

მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ექსპლოატაციის საიმედოობის ზოგიერთი საკითხისათვის

ზურაბ ბაიაშვილი, დავით წამალაშვილი, მზიანა ნიჟარაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

წარმოდგენილია რთული ტექნიკური სისტემების ერთ-ერთი სახეობის – მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების – ექსპლოატაციის დროს მათი ცალკეული ელემენტ(ებ)ის მტყუნების შემთხვევაში მთლიანი სისტემის მოსალოდნელი ეკონომიკური მაჩვენებლების გამოთვლის ერთი მეთოდი. ამისათვის დგება დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომელიც დაიყვანება წრფივ განტოლებათა სისტემაზე. ამ სისტემის ამონახსნები დებულობს მონაწილეობას ტელესაკომუნიკაციო სისტემის ეკონომიკური ეფექტიანობის გამოთვლისას. მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს შეფერხებების გარკვეული შემთხვევების დროს შევამციროთ ფინანსური დანაკარგები და გავზარდოთ მობილური სისტემების მომსახურების ხარისხი.

საკვანძო სიტყვები: მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემები. საიმედოობა. მოდელირება. მარკოვის დიფერენციალური განტოლებები.

1. შესავალი

თანამედროვე ტელესაკომუნიკაციო სისტემა – ესაა რთული ადამიანურ-მანქანური სისტემა, რომელიც მოიცავს ერგატულ ნაწილებს, ტექნიკურ საშუალებებს და პროგრამულ უზრუნველყოფას.

საინფორმაციო ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ხარისხის ძირითადი კომპონენტებია საიმედოობა, უტყუარობა და უსაფრთხოება. საიმედოობა არის სისტემის თვისება გარკვეული დროის განმავლობაში შეინარჩუნოს მოცემულ რეჟიმსა და პირობებში ფუნქციონისათვის აუცილებელი პარამეტრების მნიშვნელობები დადგენილ საზღვრებში.

ერთ-ერთი საკვანძო მოთხოვნა, რომელსაც ტელესაკომუნიკაციო სისტემები უნდა აკმაყოფილებდნენ, ესაა ექსპლოატაციისას მათი მდგრადობა ტექნიკური შეფერხებების მიმართ და მათი ცალკეული ელემენტების რეზერვირების სათანადო დონის უზრუნველყოფა. არ შეიძლება იმის დაშვება, რომ ერთი ელემენტის მტყუნებამ გამოიწვიოს მთლიანი ქსელის ფუნქციონის დარღვევა.

ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ნორმალური ფუნქციონის დარღვევებმა (მტყუნებებმა), მათი ხარისხიდან გამომდინარე, შეიძლება გამოიწვიოს მობილური ოპერატორების ეფექტიანობის მკვეთრი დაქვეითება და მნიშვნელოვანი ფინანსური დანაკარგები. აქედან გამომდინარე, მეცნიერული პროგნოზით წინასწარ განსაზღვრული, კალენდარულ დროში გამოსახული მუშაობის შეფერხებების მოსალოდნელი მაჩვენებლები საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ისინი სარემონტო სამუშაოების ორგანიზების დაგეგმვისას, სათანადო ნაწილების ოპტიმალური მარაგების შექმნის, მიწოდებისა და ცალკეული ელემენტების (დანადგარების) შეცვლის ვადის დადგენისას [1, 2].

2. მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ტექნიკური მომსახურების სახეები და მეთოდები

იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს აბონენტების უწყვეტი მომსახურება ნებისმიერი სახის ინფორმაციის გადაცემის მაღალი ხარისხით, აუცილებელია ფიჭური კავშირის მოწყობილობებისა და არხების მომსახურების კომპლექსური ორგანიზაციული და ტექნიკური ღონისძიებების გატარება. ღონისძიებები მიმართული უნდა იყოს ექსპლოატაციის პროცესში წარმოშობილი ცალკეული ელემენტების გაუმართაობების, მტყუნებების აღმოჩენის, არიდებისა და აღმოფხვრისაკენ.

საწარმო პირობებში მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ტექნიკური მომსახურება ხორციელდება შემდეგი მეთოდების გამოყენებით: პროფილაქტიკური ტექნიკური მომსახურება – ხორციელდება გარკვეული დროითი ინტერვალების შემდეგ ან წინასწარ დადგენილი კრიტერიუმების მიხედვით და მიმართულია ქსელის (სისტემის) ელემენტების მოსალოდნელი მტყუნების ან ფუნქციონის გაუარესების თავიდან აცილების მიზნით; მაკორექტირებელი ტექნიკური მომსახურება – ტარდება ქსელის მტყუნებული ელემენტების აღმოჩენის შემდეგ და მიმართულია მათი პარამეტრების დადგენილ დასაშვებ საზღვრებთან შესაბამისობაში მოყვანისაკენ; მართვადი ტექნიკური მომსახურება – ქსელის ელემენტების მდგომარეობის სისტემატური ანალიზი მუშა მახასიათებლების მაკონტროლებელი საშუალებების გამოყენებით.

ქვემოთ ყურადღებას გავამახვილებთ მაკორექტირებელ ტექნიკურ მომსახურებაზე, ვინაიდან ტერიტორიულად განაწილებული ყველა საბაზო სადგური განუწყვეტელ ექსპლოატაციაშია მთელი დღე-ღამის განმავლობაში. მუშაობის ასეთი რეჟიმი იწვევს მოწყობილობების ელემენტთა ცვეთას, რის გამოც დროთა განმავლობაში კავშირის ხარისხი ქვეითდება და ხდება ცალკეულ ელემენტთა ან გარკვეული კვანძების მტყუნება. ეფექტიანი მომსახურების მიზნით მობილური კავშირგაბმულობის სისტემების საბაზო სადგურების მოწყობილობები იყოფიან შემდეგ ნაწილებად: საიმედოობის ბლოკები; შესაცვლელი ტიპური ელემენტები; აღდგენის ბლოკები.

სადგურის პერსონალისათვის შეცდომის ან დაზიანების შეტყობინებისათვის არსებობს საავარიო სიგნალიზაციის ქვესისტემა. მობილური კავშირის ტელესაკომუნიკაციო სადგურების მთელი მოწყობილობა დაყოფილია საიმედოობის ბლოკებად.

საიმედოობის ბლოკი არის მოწყობილობათა კრებული, რომლიც ასრულებს გარკვეულ ფუნქციას ერთობლიობას. საიმედოობის ბლოკი ისეა მოწყობილი, რომ თუ ერთი ფუნქცია მაინც ვერ სრულდება, მაშინ სადგური ვერ გამოიყენებს დანარჩენ ფუნქციებსაც. ამრიგად, ფუნქციას მთელი ნაკრები შეიძლება აღმოჩნდეს მუშაობის პროცესიდან გამოთიშული.

საიმედოობის ბლოკები არ გადაიფარებიან ერთმანეთით, თუმცა იერარქიული პრინციპით ისე არიან მოწყობილი, რომ საიმედოობის ბლოკის მწყობრიდან გამოსვლა იწვევს მასზე დამოკიდებული ქვემდგომი საიმედოობის ბლოკების გათიშვას. საიმედოობის ეს დამოკიდებული ბლოკები მწყობრიდან გამოსულ ზემდგომ ბლოკებთან ერთად ავტომატურად ითიშებიან ექსპლოატაციიდან.

მობილური ტელესაკომუნიკაციო კავშირების საბაზო სადგურების ტექნიკური

მომსახურების სტრატეგია ისეა აგებული, რომ მტყუნება და გაუმართაობა აღმოიფხვრება მტყუნებული ელემენტების ჩანაცვლებით.

შესაცვლელი ტიპიური ელემენტი არის ის უმცირესი ბლოკი, რომელიც შეიძლება შეიცვალოს სარეზერვო ელემენტით, მაგალითად, ძაბვის გარდამქმნელით, ვიდეომონიტორით ან სხვა ელემენტით. სადგურის დიაგნოსტიკის თვალსაზრისით, შესაცვლელი ტიპიური ელემენტი წარმოადგენს მოწყობილობის საბაზო ელემენტს და, მისი ტიპისაგან გამომდინარე, შეიძლება წარმოადგენდეს საიმედოობის ბლოკის ნაწილს ანდა თავისთავში მოიცავდეს საიმედოობის რამოდენიმე ბლოკს.

აღდგენის ბლოკი საიმედოობის ბლოკების ის მინიმალური ერთობლიობაა, რომელიც უნდა იქნეს მტყუნებული, რომ შესაძლებელი იყოს შესაცვლელი ტიპიური ელემენტების ჩანაცვლება სარეზერვო ელემენტებით.

საბაზო სადგურის მუშაობაში დარღვევის წარმოქმნის შემთხვევაში საავარიო სიგნალიზაციის სისტემა იძლევა შეტყობინებას, რაც საშუალებას აძლევს სადგურის პერსონალს სწრაფად აღმოაჩინონ მოწყობილობ(ებ)ის გაუმართაობები (უმეტეს შემთხვევებში მტყუნებები), რომლებიც საჭიროებენ მყისიერ რეაგირებას.

ტექნიკური მომსახურების სტრატეგია შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: თვით საბაზო სადგურის მოწყობილობებით განხორციელებული მოწყობილობების თვითკონტროლისა და გაუმართაობების ავტომატური აღმოჩენისა და სარემონტო ბრიგადის მიერ მომსახურებისა და აღდგენისაგან.

დიაგნოსტიკური ტესტებით აღმოჩენილი გაუმართაობისა და დაზიანების ადგილი დგინდება შესაცვლელი ტიპიური ელემენტების სიზუსტით. როცა ერთ-ერთი ზემოთ ჩამოთვლილი საკონტროლო სისტემით დგინდება გაუმართაობა, მაშინ დაზიანება განისაზღვრება საიმედოობის ბლოკის დონეზე და, საჭიროების შემთხვევაში, ხდება საიმედოობის ბლოკის გამორთვა ექსპლოატაციიდან, რათა გამოირიცხოს დაზიანების შემდგომი გავრცელება. ამის შემდეგ გამოიყენება დიაგნოსტიკური ტესტირების პროგრამა შესაცვლელი ტიპიური ელემენტების დონეზე დაზიანების დადგენისათვის. მხოლოდ ამ პროცედურის გავლის შემდეგ დგინდება აღსადგენია თუ საერთოდ შესაცვლელი ესა თუ ის ელემენტი.

მოხილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ეფექტიანობა მიიღწევა მისი აპარატურული (Hardware) და პროგრამული (Software) ნაწილების შეფერხებების შემცირებითა და საიმედოობის უზრუნველყოფით [3].

სარეზერვო ელემენტებისა და აღდგენის ორგანოების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენისა და მტყუნებული (ასევე, ცვეთის ზღვრამდე მიყვანილი) ელემენტების დროული ჩანაცვლებით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად ავამაღლოთ სისტემის მდგრადობა ტექნიკური შეფერხებების მიმართ [4].

ქვემოთ მოგვყავს ტელესაკომუნიკაციო სისტემების სხვადასხვა მოსალოდნელი მდგომარეობის ფუნქციონის აღმწერი მათემატიკური მოდელების გამოყენებით, გარკვეული კერძო შემთხვევებისათვის, სპეციალურად შემუშავებული პროგრამით გამოანგარიშებული სისტემის მოსალოდნელი ეკონომიკური მაჩვენებლები.

3. მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების ფუნქციონის აღწერილი მოდელები

ცნობილია, რომ მასობრივი მომსახურების სისტემების, მათ შორის მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების, ფუნქციონის აღწერის ერთერთი მეთოდია კოლმოგოროვის დიფერენციალური განტოლებათა გამოყენება, რომლებიც სისტემის მდგომარეობიდან გამომდინარე ლებულობენ სხვადასხვა სახეს.

ექსპლოატაციაში მყოფი სისტემის შემადგენელი ნაწილების (ელემენტების) მუშა პარამეტრების მნიშვნელობებიდან გამომდინარე სისტემა შეიძლება იყოს: თავისუფალ მდგომარეობაში – არ მიმდინარეობს არცერთი ოპერაცია: ან ძირითად ჯგუფს აკლია ერთი ელემენტი, ეს ელემენტი აღდგენილია და მიმდინარეობს მისი ჩანაცვლება; მტყუნებულია ელემენტი (ელემენტები) და მიმდინარეობს მხოლოდ აღდგენა, ან მხოლოდ ჩანაცვლება ანდა ორივე ოპერაცია ერთად.

ამ ოპერაციების აღწერილი შესაბამისი განტოლებები მოყვანილია ნაშრომში [5].

4. მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემის კონომიკური ანალიზი

დღეისათვის საქართველოში მოქმედებს რამდენიმე მობილური ტელესაკომუნიკაციური ოპერატორი. თითოეული მათგანის საბაზო სადგურების რაოდენობა თბილისში მერყეობს საშუალოდ 250 – 300 -ის ფარგლებში, ხოლო მთლიანად საქართველოში 1000 – 1500 -ის ფარგლებში.

ფიჭური ტელესაკომუნიკაციო საბაზო სადგურების გეგმიური ტექნიკური მომსახურებისა და ექსპლოატაციის პროცესში წარმოქმნილი გაუმართაობების (მტყუნებების) აღმოფხვრისათვის შექმნილია სხვადასხვა მიმართულების მქონე სპეციალისტებისაგან შემდგარი (ელექტრომექანიკოსები, აპარატურის სპეციალისტები, პროგრამული უზრუნველყოფის ჯგუფი) ბრიგადა.

თბილისში განლაგებული მობილური კავშირის საბაზო სადგურები უფრო ინტენსიურადაა დატვირთული ვიდრე რაიონებში, ამიტომ მტყუნებების (ავარიების) რაოდენობაც დედაქალაქში მეტია – საშუალოდ თვეში 40 – 50 (ერთ-ერთი მობილური ოპერატორის სისტემაში), რაიონებში ეს ციფრი შეადგენს 15 – 30.

ერთერთი მობილური ოპერატორის ქსელის ტექნიკური მომსახურების მონაცემები: კომპანიის დანახარჯები სისტემის ტექნიკურ ექსპლოატაციაზე მოიცავენ ხელფასს, სოციალურ ანარიცხებს, ადმინისტრაციულ ხარჯებს, დანახარჯებს პროფილაქტიკურ, მაკორექტირებელ და მართვად ტექნიკურ მომსახურებებზე. კუთრი დანახარჯები (ქსელის ერთი ელემენტის ექსპლოატაციაზე მოსული) შეადგენენ დაახლოებით 2000 აშშ დოლარს (2008 – 2009 წწ). ქსელის ელემენტთა რაოდენობა მერყეობს 450-550 ფარგლებში. კომპანიის შემოსავალი ერთი საბაზო სადგურიდან (თუ ვიგულისხმებთ, რომ ყველა სადგური თანაბრადაა დატვირთული) – 34 000 ლარი თვეში.

მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემების მუშაობის ეფექტიანობა შეიძლება აღიწეროს ფორმულით [6]:

$$F = F(m, n, k, l) = \sum_{i=0}^9 c_i E_i \quad (4.1)$$

სადაც: m – სისტემის ძირითად ელემენტთა რაოდენობა; n – სისტემის სარეზერვო ელემენტთა რაოდენობა; k – აღდგენის ორგანოთა რაოდენობა; l – გადამრთველთა რაოდენობა; α ($i=9$) – სისტემის ერთი ელემენტის მიერ რაიმე ფიქსირებულ დროში მოტანილი შემოსავალი; E_1 – ქმედუნარიანი ძირითადი ელემენტების საშუალო რაოდენობა; E_2 – ქმედუნარიანი სარეზერვო (ჩანაცვლების პროცესში მყოფი) ელემენტების საშუალო რაოდენობა; E_3 – ქმედუნარიანი სარეზერვო ელემენტების საშუალო რაოდენობა, რომლებიც არ არიან ჩანაცვლების პროცესში; E_4 – მტყუნებული სარეზერვო ელემენტების საშუალო რაოდენობა, რომლებიც არიან აღდგენის პროცესში; E_5 – მტყუნებული სარეზერვო ელემენტების საშუალო რაოდენობა, რომლებიც არ არიან რემონტის პროცესში; E_6 – ჩანაცვლების პროცესში მყოფი ჩანაცვლების ორგანოების საშუალო რაოდენობა; E_7 – ჩანაცვლების პროცესში არ მყოფი ჩანაცვლების ორგანოების საშუალო რაოდენობა; E_8 – რემონტის პროცესში მყოფი სარემონტო ორგანოების საშუალო რაოდენობა; E_9 – რემონტის პროცესში არმყოფი სარემონტო ორგანოების საშუალო რაოდენობა.

სისტემის მოსალოდნელი მდგომარეობების მახასიათებლები (ალბათობები) $P(i,j)$, (სადაც i იმ ელემენტთა რაოდენობა რომლებიც აკლია სისტემის ძირითად ჯგუფს, ხოლო j მტყუნებულ ელემენტთა რაოდენობა) განისაზღვრება კოლმოგოროვის დიფერენციალური განტოლებებიდან მიღებული წრფივ განტოლებათა სისტემით [5].

E_i განისაზღვრება ქვემოთ მოყვანილი გამოსახულებებით:

$$E_1 = \sum_{i=0}^m (m-i) \sum_{j=0}^{n+i} P(i,j); E_2 = \sum_{r=1}^{k-1} r \left\{ \sum_{j=0}^n P(r,j) + \sum_{i=r+1}^m P(i, n+i-r) \right\} + k \sum_{i=k}^m \sum_{j=0}^{n+i-k} P(i,j);$$

$$E_3 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{n+1} (n+i-j) P(i,j) - E_2; E_4 = \sum_{r=0}^{l-1} r \sum_{i=0}^m P(i,r) + l \sum_{i=0}^m \sum_{j=l}^{n+i} P(i,j); \quad (4.2)$$

$$E_5 = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{n+i} j P(i,j) - E_4; E_6 = E_2; E_7 = k - E_6 = k - E_2; E_8 = E_4; E_9 = 1 - E_8 = 1 - E_4.$$

საქართველოში მოქმედი მობილური ოპერატორების მონაცემებზე დაყრდნობით გამოთვლილი იქნა სისტემის საბაზო სადგურების მუშაობაში შეფერხების შემთხვევაში მოსალოდნელი ფინანსური მაჩვენებლები. ზემოხსენებული პროგრამის საშუალებით ჯერ ამოიხსნება განტოლებათა სისტემა, რომლის შედეგები ჩაისმება (4.2) ფორმულებში, ხოლო შემდეგ გამოითვლება ფორმულა (4.1).

გამოთვლები ჩატარდა პარამეტრების სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილდა სისტემის ძირითად და სარეზერვო ელემენტთა რაოდენობაზე, მათი თანდათან მატების შემთხვევებისათვის, რათა ფუნქციონის მოდელის პირობები დაახლოებოდა რეალურად არსებულს.

ძირითად ელემენტთა რაოდენობის ცვლის ბიჯი შეადგენდა 5 ერთეულს. ელემენტთა რაოდენობის ზრდასთან ერთად, მნიშვნელოვნად მატულობდა სისტემის მდგომარეობის აღმწერი წრფივ განტოლებათა რაოდენობა.

გამოთვლების ოპერაცია ჩვენს მიერ შეჩერებული იქნა იმ შემთხვევაზე, როცა ძირითად ელემენტთა რაოდენობა $m = 20$; სარეზერვო ელემენტთა რაოდენობა $n = 5$.

ამ ბოლო შემთხვევაში ხსენებულ წრფივ განტოლებათა რაოდენობამ მიაღწია 336-ს. საბოლოოდ ვღებულობთ შედეგს (ნახ.1).

```
>> m=20; n=5; k=1; l=1;  
>> eqsolve_telecom(m, n, k, l);  
F =  
2.0870e+05
```

ნახ.1

3. დასკვნა

მოყვანილი მეთოდი საშუალებას მოგვცემს:

1. სხვადასხვა კონკრეტული სისტემისათვის დავადგინოთ, როგორც აღმდგენი ორგანოების, ასევე სათადარიგო ელემენტთა ოპტიმალური რაოდენობა;
2. დიდი სიზუსტით წინასწარ განვსაზღვროთ ჩასატარებელი გეგმიური ღონისძიებების ვადები;
3. შეფერხებების გარკვეული შემთხვევების წინასწარი პრევენციით შევამციროთ ფინანსური დანაკარგები და გავზარდოთ მობილური სისტემების მომსახურების ხარისხი და ეკონომიკური ეფექტიანობა.

ლიტერატურა:

1. Kakubava R. (2009). New Markovian and semi – Markovian closed queuing systems with two types of service as mathematical models of reliability and maintenance. VI International Conference. Extended Abstracts, MMR 2009 – Mathematical Methods in Reliability. Theory, Methods, Applications. Moscow.
2. Harras K.A., Wittle M.P., Almeroth K.C., Belding M.E. (2007). ParaNets: A Parallel Network Architecture for Challenged Networks. In Proc. of the 7th IEEE Workshop on mobile Computing Systems and Applications (Hotmobile), Tucson, AZ, -P. 73 – 78, February.
3. Черкесов Г.Н. (2005). Надежность аппаратно-програмных комплексов. – Спб.: Питер. Россия.
4. მიქავა თ., ნიჟარაძე მ., წამალაშვილი დ. (2015). სტრუქტურული მართვის ეკონომიკური ანალიზის ერთი ამოცანის შესახებ. აკად. ი. ფრანგიშვილის დაბ. 85 წლ. მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა“. სტუ-ს შრ.კრ. თბილისი, 2015.
5. Baiashvili Z., Kakubava R. (2007). Economic analysis of the warm standby system with many repair and switching facilities. International scientific conference “Information technologies in control”. Tbilisi.

6. Kakubava R., Svanidze N. (2013). The Semi Markovian Model for Economic Analysis of Standby. International Journal of Engineering, Science and Innovative Technology (IJESIT) Vol.2, Issue 6, November, pp. 240-246

TO SOME QUESTION OF OPERATION RELIABILITY OF MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Baiashvili Zurab, Tsamalashvili David, Nijharadze Mziana

Georgian Technical University

Summary

One method of calculation of the expected economic indicators of one of types of difficult technical systems – mobile telecommunication system, is provided, in case of refusal during operation separate its elements. For this purpose the system of the differential equations, which is given to system of the linear equations. The solutions of this system take part in calculation of cost efficiency of telecommunication system is under construction. The received results to reduce financial losses and to increase quality of mobile system in case of certain cases of failure.

К НЕКОТОРОМУ ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Баиашвили З.А., Цамалашвили Д.Т., Нижарадзе М.И.

Грузинский Технический Университет

Резюме

Представлен один метод расчета ожидаемых экономических показателей одного из типов сложных технических систем – мобильной телекоммуникационной системы, в случае отказа во время эксплуатации отдельного (отдельных) ее элементов. Для этого строится система дифференциальных уравнений, которая приводится к системе линейных уравнений. Решения этой системы принимают участие в вычислении экономической эффективности телекоммуникационной системы. Полученные результаты позволят снизить финансовые потери и повысить качество мобильной системы при определенных случаях сбоя.