

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი შამანაძე

**GSM სტანდარტის მობილური ქსელების გამტარუნარიანობის  
გაზრდის ალგორითმების ანალიზი და დამუშავება**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი 2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი  
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტმდ, სრული პროფესორი ჯემალ ბერიძე

რეცენზენტები: სრული პროფესორი, ირინა ჩხეიძე  
სრული პროფესორი, გივი მურჟიკნელი

დაცვა შედგება 2013 წლის “20“ ივლისს, 12 00 საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და  
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, VIII კორპუსი, 504 აუდიტორია  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი: გია ხელიძე

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**პრობლემის აქტუალობა.** სატელეკომუნიკაციო სფეროში დასაქმებული ნებისმიერი კომპანიის წინაშე დგას ამოცანა მოახდინოს ქსელის მშენებლობაზე და განვითარებაზე დანახარჯების მინიმიზაცია, ისე რომ შეინარჩუნოს მომსახურების ხარისხობრივი მახასიათებლების მისაღები დონე. დღევანდელ დღეს საქართველოში მიმდინარეობს სატელეკომუნიკაციო სფეროს სწრაფი განვითარება, განსაკუთრებით მობილური კავშირგაბმულობის მიმართულებით, ამასთან ყველაზე დიდი გავრცელება მობილურ ქსელებში ჰპოვა GSM სტანდარტმა.

მობილური ქსელის რიგითი აბონენტი სულ მეტ და მეტ მომსახურებას ითხოვს, როგორცაა: GPRS/EDGE ტექნოლოგიის ბაზაზე სხვადასხვა სერვისები, SMS და MMS შეტყობინების გაცვლა. ამასთან, სხვადასხვა შეფასებით აღნიშნული დამატებითი მომსახურებები, შესაძლებლობას იძლევა გაიზარდოს ოპერატორის ისეთი საჭირო ეკონომიური მაჩვენებელი როგორცაა ერთი აბონენტის საშუალო შემოსავალი (ARPU) (15-20)%-ით. ბუნებრივია, რომ ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა მოითხოვს იმ მოწყობილობების მოდერნიზაციას, რომელზეც იქნება აღნიშნული ტექნოლოგია რეალიზებული. ეს პროცესი წარმოადგენს რთულ ამოცანას და მოწყობილობების მწარმოებელი სხვადასხვა კომპანიები თავისებურად წყვეტენ მას. თანაც იცავენ მოთხოვნილ სტანდარტებს (ETSI, ITU და სხვა).

ამასთან, ამა თუ იმ კვანძის რეალიზაციისათვის გამოყენებული მეთოდები, შეიძლება იყოს საერთო. მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ სიმძლავრის გამაძლიერებლის სწორხაზოვნების მეთოდი, რომელთა გამოყენება აქტუალური ხდება EDGE და მესამე თაობის მობილურ ქსელებზე გადასვლისას, სადაც გამოიყენება სიგნალი არა მუდმივი (GSM), არამედ ცვალებადი მოძვლებით.

მოწყობილობის დამუშავება წარმოადგენს მომწოდებელი კომპანიის პრეროგატივას და მასზე მობილური ქსელის ოპერატორების ზეგავლენა მინიმალურია. ამასთან, ნათელია, რომ რჩევებს და განსაკუთრებით პრეტენზიებს მოწყობილობებზე და პროგრამულ უზრუნველყოფაზე

ითვალისწინებენ და შეაქვთ შესაბამისი კორექტივები. უნდა აღინიშნოს, რომ მობილური კავშირგაბმულობის ოპერატორების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს, არსებული მოწყობილობებით, მომხმარებელზე ხარისხიანი მომსახურების უზრუნველყოფა. რისთვისაც იყენებენ სხვადასხვა ოპციებს და აწყობენ ქსელს განსაზღვრული სახით. ამ ნაწილში მობილურ ოპერატორს საკმარისი შესაძლებლობები გააჩნიათ.

არ უნდა დაევიწყოთ, განვითარების მოცემულ ეტაპზე, მობილური კავშირგაბმულობის ძირითადი ფუნქცია – ხმოვანი (სატელეფონო) მომსახურებაა. დღევანდელ დღეს სატელეკომუნიკაციო ბაზრის განვითარების ხარისხი ისეთია, რომ აბონენტებს არა მარტო სურთ ლაპარაკის შესაძლებლობა ნებისმიერ დროს, ნებისმიერ ადგილას, არამედ ითხოვენ ხარისხიანი მომსახურების მიღებას. აღსანიშნავია, რომ მობილური კავშირგაბმულობის ნებისმიერი სერვისი იყენებს ერთ და იგივე ფიზიკურ რესურსს – რადიოარსს, ამიტომ პირველ რიგში საჭიროა არსებული რესურსი სწორედ გავანაწილოთ სხვადასხვა სერვისებს შორის და მეორეს მხრივ სხვადასხვა ალგორითმების გამოყენებით მოვახდინოთ მათი ეფექტური გამოყენება. მართვის პრობლემების ანალიზზე, ინფორმაციის შენახვაზე, ასევე მიმდინარე პროცესების მათემატიკურ აღწერაზე, რომლებიც მიმდინარეობენ მასობრივი მომსახურების სისტემებში, მიძღვნილია საზღვარგარეთის მეცნიერთა მრავალი ნაშრომი.

საქართველოში სიხშირული რესურსების ეფექტური გამოყენება, რომელიც გამოყოფილია GSM სტანდარტის მობილური სისტემებისათვის, იმის გამო, რომ მათ წაეყენება სხვადასხვა შეზღუდვები, ძალიან აქტუალურია, განსაკუთრებით (880-915)მჰც. და (925-960)მჰც. (შემდგომში შემოკლებით 900მჰც.) სიხშირულ დიაპაზონში. ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელია მობილური ქსელის გაფართოება დამატებითი ტრანსივერის დაყენებით, რადგან ამან სიხშირული ზოლის სიმცირის გამო შეიძლება გამოიწვიოს ინტერფერენცია, რაც თავის მხრივ მკვეთრად აუარესებს მომსახურების ხარისხს. ამიტომ ხშირ შემთხვევაში მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ალგორითმებისა და მეთოდების გამოყენება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადანაწილდეს ტრაფიკი და გაზარდოს მობილური

ქსელის ტევადობა დამატებითი ტრანსივერის დადგმის გარეშე. მით უმეტეს ხშირ შემთხვევაში ისმება ამოცანა, რომ მობილური ქსელის ტევადობა გაიზარდოს დინამიურად და დროის საჭირო მომენტში, ე.ი. მაშინ როცა სინამდვილეში ადგილი აქვს რადიონტერფეისში არსების ნაკლებობას. სხვა სიტყვებით აუცილებელია გამოყენებულ იქნას ალგორითმი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ვიწინასწარმეტყველოთ მობილური ქსელის გადატვირთულობა და ვმართოთ მისი ტევადობა.

ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინებით ანალიზის ჩატარება, ეფექტურობის შეფასება და მისი გავლენა ქსელის ტევადობის გაზრდის ძირითადი ოპციების ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, ასევე ქსელის გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა და GSM სტანდარტის ქსელებში სალაპარაკო და პაკეტური ტრაფიკის გადანაწილება წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანებს.

**სამუშაოს მიზანი.** სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს GSM სტანდარტის ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის ამოცანის გადაწყვეტა, მასობრივი მომსახურების თეორიის საფუძველზე დამუშავებული მათემატიკური მოდელით.

დასახული მიზნის შესასრულებლად საჭირო გახდა გადაგვეწყვიტა შემდეგი ამოცანები:

- GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების მობილურობის შესაძლებლობების ანალიზის საფუძველზე ქსელის მათემატიკური მოდელის ისეთი პარამეტრების განსაზღვრა, რომლებიც იწინასწარმეტყველებდნენ ქსელის გადატვირთულობის საბაზო სადგურის რადიონტერფეისის ქვესისტემისათვის;
- არსებული ოპციების გამოყენებისას პრაქტიკული რეკომენდაციების დამუშავება, რომლებიც მოგვცემდნენ მობილური ქსელის ტევადობის გაზრდის საშუალებას;
- ქსელის სხვადასხვა ელემენტებიდან მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე, საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობის გათვლის

ალგორითმის დამუშავება, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას

- ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე რადიო ინტერფეისის რესურსების, სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის, განაწილების ალგორითმის დასაბუთება და დამუშავება, რათა მაქსიმალურ ეფექტურად იქნეს გამოყენებული მობილური ქსელის არსებული ტევადობა.

**გამოკვლევის საერთო მიზნობა.** საბაზო სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გათვლის ალგორითმის დამუშავებისას, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას, და ქსელის გადატვირთულობის მოდელის პარამეტრების განსაზღვრისას გამოყენებულ იქნა მასობრივი მომსახურების, ტელეტრაფიკის, ალბათობის და სტატისტიკური რადიოტექნიკის თეორიები.

**სამუშაოს ძირითადი სიახლეს და სამეცნიერო შედეგებს წარმოადგენს:**

1. განისაზღვრა პარამეტრები, რომლებიც აფასებდნენ აბონენტების მობილურობას, ამასთან ითვალისწინებდნენ GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებებს.
2. გამოკვლეულ და დასაბუთებულ იქნა GSM სტანდარტის ქსელის გადატვირთულობის პროგნოზირებისათვის მათემატიკური მოდელი, ასევე განისაზღვრა მისი პარამეტრები მიღებული მობილურობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით.
3. დამუშავდა “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობის ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა საბაზო სადგურის რადიოინტერფეისის ქვესისტემაზე შეამციროს გადატვირთულობა. ამასთან შენარჩუნებულ იქნას შეერთების გაწყვეტის პროცესის მინიმალური პროცენტული დონე.
4. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების (200 000 მეტი ანათვალის „ბილაინი“-ს ქსელი) საფუძველზე მიღებულ იქნა ანალიტიკური დამოკიდებულება საბაზო სადგურის ლოგიკურ პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გათვლისათვის “პირდაპირი

გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას. ჩატარდა მიღებული ფორმულის გამოკვლევა და მონახულ იქნა სანდო ინტერვალები.

5. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების (200 000 მეტი ანათვალი „ბილანი“-ს ქსელი) საფუძველზე დამუშავდა და დასაბუთდა სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის ქსელის რესურსების გადანაწილების მეთოდია, რომელიც საშუალებას იძლევა ხარისხის ნორმატივები ორივე მომსახურებისათვის იყოს დაკმაყოფილებული.

6. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების (300 000 მეტი ანათვალი „ბილანი“-ს ქსელი) საფუძველზე შემუშავებული იქნა ქსელის ტევადობის გაზრდის ოპციის პრაქტიკული გამოყენების რეკომენდაციები.

**პრაქტიკული ვასეულობა.** სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებული გამოკვლევები და ქსელის გადატვირთულობის პროგნოზირების მათემატიკური მოდელის მოძებნილი პარამეტრები საშუალებას იძლევიან, ტრაფიკის ზრდის ადრეულ ეტაპზე, მიღებულ იქნას ზომები, რადიონტერფეისის პარამეტრების გადასაწყობად, რათა თავიდან იქნეს აცილებული უარი აბონენტის მომსახურების დროს.

მობილური ქსელების ხარისხის შეფასების განხილული მეთოდები და მათი გამოყენების რეკომენდაციები, საშუალებას მისცემს მობილური ქსელის ოპერატორებს მუდმივად განახორციელოს ქსელის მდგომარეობის კონტროლი და მიწოდებული მომსახურების ხარისხი შეინარჩუნოს მაღალ დონეზე.

სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი ძირითადი ოპციების დანერგვის რეკომენდაციები, რომლებიც ზრდის მობილური ქსელის ტევადობას, აძლევს მობილური ქსელის ოპერატორს შესაძლებლობას უფრო ეფექტურად და დროულად გაააქტიურონ ისინი თავიანთ ქსელებში, რაც საშუალებას მისცემთ უფრო უკეთ გამოიყენონ არსებული რესურსები.

“პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის აწყობის დამუშავებული მეთოდია უზრუნველყოფს GSM სტანდარტის ქსელებში რადიონტერფეისზე გადატვირთულობების შემცირებას, ამასთან დაბალ დონეზე იქნება შენარჩუნებული არსებული შეერთებების გათიშვის

მნიშვნელობები, რაც ზრდის არა მარტო არსებული რესურსის გამოყენებას, არამედ მომსახურების ხარისხს.

ანალიტიკური დამოკიდებულება, რომელიც მიიღება საბაზური სადგურის ლოგიკური პარამეტრების დასაშვები მნიშვნელობების გასათვლელად, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცესების დროს, გადატვირთულობის პროგნოზირების ალგორითმთან ერთად, მობილური კავშირის ოპერატორებს საშუალებას აძლევს ადრეულ ეტაპზე, არა მარტო აღმოაჩინონ წარმოქმნილი გადატვირთულობები, არამედ დროულად გაატარონ ზომები მათ შესამცირებლად, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი მათი გავლენა ხარისხის შეფასების სხვა ძირითად მაჩვენებელზე.

საპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რადიონტერფეისის რესურსების გადანაწილების დამუშავებული და დასაბუთებული ალგორითმი, საშუალებას იძლევა რესურსების შეზღუდული მნიშვნელობების დროს, გამოყენებული იქნეს, როგორც სალაპარაკო ინფორმაციის, ასევე მონაცემთა გადასაცემად, ამასთან ერთად შენარჩუნებული იქნება მომსახურების მაღალი ხარისხი.

**სადისერტაციო ნაშრომის შედეგების რეალიზაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები დანერგილია „ბილაინი“-ს მობილურ ქსელში და გამოიყენება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტზე სასწავლო პროცესში.

**სამუშაოს შედეგების აპრობაცია და გამოქვეყნებული შრომები.**

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ და განხილულ იქნა სტუ-ს პროფესორ-მასწავლებელთა სამეცნიერო კონფერენციებზე და საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალ „ინტელექტუალში“:

1. პირველ და მეორე თემატურ სემინარზე და კოლოკვიუმზე (თბილისი, 2012-2013);
2. სტუ-ს მართვის ავტომატიზირებული სისტემების კათედრის შექმნის 40 წლისთავისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი, 2011);
3. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (ქუთაისი, 2013);

**ნაშრომის სტრუქტურა.** შადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და დასკვნისაგან, ის შეიცავს 165 გვერდ ნაბეჭდ ტექსტს, 58 ნახაზს და 9 ცხრილს. აგრეთვე მოცემულია გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა და შემოკლებათა სია.

**პუბლიკაციები.** დისერტაციის შედეგები ასახულია რეცენზირებად ჟურნალებში გამოქვეყნებულ 5 ნაშრომში (მათი ჩამონათვალი მოცემულია ავტორეფერატის ბოლოს).

**დაცვაზე გამოტანილი ძირითადი პოზიციები:**

- მობილური ოპერატორების მიერ ქსელის ტევადობის გაზრდის ძირითადი ოპციების ანალიზის საფუძველზე, დამუშავებულ იქნა მათი გამოყენების რეკომენდაციები, რომლებიც დასაბუთებულია პრაქტიკული შედეგებით:

- მობილური ქსელის დაპროექტების დროს მიზანშეწონილია ორიენტაცია გაკეთდეს ტრაფიკის 20-30%-იან ნაწილზე რეჟიმში **Half Rate**;

- “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გამოყენება საშუალებას იძლევა 25%-მდე გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა;

- ორ დიაპაზონიანი ქსელის აწყობა საშუალებას იძლევა 5%-მდე გაიზარდოს მობილური კავშირის ქსელის ფიჭის რესურსის გამოყენების ეფექტურობა;

- სისშირის გადაწყობის ფსევდოალბათური მეთოდის გამოყენება საშუალებას იძლევა 15%-ით გაუმჯობესდეს **CunSR**-ის მნიშვნელობა, ხოლო **TAsFR\_radio** პარამეტრის მნიშვნელობა კი ორჯერ.

- მობილურობის პარამეტრების საფუძველზე, ქსელის გადატვირთულობის სისშირის პროგნოზირებისათვის, მათემატიკური მოდელის პარამეტრები, რომელიც გამოთვლილია **GSM** სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის გვიჩვენებენ, რომ ინტენსივობის დროს  $\lambda_{ho}=10$  აბ/წმ ანალიზისათვის საჭირო ინტერვალი შეადგენს 100-250 წმ., რაც დაახლოებით 3-4 ჯერ ნაკლებია გადატვირთულობის წარმოქმნის რეალურად შესამჩნევ დროზე, “საცობის”, ავარიის ან ამგვარი ტიპის სიტუაციის დროს. რაც საშუალებას აძლევს მობილური კავშირის

ოპერატორს მიღებული მოდელი გამოყენებულ იქნას ქსელის რესურსების დინამიურად გადამწყობ მოწყობილობებში.

- მიღებული ანალიტიკური ფორმულა გვიჩვენებს, რომ სიგნალის დონის მინიმალური მნიშვნელობის  $Signal\_levmin = -95$ დბმ. დროს, იმისათვის რომ წარუმატებელი შეერთებების რაოდენობა შენარჩუნებულ იქნას არა უმეტეს 2%-ის ფარგლებში, ლოგიკური პარამეტრები, რომლებიც პასუხს აგებენ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურეს მუშაობაზე, ისეთნაირად უნდა აიწყოს, რომ სიგნალის წილი ზღვრული დონის ქვემოთ არ აღემატებოდეს 15%.

- სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის რადიონტერფეისის რესურსების გადანაწილების ალგორითმის მოქმედი პარამეტრები საშუალებას იძლევიან  $P_{gprs}$ -ის მნიშვნელობა შევინარჩუნოთ (1-2)%-ის ფარგლებში,  $P_{gprs}$  მნიშვნელობაზე მინიმალური ზემოქმედების დროს.

TRX-პარამეტრის რაოდენობა	HIGH_TRAFFIC	MAX_PDCH
1TRX	83%	5
2TRX	92%	12
3TRX	90%	19
4TRX	93%	26
5TRX	94%	34
6TRX	95%	41

- ერთი და ორ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის, Half Rate რეჟიმისგან დამოუკიდებლად, MAX\_PDCH და HIGH\_TRAFFIC მნიშვნელობები:

$MAX\_PDCH = TS_{რაოდენობას} - 1$ , სადაც TS იმ ტაიმსლოტების რაოდენობაა, რომლებიც არ არიან დაკავებული სასამსახურო არხებით.

$$MAX\_PDCH\_HIGH\_TRAFFIC = 100 * (MAX\_PDCH) / (TS_{რაოდენობა});$$

- სამ და მეტ ტრანსივერიანი სექტორებისათვის Half Rate რეჟიმისგან დამოუკიდებლად:

$$MAX\_PDCH = TS_{რაოდენობას} - 2,$$

$$HIGH\_TRAFFIC = *(MAX\_PDCH) / (TS_{რაოდენობა}).$$

## ნაშრომის შინაარსი

**შესავალი** დასასაბუთებელია გამოსაკვლევი თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი და ამოცანები, ჩამოთვლილია შედეგები, რომლებიც მიღებული იყო დისერტაციის დამუშავების დროს, განსაზღვრულია სადისერტაციო ნაშრომის პრაქტიკული ფასეულობა და გამოყენების სფეროს ძირითადი ასპექტები, რომლებიც გამოტანილია დაცვაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის **პირველ თავში** მოცემულია იმ ძირითადი ოპციების კლასიფიკაცია და აღწერა, რომლებსაც იყენებენ მობილური კომპანიების უმრავლესობა და რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა. როგორცაა: ჰენდოვერის სხვადასხვა სახეობა, მათ შორის იერარქიული ფიჭისათვის, “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურები, ნახევარსინქარირანი კოდირების რეჟიმი, სინქრონის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვლადი გასხივება. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ფორმულირებულ იქნა ძირითადი გამოსაკვლევი პოზიციები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაიზარდოს მობილური ქსელის რესურსების გამოყენების ეფექტურობა.

ამა თუ იმ მომსახურების ცუდი ხარისხის გამომწვევ ძირითად მიზეზს წარმოადგენს საბაზო სადგურის რესურსის უკმარისობა, რაც იწვევს რადიონტერფეისის გადატვირთულობას და/ან გარეშე ხელშეშლებს. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შეთავაზებულია ოპციების შემდეგი კლასიფიკაცია:

1. ოპციები, რომლებიც ამცირებენ გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან მეზობელ ფიჭებს შორის გადაანაწილონ ტრაფიკი (ჰენდოვერის სხვადასხვა სახეობა, ნახევარსინქარირანი კოდირების რეჟიმი, ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება);

2. ოპციები, რომლებიც საშუალოდ ამცირებენ ინტერფერენციებს ქსელის შიგნით (სინქრონის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და ცვლადი გასხივება).

მობილური ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე, როდესაც ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ქსელის ტევადობის უკმარისობა და აქედან გამომდინარე გადატვირთულობების არსებობა, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ და შესაბამისად ავაწყოთ ოპციები, რომლებიც განთავსებულია პირველ ჯგუფში. შემდგომი, ოპტიმიზაციის პროცესში, როდესაც ძირითად როლს ითამაშებს რადიო პრობლემები, ახრი აქვს ძირითადი ყურადღება დაეთმოს მეორე ჯგუფის ოპციებს.

პრაქტიკული თვალსაზრისით, განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს პირველ ჯგუფში განთავსებული ოპციები, რამდენათაც მათი გამოყენება, როგორც ტექნიკური, ასევე ეკონომიური მხრიდან იძლევიან შესაძენვე შედეგებს. მობილურ ოპერატორს ყველაზე მეტი თავისუფლება გააჩნია “პირდაპირი გადადანიშნულების” ოპციის პროცედურების განხორციელებისას, მაგრამ დღეისათვის იმ ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობა, რომლებიც აღნიშნული ოპციების მუშაობაზე პასუხობენ, აიღება კონკრეტული ინჟინრის გამოცდილებიდან გამომდინარე, რომლებიც ემსახურებიან ქსელის ოპტიმიზაციას, ე.ი. არ არსებობს მათემატიკურად დასაბუთებული მიდგომა.

აქედან გამომდინარე შემდგომში წარმატებით გადაიჭრება ანალიტიკური დამოკიდებულების ამოცანა, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დასაბუთებულად მიუდგეთ “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას.

განსაკუთრებით დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, აღნიშნული ოპციის არა სტატიკურ რეჟიმში, არამედ დინამიურ რეჟიმში აწყობას. ამისათვის აუცილებელია გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების მათემატიკური მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა და არსებული ქსელის რესურსების სალაპარაკო და მონაცემთა ტრაფიკებს შორის გადანაწილების გათვალისწინება GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის, რაც შედის შემდგომში გადასაჭრელ ამოცანებში.

**მეორე თავში** განხილულია GSM მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების მეთოდები, როგორცაა: დრაივ-ტესტის ჩატარება, იმ სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი, რომლებიც აღებულია მობილური

ქსელის ისეთი ელემენტებისათვის, როგორცაა საბაზო სადგურის და კომუტაციის ქვესისტემები, სხვადასხვა ინტერფეისზე აღებული ტრასირების ანალიზის მონაცემები. იმის გამო, რომ ანათვლებს გააჩნიათ დიდი რეპრეზენტულობა, შედარებით მცირე ღირებულება და მონაცემების აღების სიმარტივე, ძირითადად შეიძლება მივიჩნიოთ სტატისტიკის ანალიზი, მაგრამ ეს მეთოდი არ იძლევა საშუალებას შეფასებული იქნას ყველა ასპექტი, რომლებიც უშუალო შეხებაშია მომსახურების ხარისხის შეფასებასთან, ამიტომ სამივე ერთმანეთის შემავსებელი მეთოდის ერთდროული გამოყენება აძლევს მობილური კომპანიის ოპერატორს აბონენტზე მიწოდებულ მომსახურების ხარისხზე იქონიოს სრულყოფილი და ობიექტური სურათი.

მოყვანილია ხარისხის ინდიკატორის ფორმირების ძირითადი პრინციპები, ასევე დამუშავებულია მიდგომა ხარისხის მაჩვენებელი ფორმულების შესადგენად. შეერთების დამყარების პროცესის მიხედვით გამოძახებების მთელი პროცედურა დაყოფილია რამოდენიმე ნაწილად, ხოლო შემდეგ წარმატებული პროცესების ალბათობათა გადამრავლებით, გამოითვლება ხარისხის გლობალური მაჩვენებელი – წარმატებული გამოძახების პროცენტი (CunSR), რომელიც მთლიანად ახასიათებს ქსელს და იძლევა ქსელების შედარების საშუალებას. ასევე შეიცავს: - მმართველი არხის წარმატებლად მინიჭების პროცენტს (SDAsFR), - შეერთების გაწყვეტების პროცენტს მართვის არხში გამოძახების ყოფნის დროს (SDCDR), ტრაფიკისათვის არხის წარმატებული მინიჭების პროცენტს (TAsFR) და შეერთების გაწყვეტების პროცენტს ტრაფიკის არხში გამოძახებების ყოფნის დროს (TCDR).

განხილულია ხარისხის ინდიკატორის გამოთვლის მეთოდები, უდიდესი დატვირთვის საათებისათვის (უდს) და ინტეგრირებულად განსაზღვრულ დროის შუალედში. ნაჩვენებია, რომ თითოეული მეთოდი ემსახურება სხვადასხვა მიზნებს. თუ უდს-ში გამოთვლილი ხარისხის მაჩვენებელი საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ ქსელში ყველაზე ცუდ სიტუაციაზე, ქსელის ერთი კვირის ინტერვალში (ტრაფიკის პროფილის გამეორების მინიმალური დრო) ინტეგრირებული შეფასება წარმოდგენას იძლევა ქსელის

განვითარების ტენდენციაზე, ამ დროს გამოირიცხება ტრაფიკის მყისიერად მატება (მაგ. სადღესასწაულო ღონისძიებების ჩატარება).

ჩატარდა ანალიზი და მიეცა შეფასება იმ ოპციათა გამოყენების ეფექტურობას, რომელიც საშუალებას იძლევა გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, ასევე განისაზღვრა პრაქტიკული გამოყენების რეკომენდაციები, განხილულ ხარისხის მაჩვენებლებზე გავლენის მოსახდენად. ნაჩვენებია, რომ ტრაფიკის და მართვის არხების წარუმატებლად მინიჭების პროცენტის შესამცირებლად, ქსელის რესურსების უკმარისობის დროს, ყველაზე ეფექტურია ნახევარ სისწირული კოდირება, რაც პრაქტიკულად საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ქსელის ტევადობა ორჯერ (ამასთან უნდა იქნეს გათვალისწინებული ქვემოთ მოყვანილი შეზღუდვა). ასევე ხარისხის აღნიშნულ მაჩვენებელზე დადებითად მოქმედებს “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა, რომელიც საშუალებას იძლევა 20-25%-ით გაიზარდოს მობილური ქსელის ტევადობა, მაგრამ ამ შემთხვევაში აუცილებელია ყურადღება მიექცეს ხარისხის იმ მაჩვენებლების ცვლილებას, რომლებიც რადიოარხის მდგომარეობას ახასიათებენ, რადგანაც ამ ოპციებმა მათი ფუნქციონირების თავისებურებების გამო შეიძლება უარყოფითი გავლენა იქონიონ. ინტერფერენციული სურათის გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ე.ი. რადიო არხში პრობლემის გამო ტრაფიკისა და მართვის არხების წარუმატებელი მინიჭების პროცენტის შესამცირებლად და ტრაფიკისა და მართვის არხებში გამოძახების მოძებნის შემთხვევაში, შეერთების გაწყვეტის პროცენტის შესამცირებლად, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სისწირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, რაც საშუალებას იძლევა პრაქტიკულად შემცირდეს TAsFR\_radio – ორჯერ და ასევე მცირდება ცვლადი გამოსხივება (საშუალებას იძლევა 1.5%-ით გაიზარდოს სიგნალების წილი, რომელთა მნიშვნელობა RXQUAL=0).

**მესამე თავში** მოცემულია ქსელის აწყოების ალგორითმები GSM სტანდარტის ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის. მობილური ქსელის გადატვირთულობის შემცირების ერთ-ერთი მთავარი მეთოდის,

“პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის მაგალითზე ნაჩვენებია მისი გავლენა ქსელის ხარისხის ისეთ მაჩვენებელზე, როგორებიცაა, უარის აღბათობა, შეერთების პოცესის გაწვევების და წარუმატებელი შეერთების პროცენტი. ამ პროცედურის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ გამოძახება მომსახურებისათვის შეიძლება გადაეცეს ფიჭას ცუდი რადიოპირობებით, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს შეერთების შემდგომ გათიშვას. ამიტომ მნიშვნელოვანია მოიძებნოს კომპრომისი გადატვირთულობის მნიშვნელობის გაუმჯობესებასა და შეერთების გაწვევების მნიშვნელობის ზრდას შორის. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ ხარისხის ისეთი ძირითადი მაჩვენებლის გაუარესება, როგორიცაა წარუმატებელი შეერთების პროცენტი. ნაჩვენებია, რომ უარის აღბათობის გამოთვლისათვის თეორიულად მიღებული ფორმულა, სადაც გათვალისწინებულია ზონების გადაფარვა, კარგად კორელირდება პრაქტიკულ მნიშვნელობებთან, რომლებიც მიიღება იმ ფიჭებიდან, სადაც გააქტიურებულია “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა, და რაც საშუალებას იძლევა 25%-ით გაიზარდოს ფიჭის ტევადობა. რამდენადაც, მიღებულ ფორმულაში პარამეტრი, რომელიც  $r = r_{კავშ} / r_{ფიჭა}$  განსაზღვრავს, ლოგიკურად შეესაბამება **Signal\_levmin** და პასუხს აგებს “პირდაპირი გადადანიშნულების” მუშაობაზე, ექსპერიმენტული მონაცემების აპროკსიმაციით მიღებულია ანალიტიკური გამოსახულება უარის მიღების აღბათობასა და სიგნალის ზღვრულ დონის ნაწილს შორის. ანალოგიურად იქნა მიღებული ანალიტიკური დამოკიდებულება, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შეერთების წვევების პროცენტი, სიგნალის ნაწილთან დამოკიდებულებაში ზღვრულ დონეს ქვევით.

ამრიგად, დავამტკიცეთ რა აღმოჩენილი რეგრესიის ჩატარებული შეფასების მნიშვნელობა, დასაბუთებულ იქნა ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შეიძლება მოიძებნოს ზღვრულ დონეს ქვევით სიგნალის ნაწილის პროცენტი. ნაჩვენებია, რომ თუ მივიღებთ წარუმატებელი შეერთების აუცილებელ დონედ 2%-ს, მაშინ დასაშვებია ზღვრულ დონეს ქვევით სიგნალი იყოს 15 %.

“პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების აწყობისას შესაბამისად ავირჩიოთ ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები.

განხილულია GPRS ტექნოლოგიის გამოყენებისას, მობილური ოპერატორებისათვის ყველაზე აქტუალური, GSM სტანდარტის ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით, სალაპარაკო და მონაცემთა ტრაფიკებს შორის ქსელის რესურსების გადანაწილების საკითხი. აპარატურის რიგი მომწოდებლების მიერ შემოთავაზებული ქსელის რესურსების დინამიური მართვის მეთოდების საფუძველზე, შემოთავაზებულია და დასაბუთებულია ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა რადიონტერფეისის რესურს მაქსიმალურად ეფექტურად იქნეს გამოყენებული და დააკმაყოფილოს სალაპარაკო ტრაფიკის ხარისხობრივი მაჩვენებლის ნორმატივები. ამასთან მიიღწევა პაკეტური ტრაფიკის ხარისხის რაც შეიძლება კარგი მაჩვენებელი. ფიჭის გამართვისას დამუშავებულია ლოგიკური პარამეტრების მნიშვნელობები, თანაც გათვალისწინებულია ფიჭაში არსებული ტრანსივერების რაოდენობა.

ნაჩვენებია, რომ საწყისი აწყობისათვის დიდი სალაპარაკო ტრაფიკის დროსაც კი, მიზანშეწონილია დავაყენოთ პარამეტრი  $MAX\_PDCH\_HIGH\_TRAFFIC=1$ , რადგანაც სალაპარაკო ტრაფიკზე მინიმალური ზემოქმედების დროს ასეთი მნიშვნელობა უზრუნველყოფს GPRS ხარისხის მაჩვენებლის მისაღებ მნიშვნელობას.  $MAX\_PDCH\_HIGH\_TRAFFIC=0$  მნიშვნელობის დაყენება, HIGH\_TRAFFIC პარამეტრის მნიშვნელობის გაზრდა და ფიჭის დატვირთვის შეფასების დროის შემცირება, TRF-ის დანიშნის სიტუაციას უკუ მიმართულებით კი აუმჯობესებს, მაგრამ მაღალი რჩება ამ ხარისხობრივი ინდიკატორის მნიშვნელობა. GPRS-ისათვის რესურსის უფრო ეფექტურად გამოყენების მიზნით, ფიჭის გაზრდილი დატვირთვის პირობებში, მიზანშეწონილია დავაყენოთ ფიჭის დატვირთვის მაღალი ბარიერი, ე.ი. HIGH\_TRAFFIC ნიშვნელობის დაყენებისას ვისარგებლოთ ნაჩვენები რეკომენდაციით.

დამუშავებული ალგორითმები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქსელის მართვის ცენტრიდან ხელით აწყობის დროს. მაგრამ განსაკუთრებულ

ინტერესს მეორე თაობის მობილური ქსელებისათვის წარმოადგენს ახალი ოპციების დამუშავება, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მიმდინარე სიტუაციიდან დამოკიდებულებით და დატვირთვის ზრდის დროს, ავტომატურად გადაეწიოს ლოგიკური პარამეტრები, რათა ქსელის არსებული რესურსი უფრო ეფექტურად იქნეს გამოყენებული. აღნიშნულის რეალიზაციისათვის აუცილებელია განისაზღვროს მათემატიკური მოდელის პარამეტრები GSM სტანდარტის ქსელებში დატვირთვის ზრდის პროგნოზირებისათვის.

**მეოთხე თავში** აღწერილია მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამოიყენება გადატვირთულობების წინასწარმეტყველების ალგორითმების დასამუშავებლად. თეორიული დასკვნებისათვის გამოიყენება ერლანგის მოდელი, რომელიც ვარაუდობს, რომ შეკვეთების შემომავალი ნაკადი აღიწერება პუასონის კანონით და მომსახურების დრო  $1/\mu$  თითოეული შეკვეთისათვის ექვემდებარება ექსპონენციალურ განაწილებას. ამასთან შემომავალი ნაკადის ინტენსივობა ფიჭაში აბონენტების რაოდენობის პროპორციულია. GSM სტანდარტის ქსელებში აბონენტთა ადგილმდებარეობის განსაზღვრის განხილული თავისებურებების გათვალისწინებით, როდესაც აბონენტთა გადაადგილება შეიძლება შეფასდეს შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ( $\lambda_{ho}$  და  $\mu_{ho}$  შესაბამისად) ინტენსივობის საფუძველზე, ასევე თუ მივიღებთ მხედველობაში სტატისტიკის შეგროვების თავისებურებებს, ნაჩვენებია, რომ გადატვირთულობა, რომელიც გამოწვეულია აბონენტების მიერ სისტემაში არსებული ყველა რესურსის დაკავებით, ცალსახად დაკავშირებულია მობილურობის პარამეტრების თანაფარდობაზე  $\lambda_{ho}/\mu_{ho}$ . აქედან გამომდინარე, ამ პარამეტრების შესაბამისი ფორმირება საშუალებას მოგვცემს ვიწინასწარმეტყველოთ რადიონტრფეისზე გადატვირთულობის წარმოქმნა.

განხილულ იქნა მობილურობის პარამეტრების ინტენსივობის ცვალებადობის ძირითადი სახეები. შემომავალი ჰენდოვერების შემთხვევაში, ეს არის  $\lambda_{ho}$  -ინტენსივობის ნახტომისებრი ცვალებადობა, რომელიც

შეესაბამება უმარტივეს შემთხვევას, როდესაც შემომავალი ჰენდოვერების ინტენსივობა იცვლება ნახტომისებურად და მეორე - ინტენსივობის ცვალებადობის ხაზური კანონი – ფიჭაში შემავალი ჰენდოვერების ნაკადისათვის აღიწერება ხაზური კანონით. პირველი შემთხვევა შეესაბამება რეალურ სიტუაციას, როგორცაა მასობრივი ღონისძიების დამთავრება და აბონენტთა ძირითადი მასის მოძრაობა ერთი მიმართულებით (მეტროს სადგური, ავტობუსის გაჩერება და ა.შ.), ერთ-ერთი ბაზური სადგურის გაუთვალისწინებელი დაზიანება, საჰაერო ან მატარებლის რეისის მოულოდნელი გადადება და ა.შ. მეორე შემთხვევას შეიძლება მივაკუთვნოთ დილის და საღამოს საათებში გზებზე “საცობების” წარმოქმნა, განსაზღვრულ დროს დამხვედურების თავმოყრა აეროპორტებში ან რკინიგზის სადგურებში. გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვალებადობა ასევე ხდება ნახტომისებურად ორი კანონით ე.ი. შემომავალი ჰენდოვერის ანალოგიურად, მაგალითად რომელიმე მასობრივი ღონისძიების დამთავრების და აბონენტების ფიჭიდან შემდგომი გასვლით, “საცობების” წარმოქმნით და ა.შ. და ინტენსივობის ცვლილების უკუპროპორციული კანონით, “საცობის” თანდათანობითი “გაწოვისას”, უნივერსიტეტში მეცადინეობის დამთავრების და სტუდენტთა მეტროსკენ მოძრაობისას და ა.შ..

GSM სტანდარტის რეალურ ქსელებში გამოსაყენებლად თეორიული დასკვნების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის ცვალებადობის აღმოჩენის ალგორითმის პარამეტრები. ნახვენებია, რომ  $\lambda_{ho}$  პარამეტრის მნიშვნელობა ქალაქის პირობებში იცვლება 5-15 აბ./წმ-ში, ე.ი. ფიჭა ემსახურება დაახლოებით 8400-8500 აბონენტს. თუ დავუშვებთ, რომ  $\lambda_{ho}=10$  აბ./წმ-ში და გავითვალისწინებთ, რომ მიღებული შედეგები წარმადგენენ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების მოთხოვნის მინიმალურ მნიშვნელობას, მიიღება, რომ ჰენდოვერის ინტენსივობის ცვლილების გადაწყვეტილების მიღებაზე აუცილებელი დაყოვნება შეადგენს 100-300წმ-ს. აღნიშნული დრო 3-4-ჯერ ნაკლებია იმ დროზე რა დროშიც წარმოიქმნება რეალურად შესამჩნევი

გადატვირთულობა, ისეთი სიტუაციების დროს როგორცაა “საცობები”, ავარია და ა.შ.. ამრიგად დამტკიცებულია, რომ ამოცნობის განხილული ალგორითმები, შეიძლება გამოყენებული იქნას GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში ჰენდოვერების ინტენსივობის შესაფასებლად, შემდგომში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმებში გამოყენების მიზნით. ნაჩვენებია, რომ ფიჭაში აბონენტთა რაოდენობა, რომლებიც ახდენენ გამოძახების ინიცირებას მინიმუმ 1.5-2.5-ჯერ მეტია ვიდრე შემომავალი ჰენდოვერები.

შემოთავაზებულია გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმები, როგორც ჰენდოვერის ინტენსივობის ნახტომისერურად ასევე ხაზური კანონით ცვალებადობის დროს. აბონენტთა მობილურობა ფიჭაში ქმნის დატვირთვის ცვალებადობის პროცესს საკმაოდ რთულს და საფეხურებრივს. შეიძლება გამოვეყნოთ ორი ეტაპი. პირველ ეტაპზე ხდება მოდელის იმ პარამეტრების ცვლილება, რომლებიც აღწერენ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობას. მეორე ეტაპზე, ამ პარამეტრების ცვალებადობიდან გამომდინარე, წარმოიქმნება გარდამავალი პროცესი, რომელიც აღწერს ფიჭაში აქტიური აბონენტების ახალ რაოდენობას. განხილული და დამტკიცებულია ორივე ეტაპის გამოყენების აუცილებლობა.

ნაჩვენებია, რომ შემომავალი ჰენდოვერების ნაკადის ინტენსივობის 20%-ით გაზრდისას, ანალიზის ინტერვალმა უნდა შეადგინოს 100-500წმ. პრაქტიკაში, გადატვირთულობის წინასწარმეტყველება განსაკუთრებით აქტუალურია იმ ფიჭებისათვის, რომლებიც ემსახურებიან ზონებს აბონენტთა დიდი აქტიურობით. ასეთ შემთხვევაში, როგორც წესი სალაპარაკო ტრაფიკის მომსახურებისათვის გამოიყენება 40-45 ფიზიკური არხი. იმ შემთხვევაში, თუ საშუალო დატვირთვა თითოეულ აბონენტზე შეადგენს 7მერლ. (მილიერლანგი), ფიჭის მომსახურებადი აბონენტების რაოდენობა (30%-იანი რეზერვის გავალისწინებით), მერყეობს 5000-ის ფარგლებში. პრაქტიკული შედეგებიდან გამომდინარე მაღალ ინტენსივობად ითვლება  $\lambda_{ho}=15$  აბ./წმ-ში. აქედან მოიძებნა შეფასების

მნიშვნელობა  $\mu\text{ho}=1/500\text{წმ}$ . გარდამავალი პროცესი ექვემდებარება ექსპონენციალურ კანონს მუდმივი დროით  $1/\mu\text{ho}$ , რომლის მინიმალური მნიშვნელობა შეადგენს 500წმ., რაც დაახლოებით 1.7-5 ჯერ მეტია იმ დროზე რაც აუცილებელია ჰენდოვერში შემომავალი ნაკადის დამაჯერებელი შეფასების ფორმირებისათვის.

### სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დასკვნები

1. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულ იქნა ოპციათა კლასიფიკაცია, რომლებიც საშუალებას იძლევიან GSM სტანდარტის მობილურ ქსელებში გაზარდოს ტევადობა დამატებითი ტრანსივერების დაყენების გარეშე. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან ქსელის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე. ყველა ოპცია შეიძლება დაეყოს ორ ჯგუფად: ოპციები, რომლებიც ამცირებენ გადატვირთულობას, ე.ი. რომლებიც საშუალებას იძლევიან გადავანაწილოთ ტრაფიკი მეზობელ ფიჭებს შორის (ჰენდოვერების ზოგიერთი ტიპი, ნახევარსიჩქარიანი კოდირების გამოყენება, ქსელის იერარქიული სტრუქტურის გამოყენება); ოპციები, რომლებიც ამცირებენ ინტერფერენციებს მთელი ქსელის ფარგლებში (სიხშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და არამუდმივი გასხივება).
2. პრაქტიკული შედეგების საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა GSM სტანდარტის ქსელებში, ქსელის კონფიგურაციიდან, მისი განვითარების ხარისხიდან და აგრეთვე ქსელის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლების მნიშვნელობიდან გამომდინარე, განხილული ოპციების გამოყენების თანმიმდევრობა. ქსელის განვითარების პირველ ეტაპზე, როდესაც ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ქსელის ტევადობის სიმცირე და აქედან გამომდინარე გადატვირთულობების არსებობა, მიზანშეწონილია პირველ რიგში გამოვიყენოთ და შესაბამისად ავაწყოთ პირველ ჯგუფში არსებული ოპციები. შემდგომში, ოპტიმიზაციის პროცესში, როდესაც ძირითად როლს თამაშობს რადიო პრობლემები, აზრი აქვს დიდი ყურადღება მიექცეს ოპციებს, რომლებიც გაერთიანებულები არიან მეორე ჯგუფში.
3. ჩატარებულ იქნა მობილური ქსელის ხარისხის შეფასების ძირითადი მეთოდების ანალიზი, როგორცაა: ტესტური გამოძახებები ან დრაივ ტესტები,

ტრასირების ანალიზი და ქსელის კონტროლერიდან მიღებული სტატისტიკური ინფორმაციის დამუშავება. ქსელის მდგომარეობის შესახებ სრული ინფორმაციის მისაღებად თითოეული ეს მეთოდი მნიშვნელოვანია, ისინი ავსებენ ერთმანეთს, მაგრამ რიგი თავისებურებების გათვალისწინებით ძირითადია ბოლო მეთოდი. მისი გამოყენება აუცილებელს ქმნის განისაზღვროს ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლები და რომელთა საშუალებითაც ხდება ქსელის შეფასება.

4. განხილულ იქნა ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები, რომლებიც დამუშავებულია აპარატურის სხვადასხვა მწარმოებლების თავისებურებობის გათვალისწინებით. ხარისხის ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს წარუმატებელი გამოცდების პროცენტი – **CunSR**, რომლის შემადგენლობაში შედიან მართვის არხის წარუმატებელი მონიშვნის პროცენტი (**SDAsFR**), შეერთების წყვეტის პროცენტი, როდესაც გამოცდებები იმყოფება მართვის არხში (**SDCDR**), ტრაფიკის არხის წარუმატებელი მონიშვნის პროცენტი (**TAsFR**) და შეერთების წყვეტის პროცენტი, როდესაც გამოცდებები იმყოფება ტრაფიკის არხში (**TCDR**). თითოეული ეს მაჩვენებელი შეიძლება გამოთვლილი იქნეს, როგორც უდს-ში, ასევე ინტეგრალურად სხვა დროის ნებისმიერ შუალედში (როგორც წესი კვირა). როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, ქსელის ობიექტური შეფასებისათვის მხოლოდ ერთი მეთოდი არაა საკმარისი და მიზანშეწონილია ორივე მეთოდის გამოყენება.
5. ჩატარებულ იქნა იმ ოპციითა გავლენის ანალიზი ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, რომლებიც ზრდიან ქსელის ტევადობას. ყველა ოპცია მიმართულია **CunSR** მახასიათებლის შემცირებაზე, მაგრამ თითოეული ამ ოპციითაგანი საშუალებას იძლევა შეამციროს ერთი (ან ზოგჯერ ორი) ხარისხის ინდიკატორის მდგენელი. ქსელის განვითარების საწყის ეტაპზე ძირითად ამოცანას წარმოადგენს გადატვირთულობების შემცირება და პირველ ადგილზე გამოდიან ნახევარსიჩქარიანი კოდირება, „პირდაპირი გადადანიშნულების“ პროცედურა და ორდიაპაზონიანი ქსელის აწყობა (იმ პირობით თუ არსებობს ქსელში ორ დიაპაზონიანი გადამცემები). ქსელის შემდგომი განვითარებისას დღის წესრიგში დგება ქსელში ინტეგრირების შემცირება და მიზანშეწონილია ისეთი ოპციების გამოყენება, როგორცაა სიხშირის ფსევდოალბათური გადაწყობა, სიმძლავრის რეგულირება და

არამუდმივი გამოსხივება. თითოეული ამ ოპციატაგანის გამოყენების პრაქტიკული შედეგები აჩვენებენ მათი გამოყენების ეფექტურობას.

6. მიღებული თეორიული შედეგების გათვალისწინებით ჩატარებულ იქნა გადატვირთულობების პროგნოზირება GSM სისტემის მობილურ ქსელებში აბონენტების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის თავისებურებებიდან გამომდინარე. ნაჩვენებ იქნა, რომ მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ და ჩავატაროთ შემომავალი და გამავალი ჰენდოვერების ინტენსივობის შეფასება, რადგანაც ეს პარამეტრები, პირველ რიგში ცალსახად განსაზღვრავენ აბონენტების გადაადგილებას, და მეორეს მხრივ რეალურ ქსელში საკმაოდ მარტივად განისაზღვრებიან. შემომავალი ჰენდოვერის ინტენსივობის ცვლილებას მივეყვართ დატვირთვის ცვლილების განსაზღვრულ გარდამავალ პროცესთან, რომელიც თვითონ ჰენდოვერებიდანაა გამოწვეული, და ასევე პოტენციურად აქტიური აბონენტების რაოდენობის ცვლილებასთან. მოსალოდნელი გადატვირთულების აღმოჩენის და წინასწარმეტყველების ყველაზე ადრეულ ეტაპს წარმოადგენს მობილურობის პარამეტრების ცვლილება. იმისათვის, რომ ამადლდეს საიმედოება და თავიდან იქნეს აცილებული დატვირთვის მცირე ხანგრძლივობიან ამოვარდნებზე რეაგირება და ე.ი. ამადლდეს გამოყენებული ალგორითმის ეფექტურობა, მიზანშეწონილია ჩატარდეს მეორე ეტაპი, რომელიც დაფუძნებულია ფიჭაში წარმოქმნილი გარდამავალი პროცესების ანალიზზე და დროის განსაზღვრულ ინტერვალში დატვირთვის მოცემული დონის ამადლდებაზე. მიღებული თეორიული შედეგები შემოწმებულ იქნა რეალურ ქსელში და ექსპერიმენტალურმა შედეგებმა დაადასტურა გაანალიზირებული ალგორითმების გამოყენების მიზანშეწონილობა.
7. GSM სტანდარტის მობილური ქსელისათვის განისაზღვრა გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმის პარამეტრები, რომელთა საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ მათი ანალიზისათვის და შესაძლო გადატვირთულობის შესახებ გადაწყვეტილების მისაღებად საჭირო დრო შეადგენს 100-300 წამს. ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე დონე და გამოთვლითი სიმძლავრეების ხარისხი საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ შესაძლებელი იქნება პოტენციური გადატვირთულობის აღმოჩენა და გადატვირთულებადი ფიჭის სასარგებლოდ რესურსების გადანაწილება რეალურ სისტემაში მოხდეს აღნიშნულ დროში.

8. ჩატარებულ იქნა „პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის გავლენის ანალიზი მობილური ქსელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, როგორცაა უარის ალბათობა და შეერთების გაწყვეტის მაჩვენებელი. პრაქტიკულმა შედეგებმა და თეორიულმა გათვლებმა 4.ერლანგის მოდიფიცირებული ფორმულის მიხედვით, რომელიც მხედველობაში იღებს გადაფარვის ზონების სიდიდეს აჩვენა, რომ „პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურა წარმოადგენს ეფექტურ მეთოდს ფიჭური კავშირის ქსელში უარის ალბათობის შესამცირებლად, რაც საშუალებას იძლევა გავზარდოთ გამტარუნარიანობა 25%-ით. დავეყრდნობით რა ექსპერიმენტულ მონაცემებს, მიღებულს უარის ალბათობის და შეერთების გაწყვეტის მნიშვნელობების დამოკიდებულებით ზღვრულ დონეზე მცირე სიგნალებისათვის, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ის ახასიათებს გადაფარვის ზონის ზომას.
9. ჩატარდა შეფასება და მოძებნილ იქნა რეგრესიის კოეფიციენტის სანდოობის ინტერვალი ანალიტიკური გამოსახულებისათვის, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოითვალოს  $\tau_c$ -ისა და შეერთების გაწყვეტებს შორის დამოკიდებულება. აღნიშნული დამოკიდებულობების გამოთვლისათვის გამოყენებულ იქნა ქსელის ისეთი მონაკვეთები, რომლებსაც ემსახურებოდნენ ფიჭები, რომლებიც ემსახურებოდნენ ტერიტორიებს რომლებშიც გამოხატული იყო, როგორც ქალაქის ასევე გარეუბნის აბონენტებს სპეციფიკაცია. მიღებული შედეგების საფუძველზე, მივიღეთ რა სიგნალის სასაზღვრო დონედ -95დბმ, შეიძლება ვთქვათ, რომ წარუმატებელი შეერთების მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად არა უმეტეს 2%-ისა, იმ ლოგიკური პარამეტრების აწყობა რომლებიც პასუხს აგებენ „პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურის მუშაობაზე, უნდა ავაწყოთ ისეთნაირად, რომ ზღვრულ დონეზე ნაკლები სიგნალების წილმა არ უნდა გადაამეტოს 15%-ს. დამუშავებული ალგორითმი შეიძლება გამოყენებული იქნეს, მართვის ცენტრიდან ხელით აწყობით, ან მის საფუძველზე აიწყოს ახალი ოპცია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მიმდინარე სიტუაციიდან დამოკიდებულებით ავტომატურად ააწყოს ლოგიკური პარამეტრები, რათა უფრო ეფექტურად იქნას გამოყენებული არსებული რესურსი.
10. GSM სტანდარტის მობილური ქსელებისათვის, იმისათვის რომ ავამათლოთ ქსელის გამტარუნარიანობა, შემოთავაზებულ იქნა ქსელის აწყობის ალგორითმი GPRS ტექნოლოგიის გათვალისწინებით. ჩატარებული ანალიზის

საფუძველზე, შეიძლება ითქვას, რომ „სიჩუმის” რეჟიმში მაღალი სალაპარაკო ტრაფიკის პირობებშიდაც მიზანშეწონილია დავაყენოთ **MAX\_PDCH\_HIGH\_TRAFFIC=1**, რამდენათაც ასეთი მნიშვნელობა საშუალებას გვაძლევს ვუზრუნველყოთ GPRS-ისათვის ხარისხის მაჩვენებლების მისაღები მნიშვნელობა, სალაპარაკო ტრაფიკზე მინიმალური ზეგავლენით. თუ დავაყენებთ მნიშვნელობას **MAX\_PDCH\_HIGH\_TRAFFIC=0**, **HIGH\_TRAFFIC** ზღვრი ამადლდება და ფიჭის დატვირთვის შეფასების დრო შემცირდება, ამასთან ქსელში უმჯობესდება სიტუაცია TBF არხების დანიშვნის საიმედოობის თვალსაზრისით უკუ მიმართულებაში, მაგრამ ხარისხის ამ ინდიკატორის მნიშვნელობა დაუშვებლად მაღალი რჩება. GPRS რესურსის უფრო ეფექტური გამოყენებისათვის ფიჭის დიდი დატვირთვის დროს მიზანშეწონილია დავაყენოთ ფიჭის დატვირთვის ზღვრული მაღალი დონე, ე.ი. ვიხელმძღვანელოთ **HIGH\_TRAFFIC** მნიშვნელობის დაყენების რეკომენდაციით.

### პუბლიკაციები დისერტაციის თემაზე

1. შამანაძე გ., შამანაძე ო. სალაპარაკო და პაკეტურ ტრაფიკებს შორის საინფორმაციო რესურსების გადანაწილების პარამეტრების აწყოობის მეთოდოლოგია//საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია “ მართვის ავტომატიზირებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები”, საქართველო, თბილისი, სტუ, 20-22 მაისი, 2011. გვ. 283-285.
2. შამანაძე ო., შამანაძე გ., ლაშქარავა ლ. “პირდაპირი გადადანიშნულების” პროცედურების გავლენა GSM ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №19, თბილისი, 2012, გვ. 207-215.
3. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. რადიორესურსების მართვის განზოგადებული ალგორითმი. //საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 205-211.
4. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM სტანდარტის ქსელებში გადატვირთულობის წინასწარმეტყველების ალგორითმი და მისი

პარამეტრები//საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტუალი”, №22, თბილისი, 2013, გვ. 212-218.

5. შამანაძე გ., შამანაძე ო., ლაშქარავა ლ. GSM ქსელის გადატვირთულობისათვის მათემატიკური მოდელის აღწერა// მოსხენებების კრებული. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, ქუთაისი, საქართველო, 2013 – გვ. 349-351.

*ავტორის პირადი წილილი.* გამოკვლევების თეორიული და პრაქტიკული შედეგები, ასევე მათგან გამომდინარე დასკვნები და რეკომენდაციები მიღებულია ავტორის მიერ სამეცნიერო ხელმძღვანელთან ერთად.

## **Abstract**

The rapid development of the telecommunications sector in the current crisis in Georgia, as well as data transfer through the phone or traffic studies. Spread and impact of mobile telecommunications in the direction of Georgia's largest GSM mobile network standard. The frequency range for the network is fully utilized, the existing mobile network operators to expand and improve the quality of existing use of the various options.

I aim dissertation work the solution of a task on increase in capacity of a network of the GSM standard on the basis of the developed mathematical models of the theory of mass service is.

For achievement of a goal it was necessary to solve the following problems;

On the basis of the analysis of opportunities of an assessment of mobility of subscribers in networks of the GSM standard to determine parameters of mathematical model for a prediction of overloads on the radio interface of a subsystem of base stations.

To develop practical recommendations about use of the existing options, allowing to increase network capacity.

In introduction relevance of a subject of research is proved, are formulated the purpose and problems of work, the results received in the course of writing of the thesis are listed, defined practical value and areas of applicability of basic provisions of the dissertation work submitted for protection.

In chapter 1 classification and the description of the main options are given, to increase the capacity of a network and the mobile operators who were used by the majority.

In chapter 2 the main methods of an assessment of quality of networks – carrying out the drive tests, the analysis the statistician, received from elements of a network of a subsystem of base stations and switching, the analysis of the traces removed from various interfaces are considered.

The basic principles of formation of indicators of quality are given, and also approach to drawing up formulas is developed for calculation of indicators of quality.

Algorithms of settings are given in a chapter 3 for increase of capacity of networks of the GSM standard. On the example of procedure of "a direct reassignment" – one of the main a way of reduction of overloads - its influence on such indicators of quality of a network, as probability of refusal, percent of breaks of connections and percent of unsuccessful connections is considered. From the principle of work of this procedure follows that for call service, it is told in cory with the worst radio conditions that can cause the subsequent break of connection. Therefore the compromise between improvement of values of overloads and increase in values of breaks of connections is important.

In chapter 4 the mathematical model used at development of algorithm of a prediction of overloads is described.

In introduction relevance of a subject of research is proved, are formulated the purpose and problems of work, the results received in the course of writing of the thesis are listed, defined practical value and areas of applicability of basic provisions of the dissertation work submitted for protection.

In chapter 1 classification and the description of the main options are given, to increase the capacity of a network and the mobile operators who were used by the majority.

In chapter 2 the main methods of an assessment of quality of networks – carrying out the drive tests, the analysis the statistician, received from elements of a network of a subsystem of base stations and switching, the analysis of the traces removed from various interfaces are considered.

The basic principles of formation of indicators of quality are given, and also approach to drawing up formulas is developed for calculation of indicators of quality.

Algorithms of settings are given in a chapter 3 for increase of capacity of networks of the GSM standard. On the example of procedure of "direct reassignment" – one of the main a way of reduction of overloads - its influence on such indicators of quality of a network, as probability of refusal, percent of breaks of connections and percent of unsuccessful connections is considered. From the principle of work of this procedure follows that for call service, it is told in cells with the worst radio conditions that can cause the subsequent break of connection. Therefore the compromise between

improvement of values of overloads and increase in values of breaks of connections is important.

In chapter 4 the mathematical model used at development of algorithm of a prediction of overloads is described.

- 1 . On the basis of the carried-out analysis classification of the options, allowing to increase capacity in GSM standard networks without installation of additional transceivers is offered.
- 2 . On the basis of practical results the sequence of application of the considered options in GSM standard networks depending on an existing configuration of a network, extent of development, and also values of the main indicators of quality is defined.
- 3 . The analysis of the main methods of an assessment of quality of networks of cellular communication – test calls or the drive tests, the analysis of traces and processing of the statistical information received from controllers of a network is carried out.
- 4 . The analysis of influence of the options increasing capacity of a network, on quality indicators of a network is carried out.
- 5 . Taking into account the received theoretical results the analysis of algorithms of forecasting of overloads in GSM standard “beeline” networks taking into account features of determination of location of subscribers in such networks is carried out.
- 6 . For networks of the GSM standard “beeline” parameters of algorithms of a prediction of overloads are determined.
- 7 . The analysis of influence of procedure of "direct reassignment" on the main quality indicators of a network is carried out.
- 8 . The assessment is carried out and confidential intervals of coefficients of regression for analytical expressions are found.
- 9 . With I aim increases of capacity of networks of the GSM standard the algorithm of control of a network taking into account the GPRS technology was offered.