიძლება დამოკიდებული იყოს არხის რომელიმე სხვა მახასიათებლებზეც (კერძოდ, არხის სახეობაზე, სიგრძეზე, საიმედოობაზე და სხვა), მაგრამ იგი წრფივად უნდა იყოს დამოკიდებული მის გამტარუნარიანობაზე.

აღნიშნული შემთხვევისათვის, ღირებულება – გამტარუნარიანობის ფუნქციის წრფივი დამოკიდებულება, არხის გამტარუნარიანობის ოპტიმალური ნაკრების მიღების დროს გამოიყენება ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლების მეთოდი ქსელში იმ შეტყობინებების საშუალო შეყოვნებების მინიმიზაციის მიზნით, რომელიც განსაზღვრულია (2.7) გამოსახულებით. აღნიშნულ სადისერტაციო ნაშრომში დამტკიცებულია შემდეგი თეორემა:

არხული ტევადობების C_i განაწილება i -ური არხისათვის N - არხებიანი ქსელში, რომელიც ახდენს \bar{T} -ს მინიმიზირებას $D = \sum_{i=1}^N C_i d_i$

შეზღუდვის დროს, მოიძებნება ფორმულით:

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{D_e}{d_i} \frac{\sqrt{\lambda_i d_i}}{\sum_{j=1}^N \sqrt{\lambda_j d_j}} \quad (2.1)$$

შეტყობინების ქსელში ჩაბარების საშუალო დრო:

$$\bar{T}_i = \frac{\bar{n}}{\mu D_e} \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{\lambda_i d_i}{\lambda}} \right)^2 \quad (2.2)$$

სადაც D_e – ეგრეთწოდებული დასამატებელი ღირებულებაა:

$$D_e = D - \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i d_i}{\mu} \quad (2.3)$$

D - ქსელის მოცემული სრული ღირებულებაა; $\bar{n} = \lambda/\gamma$ - ქსელში გზის საშუალო სიგრძეა, ე.ი. ქსელის არხების საშუალო რიცხვია, რომელიც გადის შეტყობინება წყაროდან ადრესატამდე.

განაწილებას C_i , რომელსაც პოულობენ (2.1)-ს დახმარებით, უწოდებენ გამტარუნარიანობის შერჩევას “კვადრატული ფესვის” წესით. გამტარუნარიანობის ასეთი ნაკრების დროს თითოეულ არხს ექნება მინიმალური საჭირო გამტარუნარიანობა, ტოლი λ_i/μ და ამას გარდა, რაღაც დამატებითი გამტარუნარიანობა. i -ური არხის მინიმალური გამტარუნარიანობის ღირებულება ტოლია $\lambda_i d_i/\mu$. ავიღებთ რა ამ სიდიდეთა ჯამს ყველა i -ური არხების მიხედვით, მივიღებთ ქსელის სრულ მინიმალურ ღირებულებას.

საჭიროა განსაკუთრებით ხაზი გაუსვათ იმას, რომ ქსელის სრული ღირებულება მეტი უნდა იყოს ამ ჯამზე, თუ კი საჭიროა მივიღოთ საბოლოო საშუალო შეყოვნება დასაპროექტებელ ქსელში. სხვაობა სრულ ღირებულებასა და მინიმალურ დასაშვებ ღირებულებას შორის ტოლია D_e -სი და მოცემულია ფორმულით (2.3). როგორც გამომდინარეობს (2.1) ფორმულიდან, ეს დასამატებელი ღირებულება ჯერ ნორმირდება საღირებულებო d_i კოეფიციენტის დახმარებით, ხოლო შემდეგ განაწილდება ყველა არხებზე ტრაფიკის აწონილი $\lambda_i d_i$ ტრაფიკიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად.

სიდიდეს D_e -ს აკისრია მეტად საჭირო როლი. $D_e \rightarrow 0$ -ის დროს შეტყობინების საშუალო შეყოვნება განუსაზღვრელად იზრდება (იხილეთ 2.4). თუ $D_e > 0$, მაშინ გამტარუნარიანობის შერჩევის ამოცანას აქვს საბოლოო სარეალიზაციო გადაწყვეტა (ე.ი. $\bar{T} < \infty$). ეს პირობა წარმოადგენს სისტემის სტაციონარურობის (მდგრადობის) პირობას.

თუმცა ქსელის არენდის ღირებულებასა და გამტარუნარიანობას შორის პროპორციული დამოკიდებულება არ წარმოადგენს მთლად რეალურს (არხის

ღირებულება არაწრფივადაა დამოკიდებული კავშირის არხის მთავარ პარამეტრებზე: გამტარუნარიანობაზე, საარენდო ხაზების ტიპზე, მათი მომსახურების ღირებულებაზე, ხაზების სიგრძეზე და ა.შ.), იგი უზრუნველყოფს პირველ მიახლოებაში სრულიად მისაღებ არხების გამტარუნარიანობის შერჩევას საინფორმაციო ქსელებში. ეს მიდგომა საშუალებას იძლევა შეფასდეს, როგორი იქნებიან შეყოვნებები ქსელში შერჩეული C_i მნიშვნელობებზე დამოკიდებულებით $C = D$ საერთო გამტარუნარიანობის დროს, ასევე მარტივად განისაზღვროს ქსელის სტრუქტურების ცვლილებების გავლენა და შეირჩეს შეტყობინებების გადაცემის სტრატეგია.

აღნიშნოთ “კვადრატული ფესვის” წესით გამტარუნარიანობის განაწილების არსებითი ნაკლი. ნაკლებად დატვირთულ ხაზებს \bar{T} მინიმიზაციის დროს შეესაბამება გამტარუნარიანობის მცირე მნიშვნელობა ძლიერად დატვირთულთან შედარებით. ამგვარად, მცირე ნაკადიანი მომხმარებლები “ჯარიმდებიან” იმ მომხმარებლების სასარგებლოდ, რომლებიც ახდენენ შეტყობინებათა დიდი ნაკადის გენერირებას. აღნიშნული ნაკლის აღმოფხვრა შესაძლებელია ფუნქციათა არაწრფივობის გათვალისწინებით. მოგვიანებით ნაშრომებში ლ. კლეინროკმა მონახა ამოცანის გადაწყვეტა $d_i(C_i)$ ფუნქციის წრფივი ღირებულების უფრო ზოგადი შემთხვევით, როცა მინიმიზირდებოდა შეტყობინების ჩაბარების დრო, განსაზღვრული გამოსახულებით:

$$T^{(k)} = \left[\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} (\bar{T}_i)^k \right]^{1/k}$$

ასეთი ფუნქცია მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, როცა მომხმარებლისთვის არასასურველია მნიშვნელოვანი დიფერენციაცია როგორც კავშირის არხების გამტარუნარიანობისა, ისე ამ არხებით შეტყობინების ჩაბარების დროისა, ე. ი. საჭიროა გვექონდეს კავშირის არხები თითქმის ერთნაირი გამტარუნარიანობითა და მათში შეტყობინების გადაცემის დროებით.

$K > 1$ მინიმიზაციის პროცედურის შედეგად სხვაობა \bar{T}_i -ს შორის შემცირდება. ამ შემთხვევისათვის $\mu_i = \mu$ -ის დროს მიღებულია ოპტიმალური გამტარუნარიანობების ახალი კრებული, რომელიც გათვლილია ფორმულით:

$$C_i^{(k)} = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{D_e}{d_i} \cdot \frac{(\lambda_i d_i^k)^{1/1+k}}{\sum_{j=1}^N (\lambda_j d_j^k)^{1/1+k}} \quad (2.4)$$

ამასთან ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დროსთვის გამოსახულებას ექნება სახე:

$$T^{(K)} = \frac{(\bar{n})^{1/k}}{\mu D_e} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\lambda_i d_i^k}{\lambda} \right)^{1/(1+k)} \right]^{(1+k)/k} \quad (2.5)$$

ავლნიშნოთ, რომ $K = 1$ -ის დროს ეს გამოსახულებები დაიყვანება ადრე მიღებულ ფორმულებზე (2.1) და (2.2), სადაც კრიტერიუმს წარმოადგენს შეყოვნების საშუალო დრო. $K = 2$ -ის დროს შეყოვნების საშუალო-კვადრატული დროის, ხოლო $K \rightarrow \infty$ -ის დროს ვიღებთ ე. წ. მინიმაქსურ კრიტერიუმს, რომლის დროსაც ყველა \bar{T}_i აღმოჩნდებიან ტოლები, ხოლო სიდიდე T იზრდება მხოლოდ უმნიშვნელოდ K -ს გაზრდასთან ერთად. ამგვარად აღწერილი მოდელის გამოყენება საშუალებას იძლევა რომ, მომხმარებლები ჩაყენებული იყვნენ ერთნაირ პირობებში მათ მიერ გენერირებული ტრაფიკის სიდიდისაგან დამოუკიდებელივ. $0 \leq K < 1$ -ის დროს ქსელში შეტყობინების ჩაბარების დრო $T^{(K)}$ იცვლება მნიშვნელოვნად მეტად, ვიდრე $1 < K < \infty$ -ს შემთხვევისათვის და განსხვავება \bar{T}_i -ებს შორის იზრდება არსებითად, რაც ჩანს შემდეგი დამოკიდებულებიდან:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} C_i^{(k)} = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{D_e}{\sum_{j=1}^N d_j}; \quad \lim_{k \rightarrow \infty} T^{(k)} = \frac{\bar{n}}{\mu D_e} \sum_{j=1}^N d_j; \quad (2.6)$$

$$\lim_{k \rightarrow 0} C_i^{(k)} = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{\lambda_i D_e}{n \gamma d_i}; \quad \lim_{k \rightarrow 0} T^{(k)} = \frac{\bar{n}}{\mu D_e} \sum_{i=1}^N d_i; \quad (2.7)$$

საჭიროა ავლნიშნოთ, რომ $k \rightarrow 0$ -ისა და $\mu_i = \mu$ -ის შემთხვევაში და $d_i = 1$ -ის დროს გამტარუნარიანობები პირდაპირ პროპორციული არიან შესაბამის არხებში ტრაფიკების ინტენსიურობისა λ_i . გამტარუნარიანობების ასეთ კრებულს ეწოდება გამტარუნარიანობების პროპორციული კრებული.

უფრო საინტერესოს წარმოადგენს ის რეზულტატი, რომ T სიდიდეს აქვს ერთი და იგივე მნიშვნელობა ზემოთ განხილულ ორ ექსტრემუმებში ($k = 0; \infty$), ვინაიდან (2.6) და (2.7) ფორმულები იდენტურია. ამასთან გამტარუნარიანობების კრებულები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან.

არსებობს გამტარუნარიანობების განაწილების კიდევ ერთი სახე, რომელსაც ეწოდება ქსელის გამტარუნარიანობის თანაბარი განაწილება. ასეთი განაწილების დროს მთლიანი ჯამური გამტარუნარიანობა იყოფა ყველა არხს შორის ერთნაირად. ასეთი თანაბარი განაწილება მნიშვნელოვნად ამცირებს შეყოვნებების დროს სუსტად დატვირთული ხაზებისათვის და შესაბამისად ზრდის დროს იმ მომხმარებლისათვის, რომლებიც ქმნიან დიდ დატვირთვას.

გამტარუნარიანობის პროპორციული შერჩევის წესი, პირიქით ზრდის \bar{T}_i უტოლობას უფრო მეტად, ვიდრე გამტარუნარიანობის შერჩევის წესი “კვადრატული ფესვის” პროპორციულად შეყოვნებათა საშუალო დროის ერთდროული გაზრდის დროს. ამგვარად, კავშირის არხების გამტარუნარიანობების განაწილების განხილული სხვადასხვა წესებიდან ერთი და იგივე ღირებულების დროს (ანდა საერთო გამტარუნარიანობის დროს) ქსელში შეყოვნების უმცირესი დრო T განსაზღვრავს “კვადრატული ფესვის” წესს, რაოდენ მეტია ეს მნიშვნელობა პროპორციული განაწილების წესისათვის, კიდევ რაოდენ გაზრდას იძლევა სიდიდე $T^{(\infty)}(k = \infty)$, ხოლო მაქსიმალური სიდიდე \bar{T} მიიღება ერთი და იგივე პირობების დროს გამტარუნარიანობების თანაბარი განაწილებისათვის.

როგორც უკვე ნახსენები იქნა “კვადრატული ფესვის” წესით გამტარუნარიანობის შერჩევის ძირითად დადებით მხარეს წარმოადგენს ზუსტი მათემატიკური ფორმულის მიღება, ხოლო ნაკლს კი – კავშირის არხების გამტარუნარიანობის ღირებულების წრფივი დამოკიდებულების დაშვება, ვინაიდან სინამდვილეში ვარაუდი პროპორციულ დამოკიდებულებაზე კავშირის არხისა და გამტარუნარიანობის ღირებულებას შორის არ არის სწორი. თუმცა როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ეს მიდგომა საშუალებას იძლევა პირველ მიახლოებაში შევაფასოთ კავშირის არხების გამტარუნარიანობისა და ქსელში შეყოვნებების დროების სიდიდეები, მარტივად განვსაზღვროთ ქსელში სტრუქტურის ცვლილებების გავლენა და შევარჩიოთ შეტყობინებების ესა თუ ის სტრატეგია.

განსახილვერით იგივე ამოცანის არსებული გადაწყვეტა $d_i(C_i)$ ფუნქციის არაწრფივი დამოკიდებულებების დროს.

ლოგარითმული ღირებულებრივი ფუნქციის გამოკვლევის დროს:

$$D = \sum_{i=1}^N d_i \log \alpha C_i \quad (2.8)$$

დამტკიცებული იყო, რომ გამტარუნარიანობების შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტა შეესაბამება ზემოთ აღწერილ გამტარუნარიანობების პროპორციონალურ განაწილებას ქსელში არსებს შორის. თუმცა, შემდგომში [74, 71] ნაპოვნი იქნა, რომ გადაწყვეტა ხარისხობრივი ღირებულებრივი ფუნქციისათვის იძლევა უკეთეს შესაბამისობას უწყვეტი აპროქსიმაციისა ნამდვილ დისკრეტულ სიმრავლესთან, კავშირის ზრდასთან ერთად ე.წ. “საბითუმო გაიაფების” არსებობის გამო [36].

ხარისხობრივი ღირებულებრივი ფუნქციისათვის, რომლის სახეა:

$$D = \sum_{i=1}^N d_i C_i^\alpha, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2.9)$$

გადაწყვეტა C_i -სათვის მოიძებნება განტოლებებიდან:

$$C_i - \frac{\lambda_i}{\mu} - g_i C_i^{(1-\alpha)/2} = 0 \quad (2.10) \quad \text{სადაც } g_i = \left(\frac{\lambda_i}{\mu \gamma \alpha \beta d_i} \right)^{1/2}$$

β – ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლი, რომელიც საჭიროა შეიჩხეს ისე, რომ სრულდებოდეს შეზღუდვა (2.9).

განტოლებები C_i -სათვის შეიძლება ამოიხსნას ნებისმიერი იტერაციული ალგორითმის დახმარებით. ARPANET ქსელისათვის ამ გამოთვლებმა აჩვენეს [71], რომ ქსელში საშუალო შეყოვნებების სიდიდე მცირედაა დამოკიდებული α პარამეტრზე, ამიტომ არაა რეკომენდირებული ამოიხსნას ძნელი არაწრფივი განტოლებები (2.10), ხოლო აუცილებელია გამოყენებული იქნეს მიახლოებითი გადაწყვეტა, რომელიც შეესაბამება ღირებულების წრფივ დამოკიდებულებას გამტარუნარიანობასთან ($\alpha = 1$).

თუმცა თუ უარს ვიტყვით უწყვეტ აპროქსიმაციაზე და ვაწარმოებთ კავშირის არსების გამტარუნარიანობების შერჩევას დისკრეტული ღირებულებების მცირე სიმრავლიდან, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ

დინამიური პროგრამირების მეთოდები. ეს მეთოდი დაწვრილებით გამოკვლეულია [71] სამუშაოში. მიუხედავად ამისა საჭიროა ავღნიშნოთ, გამოვიყენებთ რა უწყვეტი ოპტიმიზაციის მოყვანილი მეთოდებისა და რაიმე იტერაციული მეთოდების შერწყმას, შეიძლება განვახორციელოთ კავშირის არსების გამტარუნარიანობების შერჩევა გამტარუნარიანობების დისკრეტული სიმრავლიდან. მაგალითად, შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემდეგი პროცედურა [73]. გვაქვს რა ქსელის სტრუქტურა უკვე შერჩეული გამტარუნარიანობებით შეიძლება შევეცადოთ მოვახდინოთ გამტარუნარიანობების ამ კრებულის “ოპტიმიზაცია”. ამისათვის საჭიროა გამოითვალოს ქსელში არსებული შეყოვნება (2.1) და (2.2) ფორმულების და მისი ჯამური ღირებულების დახმარებით. შემდეგ, ფიქსირდება რა ეს ღირებულება, საჭიროა გამოითვალოს გამტარუნარიანობის ოპტიმალური კრებული “კვადრატული ფესვის” წესით და შემცირდეს არსებული შეყოვნება ცვალებადი გამტარუნარიანობების დროს. შევირჩევთ რა გამტარუნარიანობების მიღებული კრებულიდან არსს მისი უდიდესი მნიშვნელობით, საწყის გამტარუნარიანობას ვადიდებთ უახლოეს ოპტიმალურ დისკრეტულ მნიშვნელობამდე. ეს გაზრდის ქსელის საწყის ღირებულებას, სამაგიეროდ შეამცირებს საშუალო შეყოვნებას. შემდეგ გავიმეორებთ აღწერილ პროცედურას საწყისი T და D -ს უკვე ახალი მნიშვნელობებისათვის. მსგავსი მიდგომა სასარგებლოა ქსელების პრაქტიკული პროექტირების დროს. ასეთი სახის პროცედურები, რომლებშიც ოპტიმიზაციის ანალიტიკური მეთოდები გეგარნახობენ სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის გაუმჯობესების მიმართულებას, რომელთა გადაწყვეტაც შეუძლებელია ანალიზურად, ძალზე სასარგებლოა ნებისმიერი ქსელების პროექტირების პრაქტიკისათვის.

2.2. ქსელის რაციონალური სტრუქტურის შეფასების ამოცანის გადაწყვეტის ზოგადი მიდგომა

ზემოთ მოყვანილი მათემატიკური მოდელები აგებული იქნენ იმ ვარაუდით, რომ ქსელში ცირკულირებენ სიგრძეების მიხედვით ერთნაირი (საშუალოდ) შეტყობინებათა ნაკადები. თუმცა, როგორც ეს ჩანს საკვლევი ობიექტისა და გამოყენებული პროტოკოლების აღწერებიდან, ქსელში გადაეცემა ინფორმაციის სხვადასხვა სახის ნაკადები (თვით მონაცემები,

მიღებული ინფორმაციის დასტურის ცნობები და სხვა სამომსახურეო შეტყობინებები), რომლებიც განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან არა მარტო დანიშნულებით, არამედ შეტყობინებების ან პაკეტების სიგრძეებით. ზემოთ განხილული მოდელები არ ითვალისწინებენ შეტყობინებათა ნაკადების მრავალ სახესხვაობებს, ამიტომ მათ არ შეუძლიათ ადექვატურად ასახონ ქსელში მიმდინარე პაროცესები, რაც ჯამში გავლენას ახდენენ ქსელის მახასიათებლების სიზუსტეზე.

ქსელის მომხმარებლებს ყველაზე ხშირად აინტერესებს: შეუძლია თუ არა ქსელს უზრუნველყოს მათი ინფორმაციის ჩაბარება საჭირო დროში და როგორი იქნება ამასთან შესაქმნელი ქსელის ღირებულება, აქედან გამომდინარე კი ინფორმაციის ჩაბარების ღირებულება. აქედან წარმოიქმნება ქსელის ისეთი სტრუქტურის შერჩევის მათემატიკური მოდელების შექმნის პრობლემა, რომლის შექმნის ღირებულება შეტყობინებების ჩაბარების დროზე შეზღუდვების დროს წარმოადგენს შესაძლო მინიმალურს და ამასთან გათვალისწინებული იქნება ქსელში ცირკულირებული შეტყობინებების ნაკადების სახესხვაობაც.

ამოცანის დასმის დროს საჭიროა შეირჩეს ქსელის ტოპოლოგია და კავშირის არხების გამტარუნარიანობა, რომელთა დროსაც უზრუნველყოფილი იქნება შემდეგი პირობები:

$$\sum_{i=1}^N d_i C_i = \min \quad (2.11) \quad \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i \bar{T}_i}{\gamma} \leq T_{\text{ჩაბ.}} \quad (2.12)$$

სადაც $T_{\text{ჩაბ.}}$ – შემკვეთის ან მომხმარებლის მიერ მოცემულ ქსელში შეტყობინების (პაკეტის) ჩაბარების საშუალო დროა.

აქ ქსელის ტოპოლოგია განისაზღვრება გრაფების თეორიის მოდელების სახით, ხოლო ძირითადი პრობლემა მდგომარეობს იმაში, რომ განისაზღვროს T_i სიდიდის დამოკიდებულება ქსელში ცირკულირებული სხვადასხვა ნაკადების მახასიათებლებზე, კავშირის არხების საიმედოობაზე და სხვა ფაქტორებზე, რომლებიც გავლენას ახდენენ ქსელის ეფექტურობაზე. გვექნება რა ასეთი დამოკიდებულება და გვეცოდინება შეზღუდვის ის სიდიდე, რომელიც ეხება შეტყობინების ჩაბარების $T_{\text{ჩაბ.}}$ დროს, შეიძლება ვიპოვოთ საძიებო კავშირის არხის გამტარუნარიანობა, მათი საჭირო საიმედოობა და ქსელის სტრუქტურის სხვა მახასიათებლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ

(2.11) და (2.12) პირობებს. ამაში მდგომარეობს ქსელის რაციონალური სტრუქტურის შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტის კომპლექსური მიდგომის არსი.

წარმოვიდგინეთ, რა კავშირის არსს მასობრივი მომსახურების ერთ-არხიანი სისტემით, რომელზეც მიეწოდება სხვადასხვა პუასონური ნაკადების სიმრავლე, განსხვავებული ერთმანეთისაგან შეტყობინებების სიგრძეების საშუალო მნიშვნელობით და განაწილებული ექსპონენციალურად, მიღებული იქნა შემდეგი საანგარიშო გამოსახულება:

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{l=1}^K \rho_l \bar{\tau}_l}{1 - \sum_{l=1}^K \rho_l} + \frac{\rho_i}{\lambda_i} \quad (2.13)$$

სადაც $\rho_l = \lambda_l \bar{\tau}_l = \lambda_l / \mu_l$ - i -ური არხის დატვირთვა შეტყობინებათა

l -ური ნაკადით, რომელთა საშუალო სიგრძე ტოლია $\bar{\tau}_l(c)$; μ_l - l -ური

ნაკადის შეტყობინებების მომსახურებების ინტენსიობა; $\rho_i = \sum_{l=1}^K \rho_l$ - i -ური

არხის ჯამური დატვირთვა შეტყობინებათა ყველა ნაკადებით; K - შეტყობინებათა სხვადასხვა (არაერთგვაროვანი) ნაკადების რაოდენობა,

ხოლო $\lambda_i = \sum_{l=1}^K \lambda_l$ - ჯამური ნაკადის ინტენსიობა კავშირის i -ურ არხში.

(2.20)-ში პირველი წევრი წარმოადგენს i -ურ არხში შეტყობინებების გადაცემის შეყოვნებების საშუალო დროს, ხოლო მეორე - K ნაკადების მქონე შეტყობინებების მომსახურების საშუალო დროს.

ღ. კლეინროკისა და სხვა ავტორთა მოდელებში მხედველობაში არ მიიღებოდა ნაკადების არაერთგვაროვნება, მხოლოდ გამოიყენებოდა მომსახურების საშუალო დროის გასაშუალებელი მნიშვნელობა $\bar{\tau}_i = 1/\mu_i$ ყველა იმ k -ნაკადებით, რომლებიც ცირკულირებენ i -ურ არხში.

[67]-ში ნახვენებია, რომ ასეთი გასაშუალება იწვევს შეცდომებს \bar{w}_i რიგში ლოდინის საშუალო დროის გათვლაში, რომლებიც დამოკიდებულია

μ_1 –დამოკიდებულებებზე და ორი არაერთგვაროვანი ნაკადებისათვის განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\Delta = \frac{A + \mu_1/\mu_2 + \mu_2/\mu_1}{A + 2} \quad (2.14)$$

სადაც μ_1 , μ_2 –შესაბამისად შეტყობინებათა პირველი და მეორე ნაკადის მომსახურების ინტენსიობაა; $A = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1 \rho_2}$ – კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნაკადებით განსხვავებული არხის დატვირთვის მნიშვნელობაზე.

(2.14)–ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შეცდომის სიდიდეს Δ შეუძლია მიაღწიოს არსებით მნიშვნელობებს. ასე მაგალითად, თითოეული ნაკადით დატვირთვის დროს, რომელიც ტოლია 0,49 და (2.1) ფორმულის დახმარებით გამოთვლილი რიგში ლოდინის საშუალო დროის დამოკიდებულება $\mu_1/\mu_2 = 10$, იქნება სამჯერ შემცირებული რეალურთან შედარებით. ხოლო \bar{T} –ს ასეთი შემცირება კი მყისვე აისახება კავშირის არხების გამტარუნარიანობის გათვლების სიზუსტეზე.

აღვნიშნოთ, რომ ორი ნაკადი წარმოადგენს არაერთგვაროვანს, თუ მათი შეტყობინებების საშუალო მნიშვნელობათა სხვაობა აღემატება 30%–ს.

ამგვარად, მოყვანილი მასალა საშუალებას იძლევა განვიხილოთ მიღებული დამოკიდებულებები, რომლებიც საჭიროა ქსელის რაციონალური სტრუქტურის ანგარიშში. ასეთ დამოკიდებულებებს მიეკუთვნება ფორმულები ქსელის კავშირის არხების ეფექტური საიმედოობისა და გამტარუნარიანობის შეფასებისათვის.

2.2.1. ქსელის საჭირო საიმედოობის განსაზღვრა და ეფექტური გამტარუნარიანობის შეფასება

დანახარჯები, ქსელის სტრუქტურის შექმნაზე, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული კავშირის არხების საიმედოობაზე. თუმცა აქამდე ჯერ კიდევ

არ არსებობს ლიტერატურაში აპარატურის ღირებულების დამოკიდებულება მის საიმედოობასთან რაც ართულებს ქსელების პაროექტირების ამოცანის გადაწყვეტას. ამიტომ კავშირის თითოეული არხისათვის საჭირო საიმედოობის განსაზღვრა წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას.

როგორც ცნობილია საიმედოობის მახასიათებლებს მიეკუთვნება: მზადყოფნის კოეფიციენტი, უმტყუნო მუშაობის ალბათობა, მუშაობის საშუალო ხანგრძლიობა მტყუნებამდე, ქმედითუნარიანობის აღდგენის დრო, გაჩერებულ მდგომარეობაში ყოფნის საშუალო დრო, მუშაობის საშუალო ხანგრძლიობა შეკეთებამდე და სხვა. საიმედოობის მახასიათებლების მთელი სიმრავლიდან საინჟინრო პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება მზადყოფნის კოეფიციენტი K_a , რომელიც აერთიანებს თავის თავში თვით აპარატურისა და მისი ექსპლუატაციის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს. მზადყოფნის კოეფიციენტი ახასიათებს აპარატურის უმტყუნო მუშაობის ალბათობას დროის ნებისმიერ მომენტში. მუშაობის სტაციონარული რეჟიმისათვის ექსპონენციალურად – განაწილებულ ინტერვალებში მტყუნებებსა და შეკეთების დროებს შორის იგი განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$K_a = \frac{\bar{t}_{უ.მ}}{\bar{t}_{უ.მ} + \bar{t}_{აღდ}} = \frac{\mu_{აღდ}}{\lambda_{მტ} + \mu_{აღდ}} \quad (2.15)$$

სადაც $\bar{t}_{უ.მ} = 1/\lambda_{მტ}$ – აპარატურის უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროა; $\lambda_{მტ}$ – მტყუნებათა ინტენსიობა; $\bar{t}_{აღდ}$ – აღდგენის (მტყუნების აღმოფხვრის) საშუალო დრო; $\mu_{აღდ} = 1/\bar{t}_{აღდ}$ – მტყუნებათა აღმოფხვრის ინტენსიობა.

ცხადია, თუ ნაპოვნია ერთი არხის მზადყოფნის კოეფიციენტის საჭირო მნიშვნელობა $K_{აი}$, მაშინ შეიძლება ვიპოვოთ ინფორმაციის გადაცემის ტრაქტისა (გზისა) $K_{აგ}$ და მთლიანი ქსელის მზადყოფნის კოეფიციენტის საჭირო მნიშვნელობაც. ე.ი.:

$$K_{აგ} = \prod_{i=1}^L K_{აი} \quad (2.16)$$

სადაც L – ტრაქტში არხების რიცხვია.

ძირითადი სიძნელე მდგომარეობდა განგვესაზღვრა $K_{\text{ფi}}$ -ის საჭირო მნიშვნელობის დამოკიდებულება ნაკადების მახასიათებლებზე, რომლებიც უყენებენ მოთხოვნებს ქსელს, რადგანაც ზოგად შემთხვევაში მზადყოფნის კოეფიციენტი ხასიათდება აპარატურის ან სისტემის მხოლოდ შინაგანი თვისებებით და არაა დაკავშირებული შეტყობინებების ან პაკეტების ნაკადებთან.

ამ პრობლემის გადასაწყვეტად კავშირის არხი წარმოდგენილია როგორც მასობრივი მომსახურეობის სისტემა, რომელზეც მიეწოდება არაერთგვაროვანი ნაკადები. ერთ-ერთ ასეთ მოთხოვნას მომსახურეობაზე წარმოდგენს მტყუნებათა ნაკადი. ეს უკანასკნელი უნდა ფლობდეს აბსოლუტურ პრიორიტეტს, ვინაიდან მტყუნებებს მიყვავართ \bar{w}_{i2} რიგში შეტყობინებების (პაკეტების) ლოდინის დროის გაზრდისაკენ, ამიტომ $K_{\text{ფi}}$ -ის განსაზღვრისათვის ვიყენებდით შემდეგ გამოსახულებას:

$$\bar{w}_{i2} = \frac{I}{1 - \rho_0} \left[\frac{\rho_0}{\mu_2} + \frac{\rho_1}{\mu_1(1 - \rho_1)} \right] \quad (2.17)$$

სადაც ρ_1 - მასობრივი მომსახურეობის სისტემის ჩატვირთვაა მტყუნებათა ნაკადით (კავშირის i -ური არხისათვის); ρ_0 - შეტყობინებების (პაკეტების) ნაკადითა და მტყუნებათა ნაკადით კავშირის i -ური არხის ჯამური დატვირთვაა, რომელიც მოცემული შემთხვევისათვის განისაზღვრება ტოლობით $\rho_0 = \rho_1 + \rho_2$; $\rho_2 = \lambda_2 \bar{\tau}_2$ - კავშირის i -ური არხის ჩატვირთვაა შეტყობინებათა ნაკადით, რომლის სიგრძეა $\bar{\tau}_2$ და ნაკადის ინტენსიობა - λ_2 .

ძნელი არაა ვახვეწოთ, რომ ρ_1 ჩატვირთვის მზადყოფნის $K_{\text{ფi}}$ კოეფიციენტთან ურთიერთკავშირი განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\rho_1 = I - K_{\text{ფi}} \quad (2.18)$$

(2.18)-ის (2.17)-ში ჩასმისა და (2.17)-ის i -ური არხისათვის ლოდინის დროის საჭირო მნიშვნელობასთან (w_{i3}) გატოლების შემდეგ, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება, როგორც:

$$\bar{w}_{i3} = T_{\text{ნაბ}_i} - \bar{\tau}_2 \quad (2.19)$$

ნაპოვნი იქნა გამოსახულება მზადყოფნის კოეფიციენტის საჭირო მნიშვნელობისათვის $K_{\text{მ}_i}^T$:

$$K_{\text{მ}_i}^T = \frac{-A_I + \sqrt{A_I^2 + 4\bar{\tau}_b T_{\text{ნაბ}}}}{2T_{\text{ნაბ}_i}} \quad (2.20)$$

სადაც, $A_I = \bar{\tau}_b - \bar{\tau}_2 - \rho_2 T_{\text{ნაბ}_i}$.

ამასთან უნდა შევნიშნო, რომ მუშაობის სტაციონარული რეჟიმი შეიძლება უზრუნველყოფილი იქნეს მხოლოდ შემდეგი აუცილებელი პირობების დაცვის დროს:

$$\rho_2 < \frac{\bar{w}_{i3}}{T_{\text{ნაბ}_i}} \quad (2.21) \quad \text{სადაც} \quad K_{\text{მ}_i} > \rho_2$$

ამათგან ერთ-ერთი პირობის დაუცველობაც კი იწვევს რიგის სწრაფ ზრდას (უსასრულობამდე) ე. ი. იმ შეტყობინებების რიგისა, რომლებიც ელოდებიან თავიანთ გადაცემებს i -ური არხით, რაც ბუნებრივია არღვევს კავშირის არხის მუშაობას.

შეტყობინებათა რამოდენიმე ნაკადის გასათვალისწინებლად, რომლებიც გადასაცემია კავშირის i -ური არხით, (2.20)-ში უნდა ჩავსვათ $\bar{\tau}_2$ -ის მნიშვნელობა, ხოლო ρ_2 -ის მნიშვნელობა კი გამოვთვალოთ კავშირის i -ური არხის ყველა არაერთგვაროვანი ნაკადების ინტენსიობების გათვალისწინებით.

(2.20) გამოსახულებას ქსელის სტრუქტურის გათვლაში აქვს უდიდესი მნიშვნელობა, რადგანაც იგი საშუალებას იძლევა ნაპოვნი იქნეს კავშირის ის დამატებითი სარეზერვო არხების რაოდენობა, რომლებიც აუცილებელია $K_{\text{მ}_i}$ -ის უზრუნველსაყოფად.

ქსელის ეფექტური გამტარუნარიანობის შეფასების პარობლემა მიეკუთვნება ერთ-ერთ ყველაზე რთულ პარობლემას განაწილებული ქსელის სტრუქტურის დროს. აქ განხილული გამტარუნარიანობის შეფასება §2.1-ში მოყვანილ შეფასებისაგან განსხვავდება იმით, რომ აქ მხედველობაში მიიღება კავშირის არხით

გადასაცემა არაერთგვაროვანი ნაკადების სიმრავლე. ამასთან საჭიროა მოხდეს კავშირის არსებზე დანახარჯების მინიმიზაცია, რომლებიც განსაზღვრულია მათი გამტარუნარიანობებით.

ქსელის აგების პრობლემების გადაწყვეტის ასეთი კომპლექსური მიდგომიდან გამომდინარე, ამოცანის ფორმულირება, დაიყვანება შემდეგზე:

1) ცნობილია კავშირის თითოეულ არსზე პუასონური არაერთგვაროვანი ნაკადების მახასიათებლები, ე. ი. ცნობილია სიმრავლე $\{\lambda_i, \mu_i\}$, ($l = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, N}$);

2) სწარმოებს არსების გამტარუნარიანობების ვარირება (ცვლილება);

3) შემოღებულია შეზღუდვა, რომლის თანახმადაც i -ურ არსზე მიერთებული აბონენტთა თითოეული წყვილისათვის დაყოვნების საშუალო დრო არ უნდა აღემატებოდეს ამ არსისათვის მოცემულ მნიშვნელობას $T_{ნაბ_i}$;

4) მინიმიზირდება დანახარჯები განაწილებული ქსელის გამტარუნარიანობაზე.

ამ ამოცანის გადასაწყვეტად გამოყენებული იქნა (2.13) ფორმულა შემდეგი შენიშვნების გათვალისწინებით. არსებით ინფორმაციის გადაცემა სწარმოებს შეტყობინებების ან პაკეტების დახმარებით, რომელთა სიგრძე იზომება ბიტებში. ფორმულაში (2.13) შეტყობინებების სიგრძეები იზომება წამებში. ეს სიგრძეები დამოკიდებულია ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარეზე, ე. ი. C_i -ურ გამტარუნარიანობაზე. ზოგად შემთხვევაში ეს დამოკიდებულება გამოისახება შემდეგი თანაფარდობით:

$$\overline{\tau_i^{(V)}} = \frac{\overline{\tau_i^{(\delta)}}}{C_i} \quad (2.22)$$

სადაც $\overline{\tau_i^{(V)}}$ - შეტყობინებების საშუალო სიგრძე (წმ-ში); $\overline{\tau_i^{(\delta)}}$ - შეტყობინების საშუალო სიგრძე (ბიტებში); C_i - კავშირის არხის გამტარუნარიანობა.

კავშირის არხის ოპტიმალური გამტარუნარიანობის განსაზღვრისათვის საჭიროა (2.22) ჩავსვათ (2.13) ფორმულაში და მისი მნიშვნელობა გავუტოლოთ მოცემულ არსზე შემოღებულ შეზღუდვას $T_{ნაბ_i}$ მაშინ შეიძლება ჩავწეროთ:

$$T_{\text{ნაბ}_i} = \frac{\sum_{l=1}^K \lambda_l (\bar{\tau}_l^{(\delta)})^2}{C_i (C_i - \sum_{l=1}^K \lambda_l \bar{\tau}_l^{(\delta)})} + \frac{\rho_i^{(\delta)}}{C_i \lambda_i} \quad (2.23)$$

სადაც, $\rho_i^{(\delta)} = \sum \lambda_l \bar{\tau}_l^{(\delta)} - i$ -ური არხის ჯამური დატვირთვა არაერთგვაროვანი ნაკადებით, რომელიც იზომება ბიტი/წმ-ში.

(2.23) განტოლების ამოხსნა C_i -ის მიმართ გვაძლევს საბოლოო გამოსახულებას ქსელის i -ური არხის ოპტიმალური გამტარუნარიანობის განსაზღვრისათვის, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$C_i^{\text{ობტ.}} = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4S \cdot n}}{2S} \quad (2.24)$$

$$\text{სადაც } b = (\lambda_i \cdot T_{\text{ნაბ}_i} + 1) \cdot \sum \lambda_l \bar{\tau}_l^{(\delta)}, \quad S = \lambda_i \cdot T_{\text{ნაბ}_i},$$

$$n = \lambda_i \sum_{l=1}^K \lambda_l (\bar{\tau}_l^{(\delta)})^2 - (\sum_{l=1}^K \lambda_l \bar{\tau}_l^{(\delta)})^2.$$

გამოსახულება (2.24) ახასიათებს არხის მინიმალურ აუცილებელ გამტარუნარიანობას, აქედან გამომდინარე კი – მინიმალურ მის ღირებულებასაც გამტარუნარიანობაზე დამოკიდებულებით, რომლის დროსაც დაცულია პირობა $\bar{T}_{\text{ნაბ}_i} = T_{\text{ნაბ}_i}$. ეს გამოსახულება მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს არხების გამტარუნარიანობების საანგარიშოდ, როცა საიმედოობის თვალსაზრისით ქსელის სტრუქტურა შეესაბამება მზადყოფნის საჭირო კოეფიციენტს.

2.3. მათემატიკური მოდელების დამუშავება ქსელის გამტარუნარიანობის გათვლისათვის

აღნიშნულ პარაგრაფში შევეცადოთ დავამუშაოთ ქსელის არხების გამტარუნარიანობის გამოსათვლელი მათემატიკური მოდელები ქსელის

სტრუქტურის მინიმალური ღირებულებისა და $\bar{T}_{ჩაბ} \leq T_{ჩაბ}$ დროს მომსახურების დროის განაწილების ნებისმიერი კანონებისათვის.

ჩვენს მიერ განხილული იყო მოდელები არსების გამტარუნარიანობის გათვლისათვის იმ დაშვების დროს, როცა გადასაცემ შეტყობინებათა სიგრძეები ემორჩილებიან განაწილების ექსპონენციალურ კანონებს და მათი მომსახურების დისციპლინა რეალიზდება გარკვეული რიგის მიხედვით. გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს ასევე არსების გამტარუნარიანობების შეფასების მოდელი მათი შეზღუდული და ცნობილი საიმედოობის დროს. ცხადია ეს ამოცანა დასაწეისში გადაწყვეტილი უნდა იქნეს იმ დაშვებებით რომ შეტყობინებათა ნაკადებისა და აღდგენის დროებს აქვთ განაწილების ექსპონენციალური კანონი, რაც აუცილებელია იმ მოდელების შედარებითი ანალიზისათვის, რომლებიც ემორჩილებიან განაწილების ნებისმიერ კანონს.

ზოგად შემთხვევაში განაწილების კანონები არსებობენ ძალიან ბევრი და მიზანშეუწონელია ქსელის ამა თუ იმ მახასიათებლის შესაფასებლად თითოეული მათგანისათვის აგებული იქნეს საკუთარი მოდელი. უნდა შევნიშნოთ, რომ განაწილების კანონები შეიძლება დახასიათებული იქნენ ვარიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობით, რომელიც ექსპონენციალური კანონისათვის ტოლია ერთის, რეგულარულისთვის – 0-ის, ნორმალურისათვის – 0.5-ის საზღვრებში და ა.შ. ამას გარდა პრაქტიკაში საეჭვოა, რომ თითოეულ შემთხვევაში განსაზღვრული იქნეს განაწილების კანონი. უკეთეს შემთხვევაში, თუ არ ჩავთვლით მათემატიკურ მოლოდინს, ვიპოვით საკვლევი სიდიდის დისპერსიას, ე.ი. ვიპოვით ვარიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობას. ეს საკმარისია ქსელის სტრუქტურის ყველა მახასიათებლის შესაფასებლად. ამას გარდა ვარიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა საშუალებას მოგვცემს ჩავატაროთ შედარებითი ანალიზი განაწილების კანონების გავლენისა საკვლევ პროცესებზე.

აბსოლუტურად საიმედო კავშირის არსების დროს, ქსელის i -ური არხის გამტარუნარიანობის ოპტიმალური სიდიდის C_i^{opt} განსაზღვრისათვის პოლანეკ-ხინჩინის ფორმულას არსზე შეტყობინების დაყოვნების დროისათვის ექნება სახე:

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{l=1}^K \lambda_l \cdot (\bar{\tau}^{(\delta)})^2 (I + K_l^2)}{2C_i \left(C_i - \sum_{i=1}^K \lambda_i \cdot \bar{\tau}^{(\delta)} \right)} + \frac{\rho_i^{(\delta)}}{C_i \cdot \lambda_i} \quad (2.25)$$

სადაც K_l – ვარიაციის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია საშუალო-კვადრატული გადახრის ფარდობის l -ური არაერთგვაროვანი ნაკადის შეტყობინების სიგრძის მათემატიკურ მოლოდინთან. (დანარჩენი აღნიშვნები შეესაბამებინ (2.24) ფორმულაში შემავალი სიდიდეების აღნიშვნებს). $T_{\text{ნაბი}}$ -ის მიმართ ამ განტოლების ამოხსნას წარმოადგენს შემდეგი გამოსახულება:

$$C_i^{\text{ობტ}} = \frac{b + \sqrt{b^2 + 2 \cdot S \cdot n'}}{2 \cdot S} \quad (2.26)$$

$$\text{სადაც } n' = \lambda_i \sum_{l=1}^K \lambda_l (\bar{\tau}_l^{(\delta)})^2 \cdot (I + K_l^2) - 2 \left(\sum_{l=1}^K \lambda_l \cdot \tau_l^{(\delta)} \right)^2 ;$$

$$b = (\lambda_i \cdot T_{\text{ნაბი}} + I) \sum_{l=1}^K \lambda_l \tau_l^{(\delta)} ; \quad S = \lambda_i \cdot T_{\text{ნაბი}} .$$

(2.26) ფორმულის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ $K_l = 1$ -ის დროს იგი სრულიად იდენტურია (2.26) გამოსახულების, ე.ი. ზოგადი შემთხვევა დაიყვანება კერძოზე. $K_l = 0$ -ის დროს გამოსახულება (2.26) საშუალებას იძლევა გათვლილი იქნეს კავშირის არხის გამტარუნარიანობა არხში გადასაცემი არაერთგვაროვანი ნაკადებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ შეტყობინებათა მუდმივი სიგრძეები.

კავშირის არხების გამტარუნარიანობების შერჩევისა და მათი საიმედოობის ამოცანები აქამდე წყდებოდა ცალ-ცალკე, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. კავშირის არხების გამტარუნარიანობის შერჩევისას ითვლებოდა, რომ არხები აბსოლუტურად საიმედონი არიან და ამასთან უკვე გააჩნიათ საიმედოობის საჭირო მნიშვნელობები. თუმცა თუ თავისი ფიზიკური შინაარსით გავაფართოვებთ გამტარუნარიანობის ცნებას და მას წარმოვიდგენთ კავშირის არხში არა როგორც მარტო ელექტრული სიგნალების სიჩქარეს, არამედ მის გასაშუალებულ შესაძლებლობას გადასცეს ინფორმაციის გარკვეული რაოდენობა რაღაც დროის ერთეულში, მაშინ პრაქტიკა გვიჩვენებს,

რომ არსების დაზიანება ანდა აპარატურის ცალკეული მტყუნებები იწვევენ ქსელის რეალური გამტარუნარიანობის მნიშვნელოვან დაქვეითებას, მოცდენების გამო უწესივრობების აღმოფხვრაზე, დროის დანაკარგების გამო, კავშირის სენსების აღდგენის აუცილებლობისას, უკვე ადრე გადაცემული პაკეტების ხელახლა გამეორების გამო და ა.შ. ამიტომ ორივე ამოცანის ერთდროულად გადაწყვეტა ხდება მეტად აქტუალური.

ამასთან საჭიროა განისაზღვროს ქსელის გამტარუნარიანობის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მის ფუნქციონირებას მომხმარებელამდე ინფორმაციის ჩაბარების მოცემული დროით მუშაობის სტაციონალურ რეჟიმში კავშირის არსების შეზღუდული საიმედოობისას, ე.ი. შემდეგი პირობების დაცვის დროს:

$$\sum_{l=1}^{K-1} \frac{\lambda_l}{\mu_l C_l} < 1 \quad (2.27)$$

სადაც $K-1$ – არხში საინფორმაციო და სამომსახურეო ნაკადების რაოდენობაა.

(2.27)-დან ჩანს, რომ განიხილება მასობრივი მომსახურეობის სისტემა არაერთგვაროვანი ნაკადებით, რომელთაგან ერთ-ერთი წარმოადგენს მტყუნებათა ნაკადს. ამასთან საჭიროა მტყუნებათა ნაკადით სისტემის დატვირთვა გამოიხატოს კავშირის არხის საიმედოობით, რომელსაც დავახასიათებთ მზადყოფნის $K_{\text{მ}}$ კოეფიციენტით.

ჩატვირთვის ურთიერთკავშირი მზადყოფნის კოეფიციენტთან აღიწერება დამოკიდებულებით:

$$\rho_{\text{მტყ}} = 1 - K_{\text{მ}} \quad (2.28)$$

$\rho_{\text{მტყ}}$ – კავშირის არხის დატვირთვაა მტყუნებათა ნაკადით.

ანალიზის გამარტივებისათვის ვივარაუდოთ, რომ მომსახურეობის დისციპლინა სამართლიანია ყველა ნაკადებისათვის. როგორც შემდეგში იქნება ნაჩვენები ასეთ დაშვებას მიყვავართ უმნიშვნელო ცდომილებებისაკენ ქსელის სტრუქტურის მახასიათებლების გათვლებში.

საანგარიშო დამოკიდებულებების მისაღებად ვისარგებლოთ (2.13) ფორმულით შემოტანილი აღნიშვნების, მოდელის განსაკუთრებულობებისა და $T_{\text{ბაბ}_i}$ მნიშვნელობების გათვალისწინებით. მარტივი გარდაქმნების შემდეგ გვაქვს:

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{l=1}^{K-1} \lambda_l \cdot (\tau_l^{(\delta)})^2 / C_i^2 + (1 - K_{\text{ა}_i}) \bar{t}_b}{1 - \sum_{l=1}^{K-1} \lambda_l \cdot \bar{\tau}_l^{(\delta)} / C_i - (1 - K_{\text{ა}_i})} + \frac{\rho_i}{C_i \lambda_i} \quad (2.29)$$

სადაც $\rho_i = \sum_{l=1}^{K-1} \lambda_l \cdot \tau_l^{(\delta)}$ – საინფორმაციო და სამომსახურეო შეტყობინებების ნაკადებით i -ური არხის ჯამური დატვირთვაა ბიტ/წმ-ში, λ_i – i -ურ არხში გადასაცემი საინფორმაციო და სამომსახურეო შეტყობინებების ჯამური ინტენსივობა; \bar{t}_b – მტყუნების აღმოფხვრის საშუალო დრო.

კიდევ ერთხელ ავღნიშნოთ, რომ განსხვავება აქ განხილულ მოდელებსა და წინა მოდელებს შორის მდგომარეობს იმაში, რომ რიგში ლოდინის დროში ცალკე შესაკრებით გამოყოფილია დრო, რომელიც განპირობებულია საინფორმაციო და სამომსახურეო შეტყობინებების გაჩერება (ე.ი. დროში მოცდა) i -ურ არხში წარმოქმნილი მტყუნების აღმოფხვრის გამო. თუმცა ამ პირობით ხერხს გააჩნია იმ პროცესების ზუსტი ფიზიკური დასაბუთება, რომლებიც წარმოიქმნება არხში შეტყობინებების გადაცემის დროს.

ამოვხსნით რა (2.29) $T_{\text{ბაბ}_i}$ –ის მიმართ, გვაქვს:

$$C_i^{\text{ობ}} = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 - 4\lambda_i B \cdot E}}{2\lambda_i B} \quad (2.30)$$

სადაც $A = \rho_i (K_{\text{ა}_i} + \lambda_i T_{\text{ბაბ}_i})$; $B = \bar{t}_b (1 - K_{\text{ა}_i}) - T_{\text{ბაბ}_i} K_{\text{ა}_i}$;

$$E = \lambda_i \sum_{j=1}^{K-1} \lambda_j \cdot (\bar{\tau}_j^{(\delta)})^2 - (\rho_i)^2.$$

გავაანალიზოთ (2.30) $\bar{T}_i = \bar{T}_{\text{ნაბ}_i}$ -ის დროს განტოლების (2.29) ფესვების დასაშვები მნიშვნელობების განსაზღვრის მიზნით.

უპირველეს ყოვლისა ავლიწნოთ, რომ $B \neq 0$, ე.ი.:

$$\bar{t}_b(1 - K_{\text{მ}_i}) - T_{\text{ნაბ}_i} K_{\text{მ}_i} \neq 0 \quad \text{ან} \quad K_{\text{მ}_i} \neq \frac{\bar{t}_b}{\bar{t}_b + T_{\text{ნაბ}_i}} = 1 - \frac{T_{\text{ნაბ}_i}}{\bar{t}_b + T_{\text{ნაბ}_i}} \quad (2.31)$$

რათა გავცუთ პასუხი როგორი უნდა იყოს მზადყოფნის კოეფიციენტი (მეტი ან ნაკლები (2.31) ფორმულის მარჯვენა ნაწილზე), განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

1. $B > 0$. განვიხილოთ (2.38) ფორმულის ყველა მდგენელის ნიშნები.

სიდიდე E ყოველთვის დადებითია, ვინაიდან $\lambda_i \sum_{j=1}^{K-1} \lambda_j \cdot \left(\bar{\tau}_j^{(\delta)}\right)^2 \gg (\rho_i)^2$.

დავამტკიცოთ ეს. დავუშვათ (განხილვის სიმარტივისათვის) გვაქვს შეტყობინებების მხოლოდ ორი არაერთგვაროვანი ნაკადი პარამეტრებით $\lambda_1, \bar{\tau}_1$ და $\lambda_2, \bar{\tau}_2$. მაშინ E -თვის შეიძლება ჩავწეროთ:

$$\begin{aligned} \lambda_i \sum_{j=1}^{K-1} \lambda_j \cdot \left(\bar{\tau}_j^{(\delta)}\right)^2 - (\rho_i)^2 &= (\lambda_1 + \lambda_2) \left[\lambda_1 \left(\bar{\tau}_1^{(\delta)}\right)^2 + \lambda_2 \left(\bar{\tau}_2^{(\delta)}\right)^2 \right] - \left(\lambda_1 \bar{\tau}_1^{(\delta)} + \lambda_2 \bar{\tau}_2^{(\delta)} \right)^2 \\ &= \lambda_1 \lambda_2 \left[\bar{\tau}_1^{(\delta)} - \bar{\tau}_2^{(\delta)} \right]^2 > 0 \end{aligned}$$

თუ $E > 0$, მაშინ სიდიდე $4\lambda_1 \cdot B \cdot E$ ასევე მეტია ნულის, ამიტომ დისკრიმინანტის სიდიდე მოდულთ ნაკლებია A -ზე. მაშინ

$$C_i^{\text{ობ}} = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4\lambda_1 \cdot B \cdot E}}{2\lambda_1 \cdot B} < 0, \quad \text{და} \quad C_i^{\text{ობ}} = \frac{-A - \sqrt{A^2 - 4\lambda_1 \cdot B \cdot E}}{2\lambda_1 \cdot B} < 0$$

ეს კი ნიშნავს, რომ $B > 0$ ან არ შეიძლება, რომ $K_{\text{მ}_i} < \frac{\bar{t}_b}{\bar{t}_b + T_{\text{ნაბ}_i}}$.

2. $B < 0$. გამოსახულება E რჩება დადებითი, მაშინ როცა $-4\lambda_1 \cdot B \cdot E > 0$ და დისკრიმინანტის სიდიდე $\sqrt{A^2 - 4\lambda_1 \cdot B \cdot E} > A$.

ცხადია, რომ

$$C_i^{\text{კბ}} = \frac{-A + \sqrt{A^2 - 4\lambda_l \cdot B \cdot E}}{2\lambda_l \cdot B} < 0, \quad C_i^{\text{კბ}} = \frac{-A - \sqrt{A^2 - 4\lambda_l \cdot B \cdot E}}{2\lambda_l \cdot B} > 0.$$

მაშ ასე, $B < 0$ -ის დროს გამტარუნარიანობის სიდიდეს აქვს დადებითი მნიშვნელობა, რომელიც განისაზღვრება გამოსახულებით (2.38). ამისათვის კი საჭიროა, რომ გამოყენებული არხის მზადყოფნის კოეფიციენტი (2.38) ფორმულაში იყოს:

$$K_{\beta_i} > \frac{\bar{t}_b}{t_b + T_{\beta_{\text{აბ}_i}}} \quad (2.32)$$

ამგვარად, (2.30) ფორმულის ანალიზმა გვიჩვენა: იმისათვის, რომ გამტარუნარიანობის სიდიდე იცვლებოდეს დასაშვებ ფარგლებში, საჭიროა, რომ არხის მზადყოფნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა აკმაყოფილებდეს (2.32) უტოლობას.

მოვახდინოთ მიღებული გამოსახულების სამართლიანობის შემოწმება $C_i^{\text{კბ}}$ -ის განსაზღვრისათვის, რომელიც წარმოდგენილია (2.30) ფორმულით. ამისათვის შევადაროთ იგი წინა მოდელს (2.24) გამოსახულებას არხის / /1 სისტემით ფორმალიზაციის დროს. დაუშვათ აპარატურა აბსოლუტურად საიმედოა, მაშინ $K_{\beta_i} = 1$ და გამოსახულება (2.30) დაიყვანება (2.24) ფორმულაზე. ე.ი.

$$A = \rho_i(1 + \lambda_l \cdot T_{\beta_{\text{აბ}_i}}) \quad \text{ე.ი.} \quad A = b; \quad B = -T_{\beta_{\text{აბ}_i}}, \quad E = n'.$$

ვუწოდოთ მზადყოფნის კოეფიციენტის იმ მნიშვნელობას ზღვრული ან სასაზღვრო, რომელიც (2.32) უტოლობას გადააქცევს ტოლობაში, ვინაიდან K_{β_i} -ს ამ მნიშვნელობის დროს გამტარუნარიანობა იღებს უსასრულოდ დიდ მნიშვნელობას, რაც დაუშვებელია.

განვიხილოთ (2.32) უტოლობა და განვაგრძოთ ანალიზი K_{β_i} -ის ცვლილებების დასაშვები საზღვრების განსაზღვრისათვის. როგორც ცნობილია მონაცემთა გადამცემი ქსელის სტაციონალური მუშაობისათვის საჭიროა, რომ შეტყობინებათა ჯამური ნაკადითა და მტყუნებებით დატვირთვა - ψ_0 იყოს ერთზე ნაკლები, ე.ი. $\psi_0 + 1 - K_{\beta_i} < 1$

ან $\psi_0 < K_{\theta i}$, სადაც $\psi_0 = \rho_i^{(\delta)} / C_i$ – ქსელის დატვირთვაა საინფორმაციო და სამომსახურეო შეტყობინებებით.

ცხადია, მზადყოფნის კოეფიციენტისათვის დასაშვები საზღვრები განისაზღვრება:

$$\psi_0 < K_{\theta i} > \frac{\bar{t}_b}{T_{\text{ზაბ}_i} + \bar{t}_b} \quad (2.33)$$

ვაანალიზებთ რა (2.33) უტოლობას, შეიძლება გაკეთდეს კიდევ ერთი დასკვნა, რომელიც ეხება კავშირის არხების გამტარუნარიანობის დასაშვებ მნიშვნელობებს. ჩავსვათ (2.33) უტოლობის მარცხენა ნაწილში მნიშვნელობა ψ_0 -სათვის, მაშინ

$$\frac{\sum_{l=1}^K \lambda_l^i \cdot \left(\bar{\tau}_l^{(\delta)} \right)}{C_i} < K_{\theta i} \quad (2.34) \quad \text{ან} \quad \frac{\rho_{oi}}{K_{\theta i}} < C_i.$$

სადაც ρ_{oi} – არხის დატვირთვაა საინფორმაციო და სამომსახურეო ნაკადებით (იზომება ბიტი/წმ-ში).

კავშირის არხების გამტარუნარიანობის განსაზღვრისათვის “კვადრატული ფესვის” წესით ფორმულის გამოყენების დროს კლავინროკმა C_i -სათვის ქვედა საზღვრად იგულისხმა სიდიდე ρ_0 . აქ მიღებული მოდელი საშუალებას იძლევა დავაზუსტოთ ეს მნიშვნელობა, ვინაიდან საიმედოობის ფაქტორი უყენებს გაზრდილ მოთხოვნებს კავშირის არხების გამტარუნარიანობას. ცხადია, უტოლობა (2.34) განსაზღვრავს გამტარუნარიანობის ყველაზე მინიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობას i -ური არხისა, რომელსაც გააჩნია $K_{\theta i}$ მზადყოფნის კოეფიციენტი.

2.3.1. ხელისშემშლელი ფაქტორების გავლენა დავალების

შესრულების დროის ხანგრძლივობაზე

მონაცემთა გადაცემის ტრაქტში განიხილება ორი სახის მტყუნებები: თანდათანობითი (პარამეტრული) და უეცარი. რადგან თანდათანობითი მტყუნებები ვლინდებიან ელემენტებისა და მოწყობილობების ექსპლუატაციის პროცესში მათი პერიოდული კონტროლის დროს (რეგლამენტურ სამუშაოებში), ამიტომ ძირითად გავლენას მონაცემთა გადაცემის ტრაქტის (მგტ) საიმედოობაზე ახდენენ უეცარი მტყუნებები. მონაცემთა გადაცემის სისტემები ეკუთვნიან ადღგენად სისტემათა კლასს. მგტ-ში მტყუნებების აღმოჩენის შემდეგ მოწყობილობა გადაეცემა ადღგენაზე. ადღგენის დრო დამოკიდებულია კონტროლის სისტემაზე, მომსახურე პერსონალის კვალიფიკაციაზე სარეზერვო და სათადარიგო მოწყობილობების არსებობაზე და რემონტის სისტემაზე.

მგტ შედგენა ორი ძირითადი ნაწილისაგან: კავშირის არხისაგან (კა) და მონაცემთა გადაცემის აპარატურისაგან (მგა). სტატისტიკური მონაცემების ანალიზმა [81,82] უჩვენა, რომ მტყუნებები კა-ში მიზანშეწონილია დაიყოს სამ ჯგუფად: ხანგრძლივი (რამდენიმე ათეული წუთიდან რამდენიმე საათამდე), საშუალო ხანგრძლივობის (3-დან 30 წუთამდე) და ხანმოკლე (3 წუთზე ნაკლები).

ხანგრძლივი მტყუნებები წარმოიშობიან ძალიან იშვიათად, კაბელისა და სადგურის მოწყობილობების დაზარალების შედეგად და მათთვის დამახასიათებელია მოცემული მაგისტრალის ყველა არხის მწყობრიდან გამოსვლა. საშუალო ხანგრძლივობის მტყუნებები, როგორც წესი წარმოიშობიან სადგურის მოწყობილობების ცალკეული კვანძების დაზიანების შედეგად, აგრეთვე ტექნიკური პერსონალის შეცდომითი მოქმედების შედეგად. ყველაზე უფრო მრავალრიცხოვანია ხანმოკლე მტყუნებები. უმრავლეს შემთხვევებში (80%) ისინი წარმოიშვებიან აპარატურის დაზიანების (ცუდი კონტაქტები და ა.შ) ან მომსახურე პერსონალის მოქმედების შედეგად. 20%-ს შეადგენს ხანმოკლე მტყუნებები, რომლებიც გამოწვეულია იმპულსური შეფერხებებით (ხარვეზებით). როგორც წესი, ხანმოკლე მტყუნებები თვითლიკვიდირებადია, თუმცა რიგ შემთხვევებში მათი აღმოფხვრისათვის საჭიროა მომსახურე პერსონალის ჩარევა.

ხანმოკლე მტყუნებები, რომლებიც გამოწვეულია შესვენებებით არხის მუშაობაში და წრედებში იმპულსური ხარვეზებით, რომლებიც საერთოა გადაცემის ყველა ან ზოგიერთი სისტემისათვის, მგტ-ის გაანგარიშების დროს ითვლებიან კორელირებულად.

ხელისშემშლელ ზემოქმედებათა ხანგრძლივობა ხშირად აღემატება ერთეული ელემენტის (ბიტის) ხანგრძლივობას. ამიტომ ერთი ზემოქმედება გავლენას ახდენს ერთეულოვანი ელემენტების მთელ ჯგუფზე. ცხადია, რომ მოცემული ერთეულოვანი ელემენტის დაზიანების პირობითი ალბათობა, როდესაც პაკეტის შიგნით დაზიანებულია წინამდებარე ელემენტები, ძალიან დიდია. ხელისშემშლელი ზემოქმედებები შეიძლება იყოს ხანგრძლივი და არაერთგვაროვანი. ამიტომ დამოუკიდებლად წარმოშობილი შეცდომები განსხვავდებიან როგორც სიგრძით, ასევე სტრუქტურით. შეცდომათა ნაკადის გამოკვლევამ რეალურ არხებში უჩვენა, რომ შეცდომები კავშირის არხებში ჯგუფდებიან.

შეცდომათა პაკეტები ძალიან ხშირად წარმოიშვებიან მოწყობილობების პროფილაქტიკისას, ხელსაწყოთა კომუტაციის დროს მოცემულ არხში ან მოსაზღვრე არხების დენის წრედებში და ა.შ. ყველა ეს შემთხვევა ხასიათდებიან შემთხვევითი დასაწყისით, შემთხვევითი ხანგრძლივობით და ხელისშემშლელი ფაქტორის სიგნალზე ზემოქმედების ხარისხის შემთხვევითობით.

ამ თავში განვიხილავთ ხანმოკლე მტყუნებებს: მდგრადს და თვითლიკვიდირებადს.

კავშირის არხის საიმედოობის ანალიზის დროს ბუნებრივია წარმოიშვება პროგრამული და აპარატურული საშუალებების ალგორითმული მეთოდების დამუშავების ამოცანა, რომელიც უზრუნველყოფს საიმედო ურთიერთკავშირის მონაცემთა გადაცემის ქსელის აბონენტებს შორის.

2.3.2. მათემატიკური მოდელები სხვადასხვა ხელისშემშლელი ფაქტორების გათვალისწინებით

ციფრული ინფორმაციის პაკეტების გადაცემა წარმოადგენს ფიზიკური დონის უმარტივეს მომსახურებას. ერთ-ერთ ასეთ მომსახურებას წარმოადგენს კვანძებს შორის კადრების გადაცემა, რომლებიც გაერთიანებულია გადაცემის არხებით. კადრების გადაცემისას არხის დონე ასრულებს ორ ძირითად ფუნქციას: პირველი - ახდენს მოცემულ ფორმატში კადრის ფორმირებას კვანძ-გამგზავნში და ამოკრებს კადრებს კვანძ-მიმღებში; მეორე - მართავს მათ მიწოდებას.

საიმედო არხებში პაკეტების უტყუარი გადაცემისას კვანძებს შეუძლიათ აღმოაჩინონ შეცდომები და გაასწორონ ისინი განმეორებითი გადაცემის დახმარებით. ამ შემთხვევაში პაკეტების გადაცემის სიჩქარე დამოკიდებულია რამდენიმე პარამეტრზე და ქსელის დაპროექტებისას უნდა მოხდეს ამ პარამეტრების ადაპტირება გადაცემის არხისათვის.

პაკეტების გადაცემისას ადგილი აქვს შემთხვევით შეცდომებს. ქსელში არსებობს შეცდომების კონტროლის შემდეგი მექანიზმი: შეცდომების გასწორება და შეცდომების აღმოჩენა განმეორებითი გადაცემით. ამ დროს ხორციელდება შეცდომის გასწორება, პაკეტი შეიცავს დამახინჯებული ინფორმაციის გარკვეულ რაოდენობას, რომელიც წარმოიქმნა მაკორექტირებელი კოდით იმისათვის, რომ მიმღებმა შეძლოს მცდარი კადრის გასწორება და დაკარგული კადრის აღდგენა. შეცდომის გასწორების გამოყენება ხდება იმ შემთხვევაში, როცა შეუძლებელია მცდარი კადრის განმეორებითი გადაცემის განხორციელება. კავშირის ქსელში შეცდომების კონტროლი ხდება ან ყოველ არხში ცალკეულად, ან საბოლოო კვანძებში.

2.3.3. პაკეტის ჩაზარების დროის განსაზღვრა კავშირის არხებზე წარმოქმნილი შეცდომების გავლენის დროს

მონაცემების გადაცემის ფართომასშტაბიანი განაწილებული ქსელების შექმნისას, საჭიროა გადავწყვიტოთ პრობლემა, თუ როგორ უზრუნველყოთ

ქსელის ორ ნებისმიერ აბონენტს შორის დაკავშირება. ეს პრობლემა დაკავშირებულია ურთიერთქმედების გაწყვეტის დროს ორგანიზებასთან, დაფუძნებულს პროგრამული და აპარატურული საშუალებების შესაბამისი აღგორითმული მეთოდების დამუშავებაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ არასაიმედო საშუალებების საიმედო ურთიერთკავშირს. აღნიშნული პრობლემა გადაწყდება ქსელში ავტომატური მასივების გამოყენების სივრცული – დროითი განაწილების პერსპექტიულ მეთოდებზე გადასვლის გზით, რომელსაც ეწოდება მონაცემთა ნაკადები.

მონაცემთა გადაცემის იმ კვანძებში, სადაც გამოიყენება განმეორებითი გადაცემა, შეცდომები და მონაცემთა გადაცემის მართვის პროცესები, მნიშვნელოვნად ამცირებენ გადაცემის სიჩქარეს. ამიტომ, გადაცემა უნდა მოხდეს, რაც შეიძლება გრძელი პაკეტების საშუალებით. ეს იმიტომ, რომ, ამ დროს მიღებული წაგრძელება გამოიყენება რათა მოხდეს მონაცემთა უფრო მეტი გადაცემა. თუ პაკეტი ძალიან გრძელია, განმეორებითი გადაცემისათვის გამოყენებული დრო ხდება ძალიან დიდი. არსებობს პაკეტის სიგრძე, რომელიც ოპტიმალურია ორივე მითითებული ფაქტორისადმი.

სასურველია, განხორციელდეს მონაცემთა გადაცემის მაქსიმალურად მაღალი შესაძლებელი სიჩქარე. მაგრამ, როგორც კი ასეთი სიჩქარე მიიღწევა, შეცდომების სიხშირე მკვეთრად იმატებს. თუ ჩვენ გამოვიყენებთ კოდს, რომელიც აღმოაჩენს ფაქტიურად ყველა შეცდომას, მაშინ შესაძლებელია მონახოს კომპრომისი გადაცემის სიჩქარესა და გადასაცემი პაკეტის მონაცემს შორის. შემდგომში განხილულია ეს კომპრომისი. განვიხილოთ კავშირის არხი დამახინჯებული პაკეტების ავტომატური გამეორებით.

ვთქვათ 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 მნიშვნელობას (გამტარუნარიანობას).

იდეალურ პირობებში პაკეტის გადაცემის დროა:

$$\tau_0^3 = \frac{N_{\text{ა}} + nN_{\text{დ}}}{nC}; \quad T_0^{\text{მ}} = n\tau_u^{\text{მ}}; \quad f_3(u) = I(t - \tau_3).$$

$$\text{აქ } I(t) \text{ ერთეულოვანი ფუნქციაა } \left(I(t) = \begin{cases} 0, & \text{თუ } t < 0; \\ I, & \text{თუ } t \geq 0. \end{cases} \right).$$

სადაც, $N_{\text{ა}}$ – შეტყობინებაში საინფორმაციო სიმბოლოების რიცხვია (ბიტებში); n – შეტყობინებაში პაკეტების რიცხვია; $N_{\text{დ}}$ – პაკეტში დამხმარე სიმბოლოების რიცხვია (ბიტი), რომელიც გამოიყენება მონაცემთა გადაცემებისა და შეცდომების აღმოსაჩენად; C – მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეა (ბიტ/წმ); $F_3(u)$ – იდეალური კავშირის შემთხვევაში პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქციაა ($f(u) = F'(u)$); $\alpha(c)$ – კავშირის არხების მტყუნებათა ინტენსივობაა, რომელიც დამოკიდებულია მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეზე; $V(t)$ – პაკეტის გადაცემის სისწორის კონტროლის დროის განაწილების ფუნქციაა ($V(t) = V'(t)$); N_3 – პაკეტში საინფორმაციო სიმბოლოების რიცხვია ($N_3 = N_{\text{ა}}/n$); $G(u)$ – მტყუნებადი კავშირის არხის აღდგენის დროის განაწილების ფუნქციაა ($g(u) = G'(u)$); $\Phi_6^3(t)$ – პაკეტის გადაცემის რეალური დროის განაწილების ფუნქციაა; T_6^3 – პაკეტის გადაცემის რეალური დროის მათემატიკური ლოდინია ($T_6^3 = T_3^{\text{მ}}/n$).

$\Phi_6^3(t)$ -სათვის ადგილი აქვს შემდეგ ინტეგრალურ დამოკიდებულებას:

$$\begin{aligned} \Phi_6^3(t) = & \int_0^t dF_3(u) e^{-\alpha(c)u} V(t-u) + \int_0^t dF_3(u) (1 - e^{-\alpha(c)u}) \int_0^{t-u} dV(v) \cdot \\ & \cdot \int_0^{t-u-v} dG(\eta) \Phi_6^3(t-u-v-\eta). \end{aligned} \quad (2.35)$$

განვმარტოთ, თუ როგორაა მიღებული (2.35) გამოსახულება.

პირველი წევრი – ესაა ალბათობა იმისა, რომ: 1) პაკეტის გადაცემა დასრულებულია დროში $\xi(u < \xi < u + du, u \in (0, t)) - df_3(u)$; 2) u დროის განმავლობაში შეცდომას – $\exp[-\alpha(c)u]$ არ ექნება ადგილი; 3) კონტროლი დასრულდება $(t-u)$ -ზე ნაკლებ დროში.

მეორე წვერი - ესაა ალბათობა იმისა, რომ პაკეტის გადაცემა დასრულდება დროში $\xi(u < \xi < u + du, u \in (0,1)) - df_3(u)$; 2) $(1 - \exp[-\alpha(c)u])$ დროის განმავლობაში მოხდება პაკეტის დამახინჯება; 3) $(v < \xi_1 < v + dv, v \in (0, t-u))$ დროში კონტროლი აღმოაჩენს პაკეტის დამახინჯებას 4) $\xi_2 (\eta < \xi_2 < \eta + d\eta, \eta \in (0, t-u-v))$ დროში მოხდება პაკეტის დამახინჯების აღმოფხვრა - $dV(\eta)$; 5) $t-u-v-\eta-\Phi(t-u-v-\eta)$ დროში მოხდება პაკეტის ხელახალი გადაცემა.

თუ გამოვიყენებთ ლაპლასის გარდაქმნას (2.51)-ის მიმართ, გვექნება:

$$\Phi_0^3(s) = f_3(s + \alpha(c))v(s)/s + v(s)g(s)\Phi_0^3(s)[f_3(s) - f_3(s + \alpha(c))] \quad (2.36)$$

$$\text{სადაც, } f_3(s + \alpha(c)) = e^{-(N_{\text{ვ}} + nN_{\text{დ}})(s + \alpha(c))/nc}; \quad v(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dU(t);$$

$$f_n(s) = e^{-(N_{\text{ვ}} + nN_{\text{დ}})s/nc}; \quad g(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dG(t).$$

(2.36)-ის ამოხსნის შემდეგ მივიღებთ:

$$\Phi_0^3(s) = f_3(s + \alpha(c))v(s)/s \{1 - v(s)g(s)[f_3(s) - f_3(s + \alpha(c))]\} \quad (2.37)$$

$$\Phi_0^3(s)\text{-ის მიღებით, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ } \Phi_0^c(s) = (S\Phi_0^3(s))^n / S.$$

აქ ნაჩვენებია მხოლოდ პაკეტის გადაცემის დროის მათემატიკური მოლოდინი: $T_0^3 = -S\Phi_0^3(s)|'_{s=0}$ და $T_0^3 = nT_0^3$. როცა $\alpha(c) = \gamma C^m (\gamma, m > 0)$, მაშინ:

$$T_0^3 = -n\tau_{\text{დ}} + \left(n\tau_{\text{ვ}} + n\tau_{\text{დ}} + \frac{N_{\text{ვ}} + nN_{\text{დ}}}{C} \right) * \exp[(N_{\text{ვ}} + nN_{\text{დ}})\gamma C^{m-1} / n] \quad (2.38)$$

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

T_{θ}^c ეს არის უწყვეტი ფუნქცია n -ის და c -ის, ე.ი. $T_{\theta}^c = T_{\theta}^c(n, c)$, ჩეგვიდლია ვიპოვოთ საუკეთესო მნიშვნელობა n -ის და c -სი, როდესაც $T_{\theta}^c(n, c)$ მიიღებს უმცირეს მნიშვნელობას ფიქსირებული $N_{\text{შ}}$ დროს. ამისათვის საჭიროა ამოიხსნას შემდეგი განტოლება:

$$\frac{\partial T_{\theta}^c(n, c)}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial T_{\theta}^c(n, c)}{\partial c} = 0. \quad (2.39)$$

თუ (2.55)-ში ჩავსვავთ $T_{\theta}^c(n, c)$ -ს მნიშვნელობას (2.54)-დან, მივიღებთ:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\tau_{\text{აღ}} + \left[\tau_{\text{კ}} + \tau_{\text{აღ}} + \frac{N_{\text{გ}}}{C} - \left(n\tau_{\text{კ}} + n\tau_{\text{აღ}} + \frac{N_{\text{შ}} + nN_{\text{გ}}}{C} \right) \gamma C^{m-1} N_{\text{შ}} / n^2 \right] * \\ * \exp[(N_{\text{შ}} + nN_{\text{გ}}) \gamma C^{m-1} / n] = 0; \\ n(\tau_{\text{კ}} + \tau_{\text{აღ}}) C^m + (N_{\text{შ}} + nN_{\text{გ}}) C^{m-1} = n / \gamma (m-1), \quad m \neq 1. \end{array} \right. \quad (2.40)$$

$$(2.41)$$

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა: $m = 2$; $\tau_{\text{კ}} = \tau_{\text{აღ}} = 0$. მაშინ (2.41)-ის საშუალებით მივიღებთ:

$$C_{\text{ოპტ}} = n / \gamma (N_{\text{შ}} + nN_{\text{გ}}) \quad (2.42)$$

ტოლობა (2.54) მიიღებს შემდეგ სახეს:

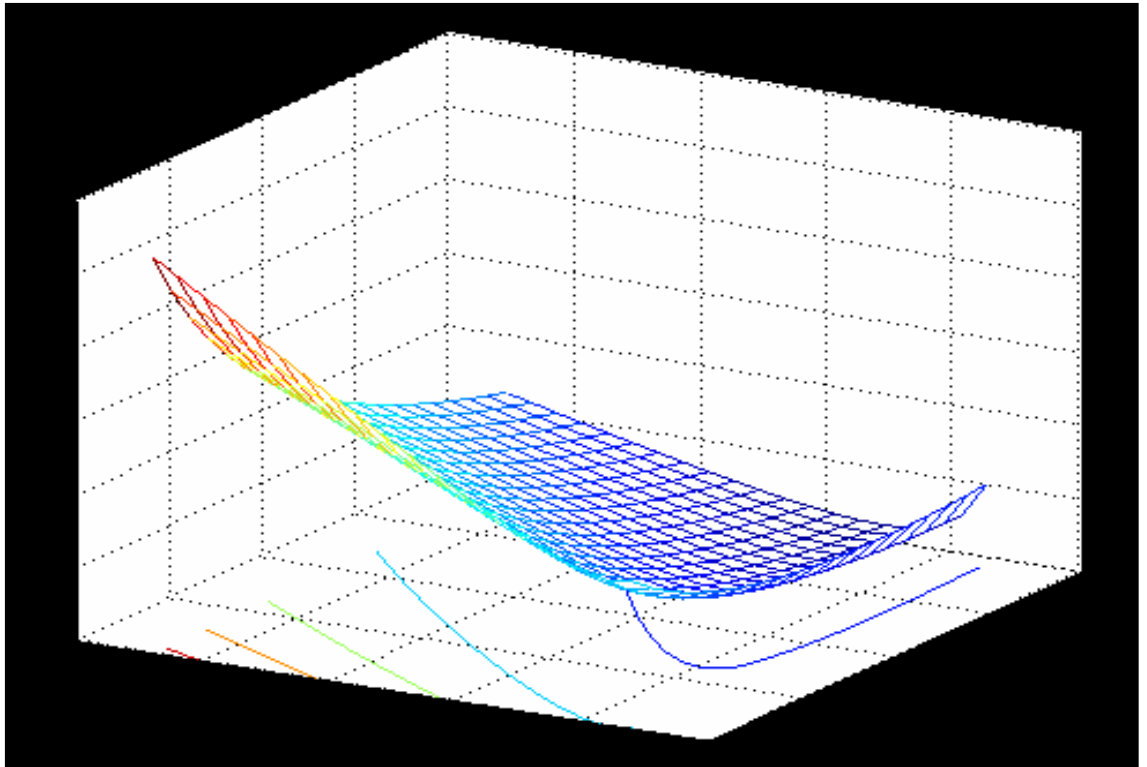
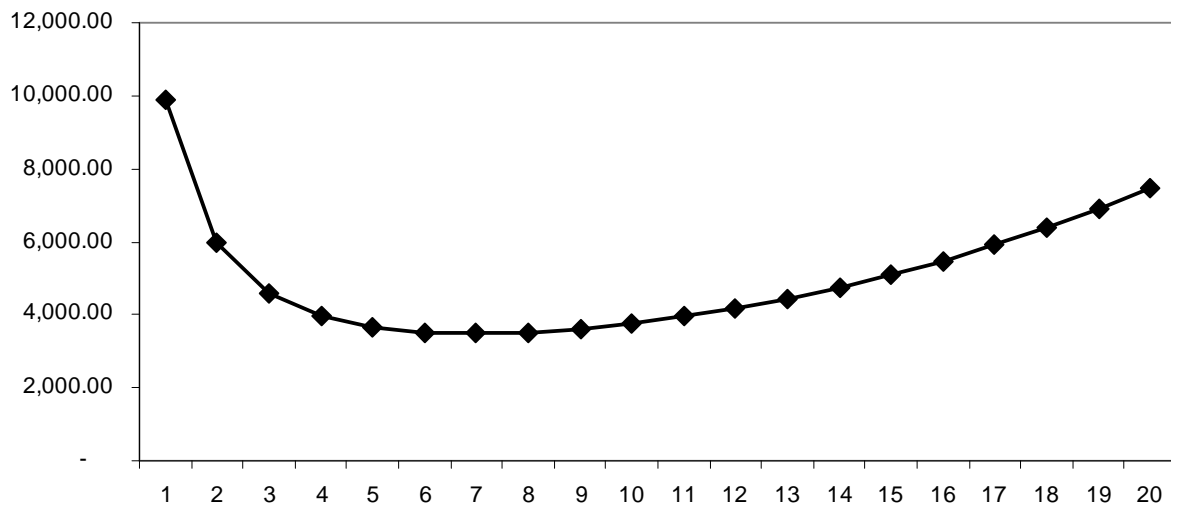
$$N_{\text{გ}} n^2 - (N_{\text{შ}} + nN_{\text{გ}}) \gamma N_{\text{შ}} C_{\text{ოპტ}} = 0 \quad (2.43)$$

თუ (2.43) გამოსახულებას ჩავსვავთ (2.42)-ში, მივიღებთ: $N_{\text{ოპტ}} = N_{\text{შ}} / N_{\text{გ}}$

და $C_{\text{ოპტ}} = 1 / 2\gamma N_{\text{გ}}$. თუ ამ ოპტიმალურ გამოსახულებებს ჩავსვავთ (2.38)-ში, მივიღებთ პაკეტის ჩაბარების ოპტიმალურ დროს $T_{\theta}^{\text{შ}}(N_{\text{ოპტ}}, C_{\text{ოპტ}}) = 4\gamma N_{\text{შ}} N_{\text{გ}} e$.

ნახაზებზე 2.1 და 2.2 ნაჩვენებია პაკეტის გადაცემის დროის გრაფიკები შესაბამისად სიბრტყეზე და სივრცეში. აღნიშნული გრაფიკები აგებულია

ცხრილი 2.5-ის საფუძველზე. ნახაზებიდან ჩანს, რომ T_6^b ოპტიმალურ



მნიშვნელობას მიიღებს, როდესაც $n=900$ და $C=1600$.

ცხრილი 2.1

N°	n	$\tau_{\text{ღ}}$	$\tau_{\text{ძ}}$	$N_{\text{შ}}$	$N_{\text{გ}}$	C	$T_{\text{გ}}^{\text{შ}}$
1	300	10	1	100000	100	1000	9,905.72
2	400	10	1	100000	100	1100	5,980.94
3	500	10	1	100000	100	1200	4,574.78
4	600	10	1	100000	100	1300	3,942.13
5	700	10	1	100000	100	1400	3,638.50
6	800	10	1	100000	100	1500	3,506.91
7	900	10	1	100000	100	1600	3,480.04
8	1000	10	1	100000	100	1700	3,525.19
9	1100	10	1	100000	100	1800	3,625.27
10	1200	10	1	100000	100	1900	3,771.04
11	1300	10	1	100000	100	2000	3,957.60
12	1400	10	1	100000	100	2100	4,182.66
13	1500	10	1	100000	100	2200	4,445.60
14	1600	10	1	100000	100	2300	4,747.02
15	1700	10	1	100000	100	2400	5,088.40
15	1800	10	1	100000	100	2500	5,471.94
16	1900	10	1	100000	100	2600	5,900.49
17	2000	10	1	100000	100	2700	6,377.50
18	2100	10	1	100000	100	2800	6,906.97
19	2200	10	1	100000	100	2900	7,493.51

2.3.4. დავალების შესრულების დროის განსაზღვრა

უწყვეტი კონტროლით

ამოცანის დასმა: ვთქვათ, 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) α და β ინტენსივობით. პირველი სახის α მტყუნება წარმოადგენს მდგრადს, ხოლო მეორე β სახის - თვითლიკვიდირებადს. 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 გაგრძელდება ხდება შეწყვეტილი ადგილიდან. მოითხოვება მოცემულ დროში ამოცანის გადაწყვეტის განხორციელებადობის განსაზღვრა.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად განვიხილოთ $\Phi_j(t, x)$ - ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა დამუშავება დამთავრდება t - ზე ნაკლებ დროში, იმ პირობით, რომ დაიწყება j ეტაპიდან, როცა მისი x ნაწილი შესრულებულია სწორად (შეცდომების გარეშე). $\Phi_j(t, x)$ და $\Phi_j^{(1)}(t, x)$ შეიძლება განსაზღვროთ შემდეგი ინტეგრალური განტოლებებიდან:

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

(2.44)

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

(2.45)

სადაც $\overline{F}(u) = 1 - F(u)$;

(2.44) განტოლება შედგენილია შემდეგი მსჯელობების საფუძველზე:

პირველი შესაკრები ეს არის ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა მომსახურება დამთავრდება ξ ($u < \xi < u + du$, $u \in (0, t)$) დროის მომენტში და სისტემა გადავა $j+1$ ეტაპზე, თუ u დროის განმავლობაში არ წარმოიშვება პირველი სახის მტყუნება.

მეორე შესაკრები – ალბათობა იმის, რომ:

- 1) პაკეტის გადაცემა დამთავრდება ξ ($u < \xi < u + du$, $u \in (0, t)$) დროის განმავლობაში;
- 2) u დროის განმავლობაში აღძრული მდგრადი ხელისშემშლელი ფაქტორის გამო ხდება პაკეტის დამახინჯება - $\alpha e^{-au} du$;
- 3) სისტემა აგრძელებს მუშაობას ერთი შეცდომით.

(2.45) განტოლება შედგენილია შემდეგი მსჯელობის საფუძველზე:

პირველი შესაკრები ეს არის ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა მომსახურება დამთავრდება ξ ($u < \xi < u + du$, $u \in (0, t)$) დროში, u დროის განმავლობაში არ მოხდება მდგრადი მტყუნება - e^{-au} . სისტემა აგრძელებს მუშაობას ერთი შეცდომით და გადავა $j+1$ ეტაპზე.

მეორე შესაკრები- ერთობლივი ალბათობა იმის, რომ:

- 1) $(u, u + du)$ დროის ინტერვალში აღიძვრება პირველი სახის მტყუნება - $\alpha e^{-au} du$;
- 2) v დროში ლიკვიდირებული იქნება ინფორმაციის დამახინჯებების აღძვრის მიზეზები - $dG_1(v)$;
- 3) შეტყობინების გადაცემა დამთავრდება $(t - u - v)$ – ზე ნაკლებ დროში, თუ ის დაიწყება იგივე ეტაპიდან;

მესამე შესაკრები – ალბათობა იმის, რომ:

- 1) $(u, u + du)$ დროის ინტერვალში მოხდება ეტაპის დამახინჯება თვითლიკვიდირებადი ხელისშემშლელი ფაქტორის გამო - $\beta e^{-\beta u} du$;
- 2) v დროის განმავლობაში აღმოფხვრილი იქნება ინფორმაციის დამახინჯების აღძვრის მიზეზები - $dG_2(v)$;

3) ამის შედეგად სისტემა გააგრძელებს მუშაობას და ინფორმაციის გადაცემა დამთავრდება $(t-u-v)$ - ზე ნაკლებ დროში.

თუ შემოვიტანოთ აღნიშვნებს $\Phi_j(s, x) = \int_0^\infty e^{-st} \Phi_j(t, x) dt$;

$g_i(s) = \int_0^\infty e^{-st} dG_i(t)$; $i=1,2$ და (1.10)-სა და (1.11)-ში გადავალთ ლაპლასის

გარდაქმნაზე, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
 \Phi_j(s, x) &= \int_0^\infty e^{-st} dt \int_0^t e^{-\alpha u} dF(x+u) \Phi_{j+1}(t-u, 0) + \int_0^\infty e^{-st} dt \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} \Phi_j^{(1)}(t-u, x+u) du = \\
 &= \int_0^\infty e^{-\alpha u} dF(x+u) \int_u^\infty e^{-st} \Phi_{j+1}(t-u, 0) dt + \alpha \int_0^\infty e^{-\alpha u} du \int_u^\infty e^{-st} \Phi_j^{(1)}(t-u, x+u) dt = \\
 &= \int_0^\infty e^{-\alpha u} dF(x+u) \int_0^\infty e^{-s(x+u)} \Phi_{j+1}(x, 0) dx + \alpha \int_0^\infty e^{-\alpha u} du \int_0^\infty e^{-s(y+u)} \Phi_j^{(1)}(y, x+u) dy = \\
 &= \int_0^\infty e^{-su} e^{\alpha u} dF(x+u) \int_0^\infty e^{-sx} \Phi_{j+1}(x, 0) dx + \alpha \int_0^\infty e^{-\alpha u} e^{-su} du \int_0^\infty e^{-sy} \Phi_j^{(1)}(y, x+u) dy = \\
 &= \Phi_{j+1}(s, 0) \int_0^\infty e^{-(s+\alpha)u} dF(x+u) + \alpha \int_0^\infty e^{-(s+\alpha)u} \Phi_j^{(1)}(s, x+u) du = \Phi_{j+1}(s, 0) e^{-(s+\alpha)(\tau-x)} + \\
 &+ \alpha \int_x^\infty e^{-(s+\alpha)(z-x)} \Phi_j^{(1)}(s, x) dz = \Phi_{j+1}(s, 0) e^{-(s+\alpha)(\tau-x)} + \alpha e^{(s+\alpha)x} \int_x^\tau e^{-(s+\alpha)z} \Phi_j^{(1)}(s, z) dz
 \end{aligned}$$

{2.46}

$$\begin{aligned}
\Phi_j^{(1)}(s, x) &= \int_0^\infty e^{-st} dt \int_0^t e^{-\alpha u} e^{-\beta u} dF(x+u) \cdot \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u, 0) + \int_0^\infty e^{-st} dt \int_0^t \alpha e^{-\alpha u} e^{-\beta u} \bar{F}(x+u) du \times \\
&\quad \times \int_0^{t-u} dG_1(v) \cdot \Phi_j(t-u-v, 0) + \int_0^\infty e^{-st} dt \int_0^t \beta e^{-\alpha u} e^{-\beta u} d\bar{F}(x+u) \times \\
&\quad \times \int_0^{t-u} dG_2(v) \cdot \Phi_j(t-u-v, x+u) = \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} dF(x+u) \int_u^\infty e^{-st} dt \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u, 0) + \\
&\quad + \alpha \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} \bar{F}(x+u) du \int_u^\infty e^{-st} dt \times \int_0^{t-u} dG_1(v) \Phi_j(t-u-v, 0) + \\
&\quad + \beta \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} \bar{F}(x+u) du \int_u^\infty e^{-st} dt \int_0^{t-u} dG_2(v) \Phi_j(t-u-v, x+u) = \\
&\quad = \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} \int_u^\infty e^{-st} dt \Phi_{j+1}^{(1)}(t-u, 0) + \alpha \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} \bar{F}(x+u) \int_0^\infty e^{-s(y+u)} dy \int_0^y dG_1(v) \times \\
&\quad \times \Phi_j(y-v, 0) + \beta \int_0^\infty e^{-(\alpha+\beta)u} \bar{F}(x+u) \int_0^\infty e^{-s(y+u)} dy \times \int_0^y dG_2(v) \Phi_j(y-v, x+u) = \\
&\quad = e^{-(\alpha+\beta+s)(\tau-x)} \cdot \Phi_{j+1}^{(1)}(s, 0) + \alpha g_1(s) \Phi_j(s, 0) \cdot \frac{1 - e^{-(\alpha+\beta+s)(\tau-x)}}{\alpha + \beta + s} + \\
&\quad + \beta g_2(s) e^{(\alpha+\beta+s)x} \cdot \int_x^\tau e^{-(\alpha+\beta+s)z} \Phi_j(s, z) dz
\end{aligned}$$

(2.47)

თუ, შემოვიღებთ აღნიშვნებს, რომ

$$\Phi_j(s, x) = \int_0^\infty e^{-st} \Phi_j(t, x) dt ; \quad g_i(s) = \int_0^\infty e^{-st} dG_i(t) , \quad i=1,2 ,$$

და (2.46) და (2.47) ფორმულებს გადავამრავლებთ შესაბამისად $e^{-(s+\alpha)x}$ და $e^{-(s+\alpha+\beta)x}$ მივიღებთ:

$$e^{-(s+\alpha)x} \cdot \Phi_j(s, x) = e^{-(s+\alpha)\tau} \cdot \Phi_{j+1}(s, 0) + \alpha \int_x^\tau e^{-(s+\alpha)z} \Phi_j^{(1)}(s, z) dz ; \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned}
e^{-(s+\alpha+\beta)x} \Phi_j^{(1)}(s, x) &= e^{-(s+\alpha+\beta)\tau} \Phi_{j+1}^{(1)}(s, 0) + \alpha g_1(s) \Phi_j(s, 0) \cdot \frac{e^{-(s+\alpha+\beta)x} - e^{-(s+\alpha+\beta)\tau}}{s + \alpha + \beta} + \\
&\quad + \beta g_2(s) \int_x^\tau e^{-(s+\alpha+\beta)z} \Phi_j(s, z) dz ; \quad (2.49)
\end{aligned}$$

გავაწარმოოთ (2.48) და (2.49) განტოლებების ორივე მხარე x -ით, რის შემდეგაც მივიღებთ მუდმივკოეფიციენტებიან დიფერენციალურ განტოლებათა შემდეგ სისტემას:

$$\Phi_j'(s, x) - (s + \alpha)\Phi_j(s, x) + \alpha\Phi_j^{(1)}(s, x) = 0 \quad (2.50)$$

$$\Phi_j^{(1)'}(s, x) - (s + \alpha + \beta)\Phi_j^{(1)}(s, x) + \alpha g_1(s)\Phi_j(s, 0) + \beta g_2(s)\Phi_j(s, x) = 0 \quad (2.51)$$

ამასთან

$$\Phi_j(t, \tau) = 1; \quad \Phi_j(s, \tau) = \frac{1}{s}; \quad \Phi_j^{(1)'}(t, \tau) = 1; \quad \Phi_j^{(1)'}(s, \tau) = \frac{1}{s};$$

(2.50) და (2.51) განტოლებათა სისტემა შეიცავს ოთხ განტოლებას ოთხი უცნობით. მათი ამოხსნით მივიღებთ:

$$(2.52) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Phi_j(s, 0) = \frac{(A_1 + A_2) \cdot M}{M - K}; \\ \Phi_j^{(1)}(s, 0) = \frac{(s + \alpha)[(A_1 + A_2)(M - K) + K((A_1 + A_2))] - (A_1\lambda_1 + A_2\lambda_2)(M - K)}{\alpha(M - K)}; \\ \Phi_j(s, \tau) = A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c} = \frac{1}{s}; \\ \Phi_j^{(1)}(s, \tau) = \frac{(s + \alpha)(A_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2 e^{\lambda_2 \tau} - \frac{d}{c}) - (A_1\lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} + A_2\lambda_2 e^{\lambda_2 \tau})}{\alpha} = \frac{1}{s}; \end{array} \right.$$

სადაც:

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

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

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

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

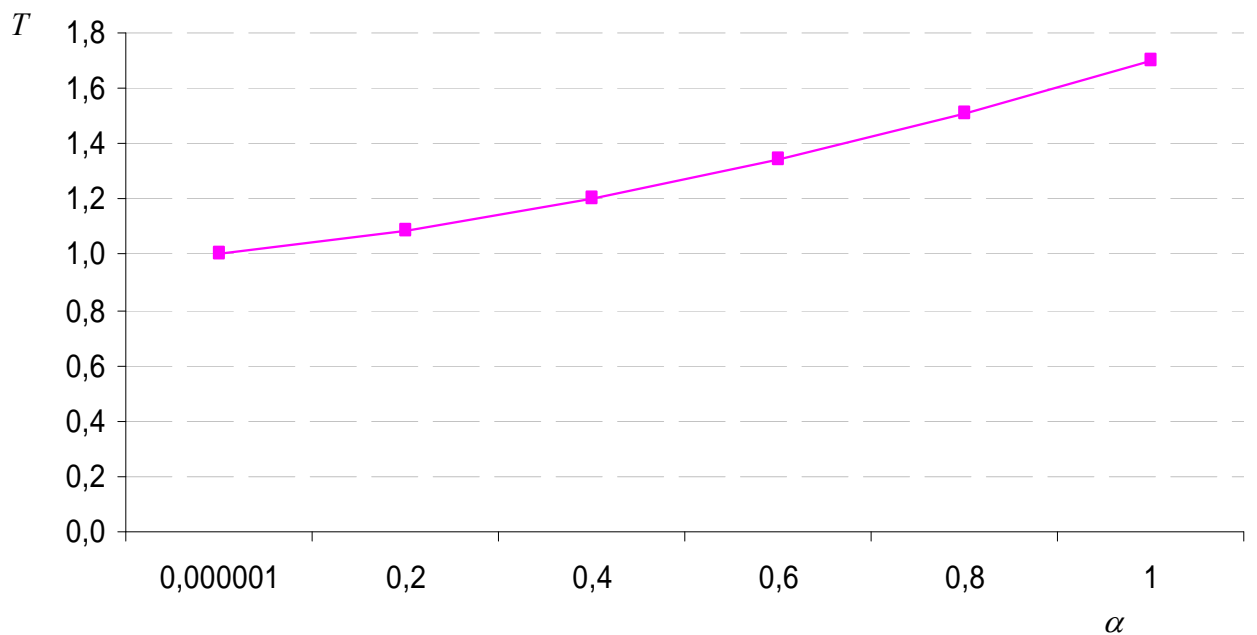
$$d' = \frac{(Me^{\lambda_1 \tau} - Ke^{\lambda_1 \tau} + K) - \lambda_1 e^{\lambda_1 \tau} (M - K)}{\alpha(M - K)}; \quad f = \frac{(Me^{\lambda_2 \tau} - Ke^{\lambda_2 \tau} + K)(s + \alpha) - \lambda_2 e^{\lambda_2 \tau} (M - K)}{\alpha(M - k)}.$$

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

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

განვიხილოთ კერძო შემთხვევა.

ნახაზ 2.3-ზე ნაჩვენებია შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური ლოდინის α -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელიც აგებულია 2.2 ცხრილის საფუძველზე.



ნახ. 2.3. შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური ლოდინის დამოკიდებულების α -ზე

α	β	$g_1(s)$	$g_2(s)$	s	τ	$\Phi(s, \theta)$	T
0.8	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.48979	1.51021
0.6	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.65563	1.34437
0.4	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.79621	1.20379
0.2	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.91116	1.08840
1	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99998.29737	1.70263
0.000001	1	0.99999	0.99999	0.00001	1	99999	1.00000

2.3.5. დავალების შესრულების დროის განსაზღვრა ბოლოში კონტროლით

ამოცანის დასმა: ვთქვათ, კომპიუტერზე ქსელში გადასაცემი ინფორმაცია დაყოფილია n პაკეტად. თითოეული პაკეტის გადაცემის დრო წარმოადგენს დამოუკიდებელ შემთხვევით სიდიდეს, რომელიც განაწილებულია ნებისმიერი $F(x)$ კანონით. შეიძლება აღიძრას ერთი სახის მტყუნება (ხელისშემშლელი ფაქტორი) α ინტენსივობით. კომპიუტერში გამოყენებულია მაკონტროლებელი კოდი, რომელიც აღმოაჩენს 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 გადაწყვეტის განხორციელებადობის განსაზღვრა.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად განვიხილოთ $\Phi_j(t)$ - ალბათობა იმის, რომ მოთხოვნათა დამუშავება დამთავრდება t - ზე ნაკლებ დროში.

პაკეტის გადაცემის დროის განაწილების ფუნქციისათვის $\Phi_j(t)$ - ადგილი აქვს შემდეგ ინტეგრალურ დამოკიდებულებას:

$$\begin{aligned} \Phi_j(t) = & \int_0^t dF(u)e^{-au}\Phi_{j+1}(t-u) + \int_0^t dF(u)cae^{-au}\Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \\ & + \int_0^t dF(u) \cdot \sum_{i=2}^{\infty} \frac{(au)^i}{i} e^{-au} \times \int_0^{t-u} dG(v) \cdot \Phi_j(t-u-v); \end{aligned} \quad (2.53)$$

$$\Phi_j^{(1)}(t) = \int_0^t dF(u)e^{-au}\Phi_{j+1}^{(1)}(t-u) + \int_0^t dF(u) \cdot (1-e^{-au}) \int_0^{t-u} dG(v)\Phi_j(t-u-v); \quad (2.54)$$

(2.53) განტოლება შედგენილია შემდეგი მსჯელობების საფუძველზე:

პირველი შესაკრები ეს არის ერთობლივი ალბათობა იმის, რომ:

- 1) პაკეტის გადაცემა დამთავრდება $\xi(u < \xi < u + du, u \in (0, t)) - dF(u)$ დროში;
- 2) u -დროის განმავლობაში არ აღიძვრება ხელისშემშლელი ფაქტორები - e^{-au} ;
- 3) სისტემა აგრძელებს მუშაობას და გადადის $j+1$ ეტაპზე.

მეორე შესაკრები- ერთობლივი ალბათობა იმის, რომ:

- 1) პაკეტის გადაცემა დამთავრდება $\xi(u < \xi < u + du, u \in (0, t)) - dF(u)$ დროში;
- 2) u -დროის განმავლობაში მტყუნების საფუძველზე აღიძვრება პაკეტის დამახინჯება - cae^{-au} ;
- 3) სისტემა აგრძელებს მუშაობას ერთი შეცდომით და გადავა შემდეგ - $j+1$ - ეტაპზე.

მესამე შესაკრები - ალბათობა იმის, რომ:

- 1) პაკეტის გადაცემა დამთავრდება $\xi(u < \xi < u + du, u \in (0, t)) - dF(u)$ დროში;
- 2) u - დროის განმავლობაში აღიძვრება პაკეტის დამახინჯება ერთზე მეტი მტყუნების გამო - $\sum_{i=2}^{\infty} \frac{(au)^i}{i!} e^{-au}$;
- 3) $(t-u)$ დროში დადგენილი იქნება ინფორმაციის დამახინჯების მიზეზები - $dG(v)$;

4) პაკეტის განმეორებით გადაცემის შედეგად მისი დამახინჯების გარეშე გადაცემა დამთავრდება $(t - u - v)$ -ზე ნაკლებ დროში.

პირველი მოდელის ანალოგიურად გამოვიყენებთ რა, ლაპლასის გარდაქმნას (2.53) და (2.54)-თვის, მივიღებთ:

$$\Phi_{(j)}(s) = \Phi_{j+1}(s)f(s + \alpha) + \alpha\tau e^{-(s+\alpha)\tau} \Phi_{j+1}^{(1)}(s) + g(s)\Phi_j(s) \times \\ \times [f(s) - f(s + \alpha) - \alpha\tau e^{-(s+\alpha)\tau}] \quad (2.55)$$

$$\Phi_j^{(1)}(s) = \Phi_{j+1}^{(1)}(s)f(s + \alpha) + [f(s) - f(s + \alpha)] \cdot g(s)\Phi_j(s) \quad (2.56)$$

ამოცანის შესრულება იწყება, როცა $j = n$, რადგან ამ დროს

$$\Phi_{n+1}(t) = 1(t), \text{ ხოლო } \Phi_{n+1}(s) = 1/s = \Phi_{n+1}^{(1)}(s)$$

(2.55) და (2.56) განტოლებებში გადავიდეთ საშუალო მნიშვნელობაზე. მივიღებთ:

$$T_j = \frac{T_{j+1}f(\alpha) + \alpha\tau f(\alpha)T_{j+1}^{(1)} + \tau_r[1 - f(\alpha) - \alpha\tau f(\alpha)] - \tau}{f(\alpha) + \alpha\tau f(\alpha)}$$

(2.57)

$$T_j^{(1)} = T_{j+1}^{(1)}f(\alpha) + T_j[1 - f(\alpha)] + \tau_\phi[1 - f(\alpha)] + \tau_s \quad (2.58)$$

(2.58) როცა $j = n$, მაშინ $T_{n+1}^{(1)} = 0$, რადგან ამოცანა უკვე დამთავრებულია. ამიტომ (2.58) განტოლებიდან:

$$T_n^{(1)} = [1 - f(\alpha)] \cdot T_n + [1 - f(\alpha)]\tau_\phi + \tau_s = \tau_s + [1 - f(\alpha)][T_n + \tau_\phi] \quad (2.59)$$

როცა $j = n - 1$, მაშინ

$$T_{n-1}^{(1)} = f(\alpha)[\tau_s + (1 - f(\alpha))(\tau_\phi + T_n)] + [(1 - f(\alpha))(T_{n-1} + \tau_\phi) + \tau_s] \quad (2.60)$$

როცა $j = n - 2$, მაშინ

$$T_{n-2}^{(1)} = f^2(\alpha)[\tau_s + (1 - f(\alpha))(\tau_\phi + T_n)] + f(\alpha)[(1 - f(\alpha))(T_{n-1} + \tau_\phi) + \tau_s] + \\ + [(1 - f(\alpha))(T_{n-2} + \tau_\phi) + \tau_s]$$

$$T_{n-j}^{(1)} = \sum_{i=0}^j f^{j-i}(\alpha)[(1 - f(\alpha))(T_{n-i} + \tau_\phi) + \tau_s]$$

(2.61)

აქედან გამომდინარე (2.58) რეკურენტულად ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$T_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-j} f^{n-j-i}(\alpha)[(1-f(\alpha))(T_{n-i} + \tau_\phi) + \tau_s] ; \quad j = \overline{1, n} \quad (2.62)$$

ანალოგიურად (2.57) , როცა $j = n$, მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$T_n = \frac{[1-f(\alpha) - \alpha\tau \cdot f(\alpha)]\tau_\phi + \tau_s}{f(\alpha) + \alpha\tau \cdot f(\alpha)} \quad (2.63)$$

შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$b = [1-f(\alpha) - \alpha\tau f(\alpha)]\tau_\phi + \tau_s ;$$

$$a = \alpha \cdot \tau \cdot f(\alpha)$$

მათი გათვალისწინებით, როცა $j = n-1$ და $j = n-2$, (2.57) ექნება შემდეგი სახე:

$$T_{n-1} = \frac{f(\alpha)T_n + a[(1-f(\alpha))(T_n + \tau_\phi) + \tau_s] + b}{a + f(\alpha)} ,$$

$$T_{n-2} = \frac{f(\alpha)T_{n-1} + a\{f(\alpha)[1-f(\alpha)](T_n + \tau_\phi) + \tau_s\} + [(1-f(\alpha))(T_{n-1} + \tau_\phi) + \tau_s] + b}{a + f(\alpha)} \quad (2.64)$$

ხოლო რეკურენტულად ჩაიწერება შემდეგი სახით:

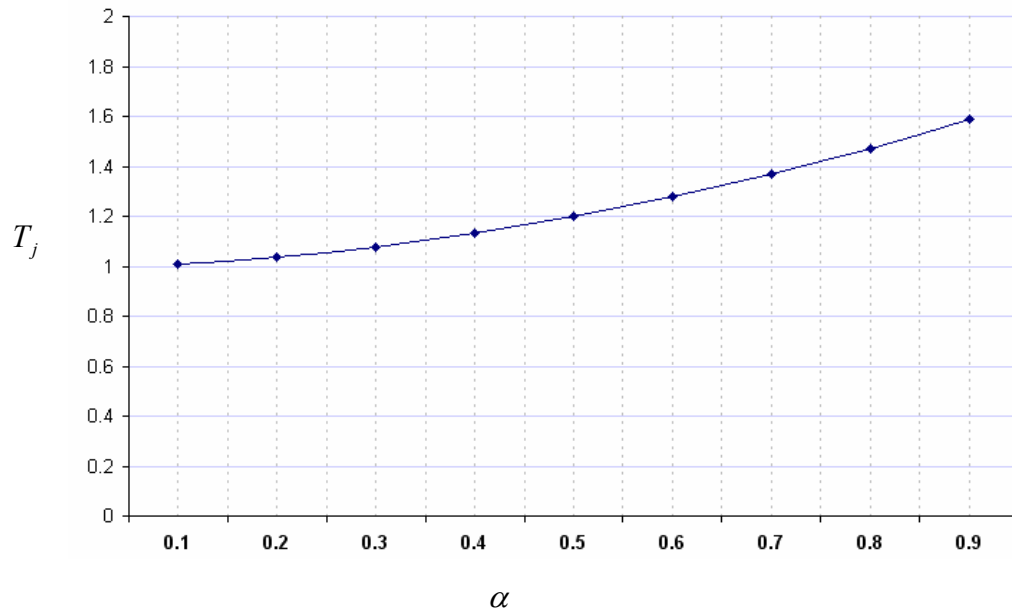
$$T_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-j} f(\alpha)^{n-j-i} [\alpha\tau f(\alpha)T_{n-i+1}^{(1)} + A]B^i}{B^{n-j+1}}$$

(2.65)

სადაც

$$B = f(\alpha) + \alpha\tau f(\alpha)$$

$$A = \tau [1-f(\alpha) - \alpha\tau f(\alpha)] + \tau_s$$



ნახაზი 2.4. შეტყობინების გადაცემის მათემატიკური
ლოდინის დამოკიდებულების α -ზე

ცხრილი 2.3

α	τ_{ϕ}	τ	$f(\alpha)$	$T_j^{(1)}$	T_j
0.1	1	1	0.90	1.19	1.01
0.2	1	1	0.82	1.37	1.04
0.3	1	1	0.74	1.54	1.08
0.4	1	1	0.67	1.70	1.13
0.5	1	1	0.61	1.86	1.20
0.6	1	1	0.55	2.03	1.28
0.7	1	1	0.50	2.19	1.37
0.8	1	1	0.45	2.36	1.47
0.9	1	1	0.41	2.54	1.59
1	1	1	0.37	2.72	1.72

ზემოთ განხილული მოდელი 2 და მოდელი 3-ის შედარებითი ანალიზის საფუძველზე მიღებული შემდეგები მოყვანილია ცხრილი 4-ში.

ცხრილი 2.4

n	Tj კორექციით	Tj კორექციის გარეშე	სხვაობა
1	0.0870128711561	0.4648253308878	0.377812459731687
2	0.0849462235012	0.4214142538390	0.336468030337829
3	0.0844986805003	0.4083973069035	0.323898626403234
4	0.0843606941048	0.4022891098084	0.317928415703587
5	0.0843339728230	0.3988420970720	0.314508124249013
6	0.0843597276276	0.3966981305029	0.312338402875304
7	0.0844143900959	0.3952888216359	0.310874431539997
8	0.0844866783001	0.3943343755899	0.309847697289831
9	0.0845705145566	0.3936810664058	0.309110551849274
10	0.0846623350435	0.3932374233781	0.308575088334590
11	0.0847599118902	0.3929456144791	0.308185702588941
12	0.0848617808067	0.3927672852864	0.307905504479697
13	0.0849669397542	0.3926759959878	0.307709056233613
14	0.0850746798718	0.3926529283562	0.307578248484393
15	0.0851844855547	0.3926843241368	0.307499838582135
16	0.0852959727915	0.3927598914947	0.307463918703228
17	0.0854088496960	0.3928717780045	0.307462928308561
18	0.0855228904403	0.3930138883425	0.307490997902211
19	0.0856379175649	0.3931814188551	0.307543501290238
20	0.0857537896848	0.3933705326270	0.307616742942215
21	0.0858703927636	0.3935781279365	0.307707735172874
22	0.0859876338044	0.3938016702183	0.307814036413923

23	0.0861054362092	0.3940390680988	0.307933631889564
24	0.0862237363158	0.3959719371568	0.309748200841016

ცხრილიდან ჩანს, რომ T_j კორექციის გარეშე ოპტიმალურ მნიშვნელობას მიიღებს, როდესაც $n=15$ და T_j კორექციით - $n=5$, როცა $C=800$, $N_{\rho}=100$, ხოლო $N_{\neq}=100000$.

2.4. ტექნიკური სისტემები მომუშავე დროითი სიჭარბით

ზემოთ განხილული მოდელების გარდა მოცემულ თავში განსაზღვრულია გარკვეული მოცულობის მქონე ამოცანის განაწილების ფუნქციის გარდაქმნა ლაპლასით და მისი საშუალო მნიშვნელობა სხვადასხვა კონტროლირებადი, აღმდგენი მომსახურე სისტემის მოდელებისათვის, რომელთაც გააჩნიათ სხვადასხვა სახის მტყუნებები.

ამასთან ერთად 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. გამოთვლითი პროცესის ოპტიმალური ორგანიზების მიზნით, ამოცანის შესრულების პროგრამა იყოფა ეტაპებად, რომლებიც სრულდება თანმიმდევრობით.

გამოთვლების სისწორე მოწმდება განუწყვეტლივ, პერიოდულად ან ყოველი ეტაპის ბოლოს, იმის მიხედვით, თუ როგორია კონტროლის სისტემა და გამოთვლითი პროცესის ორგანიზაციის სტრატეგია. 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 η დროს, რომელიც აუცილებელია განაწილების $F_{j1}(t)$ ფუნქციის მქონე ეტაპის წარმოქმნისათვის

და აგრეთვე მოიცავს $F_{j_2}(t)$ განაწილების ფუნქციის მქონე ეტაპის ამოხსნის საკუთარ დროს.

$$F_j(t) = F_{j_1}(t) * F_{j_2}(t), \quad \Psi(t) = F_1(t) * F_2(t) * \dots * F_n(t),$$

სადაც n -ეტაპების რაოდენობაა, ხოლო $*$ – ნახვევის სიმბოლო. საკონტროლო აპარატურის მტყუნებები და შეფერხებები η დროის განმავლობაში ეკვივალენტურია მომსახურე სისტემის მტყუნებებისა და შეფერხებებისა.

ვარაუდობენ, რომ მომსახურე სისტემის ქმედითუნარიანობის აღდგენისა ან კონტროლის პროცესში შეფერხება ან მტყუნება არ წარმოიქმნება და მანამდე წარმოქნილი შეფერხებები და მტყუნებები არ იწვევს ამოცანის გადაწყვეტის დროის ცვლილებას.

2.4.1. არასიმედო და არასარწმუნო მომსახურე სისტემა

ოპერატიულ აპარატურული კონტროლით

ოპერატიული აპარატურული კონტროლით მოწმდება 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, მაშინ ის არ წარმოადგენს აბსოლიტურად უტყუარს. ამიტომ კონტროლირებად მომსახურე სისტემაშიც შეიძლება თავი იჩინოს ისეთმა მტყუნებებმა, რომლებიც ვერ იქნა აღმოჩენილი აპარატურული კონტროლით. 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. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა მომსახურეობა იწყება ქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით.

ვთქვათ მტყუნებათა ნაკადი განაწილებულია პუასონის კანონით λ ინტენსივობით, რომელიც მოიცავს აგრეთვე საკონტროლო

აპარატურის მტყუნებების ინტენსივობას λ_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.

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ 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 $\alpha + \beta = \lambda$.

j ეტაპის შესრულების დასაწყების მომენტიდან ვიყენებთ შემდეგ აღნიშვნებს: ν_{j1} - აღმოჩენადი მტყუნების წარმოქმნის მომენტი; ν_{j2} - პერიოდული კონტროლის ჩატარების მომენტი (ყველა დარჩენილი $n - j - 1$ ეტაპის შესრულების მომენტი); $\eta_i(x)$ - x დროში შესრულებული ეტაპების რაოდენობა; ν_1 - შემთხვევითი დრო, რომელიც აუცილებელია მომსახურე სისტემის აღდგენისათვის; ν_2 - პერიოდული კონტროლისათვის აუცილებელი დრო; ξ_j - დროის ინტერვალი, რომლის განმავლობაშიც ხდება ამოცანის გადაწყვეტა დაწყებული j -რი ეტაპიდან, იმ პირობით, რომ ბოლო აღდგენა განხორციელდა j -ური ეტაპის შესრულების დაწყების წინ. ე.ი. შემდგომ აღმოჩენილ მტყუნებამდე ან პერიოდული კონტროლის დაწყებამდე. ავლნიშოთ ξ_j ინტერვალი ციკლით j . ცხადია, $\xi_j = \min(\nu_{j1}, \nu_{j2})$.

მომსახურე სისტემაზე ამოცანის შესრულების პროცესი შეიძლება აღწერილი იქნას შემდეგი მათემატიკური მოდელის დახმარებით. განხილული მომსახურე სისტემა შეიძლება იმყოფებოდეს n სხვადასხვა მდგომარეობაში. იმის და მიხედვით, თუ მოცემულ მომენტში, რა ნომერი აქვს ციკლს, რომელიც სრულდება. მომსახურე სისტემის i -ურ მდგომარეობაში ყოფნის დრო ($i = \overline{1, n}$) არის დამოუკიდებელი

შემთხვევითი სიდიდე. i -ური მდგომარეობიდან გადასვლის ალბათობა ნებისმიერი სხვა j მდგომარეობაში არ არის დამოკიდებული ადრე შესრულებული ციკლების ნომრებზე და გადასვლა ხდება ყოველთვის, როცა მომსახურე სისტემა გამართულია.

[38] –ის მიხედვით, აღვწერთ ეს მოდელი და განვიხილოთ როგორც ნახევრადმარკოველი პროცესი. თანახმად [38]-ის ნახევრადმარკოველი პროცესი მდგომარეობების უკანასკნელი $\varepsilon(e_1, e_2, \dots, e_n)$ რიცხვით სრულიად განისაზღვრება e_i მდგომარეობაში ყოფნის დროის განაწილების $P_i(t)$ ფუნქციით და e_i მდგომარეობიდან e_j მდგომარეობაში გადასვლის პირობითი $q_{ij}(t)$ ($j = \overline{1, n}$) ალბათობით, და იმ პირობით, რომ ნახევრადმარკოველი პროცესი t დროის განმავლობაში იმყოფება e_i -ურ მდგომარეობაში. მაგრამ, მოცემულ შემთხვევაში არ არის აუცილებელი განვსაზღვროთ პირობითი $q_{ij}(t)$ ალბათობები, არამედ საკმარისია ვიპოვოთ გადრამავალი $P_{ij}(t)$ ალბათობა იმისა, რომ სისტემა იმყოფება რა, e_i მდგომარეობაში t დროის განმავლობაში გადავა j მდგომარეობაში. აშკარაა, რომ მოცემულის თანახმად შესაძლებელია შემდეგი სამი მოვლენა:

1) u დროში, j -ური ციკლის დაწყების შემდეგ, მთავრდება დარჩენილი $\eta(u) = n - j + 1$ ეტაპების შესრულება, თანაც u დროის განმავლობაში არ ჩნდება არც აღმოჩენადი და არც აღმოუჩენადი მტყუნებები და მომსახურე სისტემა გადადის j -ური მდგომარეობიდან პერიოდული კონტროლის მდგომარეობაში (ამ მდგომარეობას ვუწოდოთ $n+1$ მდგომარეობა). ამ მოვლენის ალბათობა ტოლია:

$$\begin{aligned} P_{j, n+1}^{(0)}(u) du &= P[u < v_{j2} < u + du, v_{j2} < \min(v_{j1}, v_{j3})], \\ \eta_j(u) = n - j + 1 &= dF_*^{(n-j+1)}(u) e^{-\lambda u}, \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (2.66)$$

2) j -ური ციკლის დაწყების შემდეგ ჩნდება აღმოჩენადი მტყუნება, თანაც u დროში არ ჩნდებიან აღმოუჩენადი მტყუნებები და უშეცდომოდ სრულდებიან i ეტაპები. მომსახურე სისტემა გადადის j -ური ეტაპიდან $j+i$ ეტაპზე. ამ მოვლენის ალბათობა ტოლია:

$$\begin{aligned}
P_{j,j+i}^{(1)}(u)du &= P[u < v_{j1} < u + du, v_{j1} < \min(v_{j2}, v_{j3}), \\
\eta_j(u) = i] &= \alpha e^{-\lambda u} du [F^{(i)}(u) - F^{(i+1)}(u)], \quad i = 0, n-j
\end{aligned}
\tag{2.67}$$

3) u დროში და j -ური ციკლის დაწყების შემდეგ მოავრდება შესრულება დარჩენილი $\eta(u) = n - j + 1$ ეტაპების, თანაც u დროის განმავლობაში ადგილი აქვს ერთ აღმოუჩენად მტყუნებას მაინც და არ ჩნდება აღმოჩენადი მტყუნება, ან u დროში აღიძვრება აღმოჩენადი მტყუნება, თანაც ამ დროის განმავლობაში ადგილი აქვს ერთ აღმოუჩენად მტყუნებას მაინც და დარჩენილი $n - j + 1$ ეტაპების შესრულება არ არის დასრულებული, ე.ი. $\eta(u) \leq n - j$. რამდენადაც $(o - u)$ დროს ინტერვალში ადგილი ჰქონდა ერთ აღმოუჩენად მტყუნებას მაინც, მთელი ჩატარებული სამუშაო j -ური ციკლის დასაწყისიდან უფასურდება. მომსახურე სისტემა j -ური მდგომარეობიდან გადადის j -ური ეტაპის საწყის მდგომარეობაში. შესაბამისად ამ ხლომილობების ალბათობები ტოლია:

$$\begin{aligned}
P_{jj}^{(2)}(u)du &= P[u < v_{j2} < u + du, v_{j3} < v_{j2} < v_{j1}, \\
\eta_j(u) = n - j + 1] &= dF^{(n-j+1)}(u)[1 - e^{-\beta u}]e^{-\alpha u},
\end{aligned}
\tag{2.68}$$

$$\begin{aligned}
P_{ii}^{(3)}(u)du &= P[u < v_{j1} < u + du, v_{j3} < v_{j1} < v_{j2}, \\
\eta_j(u) \leq n - j] &= \alpha e^{-\alpha u} du [1 - e^{-\beta u}] [1 - F^{(n-j+1)}(u)].
\end{aligned}$$

აქ და შემდგომში ყველგან $F^{(n)} * (u)$ - არის $F(u)$ და $F^{(0)}(u) = 1$ განაწილების n -ჯერადი ნახვევი.

$(o - t)$ დროის ინტერვალში მომსახურე სისტემის i -დან j მდგომარეობაში გადასვლის ალბათობას აქვს შემდეგი სახე:

$$P_{ij}^\alpha(t) = \int_0^t P_{ij}(u) du \quad (\alpha = 0, 1, 2, 3)$$

განხილულ მოდელში მომსახურე სისტემის j -ურ მდგომარეობაში ყოფნის ξ_j დროს განაწილებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned}
P_j(t) &= P_{j,n+1}^{(0)}(t) + P_{jj}^{(2)}(t) + \sum_{i=0}^{n-j} P_{j,j+i}^{(1)}(t) + P_{jj}^{(3)}(t) = \\
&= 1 - [1 - F^{n-j+1}(t)]e^{-\alpha t}; \\
P_j(t, dt) &= P\{t < \xi_j < t + dt\} = dP_j(t).
\end{aligned}$$

აღვნიშნოთ τ_j -ით რეალური დრო, რომელიც აუცილებელია n ეტაპის მქონე ამოცანის გადასაწყვეტად, დაწყებული j -ური მდგომარეობიდან, გამართული მომსახურე სისტემის შემთხვევაში, ხოლო მისი განაწილება კი - $\Phi_j(t)$ -თი ე.ი.:

$$\Phi_j(t) = P[\tau_j < t]; \quad \Phi_j(t, dt) = P\{t < \tau_j < t + dt\} = d\Phi_j(t) \quad (2.69)$$

მაშინ, მტყუნებების დროს, მომსახურე სისტემის აღსადგენად დაკარგული ν_1 დროის და ν_2 დროის (რომელიც საჭიროა პერიოდული შემოწმებებისათვის) გათვალისწინებით, შეიძლება ჩაიწეროს სტოქასტურ განტოლებათა შემდეგი სისტემა τ_j $j = (\overline{1, n})$ -თვის:

$$\begin{aligned} \tau_j = & \sigma_{jj}^{(2)}(\xi_j)[\xi_j + \nu_2 + \tau'_j] + \sigma_{j, n+1}^{(0)}(\xi_j)[\xi_j + \nu_2] + \\ & + \sum_{i=0}^{n-j} \sigma_{j, j+i}^{(1)}(\xi_j)[\xi_j + \nu_1 + \tau'_{j+i}] + \sigma_{jj}^{(3)}(\xi_j)[\xi_j + \nu_1 + \tau'_j] \end{aligned} \quad (2.70)$$

სადაც, $\sigma_{jj}^{(k)}(\xi_j)$ ($j, i = \overline{1, n}, k = \overline{0, 3}$) კმნიან შეუთავსებელი ინდიკატორთა სისტემას და

$$\sigma_{jj}^{(k)}(\xi_j) = \begin{cases} 1 & \text{აღბათობით } P_{ji}^{(k)}(\xi_i, d\xi_i), \\ 0 & \text{აღბათობით } 1 - P_{ji}^{(k)}(\xi_i, d\xi_i), \end{cases}$$

τ_j, τ'_j ყოველი j -ს დროს დამოუკიდებლები და ერთნაირად განაწილებულნი არიან, τ'_j, ξ_j და $\sigma_{ij}^{(k)}(\xi), \tau'_j$ -წყვილ-წყვილად დამოუკიდებლები.

ამკარაა, რომ (2.69) და (2.70) -ის საფუძველზე შეიძლება დაიწეროს:

$$\begin{aligned} d\Phi_j(t) = & P[\sigma_{j, n+1}^{(c)}(\xi_j) = 1, \nu_2 < t - \xi_j] + \sum_{i=0}^{n-j} P[\sigma_{j, j+i}^{(1)}(\xi_j) = 1, \\ & \nu_1 + \tau'_{i+j} < t - \xi_j] + P[\delta_{jj}^{(2)}(\xi_j) = 1, \nu_2 + \tau'_j < t - \xi_j] + \\ & + P[\delta_{jj}^{(1)}(\xi_j) = 1, \nu_1 + \tau'_j < t - \xi_j] \quad , \end{aligned} \quad (2.71)$$

ან (2.66), (2.67) და (2.68)-ის გათვალისწინებით (2.71) განტოლება შეიძლება მივიყვანოთ შემდეგი ნახვევის ტიპის ინეგრალურ განტოლებათა სისტემამდე:

$$\begin{aligned}
\Phi_j(t) &= \int_0^t dF^{(n-j+1)}(u)e^{-\lambda u}V(t-u) + \\
&+ \sum_{i=0}^{n-j} \int_0^t \alpha e^{-\lambda u} [F^{(i)}(u) - F^{(i+1)}(u)] du \int_0^{t-u} dG(v)\Phi_{j+i}(t-u-v) + \\
&+ \int_0^t dF^{(n-j+1)}(u)[1 - e^{-\beta u}]e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dV(v)\Phi_j(t-u-v) + \\
&+ \int_0^t \alpha e^{-\lambda u} du [1 - e^{-\beta u}] [1 - F^{(n-j+1)}(u)] \int_0^{t-u} dG(v)\Phi_j(t-u-v), \\
&j = \overline{1, n},
\end{aligned} \tag{2.72}$$

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

გამოვიყენებთ რა (2.72) სისტემის მიმართ ლაპლასის გადრაქმნას და ამოვხსნით მას $\varphi_1(s) = \Phi_1(t)$ მიმართებით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
\varphi_1(s) &= \frac{v(s)}{s} \prod_{j=1}^n b_j(s)/a_j(s), \\
\text{სადაც } a_j(s) &= 1 - [f^{(n-j+1)}(s+\alpha) - f^{(n-j+1)}(s+\lambda)]v(s) - \\
&- \frac{\alpha[1 - f(s+\lambda)]g(s)}{s+\lambda} \left[\frac{f^{(n-j+1)}(s+\lambda) - 1}{s+\lambda} - \frac{f^{(n-j+1)}(s+\alpha) - 1}{s+\alpha} \right] \alpha g(s), \\
b_j(s) &= f(s+\lambda) - \alpha g(s)f(s+\lambda) \left[\frac{f^{(n-j)}(s+\lambda) - 1}{s+\lambda} - \frac{f^{(n-j)}(s+\alpha) - 1}{s+\alpha} \right] - \\
&- [f^{(n-j)}(s+\alpha) - f^{(n-j)}(s+\lambda)]f(s+\lambda)v(s); \\
\varphi_j(s) &= \int_0^\infty e^{-st} \Phi_j(t) dt \quad (j = \overline{1, n}), \quad g(s) = \int_0^\infty e^{-st} dG(t), \\
v(s) &= \int_0^\infty e^{-st} dV(t), \quad f(s) = \int_0^\infty e^{-st} dF(t)
\end{aligned} \tag{2.72}$$

წარმოადგენენ ლაპლასის გარდაქმნებს.

ადვილად ვრწმუნდებით რომ $\varphi_1(s)$ წარმოადგენს განაწილების ფუნქციას. მართლაც $\lim_{s \rightarrow 0} s\varphi_1(s) = 1$, როცა, $s \rightarrow 0$.

ვიციტ, რა $\varphi_1(s)$ შეიძლება ვიპოვოთ $\Phi_j(t)$ განაწილების ყველა მომენტი, თითოეული კონკრეტული შემთხვევისთვის. (2.72)-ის უკუგარდაქმნა შეიძლება მოვახდინოთ ცნობილი მიახლოების მეთოდით [23]. ქვემოთ მოვიყვანოთ გამოსახულებები მხოლოდ n ეტაპის მქონე ამოცანის შესრულების T_1 დროის მათემატიკური ლოდინისთვის, თუ მისი ამოხსნა იწყება გამართული მომსახურე სისტემის პირველი ეტაპიდან:

$$T_1 = -|s\varphi_1(s)|'_{s=0} = \tau_j + \sum_{j=1}^n d_j / a_j, \quad (2.73)$$

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

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

განვიხილოთ რამოდენიმე მაგალითი მიღებული ფორმულების გამოყენებით.

ა) არსებობს უმტყუნებელი ოპერატიული აპარატურული კონტროლი ($\beta = 0, R = 1$), პერიოდული კონტროლის გარეშე ($\tau_j = 0$). გამოვიყენებთ (1.39), (1.40) ფორმულებს ამ შემთხვევისათვის, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \varphi_1(s) &= (s + \alpha)^n f^n(s + \alpha) / s \{ s + \alpha - \alpha [1 - f(s + \alpha)] g(s) \}^n, \\ T_1 &= n(1 - \alpha\tau_{\text{სგ}}) [1 - f(\alpha)] / \alpha f(\alpha). \end{aligned}$$

განვსაზღვროთ ეტაპების ოპტიმალური რიცხვი, რომლის დროსაც ამოცანის შესრულების დროის მათემატიკური ლოდინი იქნება მინიმალური. ვთქვათ, მომსახურე სისტემის უშეცდომო მუშაობის პირობებში ამოცანის შესრულებისათვის საჭიროა მუდმივი T დრო, ხოლო ეტაპების წარმოქმნისათვის - τ_j , ე.ი.

$$f_1(s) = e^{-s\tau_j}, \quad f_2(s) = e^{-sT/n} \quad \text{და} \quad f(s) = f_1(s)f_2(s).$$

ამისათვის T -ს წარმოებულს n -ით გაუტოლებთ 0, რის შედეგად მივიღებთ:

$$n \approx [\alpha T / \sqrt{1 - e^{-\alpha\tau_j}}].$$

ბ) ოპერატიული აპარატურული კონტროლი არ არსებობს. მომსახურე სისტემის ფუნქციონირების სისწორე მოწმდება მხოლოდ პერიოდული კონტროლით ე.ი. არ არის აღმოჩენადი მტყუნებები ($\alpha = 0$).

ამ შემთხვევისთვის $\Psi(s) = f^n(s)$ გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \varphi_1(s) &= v(s)\Psi(s + \beta) / s \{ 1 - [\Psi(s) - \Psi(s + \beta)]v(s) \}, \\ T_1 &= (T + \tau_j) f^{-n}(\beta) = (T + \tau_j) / \Psi(\beta), \end{aligned}$$

სადაც $T = -nf'(0)$ – მომსახურე სისტემის უშეცდომოდ მუშაობის პირობებში მთელი ამოცანის შესრულების დროის მათემატიკური ლოდინია, ეტაპების წარმოქმნისათვის დაკარგული დროის გათვალისწინებით. როგორც მოსალოდნელი იყო, ამ შემთხვევაში ამოცანის გადაწყვეტის პროგრამის დაყოფა ცალკეულ ეტაპებად მიზანშეწონილი არ არის, რამდენადაც მომსახურე სისტემის ასეთი კონტროლის დროს გრძელდება ამოცანის გადაწყვეტის დრო.

2.4.2. მომსახურე სისტემა პროგრამული კონტროლით

ვთქვათ, შესრულებული სამუშაო დაყოფილია N ნაწილად, ხოლო თითოეული ნაწილი n ერთნაირად განაწილებულ ეტაპად. მომსახურე სისტემის მუშაობის შედეგების სისწორის შემოწმება ხდება ყოველ ეტაპზე ამოხსნის გამორების გზით, ორი ისეთი შედეგის გამოჩენამდე, რომლებიც ერთმანეთს ემთხვევა (არ არის აუცილებელი მიყოლებით). 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. დროის დანაკარგი,

ვთქვათ, $V(t)$ - არის პერიოდული კონტროლის განაწილების ფუნქცია, α – თვითმოცილებადი მტყუნებების ინტენსივობა; β – მდგრადი მტყუნებების ინტენსივობა.

შემოვიტანოთ ალბათობათა განაწილების ორი განსხვავებული ფუნქცია $\Phi_1(t)$ და $\Psi_1(t)$, თანაც $\Phi_1(t)$ არის 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.

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

$$\begin{aligned}
\Phi_j(t) &= \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v) + \\
&+ \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)e^{-\alpha v} \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha\tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \\
&+ \int_0^t dF(u)e^{-\alpha u} \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha\tau} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau) + \\
&+ \int_0^t dF(u)(1-e^{-\alpha u}) \int_0^{t-u} dF(v)(1-e^{-\alpha v}) \int_0^{t-u-v} dF(\tau)e^{-\alpha\tau} \times \\
&\times \int_0^{t-u-v-\tau} dF(v)e^{-\alpha v} \Phi_{j+1}(t-u-v-\tau-v) + \dots, \quad j = \overline{1, n}, n\Phi_{n+1}^{(i)}(t) = 1;
\end{aligned} \tag{2.74}$$

$$\begin{aligned}
\Psi_1(t) &= \int_0^t d\Phi_1(u)e^{-\beta u} V(t-u) + \int_0^t d\Phi_1(u)(1-e^{-\beta u}) \times \\
&\times \int_0^{t-u} dV(v)\Psi_1(t-u-v)
\end{aligned} \tag{2.75}$$

აშკარაა, რომ (2.74)-ის ყოველი წევრი ითვალისწინებს თითოეული ეტაპის ორ გადათვლას, განვლილს დამახინჯებების გარეშე. ე.ი. პირველი წევრი აღნიშნავს, რომ მოხდა ორი გადათვლა და ორივე წარმატებით (დამახინჯებების გარეშე); მეორე წევრი – დამახინჯებების გარეშე გაიარა მე-2 და მე-3 გადათვლა; მესამე წევრი - დამახინჯებების გარეშე ჩაიარა პირველი და მე-3 გადათვლებმა და ა.შ. (2.75) განტოლების პირველი წევრი აღნიშნავს იმის ალბათობას, რომ ამოცანის ამოხსნა მტყუნებების აღძვრის გარეშე დამთვარდება u დროში, ხოლო პერიოდული კონტროლისათვის საჭიროა $t-u$ დროზე ნაკლები; მეორე წევრი ეს არის ალბათობა იმის, რომ u დროის განმვლობაში გამოჩნდება ერთი მტყუნება მაინც; პერიოდული კონტროლი და აღდგენა დაიკავებენ v დროს და ერთი ნაწილის ამოხსნა დამთვარდება $(t-u-v)$ დროზე ნაკლებ დროში და ა.შ.

გარდავქმნით რა (2.74)-სა და (2.75)-ს და ამოვხსნით მათ $\varphi_1(s)$ და $\psi(s)$ მიმართ, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
\varphi_1(s) &= s^{-1} \{f(s+\alpha)/[1-f(s)+f(s+\alpha)]\}^{2n}, \\
\psi_1(s) &= [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda) / s \{ [1-f(s+\beta) + \\
&+ f(s+\lambda)]^{2n} [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} - v(s) f^{2n}(s+\alpha) + \\
&+ [1-f(s)+f(s+\alpha)]^{2n} v(s) f^{2n}(s+\lambda) \},
\end{aligned}$$

სადაც:

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

$$\varphi_1(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \Phi_1(t) dt, \quad \psi_1(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \Psi_1(t) dt.$$

გადავალთ რა საშუალო მნიშვნელობაზე, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} T_1^n &= -2nf'(0)f^{-1}(\alpha) && \text{და} \\ T_1 &= -[2nf'(0)f^{-1}(\alpha) + v'(0)] \times [1 - f(\beta) + f(\lambda)]^{2n} / f^{2n}(\lambda), \end{aligned} \quad (2.76)$$

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

მთელი ამოცანის ამოხსნის სრული საშუალო დრო:

$$T_0 = NT_1 \quad (2.77)$$

განვიხილოთ რამოდენიმე მაგალითი:

ა) არ არსებობს მტყუნება ($\beta = 0, v'(0) = 0$); (2.76)-დან მივიღებთ $T_1 = -2nf'(0)f^{-1}(\alpha)$, და თუ არ არსებობს შეფერხება ($\alpha = 0$), მაშინ მივიღებთ მთელი ამოცანის და ნაწილის ამოხსნის საშუალო დროს:

$$T_1 = -2nf'(0); \quad T_0 = -2nNf'(0);$$

ბ) არ არსებობს შეფერხება ($\alpha = 0$); (2.76), (2.77)-დან მივიღებთ

$$T_0 = -[2nf'(0) + v'(0)]f^{-2n}(\beta)N;$$

გ) T_0, τ_a, τ_b - ამოცანის გადაწყვეტის, ეტაპის წარმოქმნისა და პერიოდული კონტროლის დროები მუდმივი სიდიდეებია. ე.ი. მათი ლაპლასის გარდაქმნა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\Psi(s) = e^{-sT_0}, \quad f(s) = e^{-s(\tau_a + T_0/nN)}; \quad v(s) = e^{-s\tau_b}.$$

შესაბამისად (2.76)-დან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} T_1 &= \{2(n\tau_a + T_0/n)e^{(\tau_a + T_0/nN)(2\lambda n + \alpha)} + \\ &+ \tau_b e^{2(\tau_a + T_0/nN)\lambda n}\} \{1 - e^{-(\tau_a + T_0/nN)\beta} + e^{-(\tau_a + T_0/nN)\lambda}\}^{2n} \end{aligned}$$

დ) (2.76)-ში ჩავთვალოთ, რომ ამოცანის შესრულების დროს მომსახურე სისტემის უშეცდომო მუშაობის პირობებში ტოლია T_0 მუდმივი სიდიდის ე.ი. $T_0 = -nNf'(0)$ და $\alpha = 0$; ეტაპების წარმოქმნაზე დროის დანაკარგი არის მცირე და შეიძლება არ მიექცეს ყურადღება

($\tau_e = 0$). მაშინ N ნაწილების რაოდენობის ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც T_0 იღებს მინიმალურ მნიშვნელობას, ტოლია:

$$N_0 = [T_0(\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\beta/\tau_j})],$$

ხოლო მტყუნებათა შედარებით მცირე ინტენსივობის დროს ($\beta < 0,1$)

$$N_0 \approx [T_0(\beta + 2\sqrt{\beta/\tau_j})].$$

განვიხილოთ ზემოთ განხილული მოდელის კერძო შემთხვევა, როცა მომსახურება იწყება არაქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით:

$$\Psi_1^*(t) = \int_0^t d\Phi_1^*(u) \int_0^{t-u} \Psi_1(t-u-v) dV(v) \quad (2.78)$$

ამ გამოსახულების მიღებისას მხედველობაში იქნა მიღებული, რომ აღმოუჩენადი მტყუნება, რომელიც აღიძრა მოთხოვნათა მომსახურების დაწყების წინ, როცა მომსახურე სისტემა იმყოფებოდა თავისუფალ მდგომარეობაში, არ ცვლის არც $F(t)$ -ს და არც შეფერხებათა აღმოჩენის მიღებულ ალგორითმს. შესაბამისად $\Phi_1^*(t) = \Phi_1(t)$.

გამოვიყენებთ რა (2.78)-სთვის ლაპლასის გარდაქმნას, მივიღებთ:

$$\Psi_1^*(s) = s\varphi_1(s)\Psi_1(s)\nu(s).$$

შესაბამისად:

$$T_1^*(s) = -\lim_{s \rightarrow 0} (s\Psi^*(s)) = T_1^n + T_1 + \tau_k.$$

შეწვევტილი მოთხოვნის დაკარგვისას ადგილი აქვს:

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

შესაბამისად:

$$\Psi_1(s) = \varphi_1(s + \beta)\nu(s) + (\varphi_1(s) - \varphi_1(s + \beta))\nu(s)$$

სადაც $\varphi_1(s) = \Phi_1(t)$; $\nu(s) = V'(t)$.

2.4.3. მომსახურე სისტემა პროგრამულ – აპარატურული კონტროლით

შეფერხებების აღმოჩენა შესაძლებელია ამოცანის თითოეული ეტაპის ორმაგი რეალიზაციის მეთოდით, ხოლო მტყუნებების კი - აპარატურული საშუალებებით დროის იმავე იმტერვალში, ისევე როგორც შეფერხებები. შესრულებული სამუშაო გაყოფილია არაერთგვაროვან ეტაპებად მათი ამოხსნის დროის განაწილების ნებისმიერი $F_j(t)$, $j = \overline{1, n}$ კანონით, ხოლო შეფერხებებისა და მტყუნებების ინტენსივობები α_j და β_j , $j = \overline{1, n}$, შესაბამისად დამოკიდებულია გადასაწვევებ ეტაპებზე.

შევადგინოთ ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{aligned} \Phi_1(t) = & \int_0^t e^{-(\alpha_j + \beta_j)x} dF_{j2}^*(x) \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_{j+1}(t-x-y) + \\ & + \int_0^t dF_{j2}^*(x) e^{-\beta_j x} [1 - e^{-\alpha_j x}] \int_0^{t-x} dG_1(y) \Phi_j(t-x-y) + \\ & + \int_0^t \beta_j e^{-\beta_j x} [1 - F_{j2}^*(x)] dx \int_0^{t-x} dG_2(y) \Phi_1(t-x-y) \end{aligned} \quad (2.79)$$

$\Phi_{n+1}(t) = 1$; $j = \overline{1, n}$, სადაც $F_{j2}^*(x)$ არის $F_j(x)$ განაწილების ფუნქციის ორჯერადი ნახვევია.

გამოვიყენებთ რა (2.79)-თვის ლაპლასის გარდაქმნას მივიღებთ:

$$\begin{cases} a_j(s) \varphi_j(s) - b_j(s) \varphi_j(s) + c_j(s) \varphi_{j+1}(s) = 0 \\ \varphi_{n+1}(s) = \frac{1}{s}; \quad j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (2.80)$$

სადაც:

$$\begin{aligned} a_j(s) &= \frac{g_2(s) \beta_j [1 - f_j^2(p_{1j})]}{p_{1j}}, \\ b_j(s) &= 1 - g_1(s) [f_j^2(p_{1j}) - f_j^2(p_{2j})]; \\ c_j(s) &= g_1(s) f_j^2(p_{2j}); \quad p_{1j} = s + \beta_j; \quad p_{2j} = s + \alpha_j + \beta_j. \end{aligned} \quad (2.81)$$

(2.80) სისტემის ამოხსნისას T_j -ის მიმართებაში, აქვს სახე:

$$\varphi_1(s) = \left[\prod_{i=1}^n \frac{c_i}{b_i} \right] \left[1 - \sum_{m=1}^n a_m \prod_{i=1}^m \frac{c_i - 1}{b_i} \right]^{-1} \frac{1}{s}; \quad c_0 = 1. \quad (2.82)$$

გარდაეკმნით რა (2.82) სისტემას ამოცანის გადაწყვეტის საშუალო დროის T_j -ს მნიშვნელობასთან მიმართებაში, თუ მისი გადაწყვეტა იწყება j -ური ეტაპიდან, მივიღებთ:

$$\begin{cases} T_{n+1} = 0; & j = \overline{1, n} \\ a_{j0}T_1 - b_{j0}T_j + c_{j0}T_{j+1} = d_{j0} \end{cases} \quad (2.83)$$

სადაც: a_{j0}, b_{j0}, c_{j0} განისაზღვრებიან (2.83)-დან, ისინი ტოლია a_j, b_j, c_j როცა $s = 0$, $\partial d_{j0} = \left| a_j - b_j + c_j \right|_{s=0}$.

ამოვხსნით რა (2.83) განტოლებას T_1 -ის მიმართებაში, მივიღებთ:

$$T_1 = \frac{\sum_{m=1}^n d_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}}}{\left[\sum_{m=1}^n a_{m0} \prod_{i=1}^m \frac{c_{i-1,0}}{b_{i0}} \right] - 1} \quad (2.84)$$

აქ მიღებულია, რომ $c_{00} = 1$.

დასასრულს აღვნიშნოთ, რომ ამოცანის გადაწყვეტის დროის განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობას და მის მათემატიკურ ლოდინს, მომსახურე სისტემის საიმედოობის, კონტროლის სისტემის საიმედოობისა და ორგანიზაციის გათვალისწინებით, გააჩნია სერიოზული პრაქტიკული მნიშვნელობა, მომსახურე სისტემის დაპროექტებისას ძირითადი პარამეტრების სწორად არჩევისათვის, აგრეთვე გამოთვლითი პროცესის ოპტიმალური ორგანიზაციისათვის (n და N მნიშვნელობების შესაბამისი არჩევით. ე.ი. ამოცანის გადაწყვეტის საშუალო დროის მინიმუმის პირობებიდან) მისი ექსპლუატაციის პერიოდში.

2.5. შედარებითი ანალიზი

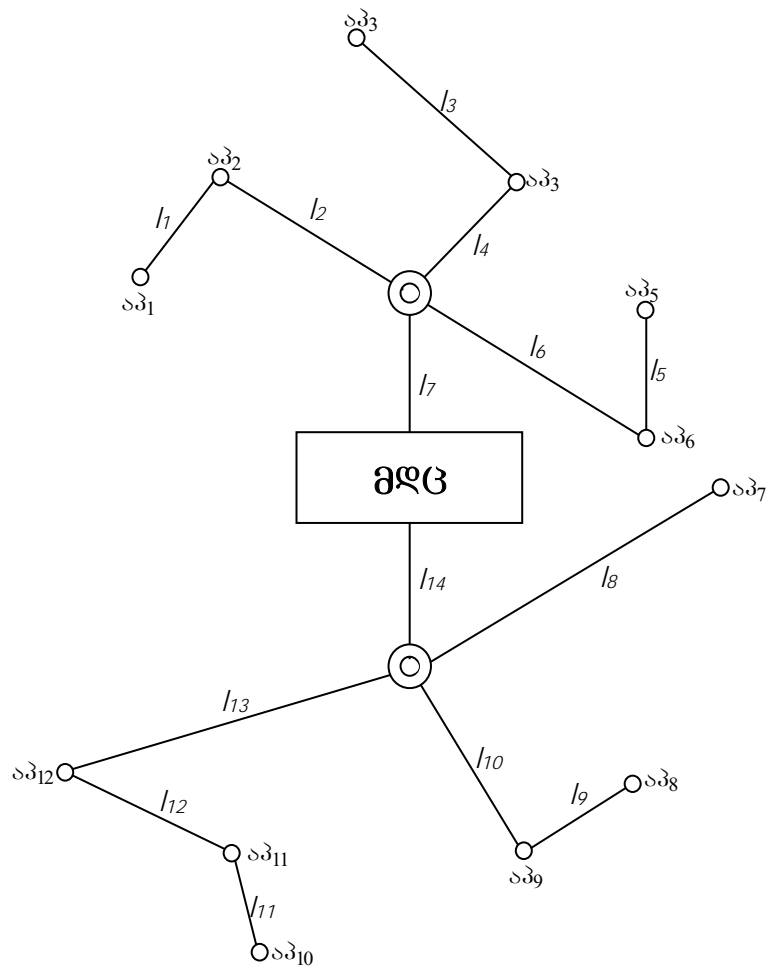
ზემოთ ჩატარებული მოდელის ანალიზი ეხებოდა ქსელის კომპონენტების ცალკეულ მახასიათებლებს. ახლა ვეცადოთ შევაფასოთ მიღებული მოდელის უპირატესობა ქსელის სტრუქტურების გათვლის დროს. ვინაიდან ქსელების პროექტირებისას ამჟამად ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ლ. კლეინროკის მოდელი (“კვადრატული ფესვის წესი”), ამიტომ მიზანშეწონილია შედარებით ანალიზისათვის გამოვიყენოთ ეს მოდელი. ამასთან ვიხელმძღვანელოთ მასალებითა და მაგალითებით, რომლებიც განხილულია [69]–ში.

ძირითადი სიძნელე ქსელის სტრუქტურის პროექტირებისათვის ამა თუ იმ მოდელის გამოყენების ეფექტურობის შეფასებაში მდგომარეობს იმაში, რომ ამ დროს გამოიყენება სხვადასხვა შეზღუდვები და დაშვებები, ხოლო სტრუქტურის ხარისხის შეფასება სწარმოებს მისი ეფექტურობის სხვადასხვა კრიტერიუმებით. ასე მაგალითად, ლ. კლეინროკს ქსელის სტრუქტურის ეფექტურობის კრიტერიუმად აღებული აქვს ქსელში შეტყობინებების (წყაროდან – მიმღებამდე) ჩაბარების საშუალო დროის მინიმუმი კავშირის არხების გამტარუნარიანობაზე დანახარჯების თვალსაზრისით ქსელის შექმნის ღირებულებაზე შეზღუდვების დროს. ჩვენს მიერ ჩატარებულ გამოკვლევაში კავშირის არხების გამტარუნარიანობის შერჩევის დროს ქსელის სტრუქტურის ეფექტურობის შერჩეულ კრიტერიუმს წარმოადგენს შეტყობინებების (პაკეტების) ჩაბარების საშუალო დროზე შეზღუდვების დროს მინიმალური შესაძლო ღირებულება, რომელიც უნდა იყოს ნაკლები ან ტოლი წინასწარ მოცემული რაღაც მნიშვნელობისა.

ამიტომ მოდელის შედარებითი ანალიზისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ საინფორმაციო ნაკადების იგივე მახასიათებლები და ეფექტურობის მისაღები კრიტერიუმების რიცხვითი მნიშვნელობები. ასეთ მახასიათებლებს მივაკუთვნოთ გზის (მანძილის) საშუალო სიგრძე, რომელზედაც გაივლის შეტყობინება, ინფორმაციის წყაროებიდან გადაცემული შეტყობინებების სიგრძისა და ნაკადების ერთნაირი ინტენსიობები. ეფექტურობის შესადარებელ კრიტერიუმად მივიღოთ ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დრო და სტრუქტურის შედარებისათვის შერჩეული კავშირის არხების გამტარუნარიანობაზე დანახარჯები. შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დროის შეფასებისას გამოიყენება ფორმულები არხის ღირებულების განხილვის დროს, რომელიც

პროპორციულია მისი გამტარუნარიანობის. აღნიშნულ თავში ისევე, როგორც კლეინროკის მოდელებში (“კვადრატული ფესვის” წესში) ერთეულად მიღებულია არხის ღირებულება 1 ბიტი/წმ გამტარუნარიანობით. აღნიშნულ პარაგრაფში მოცემული მოდელებისათვის შეტყობინებების ჩაბარების დრო განისაზღვრება (2.25) ფორმულით, ხოლო გამტარუნარიანობები კი (2.26) ფორმულით, რომლებსაც გააჩნიათ ვარიაციის კოეფიციენტი $K_I = 1$. ასეთი დაშვება გამოწვეულია იმით, რომ ლ. კლეინროკის ფორმულაში გათვალისწინებულია შეტყობინებათა სიგრძეების ექსპონენციალური განაწილების მქონე ერთგვაროვანი პუასონური ნაკადი. მისგან განსხვავებით (2.25) და (2.26) ფორმულებში აქ გავითვალისწინებთ აგრეთვე სამომსახურეო შეტყობინებებს, კავშირის არხების არასაიმედოობას, რაც ახასიათებს ქსელის მუშაობის მძიმე რეჟიმს, ე.ი. როცა მოსალოდნელია მისი მუშაობის ხარისხის მახასიათებლების გაუარესება.

ასეთი დაშვებების გათვალისწინებით განვსაზღვროთ კავშირის არხების გამტარუნარიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობები ნახ. 2.5–ზე გამოსახული ქსელის სტრუქტურისათვის (მაგალითის დემონსტრირების მიზნით იგი აღებულია [69]–დან). ნახ. 2.10–ზე პატარა წრეხაზებით გამოსახულია ინფორმაციის წყაროები, რომლის ქვეშაც ვგულისხმობთ სააბონენტო პუნქტებს (აპ). ორმაგი წრეხაზებით აღნიშნულია ქსელის კვანძები (მაგ. კომუტატორები). ანალიზის მასალის შემცირების მიზნით დაუშვათ, რომ სააბონენტო პუნქტიდან მთელი ტრაფიკი მიმართულია მონაცემთა დამუშავების ცენტრში (მდც).



ნახ. 2.5 ქსელის გასაანალიზებელი სტრუქტურა

ცხრილი 2.5

	აპ1	აპ2	აპ3	აპ4	აპ5	აპ6	აპ7	აპ8	აპ9	აპ10	აპ11	აპ12
λ_1	0.01	0.04	0.03	0.08	0.2	0.001	0.12	0.06	0.04	0.24	0.033	0.02
τ_1	800	840	120	450	120	1200	280	360	800	120	400	600
λ_2	0.02	0.03	0.06	0.06	0.4	0.003	0.2	0.04	0.02	0.2	0.02	0.02
τ_2	20	64	64	56	70	50	64	60	74	50	50	52

ნაკადების ინტენსიურობა (საინფორმაციო- λ_1 სამომსახურეო- λ_2)
 თითოეული აპ-დან მდც-ში შეტყობინებების საშუალო სიგრძეებით $\bar{\tau}_i (i = 1, 2)$
 მოყვანილია ცხრილ 2.5-ში. აპ-ებს შორის, ასევე აპ-სა და მდც-ს შორის
 საინფორმაციო გაცვლა იწვევს არსზე დატვირთვას, რომლის მნიშვნელობა
 მოცემულია ცხრ. 2.6.

ცხრილი 2.6.

აპ-ის №	არხის დატვირთვა ρ_i (ბიტი/წმ.)	$C_i^{\text{ობტ}}$ ბიტი/წმ. ლ. კლენროკის მიხედვით	$C_i^{\text{ობტ}}$ ბიტი/წმ (2.34) ფორმულის მიხედვით	\bar{T}_i ლ.კლენროკის მიხედვით
l_1	12.0645	17.0015	23.4892	81.4572
l_2	50.1279	60.1912	66.3317	49.8121
l_3	7.59825	11.5162	10.3966	21.5482
l_4	50.6526	60.7685	57.9235	21.7705
l_5	52.1916	62.46	55.0906	8.4712
l_6	54.3224	64.7984	57.308	8.55683
l_7	152.543	169.041	156.931	9.25312
l_8	48.3953	58.2832	53.4169	15.2949
l_9	25.6872	32.8911	34.1108	35.6578
l_{10}	62.3852	73.6117	75.2079	34.7309
l_{11}	39.1948	48.0923	42.162	10.0105
l_{12}	54.9187	65.452	58.6238	10.5757
l_{13}	69.5984	81.4561	73.9379	11.012
l_{14}	175.601	194.436	181.373	9.20342

განხილული სტრუქტურისათვის გამოთვლილი იყო ჯამური ნაკადის ინტენსიურობის სიდიდე (რომელმაც შეადგინა 1,949) და გზის საშუალო სიგრძე (ტოლი 2,899). ეს მონაცემები საჭიროა საკვლევი მოდელების გათვლებისათვის. გამტარუნარიანობის რაციონალური მნიშვნელობის განსაზღვრის დროს კავშირის თითოეული l_i არხისათვის მიღებული იყო შეყოვნების მოცემული დროის მნიშვნელობა $T_{ჩაბi} = 5$ წმ და მზადყოფნის კოეფიციენტი $K_{აi} = 0.99$, რომელიც ლ. კლეინროკის ფორმულებით არაა მხედველობაში მიღებული. ვვარაუდობთ, რომ შეტყობინებათა სიგრძეები განაწილებულია ექსპონენციალური კანონით. დასაწყისში შერჩეული იქნა სტრუქტურის გამტარუნარიანობა (2.34) ფორმულით. ამ დროს თითოეული არხის გათვლები მოყვანილია ცხრილ 2.7-ის მეოთხე სვეტში. მოელი ქსელის ჯამურმა გამტარუნარიანობამ და სტრუქტურის ღირებულებამ ($d_i(I) = I$ -ის დროს) შეადგინეს $D = \sum_i C_i^{ობ} = 946.3$ ერთეული. ამასთან ქსელში საშუალო შეყოვნება, შეფასებული $\bar{T}_{ჩაბ} = \bar{n} \cdot T_{ჩაბi}$ ფორმულის მიხედვით (რადგანაც გზის თითოეულ არხზე შეყოვნება შეადგენს 5წმ-ს) აღმოჩნდა ტოლი $\bar{T}_{ჩაბ} = 2.899 \cdot 5 = 14.5$ წმ.

მიღებული მონაცემები გამოყენებული იყო გამტარუნარიანობის გათვლისათვის “კვადრატული ფესვის” წესით მნიშვნელობების 946, 390 და 1000-მდე გაზრდით. თითოეული l_i არხის გამტარუნარიანობის გათვლის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ 2.7-ის მესამე სვეტში, ხოლო არხზე საშუალო შეყოვნებისათვის - მეხუთე სვეტში. ლ. კლეინროკის ფორმულისა და მეხუთე სვეტში მონაცემების მიხედვით გათვლილმა ქსელის საშუალო შეყოვნებამ შეადგინა 37წმ. აღნიშნული გათვლები გვიჩვენებს, რომ ქსელის გამტარუნარიანობის (ან ქსელის ღირებულების) სიდიდეზე ერთი და იგივე შეზღუდვის დროს “კვადრატული ფესვის” მიხედვით ქსელის სტრუქტურის შერჩევას მიყვავართ ჩაბარების დროის თვალსაზრისით უარესი შედეგისაკენ (ჩვენი მაგალითისათვის $\bar{T}_{ჩაბ}$ იზრდება 2,5-ჯერ).

იმ საკითხის გამოსაკვლევად რამდენჯერ უნდა გაიზარდოს სტრუქტურის გამტარუნარიანობა, რათა შემცირდეს 14წმ-მდე ლ. კლეინროკის ფორმულით გათვლილი საშუალო შეყოვნება ქსელში, შეიცვალა D შეზღუდვა მისი გაზრდის მიმართულებისაკენ. ასე მაგალითად:

$D=1250$ მნიშვნელობის დროს საშუალო შეყოვნება (ე. ი. ქსელში გამგზავნი-წყაროდან მიმღებ-მომხმარებელამდე პაკეტის ჩაბარების საშუალო დრო) შეადგენს $\bar{T}_{ჩაბ} = 13.63$ წმ. ასეთი შეზღუდვის დროს ქსელის კავშირის არხების გამტარუნარიანობის მნიშვნელობები და თითოეული არხზე საშუალო შეყოვნება მოყვანილია ცხრილ 2.7-ზე.

ცხრილი 2.7

არხის №	არხის დატვირთვა (ბიტი/წმ)	$C_i^{ობ}$ ბიტი/წმ. დ. კლენროკის მიხედვით	$C_i^{ობ}$ ბიტი/წმ (2.34) ფორმულის მიხედვით	\bar{T}_i ლკლენროკის ფორმულის მიხედვით
l_1	12.0645	25.4715	23.4892	29.9957
l_2	50.1279	77.4563	66.3317	18.3428
l_3	7.59825	18.238	10.3966	7.93486
l_4	50.6526	78.1237	57.9235	8.01674
l_5	52.1916	80.0769	55.0906	3.11942
l_6	54.3224	82.7713	57.308	3.15095
l_7	151.543	199.06	156.931	3.40736
l_8	48.3953	75.2473	53.4169	5.63218
l_9	25.6872	45.2502	34.1108	13.1306
l_{10}	62.3852	92.8723	75.2079	12.7893
l_{11}	39.1948	63.36	42.162	3.68626
l_{12}	54.9187	83.5233	58.6238	3.89438
l_{13}	69.5984	101.8	73.9379	4.05506
l_{14}	175.601	226.75	181.373	3.38906

ეს გათვლები გვიჩვენებენ, რომ ქსელში მინიმალური საშუალო შეყოვნების უზრუნველსაყოფად (“კვადრატული ფესვის” წესით) საჭიროა ქსელის უფრო მეტი გამტარუნარიანობა, ვიდრე იგივე მინიმალური საშუალო შეყოვნების მნიშვნელობის მისაღწევად ჩვენს მიერ დამუშავებული მეთოდით (2.26 ფორმულის გამოყენებაზე) დაზუსტებული გამტარუნარიანობა. ე. ი. უფრო კონკრეტულად რომ აღვნიშნოთ ჩვენს მიერ განხილული მაგალითისათვის ქსელის გამტარუნარიანობა საჭიროა თითქმის 1,25-ჯერ მეტი, ვიდრე ქსელისათვის, რომელიც გავთვალეთ (2.26) ფორმულის დახმარებით.

ამგვარად, საჭიროა კიდევ ერთხელ მივაქციოთ ყურადღება იმას, რომ ქსელის კავშირის არხების გამტარუნარიანობების განსაზღვრაში ლ. კლეინროკის მეთოდით ითვლება რომ კავშირის ყველა არხი აბსოლუტურად საიმედოა, ე. ი. მხედველობაში არ მიიღება შეტყობინებების დამატებითი შეყოვნება, რომელიც გამოწვეულია არხების მტყუნებით და შესაბამისად მათი აღდგენის დროებით. ამას გარდა, ლ. კლეინროკის მეთოდი არ ითვალისწინებს ნაკადების არაერთგვაროვნებას (როგორც სამომსახურეო, ისე საინფორმაციო). ეს კი, როგორც ნაჩვენებია იყო, იწვევს კიდევ უფრო დიდ შეცდომებს შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დროის გამოსაანგარიშებელ გამოთვლებში, აქედან გამომდინარე კი, ქსელის გამტარუნარიანობების ანგარიშში. შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ ლ. კლეინროკის მოდელები სამართლიანია ძირითადად იმ ქსელებისათვის, რომლებშიც კავშირის არხები საინფორმაციო ნაკადებით იტვირთებიან საკმაოდ უმნიშვნელოდ (0,2–0,3–მდე).

მეორე თავის დასკვნა

მიღებულია ქსელში შეტყობინებების (პაკეტების) ჩაბარების საშუალო დროის გათვლისათვის ანალიტიკური დამოკიდებულებები ქსელის საიმედოობისა და გამტარუნარიანობის გათვალისწინებით, რამაც საშუალება მოგვცა დადგინდეს არხის მზადყოფნის კოეფიციენტის სასაზღვრო კოეფიციენტის მნიშვნელობა, შეტყობინებების ჩაბარების დროზე.

მიღებულია მათემატიკური მოდელები ქსელის მზადყოფნის კოეფიციენტისა და გამტარუნარიანობის ეფექტური მნიშვნელობების შეფასებისათვის ქსელში გადასაცემი შეტყობინებების განაწილების ნებისმიერი კანონების დროს.

მიღებულია მათემატიკური მოდელი ქსელში პაკეტების გადაცემის რეალური დროის გათვლისათვის.

ნაჩვენებია კავშირის არხების მზადყოფნის კოეფიციენტისა და გამტარუნარიანობის მნიშვნელობების დამოკიდებულებები საინფორმაციო ნაკადების პარამეტრებზე, მტყუნებების აღმოფხვრის დროზე და შემკვეთის მიერ მოცემული შეტყობინებების ჩაბარების დროზე.

ამავე დროს განიხილება ტექნიკური სისტემის მომსახურების ფუნქციონირების მოდელები, რომლებიც განსხვავდებიან კონტროლის სისტემის ორგანიზებით (ამოცანის შესრულების მსვლელობის სისწორე მოწმდება უწყვეტად (აპარატურული კონტროლი)), პერიოდულად (პროგრამული) ან ყოველი ეტაპის ბოლოს, კომბინირებული (პროგრამულ-აპარატურული) იმ ვარაუდით, რომ შესასრულებელი ამოცანის მოცულობა და აღდგენის დრო წარმოადგენს შემთხვევითი სიდიდეს ნებისმიერი განაწილების კანონით, ხოლო მტყუნებათა და შეფერხებათა ნაკლები ემორჩილება პუასონის კანონს.

განისაზღვრება ნებისმიერი $F(t)$ მოცულობის მქონე ამოცანის შესრულების რეალური დროის $\Phi_1(t) = H(t)$ განაწილების ფუნქციები და მათი საშუალო მნიშვნელობები სხვადასხვა სახის მტყუნებების მქონე მომსახურე სისტემისათვის, რომელსაც გააჩნია ერთი ქმედითუნარიანი მდგომარეობა, როცა ამოცანის შესრულება (მოთხოვნათა მომსახურება) იწყება ქმედითუნარიანი მომსახურე სისტემით, შესრულებული სამუშაო მტყუნებით არ უფასურდება, ან ნაწილობრივ უფასურდება. ამ მტყუნებით შეწყვეტილი მოთხოვნა იკარგება.

ჩატარებულია ქსელის ეფექტური გამტარუნარიანობის შეფასების ძირითადი მეთოდების ანალიზი, რომელმაც გვიჩვენა, რომ 1,25-ჯერ მეტ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა კავშირის არხების გამტარუნარიანობის საანგარიშოდ.

მიღებული მათემატიკური მოდელები და სხვა შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც საფუძველი საინფორმაციო ქსელების სტრუქტურების პროექტირების მეთოდის დასამუშავებლად.

თავი 3. მონაცემთა მიღება-გადაცემის ეფექტური ქსელური სისტემების პროექტირების მეთოდის დამუშავება

3.1. ზოგადი მოთხოვნები და პროექტირების ძირითადი ეტაპები

ქსელის არსებით ნაწილს კვლევის შედეგების პრაქტიკულად გამოყენებისათვის წარმოადგენს სხვადასხვა დანიშნულების ქსელების ეფექტური სისტემური პროექტირების მეთოდის დამუშავება. ეს მეთოდის ბაზირდება ჩატარებული მონაცემების მიმღებ-გადამცემი ქსელებისა და მათი კომპონენტების მათემატიკური მოდელების გამოკვლევებზე, ქსელის სტრუქტურების ანალიზისა და სინთეზის შედეგებზე, ქსელის ეფექტური პარამეტრების გათვლისათვის საჭირო მიღებულ გამოსახულებებზე. იგი მოიცავს ორ ურთიერთდაკავშირებულ ნაწილს: საბაზო ვარიანტისა და ქსელის ოპტიმალური სტრუქტურის პროექტირების მეთოდის.

საინფორმაციო ქსელის ეფექტურობა მისი პროექტირების ეტაპებზე უზრუნველყოფილია მისი მუშაობის ხარისხის ძირითადი მახასიათებლების კომპლექსური გათვალისწინებით, იმ მოთხოვნების დასაბუთებით, რომლებიც წაყენება ქსელს და მის კომპონენტებს, ასევე ამ მოთხოვნების უზრუნველყოფით რაც შეიძლება მინიმალური მატერიალური და შრომითი რესურსების დანახარჯებით. მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება ქსელის სისტემას და მის კომპონენტებს, განსაზღვრული უნდა იყოს მისი დანიშნულებისა და ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე. ზოგად შემთხვევაში ქსელის სტრუქტურამ უნდა უზრუნველყოს უტყუარი ინფორმაციის გადაცემა წყაროდან მიღებამდე.

ინფორმაციის დროული ჩაბარების მახასიათებლებს ქსელის სტრუქტურის გათვლის დროს მიეკუთვნება: გამგზავნიდან მიმღებისაკენ ინფორმაციის ჩაბარების საშუალო დრო; ინფორმაციის ჩაბარების დროის დისპერსია; სისტემის რეაქციის დრო.

ზოგად შემთხვევაში ქსელის სტრუქტურის სისტემური პროექტირებისას გათვლილი უნდა იქნენ:

–რიგში ლოდინის საშუალო დრო და მისი დისპერსია ქსელის თითოეული კომპონენტისათვის;

–კომპონენტის ბუფერული მეხსიერების მოცულობა;

–ქსელური სისტემისა და კომპონენტების მზადყოფნის საჭირო ოპტიმალური კოეფიციენტი;

–კავშირის არხების საჭირო ეფექტური გამტარუნარიანობა;

–ინფორმაციის გადამცემი ქსელის რაციონალური სტრუქტურა.

გათვლების დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს ქსელის ყველა მთავარი პარამეტრების ურთიერთკავშირი, ასევე ამ პარამეტრების გავლენა ქსელში ინფორმაციის დროული ჩაბარების მახასიათებლების მნიშვნელობაზე; საინფორმაციო ნაკადები, რომლებიც ცირკულირებენ ქსელში და განისაზღვრებიან შერჩეული პროტოკოლით, აპარატურის არასაიმედოობით, ხელშეშლებით, დასაპროექტებელი ქსელის ეკონომიკური მაჩვენებლებითა და სხვა.

ქსელის სისტემური პროექტირების მთელი პროცესი მოიცავს შემდეგ ძირითად ეტაპებს:

–საწყისი მონაცემების ანალიზი და განზოგადოება, რომლებიც აუცილებელია ქსელისა და მისი კომპონენტების გათვლისათვის ქსელის პერსპექტიული განვითარებისა და საექსპლუატაციო პირობების გათვალისწინებით;

–ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა, რომელიც საშუალებას იძლევა შეფასდეს საჭირო ტექნიკური რესურსები და მათზე წაყენებული მოთხოვნები;

–ქსელის რაციონალური სტრუქტურის შერჩევა და მისი ძირითადი პარამეტრების ეფექტურ მნიშვნელობათა ანგარიში, რომელიც საშუა-

ლებას მოგვცემს ვუზრუნველყოთ უტყუარი ინფორმაციის დროული გადაცემა ქსელის შექმნაზე დანახარჯების მინიმიზაციის დროს.

გათვლების საწარმოებლად საჭიროა ვიცოდეთ საინფორმაციო ნაკადების განაწილების კანონები, სააბონენტო პუნქტებიდან გადაცემული შეტყობინებების სიგრძეები, მონაცემთა გადაცემის აპარატურის ამჟამად არსებული ტიპების ტექნიკური და ეკონომიკური მახასიათებლები, ქსელისათვის გამოყოფილი კავშირის არხების მახასიათებლები და მათი განლაგების ადგილმდებარეობები. საინფორმაციო ნაკადების განაწილების კანონებისა და შეტყობინებების სიგრძეების შესახებ ცნობების არ არსებობის დროს ქსელის პროექტირება სწარმოებს შემდეგი დაშვებებისა და შეზღუდვების გათვალისწინებით:

–საინფორმაციო ნაკადები სააბონენტო პუნქტებიდან, ასევე ხელშეშლების ნაკადები აღიწერება განაწილების პუასონური კანონით;

–მომხმარებელთა შეტყობინებების სიგრძეები და ქსელის კომპონენტებში მათი დამუშავების დრო განაწილებულია განაწილების ექსპონენციალური და რეგულარული კანონების მიხედვით;

–ქსელის აპარატურის მტყუნებათა ნაკადი მეტად მარტივია;

–მტყუნებათა აღმოფხვრის დრო ემორჩილება ექსპონენციალურ კანონს;

–სააბონენტო პუნქტებიდან მონაცემთა დამუშავების ცენტრში, ასევე ამ ცენტრიდან და ცალკეულ სააბონენტო სადგურებს შორის გადასაცემი შეტყობინებების ნაკადების ინტენსიობები და მათი სიგრძეების საშუალო მნიშვნელობა ცნობილია.

ქსელის ეფექტურობის ამაღლება ფასდება ქსელის შექმნაზე დანახარჯების შემცირების სიდიდით, იმ ქსელისა, რომელიც აკმაყოფილებს ინფორმაციის დროული ჩაბარების მოთხოვნებს.

3.2. საწყისი მონაცემების გათვლა და მათი განზოგადოება

ძირითად საწყის მონაცემებს წარმოადგენს: შემკვეთის მოთხოვნა ინფორმაციის ჩაბარების დროის მიმართ; სააბონენტო პუნქტების რაოდენობა, მათი გეოგრაფიული განლაგება ქსელისა და მონაცემთა დამუშავების ცენტრებისათვის გამოყოფილი კავშირის არხებთან დამოკიდებულებით; პარამეტრები საინფორმაციო ნაკადებისა (შეტყობინებების სიგრძე, მათი გადაცემის ინტენსიურობა), რომლებიც ცირკულირებენ ქსელში; ქსელისა და მისი კომპონენტების დატვირთვა საინფორმაციო ნაკადებით; ხელშეშლების ნაკადის ინტენსიურობა ან შეტყობინებების დამახინჯების ინტენსიობა; გამოყოფილი კავშირის არხების გამტარუნარიანობა და საიმედოობა; ეკონომიკური დანახარჯები კავშირის არხების არენდაზე; ქსელში გამოყენებული აპარატურის ღირებულება და კავშირის არხების სხვა ტექნიკური მახასიათებლები. ნაკადების პარამეტრების მიხედვით ძირითადი საწყისი მონაცემების ანგარიში მოიცავს შემდეგ ეტაპებს.

$N \times N$ ზომის მატრიცის შედგენა მომხმარებელთა a_t -დან a_s -კენ ინფორმაციის გადაცემის მოთხოვნილებათა მონაცემების მიხედვით. მატრიცა წარმოდგენილია ცხრ. 3.1-ის სახით.

ცხრილი 3.1.

	a_1	a_2	...	a_t	...	a_s	...	a_N	
a_1	–	γ_{12}	...	γ_{1t}	...	γ_{1s}	...	γ_{1N}	$\sum_{i=1}^N \gamma_{1i}$
a_2	γ_{21}	–	...	γ_{2t}	...	γ_{2s}	...	γ_{2N}	$\sum \gamma_{2i}$
\vdots	$\sum \dots$
a_t	γ_{t1}	γ_{t2}	...	–	...	γ_{t3}	...	γ_{tN}	$\sum \gamma_{ti}$
\vdots	$\sum \dots$

a_s	γ_{s1}	γ_{s2}	\dots	γ_{st}	\dots	–		γ_{sN}	$\sum \gamma_{si}$
\vdots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	$\sum \dots$
a_N	γ_{N1}	γ_{N2}	\dots	γ_{Nt}	\dots	γ_{Ns}	\dots	–	$\sum \gamma_{Ni}$
	$\gamma_{\text{შეს}1}$	$\gamma_{\text{შეს}2}$	\dots	$\gamma_{\text{შეს}t}$	\dots	$\gamma_{\text{შეს}s}$	\dots	$\gamma_{\text{შეს}N}$	$\gamma = \frac{NN}{iK} \sum \sum \gamma_{iK}$

აღნიშნულ მატრიცაში სტრიქონებისა და სვეტების გადაკვეთაზე, რომლებიც შეესაბამებიან ინფორმაციის გამგზავნებსა და მიმღებებს, დაისმება შეტყობინებების ან პაკეტების ნაკადის ინტენსიობა, გაგზავნილი a_t -დან a_s -კენ, ან უკუ მიმართულებით. ინტენსიობების ჯამი თითოეულ სტრიქონში შეესაბამება ნაკადის ჯამურ ინტენსიობას, რომელიც გაგზავნილია a_t ($t = \overline{1, N}$) წყაროდან. ინტენსიობების ჯამი კი სვეტში ახასიათებს ჯამურ ნაკადს, რომელიც მოდის a_s ($s = \overline{1, N}$) მიმღებზე.

მატრიცის ინტენსიობები ქმნიან არაერთგვაროვანი ნაკადების შესაბამის ინტენსიობებს, რომლებსაც აგზავნის ინფორმაციის წყარო. ეს კი მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული არაერთგვაროვანი ნაკადების მქონე სტრუქტურის გათვლის დროს. ამიტომ მსგავსი მატრიცა შეიძლება მიღებული იქნეს გადასაცემი ნაკადების ანალიზის დროს. მაშინ მატრიცის თითოეული უჯრედი შეიძლება შეიცავდეს სხვადასხვა სიგრძის შეტყობინებების ნაკადების რამოდენიმე ინტენსიობებს. აღნიშნულ მატრიცაში წყაროებს და მიმღებებს შეიძლება წარმოადგენდნენ სააბონენტო პუნქტები, სადგურები და სხვა კომპონენტები.

არაერთგვაროვანი ნაკადების რაოდენობის განსაზღვრა სწარმოებს გადაცემული შეტყობინებების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე (ბიტებში). შეტყობინება ეკუთვნის ერთ ნაკადს, თუ მათი საშუალო სიგრძეები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან არა უმეტეს 30%-ით. პრაქტიკული გათვლებისათვის შეტყობინებების არაერთგვაროვანი ნაკადების რაოდენობა შეიძლება მივიღოთ 2-ის ტოლად (საინფორმაციო შეტყობინებების ნაკადი და სამოსამსახურეო შეტყობინებების ნაკადი: განაც-

ხადები, გადაცემის დაწყების ნებართვები და ა. შ.). არაერთგვაროვანი ნაკადების მესამე სახეს წარმოადგენს ქსელის მტყუნებათა ნაკადები.

თითვეული არაერთგვაროვანი ნაკადის ინტენსიობების განსაზღვრა თითვეული t -ური სააბონენტო პუნქტისათვის ($t = \overline{1, N}$) სწარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$\gamma_{tsl} = \frac{K_{tsl}}{3600}, \quad s \neq t, \quad s = \overline{1, N} \quad (3.1)$$

სადაც K_{tsl} – l -ური ნაკადის შეტყობინებების საშუალო რაოდენობაა, რომლებიც იგზავნება a_t გამგზავნიდან a_s მიმღებისაკენ i -ური არხებით წლის ყველაზე დატვირთული თვის ყველაზე უფრო მაღალი დატვირთვის დღე-ღამის ხანგრძლივობის საათში.

შეცდომების აღბათობის განსაზღვრა გადასაცემ შეტყობინებაში, რომელიც ახასიათებს i -ური ნაკადის შეტყობინებების ინტენსიობას და რომელიც დამოკიდებულია ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარეზე, სწარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$P_{cj} = 1 - (1 - P_{\delta})^{n_j} \quad (3.2)$$

სადაც n_j -ბიტების რიცხვია j -ური ნაკადის შეტყობინებაში; P_{δ} -ერთი ბიტის დამახინჯების აღბათობაა, რომელიც განისაზღვრება არენდით აღებული კავშირის არხის ტექნიკური მონაცემებიდან.

განმეორებითი შეტყობინებების ინტენსიურობის განსაზღვრა a_t მომხმარებელიდან a_s -კენ სწარმოებს ფორმულით:

$$\gamma_{tsl}^n = \frac{K_{tsl}}{3600} \left(\frac{1 - \sigma_{\delta l}}{\sigma_{\delta l}} \right) \quad (3.3)$$

სადაც, $\sigma_{\delta j} = (1 - P_{cj})$.

(3.3) ფორმულის მიხედვით ანგარიში სწარმოებს ქსელის სტრუქტურის ანალიზის მიზნით მუშაობის დეიტაგრამული რეჟიმისა და შეტყობინებების კომუტაციისათვის.

ქსელის ჯამური ნაკადის, რომელიც მიმართულია მონაცემთა დამუშავების ცენტრისაკენ, ანდა სხვა სააბონენტო სადგურისაკენ i -ური არხით, ინტენსიობის განსაზღვრა სწარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$\lambda_i = \sum_{t=1}^{N'} \gamma_t, \quad s \neq t, \quad s = \overline{t, N'}, \quad (3.4)$$

სადაც N' – სააბონენტო სადგურების, პუნქტების საერთო რაოდენობაა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ინფორმაციას მონაცემთა დამუშავების ცენტრს, ან შესაბამის სააბონენტო სადგურს i -ური არხით.

მონაცემთა გადასაცემი ქსელისა და მისი კომპონენტების დატვირთვის ანგარიში სწარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით:

1) ქსელის არხების დატვირთვის განსაზღვრა a_i -სა და a_s -ს შორის თითოეული არაერთგვაროვანი ნაკადის მიხედვით დეიტაგრამული რეჟიმის ან შეტყობინებების კომუტაციისათვის სწარმოებს ფორმულით:

$$\rho_{il} = \mu_{isl} \bar{\tau}^c \quad (3.5)$$

სადაც $\bar{\tau}_{il}^c$ – i -ურ არხში l -ური ნაკადის შეტყობინებების მომსახურების საშუალო დროა (წმ-ში); μ_{isl} – შეტყობინებების მომსახურების ინტენსიურობა (1/წმ - ში).

2) მომსახურების დროის კავშირი შეტყობინებების სიგრძესთან, რომელიც იზომება ბიტებში, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\bar{\tau}_{il}^c = \frac{\bar{\tau}_{il}^\delta}{C_i} = \bar{t}_{il} \quad (3.6)$$

სადაც $\bar{\tau}_{il}^\delta$ – j -ური ნაკადის შეტყობინებების საშუალო სიგრძეა ბიტებში სამისამართო (სამომსახურეო) ნაწილის გათვალისწინებით; C_i – i -ური არხის გამტარუნარიანობა ბიტი/წმ-ში.

3) კავშირის i -ური არხის ჯამური დატვირთვის განსაზღვრა სწარმოებს ფორმულით:

$$\rho_i = \sum_{t=1}^{N'} \sum_{l=1}^{K_{\Sigma}} \gamma_{tsl} \bar{\tau}_{tsl} \quad (3.7)$$

ქსელის აპარატურის მტყუნებათა ნაკადების ინტენსიობისა და მათი დაძველების განსაზღვრა სწარმოებს საყოველთაოდ მიღებული სტანდარტების მიხედვით. ამასთან კავშირის არხებში მტყუნებათა ინტენსიობა, ანდა მათი დაძველების ხანგრძლიობა დგინდება კავშირგაბმულობის საარენდო ხაზების ტექნიკური მახასიათებლების მიხედვით მათი გაჭიმულობის (გეოგრაფიული გადაფარვის სიგრძეების) მხედველობაში მიღებით.

საწყისი მონაცემების გათვლა ვირტუალური შეერთებების რეჟიმისათვის შეიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

1) სამომსახურეო შეტყობინებების რიცხვის განსაზღვრა, რომელიც უზრუნველყოფს საინფორმაციო შეტყობინების ან პაკეტის უშეცდომო ჩაბარებას მიღებული პროტოკოლის საფუძველზე;

2) გადასაცემი სამომსახურეო ან შეტყობინებების სიგრძეების განსაზღვრა, რომლებსაც ადგენს პროტოკოლი (ბიტებში);

3) თითოეული a_t მომხმარებელიდან a_s მიმღებისაკენ გადასაცემი შეტყობინებების ნაკადის ინტენსიობის განსაზღვრა (3.1) ფორმულით;

4) შეტყობინების მომსახურეობის საშუალო დროის განსაზღვრა კავშირის i -ურ არხში;

5) კავშირის i -ური არხის დატვირთვის განსაზღვრა საინფორმაციო l -ური ნაკადით, მიმართული ერთპაკეტიანი შეტყობინებებით, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\rho_{iil} = \lambda_{tsi} \bar{\tau}_l \quad (3.8)$$

6) საინფორმაციო შეტყობინებების მომსახურეობის საშუალო დროის განსაზღვრა კავშირის i -ურ არხში სწარმოებს ფორმულით:

$$\bar{\tau}_i = n \bar{\tau}_l \quad (3.9)$$

სადაც n - პაკეტების რაოდენობაა შეტყობინებაში;

7) კავშირის i -ური არხის დატვირთვის განსაზღვრა მრავალპაკეტიანი შეტყობინებით სწარმოებს ფორმულით:

$$\rho_{ilr} = \lambda_{tsi} \bar{\tau}_l \quad (3.10)$$

8) კავშირის i -ური არხის ჯამური დატვირთვის განსაზღვრა ვირტუალური შეერთებების ნაკადით განისაზღვრება, როგორც:

$$\rho_i = \sum_{l=1}^{N'_l} \sum_{l=1}^{K'_l} \lambda_{tsi} \bar{\tau}_l \quad (3.11)$$

სადაც N'_l – წყაროების რაოდენობაა, რომლებიც იყენებენ i -ურ არხს ვირტუალური შეერთებებისათვის; K'_l – სხვადასხვა სიგრძეების მიხედვით ერთი ან მრავალპაკეტიანი შეტყობინებების საერთო რაოდენობაა.

3.3. ინფო-კომუნიკაციური ქსელური სტრუქტურების საბაზო

ვარიანტის გათვლა

ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა სწარმოებს კავშირის არხების მინიმალური გაჭიმულობით სტრუქტურის საბაზო ვარიანტის შერჩევას, ამასთან არხების რაოდენობისა და გამტარუნარიანობის, ქსელის ძირითადი კომპონენტების შემადგენლობის განსაზღვრის მიზნით, რაც შეამცირებს გამოთვლების რაოდენობას ქსელის ეფექტური სტრუქტურის საბოლოო განსაზღვრისათვის. საბაზო ვარიანტის გათვლის დროს მხედველობაში მიიღება ქსელის ტოპოლოგიისა და მისი კომპონენტების რაოდენობის დამოკიდებულება საბონენტო პუნქტების რაოდენობაზე, საინფორმაციო პარამეტრების მნიშვნელობებზე, არენდირებული კავშირგაბმულობის ხაზების ტექნიკური მახასიათებლებზე და იმ მოთხოვნებზე, რომლებსაც უყენებს შემკვეთი მომხმარებელთა მხრიდან ინფორმაციის დროულ ჩაბარებაზე (წყაროდან მიმღებამდე).

ვინაიდან აღნიშნული სადისერტაციო ნაშრომის წინა თავებში ჩატარებული გამოკვლევების ძირითად მიზანში არ ხდებოდა ქსელის საბაზო სტრუქტურის შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტის გათვალისწინება, ითვლე-

ბოდა რა, რომ ასეთი სტრუქტურა უკვე არსებობს, ამიტომ ამჯერად საბაზო სტრუქტურის აგების მეთოდის გამოცემის დროს მოყვანილი იქნება პროექტირების ძირითადი ეტაპების მხოლოდ შინაარსი და მათი თანმიმდევრობა, საიდანაც ჩანს წინა თავში მიღებული კვლევის შედეგების მნიშვნელობა.

საბაზო სტრუქტურების გასათვლელ ძირითად საწყის მონაცემებს წარმოადგენს შემკვეთის მიერ მოცემული შეტყობინებების ჩაბარების დრო $T_{\text{ჩაბ}}$ ან მონაცემთა გადამცემი ქსელის რეაქციის დრო, ხოლო აუცილებლობის შემთხვევაში კი მათი დასაშვები გადახრა (დისპერსია) $\sigma_{\text{ჩაბ}}^2$.

ქსელის გამტარუნარიანობა შეირჩევა ისე, რომ შეტყობინებათა პრიორიტეტული ნაკადების გათვალისწინებით დაცული იყოს პირობა:

$$\bar{T}'_{\text{ჩაბ}i} \leq \bar{T}_{\text{ჩაბ}i} \quad (3.12) \quad \text{ან} \quad \bar{T}_{\text{ჩაბ}} \geq \bar{T}'_{\text{ჩაბ}} \quad (3.13)$$

$$\text{სადაც, } \bar{T}'_{\text{ჩაბ}} = \sum_{i=0}^{r'} (\bar{w}_i + \bar{t}'_{\text{მომხ},i}) \quad (3.14)$$

$\bar{T}'_{\text{ჩაბ}}$ – შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დროა; \bar{w}_i – შეტყობინებების შეყოვნების საშუალო დროა i -ური ($i=1, r'$) არხის რიგში (წმ); r' – არხების რაოდენობა, რომლებსაც გაივლიან შეტყობინებები წყაროდან მიმდებამდე; $\bar{t}'_{\text{მომხ},i}$ – შეტყობინებების მომსახურების საშუალო დრო კავშირის i -ურ არხში, რომელიც განსაზღვრულია (3.6) ფორმულით (წმ). ქსელის რეაქციის დრო განისაზღვრება როგორც სხვაობა:

$$\bar{T}_{\text{ტ}} = \bar{T}'_{\text{ჩაბ}} - \bar{w}_{\text{ბა}} \quad (3.15)$$

სადაც $\bar{w}_{\text{ბა}}$ – საბონენტო პუნქტზე გადაცემის დაწყების ლოდინის დროა.

3.3.1. ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურის გათვლა

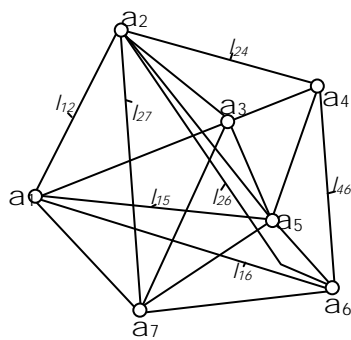
როგორც ვიცით კავშირის ხაზების მინიმალური გაჭიმულობის მქონე ქსელს გააჩნია “ხის” ტოპოლოგია. მოყვანილი მასალა საშუალებას იძლევა აიგოს ასეთი ტოპოლოგია. ამიტომ აქ განხილული იქნება მხოლოდ ძირითადი მეთოდური მიდგომები “ხის” სტრუქტურის ძირითადი მახასიათებლების გასათვლელად, რომელიც საჭიროა ქსელის უფრო რთული საბაზო სტრუქტურის ასაგებად.

ქსელის გაჭიმულობის მინიმიზაცია დაკავშირებულია კონცენტრატორებისა და კომუტატორების საჭირო რაოდენობის განსაზღვრასთან და მათ გეოგრაფიულ განლაგებასთან. ამ ამოცანის გადაწყვეტა საშუალებას მოგვცემს შემცირდეს კავშირის ხაზების დანახარჯები მათ არენდაზე. თავის მხრივ, სააბონენტო სადგურების რაოდენობა დამოკიდებულია მათ ტექნიკურ მახასიათებლებზე (ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარეზე, სააბონენტო სადგურებთან მიერთებული სააბონენტო პუნქტების რაოდენობაზე და სხვა), რომლებიც განსაზღვრავენ კონცენტრატორის ღირებულებას. ცხადია, სააბონენტო სადგურებს შორის რაც უფრო მეტი რაოდენობაა გამოყენებული ქსელში, მით უფრო ნაკლებია სააბონენტო პუნქტებისა და სააბონენტო სადგურების კავშირის ხაზების სიგრძე. თუმცა ამ დროს იზრდება დანახარჯები ისეთ კომპონენტებზე, როგორცაა კომუტატორები ან კონცენტრატორები, რომელთა ღირებულება დამოკიდებულია მათზე მიერთებული სააბონენტო პუნქტების რაოდენობაზე, ხოლო სააბონენტო სადგურებს შორის საჭიროა გამოყენებული იქნეს კავშირის უფრო მაღალსიჩქარიანი არხები. ყოველივე ეს მეტყველებს იმაზე, რომ ზოგად შემთხვევაში სააბონენტო სადგურების რაციონალური რაოდენობის განსაზღვრისათვის საჭიროა გამოყენებული იქნეს მათემატიკური მოდელირების მეთოდები. თუმცა აქვე შევნიშნოთ, რომ ქსელის ღირებულება არც თუ ისე მგრძობიარეა კონცენტრატორების ან კომუტატორების ზუსტი განლაგებების მიმართ. სააბონენტო სადგურების გადაადგილება რაიმე არეს შიგნით რამოდენიმე კილომეტრებითაც კი არ იწვევს მაინც და მაინც დიდ სხვაობას ქსელის ღირებულებაში. კოლექ-

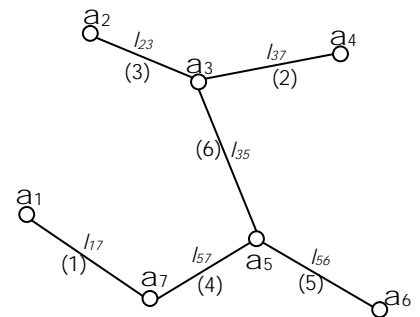
ტიური მომსახურების (“მაგისტრალის” ან “მარყუქის”) არსებზე მიმაგრებული სააბონენტო პუნქტების მცირე რიცხვის დროს სააბონენტო სადგურების, მათი გეოგრაფიული განლაგება შეიძლება ვაწარმოოთ ხელით – რუკების დახმარებით, რომელთა მიხედვითაც ვსაზღვრავთ შესაბამის მანიძლებს. მარტივ შემთხვევაში ერთნაირი სააბონენტო სადგურების ოპტიმალური რაოდენობა, რომლებზედაც სააბონენტო პუნქტები მიუერთდება რადიალურად, განისაზღვრება სააბონენტო სადგურების რაოდენობის მიმდევრობითი გაზრდის გზით მანამდე, სანამ არ შესრულდება პირობა:

$$E_6 K_{სს} + U_{სს} + \sum_i^f U_{ა,ღ_i}(l_{6,ღ_i}) = \min \quad (3.16)$$

სადაც, $K_{სს}$ – სააბონენტო სადგურების რაოდენობაა “მაგისტრალში” (“მარყუქში”); $U_{სს}$ – ერთი სააბონენტო სადგურის ღირებულებაა; $U_{ა,ღ_i}(l_{6,ღ_i})$ – $l_{6,ღ_i}$ – გაჭიმულობის მქონე კავშირის არხის არენდის ღირებულებაა ქსელის ერთი წლით ექსპლუატაციის დროს; E_6 – ნორმატიული კოეფიციენტი.



ა)



ბ)

$$l_{12} = 28, \quad l_{17} = 15, \quad l_{16} = 34, \quad l_{13} = 29, \quad l_{14} = 45, \\ l_{27} = 43, \quad l_{25} = 34, \quad l_{26} = 51, \quad l_{23} = 17, \quad l_{43} = 16,$$

$$l_{46} = 41, \quad l_{45} = 34, \quad l_{47} = 58, \quad l_{67} = 35, \quad l_{65} = 18,$$

$$l_{73} = 39, \quad l_{74} = 53, \quad l_{75} = 17, \quad l_{35} = 20, \quad l_{15} = 19.$$

ნახ. 3.1 ა) არამიმართლებიანი ქსელი წიბოების მოცემული მანძილებით: ბ) უმოკლესი ხის აგების თანმიმდევრობა, სადაც ფრჩხილებში ნაჩვენებია წიბოების შეყვანის რივი.

სააბონენტო პუნქტებისათვის a_1, a_2, \dots, a_7 , რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 3.1 ა)–ზე, მიღებულია ქსელი “ხის” ტოპოლოგიით, რომელიც ხასიათდება არხების მინიმალური გაჭიმულობით (ნახ 3.1 ბ). ასეთი ქსელისათვის ცხადია, რომ მიზანშეწონილია სააბონენტო სადგურები განლაგდეს a_3, a_5 , და a_7 პუნქტებში. თუმცა ასეთი განლაგება დამატებით დაზუსტებული უნდა იქნეს (3.16) ფორმულის გათვლების შემდეგ, გამოიყენება რა ამ დროს დანახარჯების კონკრეტული მნიშვნელობები სააბონენტო სადგურებზე და კავშირის ხაზებზე.

პირობა (3.16), როგორც აღნიშნული იყო, სამართლიანია თავიანთი ტექნიკური მახასიათებლებით ერთნაირი სააბონენტო სადგურებისათვის. განსხვავებული სააბონენტო სადგურებისათვის (3.16)–ის პირველი წევრი უნდა შეიცავდეს დანახარჯების ჯამს დაყენებაზე. ამას გარდა (3.16) გამოსახულება ითვალისწინებს დანახარჯებს კავშირის არხებზე მათი გაჭიმულობის მიხედვით, რაც არ წარმოადგენს ყოველთვის არხის არენდის ღირებულების განმსაზღვრელს. დიდ გავლენას არხების ღირებულებაზე ახდენს მათი გამტარუნარიანობის სიდიდე. ამიტომ მივიღებთ რა ხის მსგავს ტოპოლოგიას, საჭიროა შეფასდეს მისი კავშირის არხების საჭირო გამტარუნარიანობა.

კავშირის არხების საჭირო გამტარუნარიანობა სწარმოებს მე–2 თავში ნაჩვენები (2.33) ფორმულით.

დასკვნითი ეტაპი ხის მაგვარი სტრუქტურის გათვლის დროს მდგომარეობს კავშირის არხების მზადყოფნის საჭირო კოეფიციენტების განსაზღვრაში (2.27) ფორმულის მიხედვით და “ხის” სტრუქტურაზე დანახარჯე-

ბის გათვლაში სარეზერვო არხებისა და მათი საჭირო გამტარუნარიანობის გათვალისწინებით.

ქსელის ხის მსგავსი ღირებულების საერთო შეფასება ნორმატიული კოეფიციენტის გამოთვლების გარეშე სწარმოებს ფორმულით:

$$Q_{gc} = \sum_{i=1}^f U_{a, \text{დ}_i} + \sum_{i=1}^f m'_i U_{a, \text{დ}_i} (l_{\text{გ.დ}_i}, C_i) \quad (3.17)$$

სადაც m'_i – კავშირის სარეზერვო i -ური არხების რიცხვია. დანარჩენი აღნიშვნები შეესაბამება (3.16) ფორმულაში მიღებულ აღნიშვნებს.

ხის მსგავს სტრუქტურაზე დანახარჯების ანგარიშის წარმოება საჭიროა ქსელის საბაზო სტრუქტურაზე დანახარჯებთან შესადარებლად.

3.3.2. ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა

ქსელის საბაზო სტრუქტურის შერჩევა სწარმოებს ისეთი სტრუქტურის მიღების მიზნით, რომლის ეკონომიკური და ტექნიკური მახასიათებლები არსებითად უკეთესია ვიდრე ინფორმაციის გადაცემის ხისმაგვარი რეკომისათვის დისციპლინით “პირველი მოვიდა – პირველი მომსახურდა”. საბაზო სტრუქტურა საშუალებას იძლევა შემცირდეს გამოთვლების მოცულობა ნულიდან დაწყებული შესაქმნელი ქსელის ოპტიმიზაციის დროს, როცა ქსელმა უნდა იმუშაოს არსებული პროტოკოლების მიხედვით. საფუძველს საბაზო სტრუქტურის მისაღებად წარმოადგენს წინა პარაგრაფში მიღებული ქსელი ხისმაგვარი ტოპოლოგიით, რომელიც განაპირა პუნქტების მიმდევრობით შეერთების გზით გარდაიქმნება მარყუჟის სტრუქტურაში, ხოლო შემდეგ უჯრედოვანში კავშირის ყველა არხების მინიმალური შესაძლო გაჭიმულობით.

ქსელის საბაზო სტრუქტურის შერჩევისა და გათვლის თანმიმდევრობა დაიყვანება შემდეგზე:

1) ხისმაგვარი სტრუქტურიდან პუნქტების შეერთების გზით წარმოიქმნება მინიმალური შესაძლო რაოდენობის “მარყუქის” ერთობლიობა, რომელიც უზრუნველყოფს სტრუქტურის წარმოქმნაზე დანახარჯების მინიმუმს. ამ მიზნით სწარმოებს ერთმანეთს შორის არაჩაკეტილი პუნქტების შესაძლო შეერთებების გადარჩევის ოპერაციები, რომლის დროსაც მიიღწევა ქსელის საერთო გაჭიმულობის (სიგრძის) მინიმუმი. ასე მაგალითად, ნახ. 3.2-თვის რომელიც იმეორებს ნახ. 3.1 ბ-ს (იმ განსხვავებით, რომ a_1, a_2, \dots, a_7 პუნქტები წარმოადგენენ სააბონენტო სადგურებს), ასეთი შეერთებები შეიძლება იყოს l_{12} და l_{46} ; l_{13} და l_{25} ; l_{45} და l_{36} , რომლებიც წარმოქმნიან მარყუქის ორ ან მეტ რიცხვს. პირველ ეტაპზე შეერთებებს l_{12} და l_{46} ეძლევა უპირატესობა, თუ კი დაცულია უტოლობა:

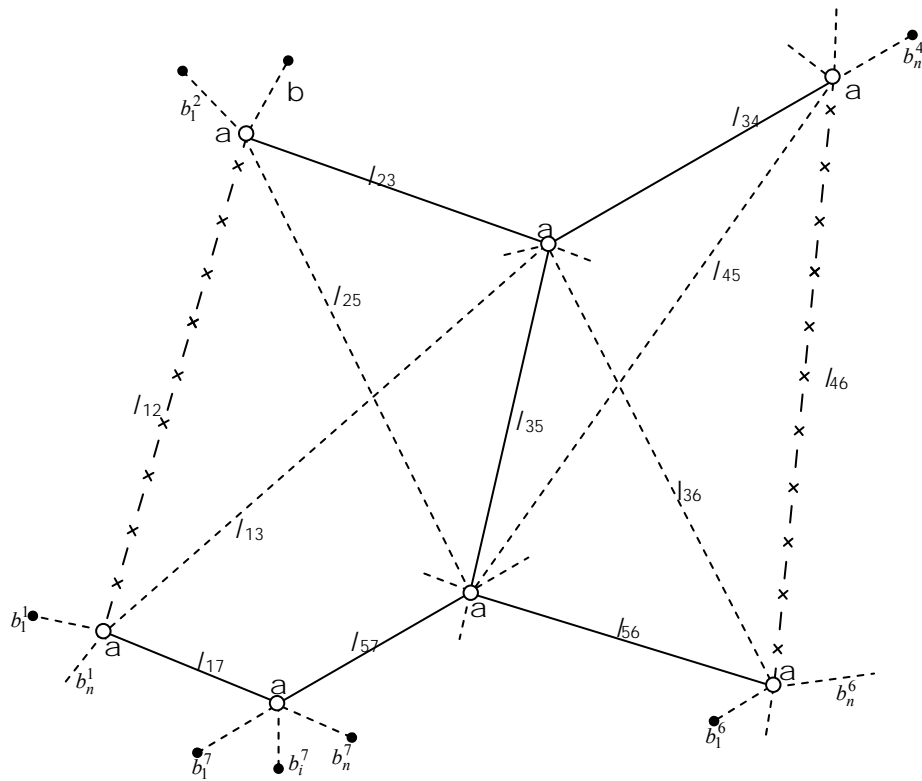
$$l_{12} > l_{13} + l_{25} \quad \text{და} \quad l_{46} < l_{45} + l_{36} \quad (3.18)$$

სტრუქტურების ეს მიღებული ვარიანტები შეუდარდება ერთმანეთს იმ სარეზერვო არხების საერთო რაოდენობის მიხედვით, რომლებიც აუცილებელია ქსელში ინფორმაციის დროული ჩაბარების უზრუნველსაყოფად. საბაზოს სახით შეირჩევა სტრუქტურის ის ვარიანტი, რომელიც ფლობს სარეზერვო არხების ნაკლებ რაოდენობას და მათ ნაკლებ ღირებულებას. ქსელის გამტარუნარიანობები დასაწყისში შეირჩევა ერთნაირი გამტარუნარიანობების დიდი მნიშვნელობით მათთან შემხები კავშირის არხებით.

ასე მაგალითად, l_{12} არხისათვის გამტარუნარიანობა შეირჩევა l_{23} ან l_{17} არხის გამტარუნარიანობის ტოლი, მაგრამ უპირატესობა ეძლევა სიდიდეს იმ არხისათვის, რომელსაც აქვს უფრო დიდი გამტარუნარიანობა. ანალოგიურად l_{46} არხისათვის გამტარუნარიანობა შეირჩევა l_{34} ან l_{56} -ის ტოლი. თუმცა l_{13} , l_{25} , l_{36} და l_{45} არხებისათვის გამტარუნარიანობა შეირჩევა l_{35} არხის გამტარუნარიანობის ტოლი, რომელიც გათვლილია “ხის” სტრუქტურისათვის.

2) სტრუქტურების მიღებული თითოეული ვარიანტისათვის აიგება სტრუქტურული მატრიცა, რომელიც ნახ. 32-ზე წარმოდგენილი საბაზო სტრუქტურის პირველი ვარიანტისათვის წარმოდგენილია ცხრილი 32-ით.

ავიყვანთ რა მიმდევრობით სტრუქტურულ მატრიცებს მეორე, მესამე, მეოთხე და ა.შ. ხარისხში, ვიღებთ ყველა შესაძლო გზებს სააბონენტო სადგურების ნებისმიერ წყვილს შორის იმ რანგს, რომელიც ტოლია მატრიცის აყვანილი ხარისხის.



ნახ. 32. ქსელის საბაზო სტრუქტურის წარმოქმნის მაგალითი.

a_1, a_2, \dots, a_7 – სააბონენტო სადგურების განლაგების ადგილები,

b_1^j, b_2^j, \dots – სააბონენტო სადგურებთან მიერთებული პუნქტები.

ცხრილი 3.2

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	l_{12}	0	0	0	0	l_{17}
2	l_{12}	1	l_{23}	0	0	0	0
3	0	l_{23}	1	l_{34}	l_{35}	0	0
4	0	0	l_{34}	1	0	l_{46}	0
5	0	0	l_{35}	0	1	l_{56}	l_{57}
6	0	0	0	l_{56}	l_{46}	1	0
7	l_{17}	0	0	0	l_{57}	0	1

3) გამოითვლება იმ ნაკადის მაქსიმალურად დასაშვები ინტენსიობა, რომელიც შეიძლება მიმართული იქნეს ქსელის სტრუქტურის წარმომქმნელი ვარიანტების თითოეულ i -ურ არხში შემდეგი ფორმულით:

$$\lambda_{i \max} = \frac{c_i}{\bar{t}_i} - \frac{I}{T_{\text{ნად}i}} \quad (3.19)$$

სადაც, $\bar{t}_i = \frac{\sum_k \lambda_j \bar{t}_j}{\sum_k \lambda_j}$ – შეტყობინების საშუალო სიგრძეა ქსელში,

რომელიც განისაზღვრება გამოსახულებით რომელშიც აჯამდა სწარმოებს ყველა არაერთგვაროვანი ნაკადებით, დადგენილი საჭირო მონაცემების

გამოთვლის დროს; c_i – i -ური არხის გამტარუნარიანობა; $T_{\text{ბაბ}_i}$ – შეტყობინების დრო, მოცემული i -ური არხისათვის, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$T_{\text{ბაბ}_i} = \frac{T_{\text{ბაბ}}}{n}, \quad \bar{n} = \frac{\lambda}{\gamma}, \quad (3.20)$$

სადაც $\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ – კავშირის ყველა არხებში ნაკადების ჯამური ინტენსივობა; $T_{\text{ბაბ}}$ – მოცემული დაყოფნა მთელი ქსელისათვის; N – ქსელში არხების რიცხვი; $\gamma = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \gamma_{jk}$ – ჯამური ინტენსივობა ყველა ნაკადებისა, რომლებიც მიეწოდებიან ქსელში სააბონენტო პუნქტებიდან.

4) სტრუქტურის თითოეული ვარიანტისათვის ყველა a_i წყაროდან a_s მიმღებისაკენ კავშირის არხების მიხედვით განაწილდება საინფორმაციო ნაკადები $\lambda_{i \max}$ (3.19) მნიშვნელობის გათვალისწინებით. პირველ რიგში ამ მნიშვნელობაში შევლენ ნაკადები იმ მეზობელი სააბონენტო სადგურებიდან, რომლებსაც გააჩნიათ კავშირის პირდაპირი არხი, ხოლო შემდეგ კი ნაკადები შედარებით ყველაზე უფრო ახლოს მდებარე სააბონენტო სადგურებიდან. სხვა სააბონენტო სადგურებიდან ნაკადები, რომლებიც აღემატებიან $\lambda_{i \max}$ ინტენსივობების მნიშვნელობას a_i -დან a_s -სკენ გაიგზავნებიან ყველაზე უმოკლესი შემოვლითი გზით.

5) გამოითვლება ქსელის ეფექტური გამტარუნარიანობა სტრუქტურების მიღებული ვარიანტებისათვის აბსოლუტურად საიმედო არხების დროს და იმ არხებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი მზადყოფნის კოეფიციენტი K_{a_i} .

აბსოლუტურად საიმედო კავშირის არხის ოპტიმალური გამტარუნარიანობის ანგარიში სწარმოებს (2.32) ფორმულით, ხოლო არასაიმედო არხებით კი (2.38) ფორმულით. ამასთან, სანამ შევუდგებოდეთ ანგარიშს (2.38) ფორმულის მიხედვით, საჭიროა შემოწმდეს შემდეგი პირობების

დაცვა: i -ური არხის გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი – K_{∂_i} უნდა აკმაყოფილებდეს უტოლობას:

$$K_{\partial_i} > \frac{\bar{t}}{T_{\text{ნაბი}} + \bar{t}_{\text{აღდგ}}} \quad (3.21)$$

სადაც $\bar{t}_{\text{აღდგ}}$ – კავშირის არხის აღდგენის საშუალო დროა მისი მტყუნების შემდეგ.

კავშირის i -ური არხის გამტარუნარიანობის სიდიდე უნდა აკმაყოფილებდეს უტოლობას:

$$C_i > \frac{\rho_{oi}}{K_{\partial_i}} \quad (3.22)$$

სადაც ρ_{oi} – i -ური არხების ჯამური დატვირთვაა საინფორმაციო და სამომსახურეო შეტყობინებებით (ბიტი/წმ-ში).

(3.21) და (3.22) უტოლობებიდან ერთ-ერთის შეუსრულებლობაც კი მეტყველებს იმაზე, რომ ქსელში კავშირის არხის გამოყენება ასეთი მასხასიათებლებით არ შეიძლება. იგი უნდა შეიცვალოს ახლით ანდა წარმოიქმნას არხი პარალელურად მომუშავე რამოდენიმე არხით.

6) გამოითვლება საბაზო სტრუქტურების კავშირის ყველა არხების მზადყოფნის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობა ფორმულით (2.50). აღნიშნულ ფორმულაში ვარიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება ერთის ტოლი, ხოლო არხებში ნაკადების ინტენსიობებს კი აქვთ მნიშვნელობები, რომლებიც დადგინდება აღნიშნული პარაგრაფის მე-4 პუნქტში.

7) განისაზღვრება საბაზო სტრუქტურის თითოეული ვარიანტის წარმოქმნილი “მარყუქის” მზადყოფნის ოპტიმალური მნიშვნელობა რისთვისაც:

– განისაზღვრება მზადყოფნის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობა წარმოქმნილი გარშემოვლითი გზებისა – $K_{\text{ა.აშ}}^{\text{ობ}}$, რომლებიც შედგებიან r_j არხებისაგან:

$$K_{a.აგ}^{\text{ობ}} = \prod_{i=1}^{r_j} K_{აi}^{\text{ობ}}; \quad i = 1, 2, \dots, r_j, \quad s = 1, 2, \dots \quad (3.23)$$

– იძებნება მზადყოფნის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობა s -ური “მარყუქისა”. $K_{ა.აგ}^{\text{ობ}}$ ($s = 1, 2, \dots$) ხისმაგვარი სტრუქტურის ძირითად “მაგისტრალთან” დამოკიდებულებით (ნახ. 3.2-სათვის ძირითად “მაგისტრალს” წარმოადგენს l_{35}) შემდეგი ფორმულით:

$$K_{ა.აგ.ს}^{\text{ობ}} = 1 - \left(1 - K_{ა.აგ}^{\text{ობ}}\right) \left(1 - K_{ა.აგ.ს}^{\text{ობ}}\right), \quad (s = 1, 2, \dots) \quad (3.24)$$

სადაც, $K_{ა.აგ}^{\text{ობ}}$ – ხისმაგვარი სტრუქტურის ძირითადი მაგისტრალის მზადყოფნის ოპტიმალური კოეფიციენტია საბაზო სტრუქტურაში მისი გარდაქმნის შემდეგ; $s = 1, 2, \dots$ – წარმოქმნილი “მარყუქის” ნომრის ინდექსი.

8) განისაზღვრება “მარყუქის” მზადყოფნის კოეფიციენტი, წარმოქმნილი არასაიმედო არხებისაგან:

$$K_{ა.აგ.ს} = 1 - \left(1 - K_{ა.აგ.ს}\right) \left(1 - K_{ა.აგ.ს}\right) \quad (3.25)$$

სადაც, $K_{ა.აგ.ს} = \prod_{i=0}^{r_j} K_{აi}$, r_j – არხებისაგან შემდგარი s -ური “მარყუქის” გარშემოვლითი გზის მზადყოფნის კოეფიციენტი; $K_{ა.აგ.ს}$ – “მაგისტრალის” კავშირის არხის მზადყოფნის კოეფიციენტი.

9) სწარმოებს s -ური “მარყუქის” დუბლირების აუცილებლობის შეფასება შემდეგი გამოსახულების დახმარებით:

$$r_s = \frac{\lg(1 - K_{ა.აგ.ს}^{\text{ობ}})}{\lg(1 - K_{ა.აგ.ს})} - 1 \quad (3.26)$$

სადაც r_s – “მარყუქის” დამატებითი რაოდენობაა, რომელიც გათვლების შემდეგ წილადი მნიშვნელობის დროს მრგვალდება უახლოეს მთელ რიცხვამდე.

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

$$m_{r_c} = \frac{\lg(1 - K_{\text{მ.მ.არ.ს}}^{\text{ოპტ}})}{\lg(1 - \prod_{l=1}^{r_c} K_{\text{მ}_i})}, \quad r_c = 1, 2, \dots \quad (3.27)$$

სადაც r_c - არხების რიცხვია, რომლებიც ქმნიან გზას a_t -დან a_s -მდე. m_{r_c} წილადი მნიშვნელობის დროს სწარმოებს დამრგვალებას უახლოეს მთელ რიცხვამდე.

11) სწარმოებს მე-10 პუნქტში გათვლილი კავშირიანობის მნიშვნელობის უზრუნველყოფის შემოწმება სტრუქტურისათვის, რომელიც წარმოქმნილია აღნიშნული პარაგრაფის 1-ლი პუნქტის ოპერაციის გზით მე-2 პუნქტში მიღებული გათვლის მონაცემების დახმარებით.

თუ m_{r_c} მნიშვნელობა a_t და a_s კვანძების რაიმე წყვილისათვის მეტია შემოვლითი გზების რიცხვზე, მაშინ კვანძების ეს წყვილი შეუერთდება ერთმანეთს დამატებითი გზების შესაბამისი რაოდენობით, ე.ი. იცვლება ქსელის საბაზო სტრუქტურის თავდაპირველი ვარიანტი. ახალი დამატებითი გზების წარმოქმნის დროს საჭიროა მიღწეული იქნეს მათი მინიმალური გაჭიმულობა, გამოვიყენებთ რა §3.3.1-ის რეკომენდაციებს. ამას გარდა საჭიროა მივისწრაფოდეთ იმისაკენ, რომ წარმოქმნილ გზაში იყოს შეუალეღური კვანძების (სააბონენტო სადგურების) მინიმალური რიცხვი.

12) განისაზღვრება დანახარჯები განსახილველი საბაზო სტრუქტურის თითოეულ ვარიანტზე “მარყუჟის” დუბლირების შემთხვევისათვის (პუნქტი 9) და შემთხვევისათვის, როდესაც კვანძების თითოეულ a_t და a_s წყვილს მიუერთდება შემოვლითი გზები (3.17) ფორმულის მიხედვით.

13) საბაზო სტრუქტურის შესაძლო ვარიანტებიდან ამოირჩევა ის, რომელიც ხასიათდება ნაკლები დანახარჯებით კავშირის არხების საერთო გაჭიმულობაზე, რომელსაც გააჩნია არხის გამტარუნარიანობის საჭირო მნიშვნელობა. ამასთან იგულისხმება არხის ღირებულების წრფივი დამოკიდებულება მის გამტარუნარიანობაზე.

14) სწარმოებს ქსელში შეტყობინებების დროული ჩაბარების პირობა ფორმულით:

$$\bar{T}_{\text{ჩაბ}} = \sum_{i=1}^M \frac{\lambda_i}{\gamma} \bar{T}_i \quad (3.28)$$

სადაც, M – არხების რიცხვია რეზერვირებისა და დუბლირების გათვალისწინების გარეშე; λ_i – i -ურ არხში ნაკადების ჯამური ინტენსივობაა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით (3.4); $\gamma = \sum_i^N \sum_k^N \gamma_{ik}$ – ქსელში

შემავალი (მიწოდებული) ნაკადების ჯამური ინტენსივობაა. \bar{T}_i -ს მნიშვნელობა მოიძებნება (2.5) ფორმულის დახმარებით.

საბაზო ქსელში ინფორმაციის დროული ჩაბარება ფასდება შემდეგი დამოკიდებულებით $\bar{T}_{\text{ჩაბ}} \leq T_{\text{ჩაბ}}$ სადაც, $\bar{T}_{\text{ჩაბ}}$ – ინფორმაციის ჩაბარების საშუალო დროა, ხოლო $T_{\text{ჩაბ}}$ – ინფორმაციის ჩაბარების დრო, რომელიც მოიცემა შემკვეთის მიერ.

საბაზო ვარიანტის შერჩევის შემდეგ, რომელიც ფლობს კავშირის ჭარბ არხებს, სწარმოებს ქსელის ოპტიმალური სტრუქტურის გათვლა.

3.4. ქსელის საბაზო სტრუქტურის ოპტიმიზაციის მეთოდика

ქსელის საბაზო სტრუქტურის ოპტიმიზაციის ძირითადი მიზანი მდგომარეობს დანახარჯების შემცირებაში კავშირის არხებზე და ქსელის გამოცდაზე ინფორმაციის დროული ჩაბარების მიზნით. ამიტომ საფუძველს ოპტიმიზაციისათვის წარმოადგენს რეზულტატები, რომლებიც მიღებულია მე-2 თავში.

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

1. არხებში ინფორმაციის ჩაბარების მოცემული $T_{\text{ჩაბ}i}$ დროის მცირე მნიშვნელობებისა და დატვირთვის დიდი მნიშვნელობის დროს ზუსტდება

ოპტიმალური $C_i^{ობ}$ გამტარუნარიანობების სიდიდეები, რომლებიც განსაზღვრული არიან §3.3.2-ის მე-5 პუნქტში ერთისაგან განსხვავებული შეტყობინებათა სიგრძეების ვარიაციის კოეფიციენტებისათვის. ასეთი დაზუსტება გამოიყენება კავშირის არხების გამტარუნარიანობების შესარჩევად მათი რეალური მნიშვნელობების დისკრეტული დიაპაზონიდან. ამასთან გამტარუნარიანობის შერჩეული დისკრეტული მნიშვნელობა ტოლი ან მეტი უნდა იყოს გათვლილი $C_i^{ობ}$ მნიშვნელობაზე.

2. ვინაიდან არხების მზადყოფნის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობა პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული შეტყობინებების სიგრძეების ვარიაციის კოეფიციენტზე, ამიტომ ოპტიმიზაციისათვის გამოიყენება მნიშვნელობები, რომლებიც მიღებულია §3.3.2-ის მე-6 პუნქტში.

3. კვანძების თითოეული a_t და a_s წყვილისათვის განისაზღვრება მწყობრიდან ერთდროული გამოსვლის სიხშირე M_s გზებისა, რომლებიც აერთებენ ამ კვანძებს და განსხვავდებიან თავისი საიმედოობით, შემდეგი ფორმულით:

$$Z_{მ.გ. Ms} = \sum_{s=1}^{M_s} \frac{1}{t_{bs}} \prod_{i=1}^{M_s} (1 - K_{მsi}) \quad (S = 1, 2, \dots, M_s) \quad (3.29)$$

სადაც $M_s - a_t$ და a_s კვანძებს შორის გზების რიცხვია;

$$K_{მsi} = \sum_{j=1}^{r_s} K_{მjs} - \text{მზადყოფნის კოეფიციენტია } S\text{-ური გზისა, რომელიც}$$

აერთებს a_t და a_s და შედგება $K_{მjs}$ ($j = 1, 2, \dots, r_s$) მზადყოფნის კოეფიციენტების მქონე მიმდევრობით შეერთებული r_s არხებისაგან; $\bar{t}_{bc} - a_t$ და a_s შემართებული მწყობრიდან გამოსული (მტყუნებიანი) S -ური გზის აღდგენის საშუალო დროა. \bar{t}_{bc} -ის განზომილებაა წამი.

$Z_{მ.გ. Ms}$ სიხშირის მნიშვნელობა განისაზღვრება 2,3,..., M_{r_c} შემოვლითი გზებისათვის, რომლებიც აერთებენ შესაბამის a_t და a_s კვანძებს. M_{r_c} გათვლილი იყო წინა პარაგრაფის მე-10 პუნქტში.

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

$$\bar{\tau}_{a_t, M_s} = \left[\sum \frac{I}{t_{bc}} \right]^{-1}. \quad (3.30)$$

მნიშვნელობა $\bar{\tau}_{a_t, M_s}$ განისაზღვრება მიმდევრობით 2,3,..., M_{r_c} ($M_s = M_{r_c}$) შემოვლითი გზებისათვის, რომლებიც აერთებენ a_t და a_s კვანძების ყველა შესაძლო წყვილებს.

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

$$\bar{T}_{is} = \bar{w}_{is} + \frac{\rho_i}{\lambda_i} \quad (3.31)$$

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

$$\bar{w}_{is} = \frac{\sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \cdot \bar{\tau}_{l_i}^c (1 + K_{l_i}^2)}{2 \left(I - \sum_{l_3}^{K_3} \rho_{l_{3i}} \right) \left(I - \sum_{l=1}^{K'} \rho_{l_i} \right)} \quad (3.32)$$

სადაც K' - პრიორიტეტული და არაპრიორიტეტული არაერთგვაროვანი ნაკადების საერთო რაოდენობაა, რომლებიც მიეწოდება s -ური გზის i -ურ არხს; s_{li} - არხის დატვირთვა l -ური არაერთგვაროვანი ნაკადით; $\bar{\tau}_{l_i}^c$ - l -ური ნაკადის შეტყობინებების სიგრძე წამებში; K_{l_i} - შეტყობინებების ვარიაციის კოეფიციენტი; l_3 - პრიორიტეტის ნიშანი l_3 -

ური ნაკადის შეტყობინებების მომსახურებაში; K_3 – i -ურ არხში მიწოდებული პრიორიტეტული ნაკადების რაოდენობაა:

$$\rho_i = \sum_{l=1}^{K'} \rho_{li}, \quad \lambda_i = \sum_{l=1}^{K'} \lambda_{li}, \quad \rho_{li} = \lambda_{li} \tau_{li}^{-c}, \quad \tau_{li}^{-c} = \frac{\tau_{li}^{-\delta}}{C_i^{\text{ობტ}}}.$$

τ_{li}^{-c} -ის განსაზღვრის დროს ოპტიმალური გამტარუნარიანობის მნიშვნელობა $C_i^{\text{ობტ}}$ შერჩევა მისი დისკრეტული მნიშვნელობის გათვალისწინებით (აღნიშნული პარაგრაფის პუნქტი 1); ძირითად გზად ითვლება გზა, რომლის მიმართაც ჩატარდა რეზერვირება.

6. განისაზღვრება ქსელში შეტყობინებების ჩაბარების დროის საშუალო მნიშვნელობა $T_{\text{ჩაბ.}}$ ფორმულით (3.28), რომლის მნიშვნელობა ნაკლები უნდა იყოს შემკვეთის მიერ მოცემულ $T_{\text{ჩაბ.შ.}}$ დროზე. ტოლობა ან უტოლობა $T_{\text{ჩაბ.}} \leq T_{\text{ჩაბ.შ.}}$ მეტყველებს იმაზე, რომ საჭიროა გაიზარდოს ქსელის შედარებით უფრო დატვირთული არხების $C_i^{\text{ობტ}}$ მნიშვნელობები გამტარუნარიანობების მნიშვნელობათა დისკრეტული სიმრავლის უახლოეს დიდ მნიშვნელობამდე.

7. განისაზღვრება S -ური გზის თითოეულ არხში დაყოვნების საშუალო დრო კავშირის არხების შესაძლო მტყუნებათა გათვალისწინებით ფორმულით $\bar{T}_{is} + \Delta \bar{T}_{\text{ჩაბ.}i}$. დაყოვნების ეს დროითი სიდიდე უნდა იყოს ნაკლები ან ტოლი i -ური არხისათვის შემკვეთის მიერ მოცემულ $\Delta \bar{T}_{\text{ჩაბ.}i}$ მნიშვნელობაზე.

8. განისაზღვრება ოპტიმალური კავშირიანობა M_{\min} (გზების ან არხების ოპტიმალური რიცხვი) ქსელის ყველა a_t და a_s წყვილს შორის. ამისათვის მე-3 და მე-4 პუნქტებში ჩატარებული $Z_{\text{მ.გ.}M_s}$ და $\bar{\tau}_{\text{მ.გ.}M_s}$ გათვლებების საფუძველზე შეირჩევა მათი ისეთი მნიშვნელობა, რომელსაც უზრუნველყოფს ტოლობა:

$$\bar{T}_{is} + \Delta \bar{T}_{\text{ჩაბ.}i} = T_{\text{ჩაბ.შ.}i} \quad (3.33)$$

მნიშვნელობა M_s , რომლის დროსაც მიიღწევა ეს ტოლობა, ახასიათებს კავშირიანობას M_{\min} . ამასთან ქსელის კვანძის თითოეულ

წყვილში სიდიდე M_{min} შეიძლება განსხვავდებოდეს სხვადასხვა გზებისათვის. მიღებული M_{min} მნიშვნელობების საფუძველზე სწარმოებს ცვლილება საბაზო ქსელის სტრუქტურაში.

10. M_{min} მნიშვნელობებისათვის ზუსტდება არხების მზადყოფნის ოპტიმალური $K_{a_i}^{ობ}$ კოეფიციენტების სიდიდეები (2.50) ფორმულის დახმარებით, რომელშიც $\bar{t}_b = \bar{\tau}_{a, M_S}$ ($M = M_{min}$). მზადყოფნის ოპტიმალური კოეფიციენტის სიდიდე ტოლი უნდა იყოს იმ მნიშვნელობის, რომელიც განისაზღვრულია წინა პარაგრაფის მე-9 პუნქტში.

11. განისაზღვრება დანახარჯები ქსელის შექმნილ სტრუქტურაზე ფორმულით

$$H_{ღირ} = \sum_{j=1}^{M_{b,b.}} H_{b,b_j} + \sum_{i=1}^{M_a} H_{j,a_i}(l_i, c_i) + \sum_{k=1}^{M_g} H_{j,a_k}(l_k, c_k), \quad (3.34)$$

სადაც H_{b,b_j} – კომუტაციის ან კონცენტრაციის (სააბონენტო სადგურის) j -ური კვანძების ღირებულება; $M_{b,b}$ – ქსელში გამოყენებული სააბონენტო სადგურების რაოდენობა; $H_{j,a_i}(l_i, c_i)$ – კავშირის მაღალსიხშირის არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით; M_a – ქსელში მაღალსიხშირის არხების რაოდენობა, რომლებიც აერთებენ ერთმანეთთან სააბონენტო სადგურებს; $H_{j,a_k}(l_k, c_k)$ – კავშირის დაბალსიხშირის არხების ღირებულება მათ გაჭიმულობასა და გამტარუნარიანობასთან დამოკიდებულებით; M_g – ქსელში დაბალსიხშირის 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.

მესამე თავის დასკვნა

1. საინფორმაციო ქსელის ეფექტური სტრუქტურის პროექტირების დამუშავებული მეთოდის განაზოგადებს დისერტაციაში ჩატარებული კვლევის შედეგებს. იგი შეიძლება საფუძვლად დაედოს გამომთვლელი ქსელებისა და სხვადასხვა დანიშნულების მონაცემთა მიმღებ-გადამცემი ქსელების პროექტირების ზოგადი მეთოდის დამუშავებას.
2. დამუშავებული მეთოდი ბაზირდება კომპლექსურ მიდგომაზე, რომლითაც გათვალისწინებულია ეფექტურობის ერთიანი კრიტერიუმების გამოყენება – დანახარჯები და ქსელში ინფორმაციის ჩაბარების დრო – მონაცემთა მიმღებ-გადამცემი ქსელების შექმნის მრავალი პრობლემის გადასაწყვეტად.
3. საინფორმაციო ქსელების ეფექტური სტრუქტურების პროექტირების მეთოდი მოიცავს შემდეგ ეტაპებს: საწყისი მონაცემების ანალიზისა და გათვლებს, ქსელის განსაზღვრას კავშირის არხების მინიმალური გაჭიმულობით, ქსელის საბაზო სტრუქტურის აგებას, ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაციას. აღნიშნული ეტაპების შესრულების თანმიმდევრობა საშუალებას იძლევა შემცირდეს დროითი დანახარჯები ქსელის სტრუქტურის პროექტირებაზე მინიმალურად დასაშვები კაპიტალური დანახარჯებით.

დასკვნა

სადისერტაციო ნაშრომში მიღებულია შემდეგი მეცნიერული და პრაქტიკული შედეგები:

1. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები კავშირის არხების გამტარუნარიანობების გათვლისათვის, რომლებიც ამჟამად ცნობილი მოდელებისაგან განსხვავებით ითვალისწინებენ გადასაცემი შეტყობინებების სიგრძეთა განაწილების კანონების გავლენას კავშირის არხების გამტარუნარიანობების მნიშვნელობაზე, რაც აუცილებელია ქსელის ეფექტური სტრუქტურის შეფასებისათვის. მათემატიკური მოდელები დაყვანილია გამოსათვლელ დამოკიდებულებებამდე, რომლებიც მოსახერხებელია ქსელების პროექტირების პრაქტიკაში გამოსაყენებლად.

2. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები კავშირის არხებისა და ქსელის სხვა კომპონენტების მზადყოფნის კოეფიციენტების ეფექტური მნიშვნელობების შესაფასებლად, რომლებიც ცნობილი მოდელებისაგან განსხვავებით სამართლიანია ქსელში გადასაცემი შეტყობინებების სიგრძეთა განაწილების ნებისმიერი კანონისათვის. მიღებული მათემატიკური მოდელები აუცილებელია ქსელის ეფექტური სტრუქტურის გასათვლელად განსაკუთრებით იმ ნაწილში, სადაც მომხმარებლების თითოეული საკორესპონდენციო წყვილისათვის უნდა განისაზღვროს გარშემოვლითი მარშრუტების საჭირო რაოდენობა. მიღებულია მზადყოფნის კოეფიციენტების, კავშირის არხების ზღვრული მნიშვნელობების შეფასება, რომლის დახმარებითაც განისაზღვრება მონაცემთა მიმდებ-გადამცემი ქსელის მუშაობაში სტაციონალურობის რეჟიმის დარღვევის პირობები.

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

4. დამუშავებულია ნებისმიერი დანიშნულების ეფექტური სტრუქტურების გათვლის მეთოდიკა, რომელიც მოიცავს სამ თანმიმდევრობით ეტაპს: კავშირის არხების მინიმალური გაჭიმულობის მქონე ქსელის ხისმაგვარი სტრუქტურის გათვლა, ქსელის საბაზო სტრუქტურის გათვლა და მონაცემთა მიმღებ-გადამცემი ქსელის ეფექტური სტრუქტურის გათვლა. სტრუქტურის ოპტიმალურობა განისაზღვრება ახლად შესაქმნელი ან მოდერნიზირებას დაქვემდებარებული ქსელის დანახარჯების მინიმუმით, რომლითაც სწარმოებს მომხმარებელთა შეტყობინებების ჩაბარების საშუალო დროის უზრუნველყოფა, არ ამეტებს რა იგი მოცემულ მნიშვნელობას.

5. სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები რეკომენდირებულია გამოყენებული იქნეს იმ სამეცნიერო-საკვლევ, საპროექტო ორგანიზაციებსა და საკონსტრუქტორო ბიუროებში, რომლებიც დაკავებულნი არიან გამომთვლელი ქსელების შექმნითა და მათი ეფექტურობის ამაღლების პრობლემების დამუშავებით.

ლიტერატურა

1. Авен О.И., Коган Я. А. Управление вычислительным процессом в ЭВМ. М.: Энергия 1978
2. Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем. М. Машиностроение 1988. 223с.
3. Адамиа В., Арабули Н.. Технология передачи голоса по IP. Georgian engineering News, 2007, №2, ISSN 1512-0287. p.138-140;
4. Адамиа В., Мачаварияни Н.В., Элиаური Л. Ш., Арабули Н. Криптографическая защита информации в локальной сети. Georgian engineering News, 2007, №3, ISSN 1512-0287. p.106-110;
5. Адамиа В., Арабули Н., Элиаური Л. Ш. Об одном методе определения предельного интервального коэффициента готовности. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. 2008. გვ. 169-172.
6. Адамиа В. Технология беспроводной связи. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ინფორმაციული ტექნოლოგიები 2008“ მოხსენებათა კრებული. გვ. 275-277. 2008
7. Адамиа В., Арабули Н., Элиаური Л. Ш. 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.
8. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Дмитриев В.И. Системы мобильной связи. СПб: ГУТ. 1999.
9. Байцер Б. Микроанализ производительности ВС. М.: "Радио и связь", 1983. 360с.
10. Беляев Ю.Л. Производительность при наличии двух типов отказов. В кн.: кибернетику- на службу коммунизму, т.2, 1968.

11. Беляев Ю.К. Линейчатые марковские процессы и их приложения к задачам теории надежности. Труды Всесоюзного совещания по теории вероятностей и мат. статистике. Вильнюс, 1962. С. 309 – 323
12. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989. 544 с.
13. Богуславский А.Б Дрожинов В. И. Основы построения вычислительных сетей для автоматизированных систем. М.: Энергоатомиздат. 1990. 253 с.
14. Бондарь Ю. В., Демьянчук А.П., Окс В.Н. и др. Оптимальный выбор контрольных точек при обмене информацией в вычислительных системах. В кн. Диагностика, контроль, надежность, систем управления. К.: КИА, 1976. С. 56-60.
15. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М.: Изд-во РУДН, 1995.
16. Бродецкий Г.Л. Эффективность запоминания промежуточных результатов в системах с отказами, разрушающими информацию. Изв. АН СССР, Техн. киберн., 6, 1978. С. 97-103.
17. 12 Бродецкий Г. Л. Об одной задаче периодического запоминания результатов. Кибернетика, 3, 1978. С. 70-74.
18. Бродецкий Г.Л. Алгоритмы оптимального управления процессом наработки при ограниченном использовании запоминания информации. Электронное моделирование, 2, 1980. С. 81-86.
19. 14 Бродецкий Г.Л. Оптимизация периода запоминания информации при случайных прерываниях процесса решения задачи. Автоматика, 6, 1983. С. 63- 68.
20. Бурлаков М.В. Ситуационное управление в СМО. К.: "Наука думка", 1991. 158 с.
21. Варакин Л. Е. Электросвязь и экономика. Электросвязь, 12, 1992.
22. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно-управляющих систем. М.: Сов. радио, 1975. 192 с.
23. Гаркави А.Л., Гоголевский В.Б., Грабовецкий В.П. Надежность контролируемых восстанавливаемых устройств с временной избыточностью. В. кн.: Теория надежности и массовое обслуживание. М.: Наука, 1969. С.108-118.
24. Греденко Б.В., Об одной задаче массового обслуживания. Доклады АН УССР 5 1958. С 477-479.

25. Греденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
26. Греденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1987. 431 с.
27. Голубев-Новожилов Ю.С. Многомашинные комплексы вычислительных средств. М.: Сов. радио, 1967, 424 с.
28. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и z преобразования. М.: Наука, 1971. 208 с.
29. Джеисуол Н. Очереди с приоритетами. М.: Мир, 1973. 279 с.
30. Дудин А.Н., Клименок В.И. О системе обслуживания $M/M/1$ с альтернирующим режимом функционирования. *АиТ*, №10, 1999. С. 97-107.
31. Ежов И.И., Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения. *Кибернетика*, 5, 1967. С. 58-65
32. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. М.: "Радио и связь", 1988. 191 с.
33. Зедгенидзе Г.Г., Микадзе И.С. Система обслуживания с ограниченной длиной очереди и многими состояниями функционирования с различной производительностью. *Труды ГПИ*, 3, 1988, С. 117-124.
34. Какубава Р.В., Микадзе И.С. Вероятностная характеристика производительности ВМ при программном и программно-аппаратурном контроле обнаружения неисправности. *Автометрия (АН СССР)*, 2, 1978. С. 88-92.
35. Какубава Р.В., Микадзе И.С. и др. Распределение времени выполнения задания на ЭВМ с учетом ее надежности. *АиТ*, №7, 1981. С. 173-187.
36. Какубава Р.В., Микадзе И.С. Одноканальная СО с резервированием. *Сообщ. АН ГССР*, 104, 3, 1981. С. 100-104.
37. Какубава Р.В., Микадзе И.С. Система обслуживания с дублированием. *Техническая кибернетика, изв. АН СССР*, 3, 1983. С. 76-84
38. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. М.: Наука, 1970. 255 с.
39. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
40. Коваленко И.Н. Исследование многолинейной системы с очередью и ограниченным временем пребывания в системе. *УМЖ*, т. 12, 3, 1960.

41. Коваленко И.Н. Некоторые новые направления исследований в теории массового обслуживания. В кн.: Дж. Риордана, вероятностные системы обслуживания. М.: Связь 1966. 183 с.
42. Коваленко И.Н. Исследование по анализу надежности сложных систем. К.: Наукова думка, 1975. 210 с.
43. Королук В.С. Время пребывания полумарковского процесса в фиксированном множестве состояния. УМЖ, 3, 1965. С. 123-127.
44. Королук В.С., Турбин А. Ф. Полумарковские процессы и их приложения. К.: Наукова думка, 1976. 184 с.
45. Креденцер Б. Л. Прогнозирование надежности технических систем с временной избыточностью. К.: Наукова думка, 1978. 237 с.
46. Кушнир М.И. Об уровнях введения временной избыточности. Изв. АН СССР. техн. кибернетика, 1, 1981. 286 с.
47. Ларионов А. М., Майоров С.А., Новиков Г.И. Вычислительные комплексы, системы и сети. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 286 с.
48. Майоров С.А., Новиков Г.И. и др. Основы теории ВС. М.: Высшая школа, 1978. 408 с.
49. Максименков А.В., Селезнев М.Л. Основы проектирования информационно-вычислительных систем и сетей ЭВМ. М.: "Радио и связь", 1991. 320 с.
50. Малиновский С. Т. Сети и системы передачи дискретной информации и АСУ. М.: Связь, 1979. 384 с.
51. Марголис Н.Ю., Назаров А.А. Исследование неустойчивых сетей случайного доступа, управляемых статическим протоколом с оповещением о конфликте, АиТ, № 8, 2004. С. 72-84.
52. Мартин Нж. Системный анализ передачи данных. М.: Мир, 1975, т.1 и т.2. 256 с.
53. Марьянович Т.П. Обобщение формул Эрланга на случай, когда приборы могут выходить из строя восстанавливаться. УМЖ, 12, 3, 1960. С. 279-286.
54. Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П. Сети коммутации пакетов. М.: "Радио и связь", 1986. 408 с.
55. Мизин И.А. Состояние и перспективы развития телекоммуникационной технологии. Труды МАС, 3, 1997.
56. Мизин И.А., Уринсон Л. С., Храмешин Г.К. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений. М.: "Связь", 1977. 328 с.

57. Микадзе И.С., Шелегия Р. С. К вопросу осуществимости выполнения задания на ЦВМ с учетом ее надежности. Сообщ. АН ГССР, 60, 3, 1970. 665-668 с.
58. Микадзе И.С., Шелегия Р.С. Некоторые вопросы определения производительности ЦВМ. Сообщ. АН ГССР, 70, 1, 1973. 45-48 с.
59. Микадзе И.С. К вопросу осуществимости выполнения задания выч. устройством с ненагруженным резервом. Автометрия (АН СССР), 1977. С. 86-91.
60. Микадзе И.С. Вероятностная характеристика производительности ЦВМ с учетом ее надежности. АиТ, №2, 1979. С.173-186.
61. Микадзе И.С. Какубава Р.К. Об одной модели ЭВМ с отказами. Сообщ. АН ГССР, 99, 2, 1980. С. 107-111.
62. Микадзе И.С. Тавлалашвили В.Д. Вероятностная характеристика производительности одной технической системы с временной избыточностью. АВТ, 4, 1980. С. 60-64.
63. Микадзе И.С. Система обслуживания со многими состояниями функционирования. АиТ №2, 1987. С. 104-116.
64. Микадзе И.С. Периодически контролируемая система обслуживания с ненадежным прибором. Кибернетика (АН УССР), 1, 1988. С. 56-61.
65. Мищенко В.А., Лазаревич Э.Г., Аксенов А.И. Расчет производительности многопроцессорных ВС. Минск: Высшая школа, 1985. 280 с.
66. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М.: Сов. радио, 1969. 399 с.
67. Олифер В.Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: "Питер", 2000.
68. Прабху Н. Методы теории массового обслуживания и управления запасами. М.: Машиностроение, 1969. 356 с.
69. Проников А.С. Расчет показателей надежности при постепенных отказах. "Надежность и контроль качества". №2. 1973.
70. Птицын Г.А. Живучесть сетей связи. Электросвязь, № 2, 2001. С. 42-45.
71. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания. М.: "Связь", 1966. 183с.
72. Рожков Л.И. Средства передачи данных в АСУ. К.: Техника, 1977. 184 с.
73. Рожков Л.И. Контроль и коммутация оборудования в системах передачи данных. М.: Сов. радио, 1979. 240 с.

74. Сикорский А.Б., Назаров А.Н. Оценка помехоустойчивости систем радиосвязи в каналах с замираниями. Электросвязь, № 3, 2004.С.40-42.
75. Статистика ошибок при передаче цифровой информации. Пер. с англ. под ред. С.И. Самоиленко. М.: Мир, 1966. 302 с.
76. Уолренд Дж. Введение в теорию сетей массового обслуживания. М.: Мир, 1993. 337 с.
77. Уолренд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. М.: Посмаркет, 2001.
78. Ушаков И.А. Построение высоконадежных систем. М.:Знание, 1974.
79. Феллер В. Введение теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, и т., 1967. 498 с.,725 с.
80. Харкевич А.А. Борьба с помехами. М.: Наука, 1965. 275 с.
81. Хетагуров А.А., Руднев Ю.П. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования. М.: Энергия, 1974.
82. Хинчин А.Я. Математические методы массового обслуживания. М.: Изд. АН СССР, 1955.235 с.
83. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. М.: Гос. изд. физ. мат. лит., 1963. 235 с.
84. Х. Таха. Введение в исследование операции (в 2-ч книгах). М.: Мир. 1985.
85. Хуродзе Р. А. Повышение надежности резервированных аналоговых устройств путем адаптации коэффициентов передачи отдельных каналов (сигналов). Сообщения АН Грузинской республики. т.77. 3. 1975.677-680с.
86. Чердынцев В.А., Далабаев С.Н. и др. Прием сигналов на фоне помех. Минск: БГУИР, 1995.
87. Черкесов Г.Н. Влияние резерва времени на работоспособность восстановления систем. В кн.: Теория и техника вычислительных устройств. Вып. 1. М.: Энергия, 1967.С. 131-139.
88. Черкесов Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью. М.: "Сов. радио", 1974. 295 с.
89. Шварц М. Сети связи: протоколы моделирование и анализ. Ч.1. 404 с., ч.2, 386 с. М.: 1992.
90. Шварцман В.О. (ред.) Каналы передачи данных. М.: Связь, 1970. 304 с.
91. Шварцман В.О., Емельянов Г.А. Теория передачи дискретной информации. М.: Связь, 1990. 424 с.

92. Якубайтис Э.А. Архитектура вычислительных сетей. М.: Статистика, 1980.
93. Янбых Г.Ф., Столяров Б.А. Оптимизация информационно-вычислительных сетей. М.: Радио и связь, 1987. 232 с.
94. Adamia V., Arabuli N. Protection of Data in Networks. XI Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. 2010 г., г. Красноярск. с.43-44.
95. Adamia V., Arabuli N. Protection Of Information In Compiuter Networks. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. შრომები. ISSN1512-0996 N3(465). 2007. № 3 . 34-37;
96. Butter R.E. The Role of Telecommunications in the New Society: Telecommunications in Develoning countries. Kalmar: ITU. 1989. September.
97. Buzen J.P. Computational algorithms of closed queueing networks with exponential servers. Commun. of ACM. 1973. V.16, 9.P. 527-531.
98. Girmaw I., Novman F. Investing in telekommunikation. Geneva: ITU, 1996. October.
99. Gordon W. J., Newell G.F. Closed Queueing Systems with Exponential Servers. Oper. Res. 1967. V. 15, 2, P. 254-265.
100. Kleinrock L., Kermari P. State flow control in store-and- forward computer networks. IEEE Trans. 1980. Vol. C-28, 2. P. 271-279.
101. Mikadze I., Kakubava R. Time- characteristics analysis of the queueing system with cumulative faults and general ERLang arivals. Bull. Georg. Acad. Sci., 154, N2, 1996. P. 340-344.
102. Mikadze I. On embedded markovian processes with the supplementary variable. Bull. Georg. Acad. Sci., 164, №1, 2001.
103. Микадзе И. С., Арабули Н. В., Элиаური Л. Ш. Компьютер с возможностью обнаружения двойных и коррекции одиночных ошибок . " Georgian Engineering News" , 2005, #1. ISSN 1512-0287 С. 51-53.
104. Микадзе И. С., Арабули Н. В., Элиаური Л. Ш. Обслуживание заявок при воздействии внешних возмущений . "Georgian Engineering News", 2005, # 1, .ISSN 1512-0287 С. 28-31.