

ჟ. ხუნწარია, ზ. ბობილაშვილი,  
ბ. მურჯიკნელი, ბ. ირემავილი

## ტელეკომუნიკაციის სისტემები

ნაწილი მესამე

ტელეკომუნიკაციის რადიოსისტემები

(ლექციების კონსპექტი)

თ ბ ი ლ ი ს ი

2007

## ა ნ თ ა ც ი ა

წიგნში განხილულია ტელეკომუნიკაციის რადიოხაზების აგების პრინციპები, რადიოტალღების გავრცელების ხერხები და მოყვანილია რადიოგადამცემი და რადიომიმღები მოწყობილობების ძირითადი მონაცემები, ანტენებისა და ფიდერების აგების თავისებურებები. განხილულია აგრეთვე ტელეკომუნიკაციის რადიოსარელო, თანამგზავრული, იონოსფერული, პროფესიონალური და სხვა სახის სისტემები. დახასიათებულია სხვადასხვა სტანდარტის ფიჭური მობილური კავშირის სისტემები, მათი ქსელების არქიტექტურა, არსებული და პერსპექტიული სისტემები, საქართველოში დანერგილი GSM სტანდარტის ფიჭური ქსელის აგების თავისებურებები და მათი დაგეგმარების მეთოდები. მოყვანილია პერსონალური რადიოგამოძახებისა და უსადენო ტელეფონების სისტემების დახასიათება.

წიგნი სახელმძღვანელოდ შეუძლია გამოიყენონ ტელეკომუნიკაციის სპეციალისტების სტუდენტებმა და დარგში მომუშავე სპეციალისტებმა.

რეცენზენტი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
საერთაშორისო და საქალაქთაშორისო  
ტელეკომუნიკაციის კათედრის  
ასოცირებული პროფესორი

ვ. ნანობაშვილი

## სარჩევი

|  |           |
|--|-----------|
| 1. ძირითადი განსაზღვრებები   | 4         |
| 2. ტელეკომუნიკაციის რადიონახები  | 5         |
| 3. რადიოგადამცემი მოწყობილობა  | 10        |
| 4. რადიომიმღები მოწყობილობა  | 12        |
| 5. ანტენები და ფიდერები  | 13        |
| 6. გადაცემის რადიოსარელეო სისტემები  | 20        |
| 7. გადაცემის ტროპოსფერული რადიოსარელეო სისტემები   | 23        |
| 8. დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე გადაცემის სისტემები  | 24        |
| 9. რადიოტალღების იონოსფეროში გაბნევის და მეტეორიტების ნაკვალევზე არეკვლის გამოყენებაზე დაფუძნებული გადაცემათა სისტემები                                | 24        |
| 10. ტელეკომუნიკაციის თანამგზავრული სისტემები   | 25        |
| 11. მოძრავი რადიოკავშირის პროფესიონალური სისტემები   | 31        |
| 12. ტელეკომუნიკაციის ფიჭური სისტემები. ზოგადი დახასიათება  | 34        |
| 13. ფიჭური რადიოკავშირის ქსელების არქიტექტურა  | 47        |
| 14. ფიჭური რადიოკავშირის არსებული და პერსპექტიული სისტემები  | 51        |
| 15. GSM სტანდარტის კავშირის ფიჭური ქსელის სტრუქტურული სქემა  | 57        |
| 16. ფიჭური რადიოკავშირის ქსელების სინშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების სისტემები  | 68        |
| 17. სინშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების სისტემის აგების პრინციპები და მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობები  | 69        |
| 18. მოძრავი რადიოკავშირის ქსელების სინშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების ამოცანების გადაწყვეტისას მონაცემთა გეოინფორმაციული ბაზების გამოყენების პრინციპები | 74        |
| 19. რადიოკავშირის ქსელების დაფარვის ზონების პროგნოზის მეთოდების ზოგადი დახასიათება   | 79        |
| 20. დაფარვის ზონების პროგნოზის მეთოდები სიგნალის ველის დაძაბულობის სტატისტიკური მოდელის საფუძველზე   | 80        |
| 21. დაფარვის ზონების ანგარიშის მეთოდთა სიგნალის ველის დაძაბულობის დეტერმინირებული მოდელის საფუძველზე   | 89        |
| 22. დაფარვის ზონების ანგარიშის მეთოდთა სიგნალის ველის დაძაბულობის დიფრაქციული ანალიტიკური მოდელის საფუძველზე   | 92        |
| 23. პერსონალური რადიოგამოძახების სისტემები   | 97        |
| 24. უკაბელო ტელეფონების სისტემები<br>ლიტერატურა  | 99<br>101 |

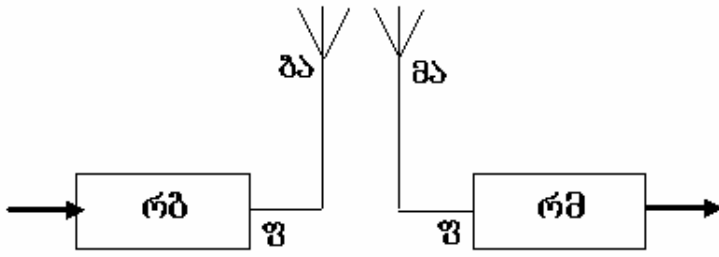
## 1. ძირითადი განსაზღვრებები

იმ დროს, როდესაც შეუძლებელი ხდება საკაბელო სისტემებით კავშირგაბმულობის ქსელის აგება, გამოიყენება რადიოსაზები. რადიოსისტემებით ინფორმაციის გადაცემის პრინციპიალური განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ რადიოსაზში რადიოტალღების გავრცელების პირობები განუწყვეტლივ იცვლება, რაც დროსა და სიხშირეზე დამოკიდებულია. თუმცა ხანდახან რადიოსაზები ინფორმაციის გადაცემა ერთდერითი საშუალებაა ტელეკომუნიკაციის სისტემებს შორის ინფორმაციის გადაცემისათვის (მაგალითად, მოძრავ ობიექტებთან კავშირი).

ტელეკომუნიკაციის ურთიერთდაკავშირებულ ქსელებში (**ტშშ**) გამოიყენება რადიოკავშირის სხვადასხვა სისტემები: პირდაპირი ხედვის რადიოსარელო, ტროფოსფერული, თანამგზავრული, დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე, იონოსფერული და სხვა.

ცალმხრივი რადიოკავშირის უზრუნველყოფისათვის (ნახ. 1.) იმ წერტილში, საიდანაც ხორციელდება სიგნალის გადაცემა, განალაგებენ რადიოგადამცემ მოწყობილობას, რომელიც შეიცავს რადიოგადამცემს (**რბ** ("რპლ")) და გადამცემ ანტენას (**ბა**), ხოლო წერტილში, სადაც ხორციელდება სიგნალის მიღება - დგამენ მიმღებ მოწყობილობას, რომელიც შეიცავს მიმღებ ანტენას (**მა**) და რადიომიმღებს (**რმ** ("რპმ")). მიმღებ-გადამცემ მოწყობილობას ანტენები უერთდება ფიდერული ტრაქტების (**ფ**) მეშვეობით.

სიგნალების ორმხრივი გადაცემისათვის აუცილებელია ვიქონიოთ მაუწყებლობის ორი კომპლექტი. ორმიმართულებიანი რადიოკავშირი შეიძლება იყოს **სიმპლექსური** და **დუპლექსური**. სიმპლექსური მეთოდის დროს მიღება და გადაცემა ხორციელდება მიმდევრობით (რიგ-რიგობით). ამ შემთხვევაში დამაბოლოებელ სადგურებში (წერტილებში) რადიოგადამცემებს შეუძლია იმუშაოს ერთიდაიგივე სიხშირეზე. ამ შემთხვევაში იმავე სიხშირეზე იმუშავენ რადიომიმღებებიც. რადიოგადამცემი ჩართვება მხოლოდ გადაცემის დროს. დუპლექსური რადიოკავშირის დროს გადაცემა და მიღება ერთდროულად ხორციელდება. კავშირისათვის გამოყოფილი უნდა იყოს ორი სხვადასხვა სიხშირე სხვადასხვა მიმართულებით გადაცემისათვის. აბონენტების რადიოგადამცემები და რადიომიმღებები ჩართულია კავშირის მთელი დროის განმავლობაში.

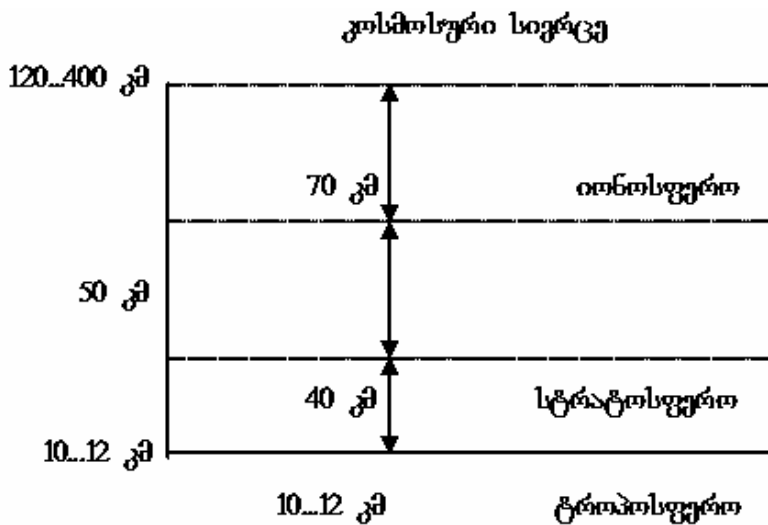


ნახ. 1. რადიოკავშირის სისტემის სტრუქტურა

## 2. ტელეკომუნიკაციის რადიოსაზებო

ტელეკომუნიკაციის რადიოსაზებოში (რადიოკავშირის საზებოში) ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელების არეს უმრავლეს შემთხვევაში (კოსმოსურ აპარატებს შორის კავშირის სახეობის გარდა) წარმოადგენს დედამიწის ატმოსფერო. მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია დედამიწის ატმოსფეროს გამარტივებული აგებულება.

დედამიწის ატმოსფეროს აგებულება რეალურად უფრო რთულია და ტროპოსფეროდ, სტრატოსფეროდ და იონოსფეროდ მისი დაყოფა საკმაოდ პირობითია. ფენების სიმაღლეები მიახლოებითაა და ისინი სხვადასხვა დედამიწის სხვადასხვა გეოგრაფიული წერტილისათვის. ატმოსფეროს მასის დაახლოებით 80% თავმოყრილია ტროპოსფეროში და 20% – სტრატოსფეროში. იონოსფეროში ატმოსფეროს სიმკვრივე ძალზე მცირეა და მასსა და კოსმოსურ სივრცეს შორის საზღვარი პირობითია, ვინაიდან ატმოსფეროს კვალი გვხვდება აგრეთვე 400 კმ სიმაღლეზეც კი. მიღებულია, რომ ატმოსფეროს მკვრივი ფენები მთავრდება დაახლოებით 120 კმ სიმაღლეზე.

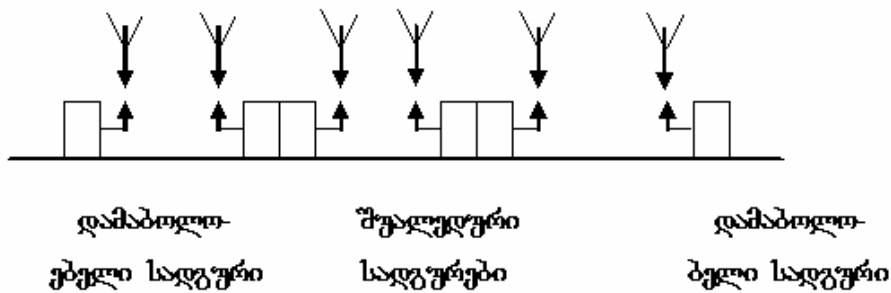


ნახ. 2. დედამიწის ატმოსფეროს აგებულება

რადიოკავშირის ხაზი შედგება გადამცემისაგან (იგი, თავის მხრივ, შეიცავს გადამცემ ანტენას, რომელიც გამოასხივებს რადიოტალღას), რადიოტალღების გავრცელების გარემოსაგან გადამცემიდან მიმდებამდე და მიმღებისაგან, რომელიც, თავის მხრივ, შეიცავს რადიოტალღების მიმღებ ანტენას.

რადიოტალღის სიგრძე  $\lambda = 3 \times 10^8 / f$ , სადაც  $f$  – რხევის სიხშირეა.

მე-3 ნახაზზე წარმოდგენილია რადიოხაზის ტიპური სახე. ხაზი შეიძლება შეიცავდეს ორ დამაბოლოებელ სადგურს. ასეთი რადიოხაზების მაგალითია მასიური ხასიათის შეტყობინებათა გადაცემის ქსელები (სატელევიზიო და რადიომაუწყებლობის ქსელები). რადიოხაზი შეიძლება შეიცავდეს რამდენიმე შუალედურ მიმღებ-გადამცემ სადგურს (ასე აიგება გადაცემის რადიოსარელო სისტემების ხაზები).



ნახ. 3. რადიოხაზის ტიპური სახე

რადიოტალღების კლასიფიკაცია და მათი გავრცელების ხერხები წარმოდგენილია 1-ლ და მე-2 ცხრილებში. რადიოტალღების დიაპაზონებად დაყოფა დადგენილია რადიოკავშირის საერთაშორისო რეგლამენტით (ITU-R). დეციმილიმეტრულ ტალღებს (იხ. მე-2 ცხრილი) სხვანაირად **ობტიკურ ტალღებსაც** უწოდებენ და იგი იყოფა **ინფრაწითელ** (სიხშირეთა დიაპაზონი 300...400 გჰც, ტალღის სიგრძე 0,75...1 მმ), **ხილული სინათლის** (400...750 გჰც, 0,4...0,75 მმ) და **ულტრაიისფერ** (750...3000 გჰც, 0,1...0,4 მმ) ტალღებად.

თავისუფალ სივრცეში რადიოტალღები სწორხაზოვნად ვრცელდება. გადამცემი სადგურის (იგი, როგორც წესი, მდებარეობს დედამიწის ზედაპირზე) ანტენის მიერ გამოსხივებული რადიოტალღები მანამ, სანამ მიაღწევენ მიმღებ ანტენამდე, ზოგადად რთულ გზას გადის. მიღების წერტილში ველის დაძაბულობის მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთაგან ძირითადია:

1. ელექტრომაგნიტური ტალღების არეკვლა დედამიწის ზედაპირიდან;

2. ატმოსფეროს იონიზირებულ ფენებში (იონოსფეროში) გარდატეხა (არეკვლა);

3. გაფანტვა ატმოსფეროს ქვედა ფენების (ტროპოსფეროს) დიელექტრიკულ არაერთგვაროვნებებში;

4. დედამიწის სფერული ფორმით გამოწვეული დიფრაქცია, რის გამოც გრძელი და საშუალო ტალღები გარს უვლიან დედამიწას ამობურცულობაზე.

გარდა ამისა, მიღების წერტილში ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე, დედამიწის ატმოსფეროს მზით განათებულობაზე და აგრეთვე რიგ სხვა ფაქტორებზე.

ცხრილი 1

| რადიოტალღების სახეობა                            | რადიოტალღების გავრცელების ძირითადი სერსები    | კავშირის სიშორე კმ     |
|--|---|------------------------|
| მირიამეტრული და კილომეტრული (ზეგრძელი და გრძელი) | დიფრაქცია დედამიწიდან და იონოსფეროდან არეკვლა | ათასეულამდე ათასეულები |
| ჰექტომეტრული (საშუალო სიგრძის)                   | დიფრაქცია გარდატეხა იონოსფეროში               | ასეულები, ათასეულები   |
| დეკამეტრული (მოკლე)                              | გარდატეხა იონოსფეროში და არეკვლა დედამიწიდან  | ათასეულები             |
| მეტრული და უფრო მოკლე                            | თავისუფალი გავრცელება და დედამიწიდან არეკვლა  | ათეულები, ასეულები     |

გრძელი და საშუალო ტალღების დიაპაზონებში მუშაობს რადიომაუწყებლობის სადგურები დიდი სიმძლავრის გადამცემებით (150...500 კვტ) დიდ მანძილზე გადაცემისათვის და შედარებით ნაკლები სიმძლავრის (30 კვტ-დე) გადამცემებით – რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე მაუწყებლობისათვის.

რამდენიმე ათეული მეტრი სიგრძის მოკლე რადიოტალღებს შეუძლია არეკვლა ნახევრად გამტარი გარემოსაგან – იონოსფეროსაგან. მრავალჯერ აირეკლება რა იონოსფეროსაგან და დედამიწის ზედაპირისაგან, მოკლე ტალღებს შეუძლია გარს შემოუარონ დედამიწას, რის გამოც მათი გავრცელების სიშორე შეუზღუდავია. თუმცა მოკლე ტალღების გავრცელების პირობები ძალზე არასტაბილურია იონოსფეროს მდგომარეობის არამუდმივობის გამო, ვინაიდან მასში ელექტრონების კონცენტრაცია დამოკიდებულია მათი ფენის (შრის) სიმაღლეზე დედამიწის ზედაპირიდან და იგი იცვლება მზის სხივების ზემოქმედების ცვლილებასთან ერთად.

იონოსფეროს სხვადასხვა ფენიდან არეკვლილი მოკლე ტალღები შეიძლება მიღების ადგილას (მიმღებში) ერთდროულად მოხვედეს სხვადასხვა გზით (სხვადასხვა სხივით). მრავალსხივიანობით გამოწვეული ინტერფერენციისა და გავრცელების პირობების ცვლილების შედეგად მიმღებში მოხვედრილი მოკლე ტალღები ძლიერ შესუსტებული იქნება.

ცხრილი 2

| რადიო-ტალღების სახე | რადიო-ტალღების ტიპი | რადიო-ტალღების დიაპაზონი (ტალღის სიგრძე) | დიაპაზონის ნომერი | სინშირეთა დიაპაზონი | რადიო-სინშირეთა სახეობა     |
|---------------------|---------------------|--|-------------------|---------------------|-----------------------------|
| მირამეტრული         | ზეგრძელი            | 10...100 კმ                              | 4                 | 3...30 კმც          | ძალზე დაბალი (ძს-ОНЧ)       |
| კილომეტრული         | გრძელი              | 1...10 კმ                                | 5                 | 30...300 კმც        | დაბალი (ღს - НЧ)            |
| ჰექტომეტრული        | საშუალო             | 100...1000 მ                             | 6                 | 300...3000 კმც      | საშუალო (სს - СЧ)           |
| დეკამეტრული         | მოკლე               | 10...100 მ                               | 7                 | 3...30 მმც          | მაღალი (მს-ВЧ)              |
| მეტრული             | ულტრა-მოკლე         | 1...10 მ                                 | 8                 | 30...300 მმც        | ძალზე მაღალი (ძმს-ОВЧ)      |
| დეციმეტრული         |                     | 10...100 სმ                              | 9                 | 300...3000 მმც      | ულტრა-მაღალი (უმს-УВЧ)      |
| სანტიმეტრული        |                     | 1...10 სმ                                | 10                | 3...30 გმც          | ზემაღალი (ზმს-СВЧ)          |
| მილიმეტრული         |                     | 1...10 მმ                                | 11                | 30...300 გმც        | უკიდურესად მაღალი (უმს-КВЧ) |
| დეციმილიმეტრული     |                     | 0,1...1 მმ                               | 12                | 300...3000 გმც      | შიპერმაღალი (შმს-ГВЧ)       |

შენიშვნა: **ОНЧ** – очень низкие частоты; **НЧ** – низкие частоты; **СЧ** – средние частоты; **ВЧ** - высокие частоты; **ОВЧ** – очень высокие частоты; **УВЧ** – ультравысокие частоты; **СВЧ** – сверхвысокие частоты; **КВЧ** – крайне высокие частоты; **ГВЧ** – гипер высокие частоты.

მოკლე ტალღების დიაპაზონში მუშაობს დიდი რაოდენობის რადიომაუწყებლობის სადგურები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ურთიერთხელშეშლები სადგურებს შორის. მოკლეტალღიანი რადიოკავშირის

ხაზების ორგანიზებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას სისშირეთა შეზღუდული ზოლები (არაუმეტეს 5...6 კპც-ისა). ასეთ ზოლებში შეიძლება 3 ან 4 ტელეფონისა და 6 ტელეგრაფის არხის ორგანიზება. მცირე გამტარუნარიანობისა და დაბალი საიმედობის გამო რადიოკავშირის მოკლეტალღიანი ხაზები ძირითადად გამოიყენება ძნელად მისადგომ, დაშორებულ და მოძრავ (მობილურ) ობიექტებთან კავშირისათვის. მოკლეტალღიანი ხაზების ღირსებაა მათი ორგანიზების სიმარტივე და გადამცემების მცირე სიმძლავრე შორეული კავშირის განხორციელების შემთხვევაში.

რადიოკავშირისათვის გამოყენებულ ძირითად დიაპაზონებს წარმოადგენს დეციმეტრული და სანტიმეტრული ტალღების დიაპაზონები. ასეთი ტალღებისათვის იონოსფერო გამჭვირვალეა და ამიტომ ისინი ვრცელდება სწორხაზოვნად როგორც დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ, ასევე კოსმოსურ სივრცეში, ოღონდ ამ დიაპაზონებში რადიოტალღების მდგრადი გავრცელება შესაძლებელია მხოლოდ პირდაპირი ხედვის ფარგლებში. ამიტომ ამ ტალღების შორ მანძილზე გადასაცემად აუცილებელია რეტრანსლატორების გამოყენება.

დეციმეტრული ტალღების გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ტროპოსფეროს შრე, რომელიც არაერთგვაროვან გარემოს წარმოადგენს. ტროპოსფეროს არაერთგვაროვნება კი იწვევს მისგან არეკვლილი ტალღების გაფანტვას, რის გამოც მათ შეუძლია 1000 კმ-დე გავრცელება, რომელიც ბევრად აღემატება პირდაპირი ხედვის არეს.

ტელეკომუნიკაციის ძირითად რადიოხაზებს რადიოსარელეო ხაზები **(რსხ)** წარმოადგენს, რომლებიც მუშაობს სანტიმეტრული ტალღების (ზემაღალი სისშირის – **ზმს**), ზოგიერთ შემთხვევაში კი დეციმეტრული ტალღების (ულტრამაღალი სისშირის – **უმს**) დიაპაზონში. ტელეკომუნიკაციის რადიოხაზები (რადიოკავშირის ხაზები) იყოფა პირდაპირი ხედვის, ტროპოსფერულ, იონოსფერულ და მეტეორულ ხაზებად, აგრეთვე ტელეკომუნიკაციის ხაზებად დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის **(ღხთ)** გამოყენებით. რადიოკავშირის ხაზებით ხორციელდება კავშირის დამყარება მოძრავი რადიოკავშირის, კერძოდ, პროფესიონალურ (ტრანკინგულ), ფიჭური კავშირის, პერსონალური რადიოგამოძახებისა და უმავთულო ტელეფონების სისტემებში.

### 3. რადიოგადამცემი მოწყობილობა

ფუნქციონალური თვალსაზრისით რადიოგადამცემი მოწყობილობის ქვეშ იგულისხმება მოწყობილობა, რომელიც განკუთვნილია რადიოსიხშირული სიგნალის ფორმირებისა და გადაცემისათვის. რადიოგადამცემის ფუნქციონალურ კვანძებში შედის გადამტანი სიხშირის გენერატორი და მოდულატორი. გადამტანი სიხშირის გენერატორი და მოდულატორი, როგორც წესი, აიგება მრავალარხიანი სქემის მიხედვით. გარდა ამისა, გადამცემი მოწყობილობები (განსაკუთრებით მძლავრი გადამცემების) შეიცავს მრავალ სხვა სისტემას: კვების წყაროს, გაგრილების, ავტომატური და დისტანციური მართვის, სიგნალიზაციის, დაცვის, ბლოკირების და სხვა კვანძს.

რადიოგადამცემი მოწყობილობების ძირითადი მონაცემები პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ – ენერგეტიკული და ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მაჩვენებლების ჯგუფებად.

რადიოგადამცემი მოწყობილობების მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ მახასიათებლებს წარმოადგენს ნომინალური სიმძლავრე და სამრეწველო მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მძკ). ნომინალური სიმძლავრის (P) ქვეშ იგულისხმება ანტენაზე მიწოდებული ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა რადიოსიხშირული ცვლილებების მთელი პერიოდის განმავლობაში. სამრეწველო მარგი ქმედების კოეფიციენტი კი წარმოადგენს ნომინალური სიმძლავრის ფარდობას რადიოგადამცემ მოწყობილობაზე მიწოდებულ სიმძლავრესთან  $P_{\text{სკ}} = (P/P_{\text{სკ}}) 100\%$ .

ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ძირითად მაჩვენებლებია: მუშა სიხშირეების დიაპაზონი, სიხშირის მერყეობის არასტაბილურობა და სიხშირული ზოლის გარეთ გამოსხივება.

სიხშირეების მუშა დიაპაზონი ეწოდება სიხშირეებს, რომელშიც რადიოგადამცემი მოწყობილობა უზრუნველყოფს სიგნალების გადაცემას დადგენილი სტანდარტების მიხედვით.

სიხშირული არასტაბილურობის ქვეშ იგულისხმება გადამცემის მიერ სიხშირული დიაპაზონის საზღვრებს გარეთ გადაცემის განხორციელება დროის გარკვეულ მონაკვეთში. გადამცემი სისტემის მცირე არასტაბილურობა (მაღალი სტაბილურობა) იძლევა მიმღებ მხარეზე ხელშეშლების შემცირების საშუალებას.

სიხშირული ზოლის გარეთა სიხშირეებს უწოდებენ ისეთ გამოსხივებებს, რომლებიც განთავსებულია სასარგებლო შეტყობინებისათვის გამოყოფილი

ზოლის გარეთ. სიხშირული ზოლის გარეთა გამოსხივება წარმოქმნის (წარმოადგენს) დამატებით ხელშეშლებს მიმდებისათვის. სიხშირული ზოლის გარეთა გამოსხივებების ჩახშობა არ იწვევს მიღებული სიგნალის ხარისხის შემცირებას.

დანიშნულების მიხედვით რადიოგადამცემი მოწყობილობები იყოფა: ტელეკომუნიკაციის (ელექტროკავშირის), რადიომაუწყებლობისა და სატელევიზიო მოწყობილობებად. სამუშაო სიხშირეების დიაპაზონის მიხედვით რადიოგადამცემი მოწყობილობები იყოფა რადიოტალღების კლასიფიკაციის მიხედვით. ნომინალური სიმძლავრის მიხედვით რადიოგადამცემი მოწყობილობები იყოფა მცირე სიმძლავრის (100 ვტ-მდე), საშუალო სიმძლავრის (10-დან 10000 ვტ-მდე), მძლავრ (10-დან 500 კვტ-მდე) და ზემოძლავრ (500 კვტ-ს ზევით) გადამცემებად.

ექსპლუატაციის (გამოყენების) მიხედვით რადიოგადამცემი მოწყობილობები იყოფა სტაციონალურ და გადასატან მოწყობილობებად (საავტომობილო, თვითმფრინავითა და ხელით გადასატანი და ა.შ.).

#### **4. რადიომიმღები მოწყობილობა**

**რადიომიმღები** - ესაა რადიოგამოსხივებიდან სიგნალის გამოყოფა. იმ ადგილზე, სადაც ხორციელდება რადიომიმღები, ერთდროულად არსებობს მრავალი რადიოგამოსხივება სხვადასხვა ხელშეშური თუ ბუნებრივი წყაროებიდან. სასარგებლო რადიოსიგნალის სიმძლავრე შეადგენს საერთო გამოსხივების ძალიან მცირე ნაწილს. რადიომიმღების დანიშნულებაა სასარგებლო რადიოსიგნალის გამოყოფა სხვა დანარჩენი რადიოსიგნალებისაგან და შესაძლო ხელშეშლებისაგან, აგრეთვე გადაცემული შეტყობინების აღდგენა და მისი აღწარმოება.

რადიომიმღები მოწყობილობის ძირითადი (უნივერსალური თვალსაზრისით) მაჩვენებლებია: სამუშაო (მუშა) სიხშირეების დიაპაზონი, მგრძობელობა (მგრძობიარობა), ამორჩევითობა და ხელშეშლამდგრადობა.

**სამუშაო სიხშირეების დიაპაზონი** განისაზღვრება მიღების შესაძლო სიხშირეების მიხედვით. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ეს არის სიხშირეები რომელთა საზღვრებში რადიომიმღებ მოწყობილობას შეუძლია სწორად და ნახტომისებურად გადაეწყოს ერთი სიხშირიდან მეორეზე.

**მგრძობიარობა** - ეს არის რადიომიმღების თვისება უზრუნველყოს სუსტი რადიოსიგნალის მიღება. მგრძობიარობა რაოდენობრივად ფასდება

ელექტრომაგნიტური ძალის მინიმალური მნიშვნელობით, რომელიც მიეწოდება რადიომიმღები მოწყობილობის შესასვლელზე, რომლის დროსაც გარეშე ხელშეშლების არსებობის შემთხვევაში მის გამოსასვლელზე უზრუნველყოფილი იქნება სიგნალ-ხმაურის ფარდობის მოთხოვნილი სიდიდე.

**ამორჩევითობა** რადიომიმღების თვისებაა, რომელიც უზრუნველყოფს სასარგებლო რადიოსიგნალის რადიოხელშეშლებისაგან გამორჩევას გარკვეული ნიშანთვისებების მიხედვით, რომლებიც გააჩნია რადიოსიგნალს. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ეს არის რადიომიმღები მოწყობილობის თვისება ელექტრომაგნიტური რხევების სპექტრიდან ამოარჩიოს საჭირო სიგნალი არსებულ წერტილში ხელშეშლელი სიგნალების შემცირებით. განასხვავებენ **სივრცულ და სიხშირულ ამორჩევითობას**. **სივრცული ამორჩევითობა** მიიღწევა მიმართული ანტენის გამოყენებით, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო რადიოსიგნალების მიღებას გარკვეული მიმართულებიდან და სხვა სივრცითი მიმართულებიდან შემოსული სიგნალების შესუსტებას. **სიხშირული ამორჩევითობა** რაოდენობრივად ახასიათებს რადიომიმღები მოწყობილობის შესაძლებლობას ყველა რადიოსიხშირული სიგნალიდან და მის შესასვლელზე მოქმედი ხელშეშლებიდან გამოყოს სიგნალი, რომელიც შეესაბამება რადიომიმღების მისაღებ სიხშირეს.

**ხელშეშლამდგრადობა.** რადიომიმღები მოწყობილობის ხელშეშლამდგრადობას უწოდებენ თვისებას მოახდინოს უკუქმედება ხმაურის ხელშეშლელ ქმედებებზე. ხელშეშლამდგრადობა რაოდენობრივად ფასდება ანტენაში ხმაურის იმ მაქსიმალური მნიშვნელობით, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ შესაძლებელია რადიოსიგნალის მიღება და დამუშავება.

რადიომიმღები მოწყობილობის კლასიფიცირება შესაძლებელია სხვადასხვა ნიშანთვისებების მიხედვით. მაგალითად, სქემური გადაწყვეტილების მიხედვით არჩევენ პირდაპირი გაძლიერებისა და სუპერგეტეროდინულ რადიომიმღებებს მოწყობილობებს. დანიშნულების მიხედვით კი რადიომიმღები მოწყობილობები შეიძლება დავეყოთ რადიოსამაუწყებლო (ჩვეულებრივად მას უწოდებენ რადიომიმღებს ან მიმღებს), სატელევიზიო (ტელევიზორი), პროფესიონალურ და სპეციალურ მოწყობილობებად. **პროფესიონალურ** რადიომიმღებებს მიეკუთვნება დეკამეტრულ დიაპაზონზე მომუშავე მაგისტრალური მოწყობილობები, რომლებიც განკუთვნილია რადიოსარელო და თანამგზავრული კავშირებისათვის. **სპეციალური დანიშნულების** რადიომიმღებებს კი მიეკუთვნება, მაგალითად, რადიოლოკაციური, რადიონავიგაციური, საავიაციო და სხვა მოწყობილობები.

## 5. ანტენები და ფიდერები

ანტენა ეს არის დამაკავშირებელი რგოლი მიმღებ ან გადამცემ მოწყობილობასა და რადიოგავრცელების გარემოს შორის. ანტენა, რომელსაც გააჩნია მავთულის (სადენის) ან გამტარის ზედაპირის სახე, სიგნალების გადაცემის შემთხვევაში უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტური რხევების გამოსხივებას, ხოლო მიღების შემთხვევაში – მასზე დაცემული ენერჯის "დაგროვებას". ანტენებს, რომელთაც ტალღის სიგრძესთან შედარებით გააჩნია მცირე განივი კვეთა და წაგრძელებული ფორმა, ეწოდება **მავთულისებური**.

ანტენებს, რომლებიც ასხივებს გახსნილი აპერტურის გავლით, ეწოდებენ **აპერტურულს**, ხანდახან კი – **დიფრაქციულს**, **რეფლექტორულს** ან **სარკისებურს**. ასეთ ანტენებში ელექტრონული დენი გაედინება გამტარ ზედაპირებში, რომელთაც გააჩნია რადიოტალღის სიგრძის შესადარი ან მათზე რამდენადმე მეტი ზომები.

ნებისმიერი სახის ანტენების თვისებების შედარება მოსახერხებელია მათი პარამეტრების მიხედვით. გადამცემი ანტენის, როგორც გენერატორის ან ფიდერის, დატვირთვის ძირითად პარამეტრად განისაზღვრება მისი *შემაგალიწინალობა*. ანტენის, როგორც ელექტრომაგნიტური ტალღების გამომსხივებელი ხელსაწყო, პარამეტრებია **მარგი ქმედების კოეფიციენტი** და **მიმართულების ამპლიტუდური მახასიათებელი**.

ანტენის **შემაგალიწინალობა** განისაზღვრება მის მომჭერებზე მაღალი სიხშირის ძაბვის ფარდობით ანტენის მკვებავ დენტან.

ანტენაზე მიწოდებული სიმძლავრე სრულად არ გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებად. სიმძლავრის გარკვეული ნაწილი "იხარჯება" როგორც ანტენის, ასევე მის ახლოს მდებარე ნივთების გათბობაზე. ანტენის მიერ გამოსხივებული სიმძლავრის ფარდობას მასზე მიწოდებულ სიმძლავრესთან ეწოდებენ **მარგი ქმედების კოეფიციენტს**, რომელიც გამოისახება პროცენტებში.

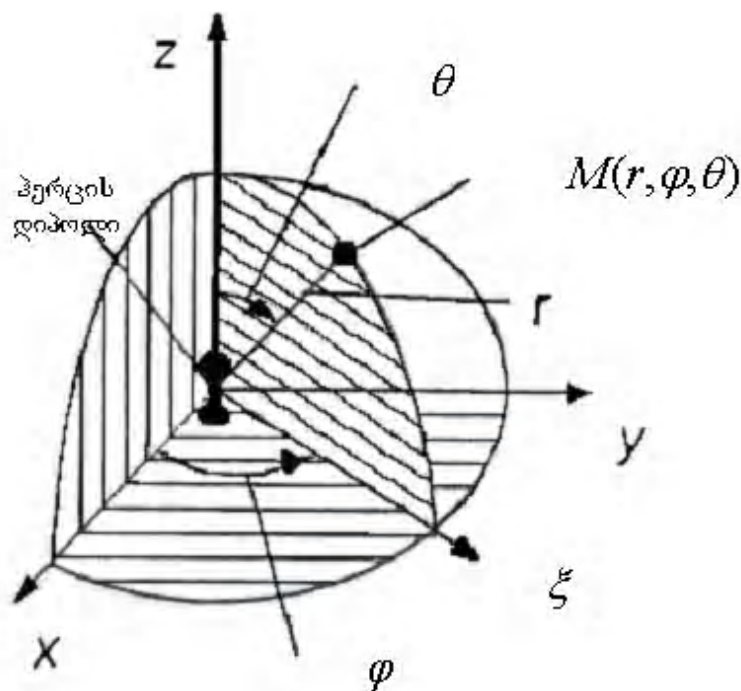
ანტენის მიერ ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვა სიმძლავრით ხორციელდება. არ არსებობს ისეთი ანტენები, რომლებიც თანაბრად გამოასხივებს ყველა მიმართულებით.

ანტენის მიერ წარმოქმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის სივრცეში განაწილება ხასიათდება **მიმართულების ამპლიტუდური მახასიათებლით**. იგი განისაზღვრება ანტენის მიერ შექმნილი ველის (ან მისი პროპორციული სიდიდის) დაძაბულობის ამპლიტუდის დამოკიდებულებით სივრცეში

დაკვირვების წერტილის მიმართულებაზე. დაკვირვების წერტილის მიმართულება განისაზღვრება კოორდინატთა სფერულ სისტემაში აზიმუტური  $\varphi$  და მერიდიანული  $\theta$  კუთხეებით (ნახ. 4). ამასთან ელექტრული ველის დაძაბულობის ამპლიტუდა იზომება ანტენიდან ერთნაირი მანძილით დაშორებული  $r$  (საკმაოდ დიდ) მანძილზე. მიმართულების მახასიათებლის გრაფიკულ გამოსახულებას მიმართულების დიაგრამას უწოდებენ.

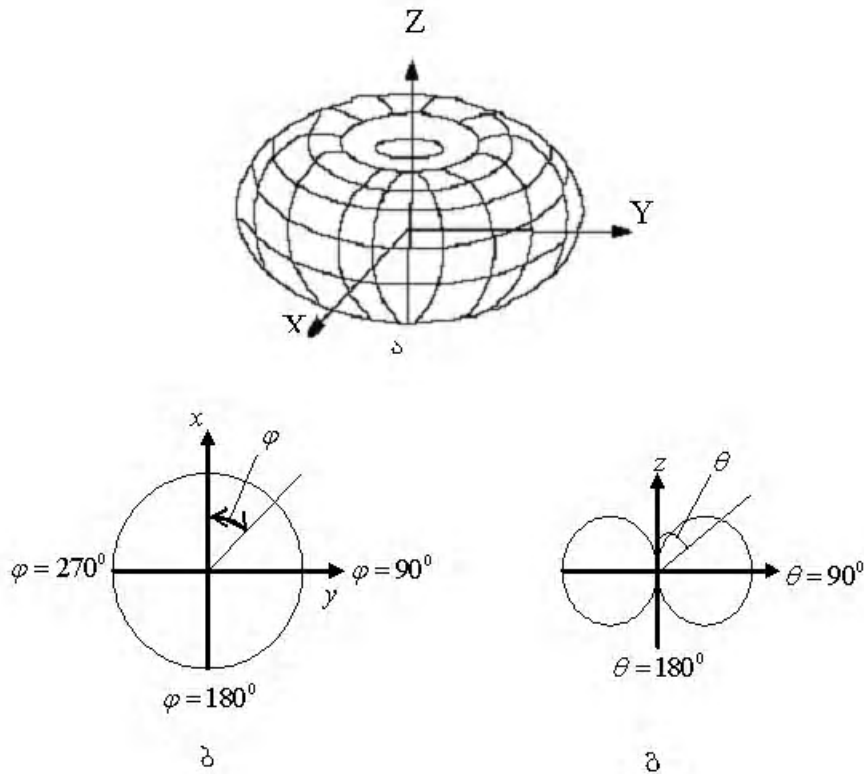
მიმართულების სივრცითი დიაგრამა გამოისახება  $f(\varphi, \theta)$  ზედაპირის სახით. ასეთი დიაგრამის აგება რთულია, ამიტომ პრაქტიკაში მიმართულების დიაგრამას აგებენ ერთ-ერთ რომელიმე სიბრტყეში, რომელშიც იგი გამოსახულია პოლარულ ან დეკარტის კოორდინატთა სისტემაში  $f(\varphi)$  ან  $f(\theta)$  მრუდების სახით.

მე-4 ნახაზზე კოორდინატთა სათავეში ნაჩვენებია უმარტივესი მავთულისებური ანტენა - ჰერცის დიპოლი, რომლის მიმართულების სივრცითი დიაგრამა ნაჩვენებია მე-5ა ნახაზზე. მიმართულების აზიმუტური და მერიდიანული სიბრტყეები აგებულია პოლარულ კოორდინატთა სისტემაში და მოყვანილია მე-5 ბ და გ ნახაზებზე.



ნახ. 4. კოორდინატთა სფერული სისტემა

ანტენის განხილული ძირითადი მახასიათებლების გარდა არსებობს რიგი დამატებითი სპეციფიკური - ელექტრული, ეკონომიკური, კონსტრუქციული, საექსპლუატაციო მახასიათებლები.



ნახ. 5. მიმართულების დიაგრამა  
 ა - მოცულობითი, ბ, გ - აზიმუტურ და მერიდიანულ სიბრტყეებში

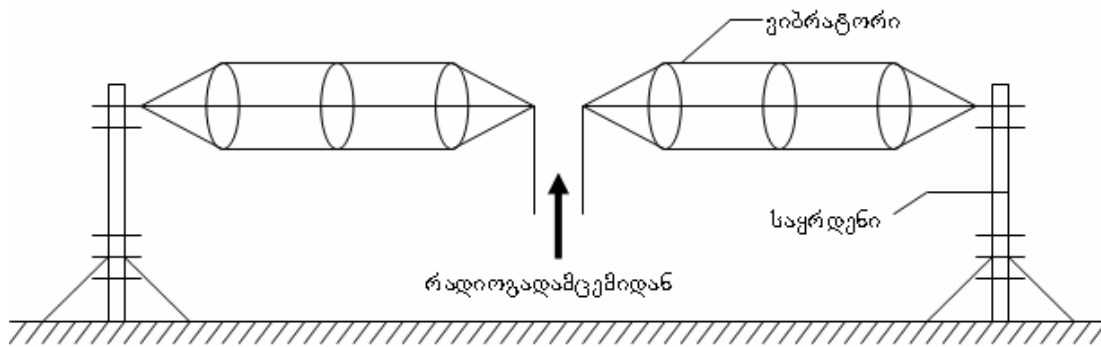
რაც შეეხება მიმღებ ანტენებს, აღმოჩნდა რომ რაოდენობრივად მიმღები და გადამცემი ანტენების ელექტრული პარამეტრები ერთნაირია, თუმცა აღნიშნულის ფიზიკური ახსნა განიხილება მიმღები ანტენებისათვის. მიმღებ ანტენას გააჩნია იგივე სიდიდის შემავალი წინაღობა, მარგი ქმედების კოეფიციენტი და იგივე სახის მიმართულების დიაგრამა, რა სიდიდის და სახისაც ექნებოდა მას გადამცემი ანტენის როლში მუშაობის შემთხვევაში. გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავებაა ის, რომ გადამცემ ანტენაში გამოიყენება დიდი ძაბვები და დენები, ხოლო მიმღებში – მათი უმნიშვნელო სიდიდეები.

**სხვადასხვა დიაპაზონის რადიოტალღების გადამცემი ანტენების თავისებურებები.** კილომეტრული და ჰექტომეტრული რადიოტალღები ფართოდ გამოიყენება ხმოვანი მაუწყებლობის ქსელის ორგანიზებისას. გადამცემი ანტენები, როგორც წესი, განთავსდება მომსახურების ზონის ცენტრში. ამის გამო მათ უნდა უზრუნველყოს დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ არამიმართული გამოსხივება, ანუ მათ უნდა იქონიოს ჰორიზონტალური სიბრტყის წრის ფორმის მიმართულების დიაგრამა. ასეთ პირობებს აკმაყოფილებს ანტენა-ანბები ან ანტენა-კოშკები, რომელთა სიმაღლე ჩვეულებრივად შეადგენს 150...250 მ-ს, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში – 350 და 500 მ-საც კი.

შორ მანძილზე მოქმედი (ათასობით კილომეტრი) რადიოკავშირისა და რადიომაუწყებლობისათვის გამოიყენება დეკამეტრული ტალღები. ასეთი ანტენების თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ ანტენებმა უნდა მოახდინოს ელექტრომაგნიტური ტალღების მიმართული გავრცელება დედამიწის ზედაპირის მიმართ გარკვეული კუთხით და უზრუნველყოს მაქსიმალური სიმძლავრის გამოსხივება. ყველაზე გავრცელებული ანტენების ტიპებიდან ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნებს პასუხობს მავთულისებური – ვიბრატორული, რომბისებური და სინფაზური ვიბრატორებისაგან დამზადებული ცხაურის (გისოსების) მაგვარი ანტენები, რომლებიც აღიზნება გარკვეული სახით. ამგვარი ანტენებიდან უმარტივესია მე-6 ნახაზზე ნაჩვენები ჰორიზონტალური სიმეტრიული ვიბრატორი.

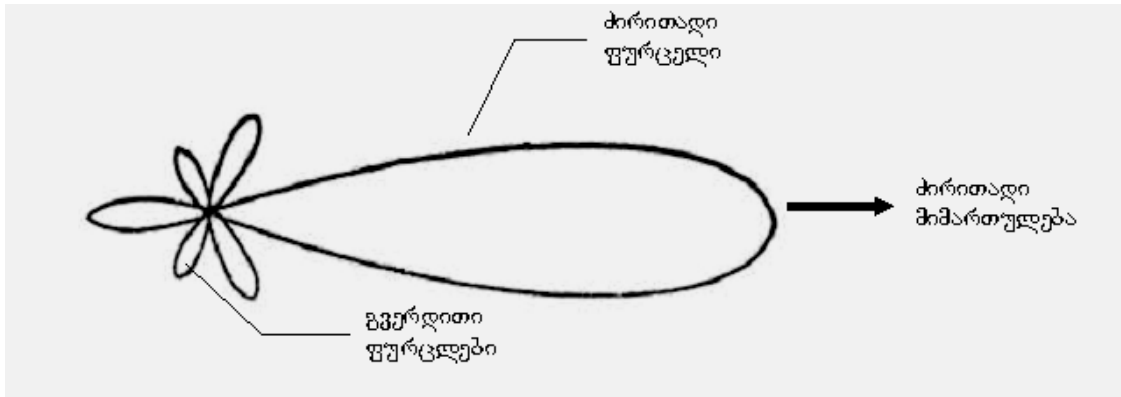
50...100 კმ სიგრძის ადგილობრივ რადიოსაზებზე აგრეთვე ძირითადად გამოიყენება დეკამეტრული რადიოტალღები და უბრალო T ან Γ ფორმის ვერტიკალურად დაკიდებული მავთულის ანტენები.

მეტრული დიაპაზონის ტალღები ძირითადად გამოიყენება სატელევიზიო და ხმოვანი მაუწყებლობის ორგანიზებისათვის, აგრეთვე მომსახურების გარკვეულ ზონაში მოძრავ ობიექტებთან კავშირის დამყარებისათვის. გადამცემმა ანტენებმა, როგორც წესი, უნდა წარმოქმნას არამიმართული გამოსხივება ჰორიზონტალურ სიბრტყეში.

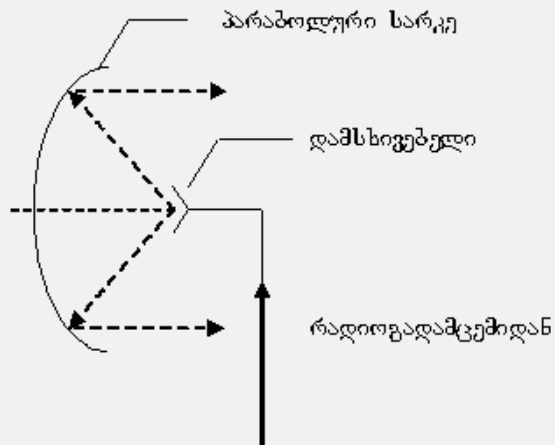


ნახ. 6. მავთულისებური ანტენა – ჰორიზონტალური დიაპაზონური ვიბრატორი

რადიოსარელო კავშირისათვის გამოიყენება დეციმეტრული, სანტიმეტრული და უფრო მოკლე ტალღების დიაპაზონი. ანტენებს, რომლებიც განთავსებულია რადიოსარელო ხაზებზე, უნდა გააჩნდეს მაღალი მიმართულებიანობა, მათი მიმართულების დიაგრამას უნდა გააჩნდეს "ნემსისებური" ფორმა (ნახ. 7). ყველაზე უფრო გავრცელებულია აპერტურული (სარკისებური) ანტენები. ყველაზე მარტივი - პარაბოლური ანტენის სქემა მოყვანილია მე-8 ნახაზზე.



ნახ. 7. "ნემსისებური ფორმის" მიმართულების დიაგრამა



ნახ. 8. ერთსარკიანი პარაბოლური ანტენის აგების სქემა

მეტრული, დეციმეტრული, სანტიმეტრული და უფრო მოკლე ტალღების გავრცელების თავისებურება ისეთია, რომ აუცილებელია ანტენები განთავსდეს ათეული და ზოგიერთ შემთხვევაში ასეული მეტრის სიმაღლის საყრდენებზე.

**სხვადასხვა დიაპაზონის რადიოტალღების მიმღები ანტენების თავისებურებები.** ანტენა ორმხრივი მოქმედების მოწყობილობაა, ანუ თუ ანტენა კარგად გამოასხივებს რადიოტალღებს, მაშინ იგი კარგად მიიღებს მათ. ანტენის მიმართულების დიაგრამის ფორმა არ არის დამოკიდებული იმაზე, მუშაობს ანტენა გადაცემაზე თუ მიღებაზე. მიმღები ანტენის "მიმართულების დიაგრამის" ცნების შინაარსი ცოტათი განსხვავდება ზემოთ მოყვანილი გადამცემი ანტენის "მიმართულების დიაგრამის" ცნებისაგან. ეს არის რადიომიმღების შესასვლელზე ძაბვის დამოკიდებულების გრაფიკი ელექტრომაგნიტური ტალღის მიღების მიმართულებაზე.

კილომეტრული და ჰექტომეტრული დიაპაზონის ტალღების მისაღებად გამოიყენება ჩარჩოსებური ანტენები. დეკამეტრული ტალღების მიღებისთვის

ყველაზე გავრცელებულია "მორბენალი ტალღის" სახის ანტენა. "ტალღის არხის" სახის ანტენა გამოიყენება მეტრული დიაპაზონის ტალღების მიღებისთვის, კერძოდ სატელევიზიო სიგნალების მისაღებად. დეციმეტრული და სანტიმეტრული დიაპაზონის ტალღების შემთხვევაში ანტენები მიმღებ-გადამცემებია. ასეთი ანტენის დამახასიათებელი სქემა მოყვანილია მე-8 ნახაზზე.

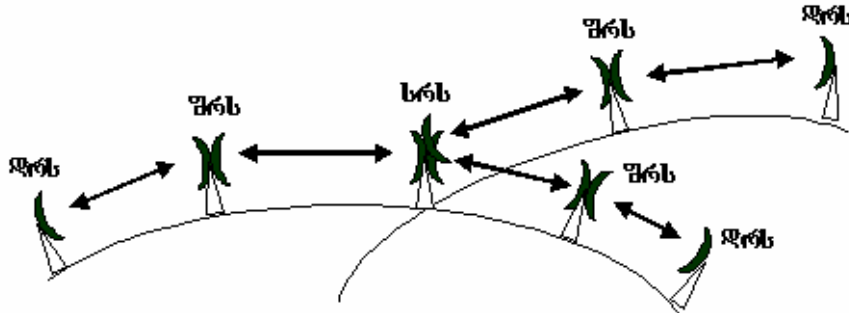
ელექტრულ წრედს და დამხმარე მოწყობილობას, რომელთა საშუალებითაც რადიოსიხშირული სიგნალის ენერგია რადიოგადამცემიდან მიეწოდება ანტენას, ან ანტენიდან - რადიომიმღებს, ეწოდება *ფიდერი*. გადამცემი ანტენები, რომლებიც გამოიყენება კილომეტრული და ჰექტომეტრული დიაპაზონის ტალღებისათვის, რადიოგადამცემ მოწყობილობას უერთდება მრავალგამტარიანი კოაქსიალური ფიდერების მეშვეობით. დეკამეტრულ დიაპაზონში ფიდერები ჩვეულებრივ მზადდება ორ ან ოთხგამტარიანი მავთულის ხაზებისაგან. მეტრულ რადიოტალღებზე მომუშავე ანტენებამდე ენერგია, როგორც წესი, მიეწოდება კოაქსიალური კაბელის გამოყენებით. უფრო მოკლე ტალღებზე, კერძოდ სანტიმეტრულ დიაპაზონში, ფიდერი შესრულებულია ლითონის სწორკუთხა, მრგვალი ან ელიფსური ფორმის კვეთის მილისებრი გამტარებისგან.

დეკამეტრულ, ჰექტომეტრულ და კილომეტრულ დიაპაზონზე მომუშავე რადიოგადამცემი მოწყობილობების სიმძლავრის ზრდის ტენდენციასთან დაკავშირებით ძალიან მნიშვნელოვანია ანტენების და ფიდერების კონსტრუირება გაზრდილი ელექტრული სიმტკიცით, რათა მათ შეძლოს ზემდგომ რადიომოწყობილობებთან მუშაობა.

დეკამეტრული დიაპაზონის ტალღების მიღებისათვის პერსპექტიულია ისეთი მოწყობილობების შექმნა, რომლებიც მოგვცემს მიმღები ანტენის მიმართულების დიაგრამის მართვის საშუალებას რადიოტალღის მიღების მიმართულების კუთხის შესაბამისად. მოსალოდნელია, რომ ელექტრულად მართული მახასიათებლების ანტენები მომავალში შესაძლოა დაიკავებს დომინანტურ ადგილს საანტენო ტექნიკის მრავალ დარგში. რადიოსარელო კავშირის ანტენების დახვეწა ხორციელდება მთავარ მიმართულებაში ენერგიის კონცენტრაციისა და სხვა მიმართულებით გამოსხივების შემცირების თვალსაზრისით.

## 6. გადაცემის რადიოსარელეო სისტემები

გადაცემის რადიოსისტემას, რომელშიც ელექტროკავშირის სიგნალები გადაიცემა სახმელეთო რადიორეტრანსლაციური სადგურების მეშვეობით, გადაცემის რადიოსარელეო სისტემას უწოდებენ (ნახ. 9).



ნახ. 9. რადიოსარელეო კავშირის აგებულება

**მრს** - დამაბოლოებელი რადიოსადგური, **შრს** - შუალედური რადიოსადგური, **სრს** - საკვანძო რადიოსადგური.

ძალიან მაღალ სიხშირეებზე (ძმს) და ზემოდალ სიხშირეებზე მომუშავე რადიოსარელეო სისტემებში საიმედო მუშაობა ხელშეშლების დაბალი ალბათობით მიიღწევა მხოლოდ გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის პირდაპირი ხედვის უზრუნველყოფის შემთხვევაში. ანტენებს შორის მანძილის სიდიდე დამოკიდებულია დედამიწის ზედაპირის სტრუქტურაზე და დაყენებული ანძების სიმაღლეზე. კოშკებსა და ანძებს შორის მანძილი ჩვეულებრივად შეადგენს 40-50 კმ-ს, ამ შემთხვევაში ანტენები დამაგრებულია დაახლოებით 100 მ სიმაღლეზე. პირდაპირი ხედვის მანძილის შეზღუდვა არ უდა განვიხილოთ როგორც ნაკლოვანება. უშუალოდ რადიოტალღების დიდ მანძილზე თავისუფალი გავრცელების არარსებობის გამო აღმოიფხვრება ურთიერთხელშეშლები როგორც ქვეყნის შიგნით, ასევე სხვადასხვა ქვეყნებში მომუშავე რადიოსახებს შორის. გარდა ამისა, აღნიშნულ დიაპაზონში პრაქტიკულად არ არსებობს ატმოსფერული და საწარმოო ხელშეშლები.

ანტენებს შეუძლია იმუშაოს მიღებისა და გადაცემის რეჟიმში სიგნალების ერთდროული გადაცემისათვის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით ორი სხვადასხვა  $f_1$  და  $f_2$  სიხშირის გამოყენებით. ამასთან თუ სადგური სიგნალს გადასცემს  $f_1$  სიხშირით და იღებს  $f_2$  სიხშირით, მაშინ მასთან დაკავშირებული სადგურები გადასცემენ  $f_2$  სიხშირით და მიიღებენ  $f_1$  სიხშირით. სიხშირეების ასეთი ორმიმართულებიანი წყვილი, რომელიც შეესაბამება ITU-R-ის მიერ რეკომენდირებულ სიხშირეთა დაგეგმარებას, წარმოქმნის რადიოსიხშირულ ლულას.

ანალოგური რადიოსარელეო სისტემების ძირითადი დანიშნულებაა ანალოგურ ფორმაში გადასცენ მრავალარხიანი სატელეფონო სიგნალი და დაბალი და საშუალო სიხარის მონაცემები **ტს** არხების გამოყენებით. ასეთი სისტემებით აგრეთვე შესაძლებელია ანალოგური სატელეფონო სიგნალის გადაცემაც. ციფრული რადიოსარელეო სისტემები გამოიყენება 2–დან 155 მბიტ/წმ–მდე სიხარის ციფრული ტრაქტების ორგანიზებისათვის.

რადიოსარელეო სისტემის სადგურების უმრავლესობა წარმოადგენს შუალედურ რადიოსადგურებს, რომლებიც ასრულებს აქტიური რეტლანსლატორების როლს. ყველა სადგურზე მიზანშეწონილია ერთი და იმავე ტიპის, უნიფიცირებული მიმღებ-გადამცემი აპარატურის (**მბა**) არსებობა, რომელიც აკმაყოფილებს მოცემული სიხარისული გეგმის მოთხოვნებს. **მბა**–ს წარმოების პერსპექტიულ ვარიანტს წარმოადგენს ვარიანტი **ზმს**-ზე გაძლიერებითა და სიხარისეთა გარდაქმნით. ასეთი სქემის ნაკლოვანებას წარმოადგენს სიგნალების დამუშავების აუცილებლობა **ზმს**-ზე. ყველაზე ხშირად გამოიყენება ისეთი **მბა**, რომელშიც სიგნალის დამუშავება ხორციელდება შუალედურ სიხარისზე, რომლის ნომინალური მნიშვნელობის შერჩევა ხდება **ITU-R** რეკომენდაციების მიხედვით და იგი ჩვეულებრივად 70 მგჰც–ს შეადგენს. სიგნალის დამუშავებისათვის შუალედური სიხარისის გამოყენება იძლევა სიგნალის გამაძლიერებელი მოწყობილობის უნიფიცირებისა და, აგრეთვე, შუალედურ, საკვანძო და დამაბოლოებელ სადგურებში საინფორმაციო სიგნალების შეყვანა-გამოყვანის საშუალებას.

გადაცემის რადიოსარელეო სისტემების ძირითადი პარამეტრები მოყვანილია მე-3 და მე-4 ცხრილებში.

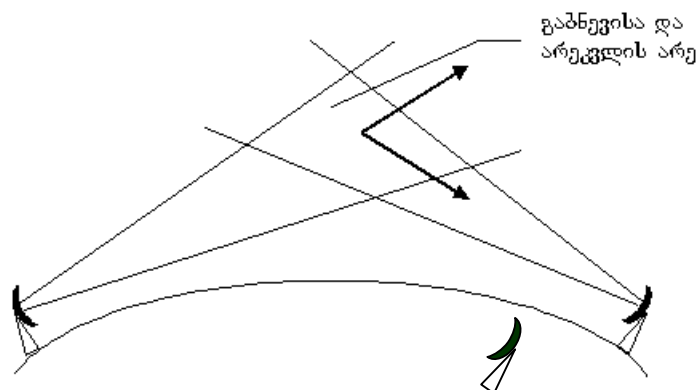
ცხრილი 3

| პარამეტრი                    | ანალოგური რადიოსარელეო სისტემების მნიშვნელობების პარამეტრები |             |            |             |                       |            |           |           |
|------------------------------|--|-------------|------------|-------------|-----------------------|------------|-----------|-----------|
|                              | КУРС-4М  | КУРС-6      | Радуга - 4 | Радуга - 6  | Электроника-связь-6-1 | КУРС-2М2   | КУРС-8    | КУРС-8-ОУ |
| სიხარისის დიაპაზონი გჰც      | 3,4...3,9  | 5,67...6,17 | 3,4...3,9  | 5,67...6,17 | 5,67...6,17           | 1,7...2,1  | 7,9...8,4 | 7,9...8,4 |
| <b>ტს</b> არხების რაოდენობა  | 1020   | 1320        | 1920       | 1920        | 1020/1920             | 720        | 300       | 300       |
| გადამცემის სიმძლავრე ვტ      | 1  | 7,5         | 0,5; 2; 4  | 1; 3        | 1; 3                  | 0,4        | 0,3       | 0,4       |
| მიმღების ხმაურის კოეფიციენტი | 2,8  | 10          | 2,8        | 2,8         | 2,8                   | 4,5        | 10        | -         |
| დუბლექსური ლულების რაოდენობა | 8  | 8           | 8          | 8           | 8                     | 4          | 4         | 4         |
| პირველადი ქსელი              | მაგისტრალური   |             |            |             |                       | შიდაზონური |           |           |

| პარამეტრი                      | ციფრული რადიოსარელო სისტემების მნიშვნელობების პარამეტრები |                       |                |                       |                    |                |                       |                   |
|--------------------------------|---|-----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------------|-------------------|
|                                | Радан   | Пихта-2               | Электроника-М  | Электроника-связь     | Электроника-изогон | КУРС-8-02      | Ракига-8              | Комплекс-5 М      |
| სიხშირის დიაპაზონი გჰც         | 10,7...11,7   | 1,7...2,1             | 10,7...11,7    | 10,7...11,7           | 1,7...2,1          | 7,9...8,4      | 7,9...8,4             | 10,7...11,7       |
| ტს არხების რაოდენობა           | 15  | 30                    | 120            | 120                   | 120                | 120            | 480                   | 30/60<br>120/240  |
| გადაცემის ციფრული სისტ. ტიპი   | იკმ-15  | იკმ-30                | იკმ-120        | იკმ-120               | იკმ-120            | იკმ-120        | იკმ-480               | იკმ-30<br>იკმ-120 |
| გადამტანი ზმს-ის მოდულაც. ტიპი | სიხშირ. მოდულ.  | 2-ფარდ. ფაზურ. მოდულ. | ამპლიტ. მოდულ. | ფარდობ. ფაზურ. მოდულ. | სიხშირ. მოდულ.     | სიხშირ. მოდულ. | 4-ფარდ. ფაზურ. მოდულ. | სიხშირ. მოდულ.    |
| პირველადი ქსელი                | ადგილობრივი   |                       | შიდა ზონური    |                       |                    |                | მაგის-ტრალ.           | აღგილ. შიდა-ზონურ |

### 7. გადამცემის ტროპოსფერული რადიოსარელო სისტემები

ტროპოსფერო ატმოსფეროს ქვედა ფენაა. ტროპოსფეროში ყოველთვის წამოიქმნება ლოკალური მოცულობითი არაერთგვაროვნებები, რომლებიც გამოწვეულია ატმოსფეროში წარმოქმნილი სხვადასხვა ფიზიკური პროცესებით. 0,3...0,5 გჰც სიხშირის დიაპაზონის ტალღები გაიბნევა სწორედ ამგვარი არაერთგვაროვანი მასების მიერ. ტროპოსფერული რადიოტალღების წარმოქმნის მექანიზმი ნაჩვენებია მე-10 ნახაზზე.



იმის გათვალისწინებით, რომ არაერთგვაროვანი მასები მნიშვნელოვან სიმაღლეზე მდებარეობს, მათ მიერ გაბნეული რადიოტალღები ასეულობით კილომეტრზე შეიძლება გავრცელდეს. ეს გარემოება იძლევა რადიოსადგუ-

რების ერთმანეთისაგან 200...400 კმ-ით დაშორების საშუალებას, რაც ბევრად აღემატება პირდაპირი ხედვის მანძილს.

ტროპოსფერულ რადიოსარელეო სისტემებზე დაფუძნებული გადაცემის სისტემები, როგორც წესი, აიგება ძნელადმისაღწევ და დაშორებულ რაიონებში.

სადგურებს შორის მნიშვნელოვანი მანძილის არსებობა, რა თქმა უნდა, ხელსაყრელია შორ მანძილზე კავშირის ორგანიზებისათვის, ვინაიდან ასეთ შემთხვევაში შუალედური სადგურების ნაკლები რაოდენობაა საჭირო. თუმცა ტროპოსფეროს სივრცულ-დროითი სტრუქტურის არასტაბილურობით გამოწვეული ღრმა ჩავარდნებისა და მიღებული სიგნალის სისუსტის გამო კარგი ხარისხის და არხების დიდი რაოდენობის ორგანიზება გართულებულია.

მე-5 ცხრილში მოყვანილია რუსული ტროპოსფერული რადიოსარელეო სისტემების პარამეტრები.

ცხრილი 5

| აპარატურის ტიპი   | სიხშირეთა დიაპაზონი გჰც | სადგურებს შორის საშუალო მანძილი კმ. | ტს არხების რაოდენობა |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| <b>Горизонт-М</b> | 0,8...1                 | 300                                 | 60                   |
| <b>ТП-120</b>     | 0,8...1                 | 300                                 | 120                  |
| <b>ДТП-12</b>     | 0,8...1                 | 600                                 | 12                   |

## 8. დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე გადაცემის სისტემები

გადაცემის რადიოსისტემას, რომელშიც გამოიყენება იონოსფეროდან არეკვლილი დეკამეტრული ტალღები, უწოდებენ დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე გადაცემის იონოსფერულ სისტემებს.

იონოსფეროში ტალღა კი არ აირეკვლება, არამედ ხდება მისი მისი მოხვევა (მობრუნება) იონოსფეროს ვერტიკალური პროფილის დიელექტრიკულ თვისებების არაერთგვაროვნების გამო. დედამიწის ზედაპირის ერთი წერტილიდან მეორე წერტილამდე რადიოტალღის გავრცელების ტრაექტორიას იონოსფეროდან ერთჯერადი არეკვლით იონოსფერულ ნახტომს უწოდებენ. ასეთ შემთხვევაში გადამცემ და მიმღებ პუნქტებს შორის მანძილი დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ შეადგენს დაახლოებით 2000 კმ-ს. რადიოტალღების გავრცელების ტრაექტორია შეიძლება შეიცავდეს რამდენიმე იონოსფერულ ნახტომს. რადიოტალღების გავრცელების პირობები და, შესაბამისად, რადიოკავშირის ხარისხი დამოკი-

დებულია იონოსფეროს მდგომარეობაზე, რომელსაც განსაზღვრავს წელიწადის, დღე-ღამისა და მზის აქტივობის ხანგრძლივობები.

დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე გადაცემის იონოსფერული სისტემები არ იძლევა დიდი რაოდენობის სატელეკომუნიკაციო არხების ორგანიზების საშუალებას. ჩვეულებრივად, ასეთი სისტემების გამოყენებით შესაძლებელია მხოლოდ ერთი ან ორი სატელეფონო ან რამდენიმე სატელეგრაფო არხების ორგანიზება.

### **9. რადიოტალღების იონოსფერული გაბნევისა და მეტეორების ნაკვალავიდან არეკვლის გამოყენებაზე დაფუძნებული გადაცემათა სისტემები**

გადაცემის რადიოსისტემა, რომელშიც გამოიყენება მეტრული ტალღების გაბნევა იონოსფეროს არაერთგვაროვნებებზე, მეტრულ ტალღებზე მომუშავე გადაცემის იონოსფერულ სისტემას უწოდებენ. მეტრულ დიაპაზონში იონოსფერული ტალღების წარმოქმნა მნიშვნელოვანწილად მსგავსია ტროპოსფერული ტალღების წარმოქმნისა. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ტალღების გაბნევა ხორციელდება არა ტროპოსფეროში, არამედ იონოსფეროში დაახლოებით 75...95 კმ სიმაღლეზე. ამ შემთხვევაში გადაცემის ზღვრული მანძილი შეადგენს 1000...3000 კმ-ს, ხოლო გადაცემისათვის ყველაზე შესაბამისი სიხშირეა 40...70 მჰც. იონოსფეროში გაბნევის შემდეგ მიმდებ პუნქტში მიიღება გამოსხივებული სიგნალის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილი, რაც მძლავრი რადიოგადამცემებისა და დიდი ზომის ანტენების გამოყენების აუცილებლობას იწვევს. ასეთი სისტემებით შესაძლებელი დამაკმაყოფილებელი ხარისხის სამამდე სატელეფონო არხის ორგანიზება.

დედამიწის ატმოსფეროში უწყვეტი ნაკადით შემოედინება კოსმოსური ნაწილაკები - მეტეორები. მათი უმრავლესობა 80...120 კმ სიმაღლეზე იწვევა, რაც იონიზირებულ კვალს წარმოქმნის. ასეთი კვალის სიგრძე 10...25 კმ-მდეა, ხოლო მათი არსებობის დრო შეადგენს 5 მწმ-დან 20 წმ-დე. მეტეორების კვალიდან არეკვლილ რადიოტალღებზე მომუშავე რადიოსისტემები მუშაობს 30...70 მჰც სიხშირეზე, ხოლო "მეტეორიტული კავშირის" ხანგრძლივობა დღე-ღამეში მხოლოდ 2...4 სთ-ს შეადგენს.

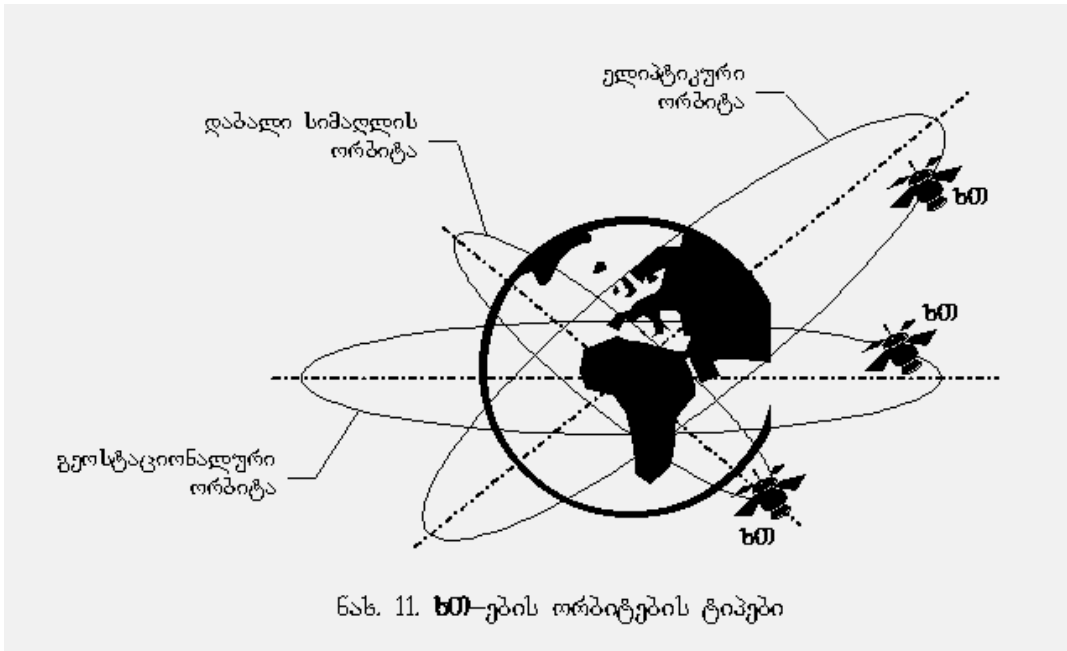
ჩვეულებრივად ასეთი რადიოსისტემებით ხორციელდება სატელეგრაფო სიგნალების გადაცემა, ამასთან ისეთი ტელეგრაფისა, რომლის დროში დაყოვნებაც მნიშვნელოვან როლს არ თამაშობს. გადაცემის მეტეორული სისტემები გამოიყენება პოლარულ სარტყელში დეკამეტრულ ტალღებზე მომუშავე იონოსფერული სისტემების დუბლირებისათვის, მეტეოროლოგიურ სადგურებთან და სხვა ობიექტებთან კავშირისათვის.

## 10. ტელეკომუნიკაციის თანამგზავრული სისტემები

1965 წლის 23 აპრილს ელიპტიკურ ორბიტაზე გაშვებული იქნა პირველი საბჭოთა სატელეკომუნიკაციო თანამგზავრი "Молния-1". თითქმის იმავედროულად აშშ-მა გეოსტაციონალურ ორბიტაზე გაიყვანა პირველი კომერციული სატელეკომუნიკაციო თანამგზავრი "Intelsat-1". ამგვარად, დედამიწის ზედაპირიდან ძალიან მაღალ სიმაღლეზე რეტრანსლიატორის განთავსების წყალობით განხორციელებული იქნა მიმზიდველი იდეა რადიოკავშირის მანძილის მნიშვნელოვნად გაზრდისა, რაც იძლევა დიდ ფართობზე განლაგებული რადიოსადგურების ერთდროული რადიოხედვის განხორციელების საშუალებას. თანამგზავრული კავშირის (თბ) სისტემების უპირატესობას წარმოადგენს დიდი გამტარუნარიანობა, მოქმედების გლობალურობა და კავშირის მაღალი ხარისხი.

თბ-ის სისტემის კონფიგურაცია დამოკიდებულია ხელოვნური თანამგზავრის (ხთ) ტიპზე, კავშირის სახეზე და სახმელეთო სადგურების პარამეტრებზე. თბ-ის სისტემების აგებისას ძირითადად გამოიყენებენ სამი სახის ხელოვნურ თანამგზავრს (ნახ. 11), კერძოდ, მაღალ ელიპტიკურ ორბიტაზე (მეო), გეოსტაციონალურ ორბიტაზე (გსო) და დაბალი სიმაღლის ორბიტაზე (ფსო) განთავსებულ თანამგზავრებს. თითოეულ ხელოვნურ თანამგზავრს გააჩნია თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

მეო-ზე განთავსებული ხთ-ის მაგალითს წარმოადგენს რუსული "ელვის" ტიპის თანამგზავრი, რომლის პარამეტრებია: ბრუნვის პერიოდი – 12 სთ; დახრის კუთხე – 63°; აპოგეის სიმაღლე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს თავზე – 40 ათას კმ. აპოგეის არეში ხთ-ის სიჩქარე მცირდება, ამასთან რადიოხედვის ხანგრძლივობა შეადგენს 6...8 სთ-ს. ასეთი სახის თანამგზავრის უპირატესობას შეადგენს დიდი ფარდობის ზონის მომსახურება. მეო-ს უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ანტენების მიერ ნელა მოდრეიფე თანამგზავრის "თვალთვალისა" და "ჩამავალი" თანამგზავრიდან "ამომავალი" თანამგზავრისაკენ ანტენების ორიენტაციის შეცვლის აუცილებლობა.



უნიკალურ ორბიტას წარმოადგენს **ბსო** - წრიული ორბიტა **სტ**-ის ბრუნვის 24 სთ-იანი პერიოდით, რომელიც განთავსებულია ეკვატორის თავზე დედამიწის ზედაპირიდან 35875 კმ სიმაღლეზე. ორბიტა დედამიწის ბრუნვის მიმართ სინქრონულია, ამის გამო **სტ** დედამიწის ზედაპირის მიმართ უძრავად მდებარეობს (დგას ერთი წერტილის თავზე). **ბსო**-ის დადებითი მხარეებია: მომსახურების ზონა შეადგენს დედამიწის ზედაპირის დაახლოებით მესამედს; სამი თანამგზავრი საკმარისია თითქმის გლობალური კავშირის განსახორციელებლად; ხმელეთზე განლაგებულ ანტენებს პრაქტიკულად არ სჭირდებათ "თვალთვალის" სისტემები. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ სამხრეთ და ჩრდილოეთ განედებზე თანამგზავრები ჰორიზონტთან მიმართებაში ძალიან მცირე კუთხით ჩანს და პრაქტიკულად არ ჩანს პოლარული განედების სიახლოვეს.

დაბალი სიმაღლის **სტ**-ები მოძრაობს წრიულ ორბიტაზე, რომელთა სიბრტყეც დახრილია ეკვატორული სიბრტყის მიმართ (პოლარული და კვაზიპოლარული ორბიტები). ასეთი ორბიტების სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან შეადგენს 200...2000 კმ-ს. მსუბუქი **სტ**-ის **ღსო**-ზე გაშვება შესაძლებელია შედარებით იაფი გამშვები დანადგარებით (რაკეტებით). თუმცა **ღსო**-ზე მოძრავი **სტ**-ების სიჩქარე დედამიწის ზედაპირის მიმართ საკმაოდ მაღალია, რის შედეგადაც კავშირის სეანსი თანამგზავრის ამოსვლიდან ჩასვლამდე გრძელდება მხოლოდ რამდენიმე ათეული წუთი.

**სტ**-ების სამუშაო სიხშირეები რეგლამენტირებულია **ITU-R**-ის მიერ, ისინი განსხვავებულია **დედამიწა-სტ** და **სტ-დედამიწა** მონაკვეთებისათვის და მოთავსებულია 2...40 გჰც-ის ფარგლებში.

თანამგზავრული კავშირის სისტემებისათვის არსებობს სიგნალების გადაცემის ზოგიერთი თავისებურებები:

- სიგნალის დაყოვნება (**ბსო**–სათვის დაახლოებით 250 მწმ), რაც სატელეფონო საუბრებისას ექოს წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზია.

- დოპლერის ეფექტი - მოძრავი ობიექტიდან მიღებული სიგნალის სიხშირის ცვლილება. სინათლის სიჩქარეზე ბევრად ნაკლები სიჩქარეების დროს ( $V_r/C \ll 1$ ) სიხშირის ცვლილება შეადგენს  $f = f_0/(1 \pm V_r/C)$ . ყველაზე მეტად დოპლერის ეფექტი მუდავნდება იმ **ხო**–ებისათვის, რომლებიც იყენებს არაგეოსტაციონალურ ორბიტებს.

**თბ**-ის სისტემის დანიშნულებისა და სახმელეთო სადგურების ტიპების მიხედვით ელექტროკავშირის საერთაშორისო გაერთიანების (**მსბ**) რეგლამენტის განსაზღვრავს შემდეგ სამსახურებს:

- **ფიქსირებული თანამგზავრული სამსახური** გარკვეულ ფიქსირებულ პუნქტებში განლაგებულ სადგურებს შორის კავშირისა და, აგრეთვე, სატელევიზიო პროგრამების განაწილებისათვის;

- **მოძრავი თანამგზავრული სამსახური** სატრანსპორტო საშუალებებზე (ავტომობილებზე, გემებზე, თვითმფრინავებზე) განთავსებულ მოძრავ სადგურებს შორის კავშირისათვის;

- **თანამგზავრული რადიოსამაუწყებლო სამსახური** რადიო და სატელევიზიო პროგრამების აბონენტების მიმღებ ტერმინალებზე უშუალო გადაცემისათვის.

**ფიქსირებული თანამგზავრული სამსახური (ფოს).** თავდაპირველად **ფოს** ვითარდებოდა მაგისტრალური კავშირის სისტემების შექმნის მიმართულებით, რომლებშიც გამოიყენება მსხვილი სახმელეთო სადგურები 12...30 მ დიამეტრიანი სარკის მქონე ანტენებით. დღეს-დღეისობით ფუნქციონირებს დაახლოებით 50 **ფოს**. მაგალითის სახით შეგვიძლია მოვიყვანოთ **თბ**-ის სისტემები "Молния 3", "Радуга", "Горизонт", "Intelsat" და "Eutelsat". ამჟამად **ფოს**–ს განვითარების ტენდენციებია: **ხო**–ის ორბიტაზე მუშაობის დროის გახანგრძლივება; **ხო**–ის ორბიტაზე მდებარეობის სიზუსტის გაზრდა; მრავალსიხვიანი ანტენების შექმნა და გაუმჯობესება; მცირე ზომის (1,2...2,4 მ) სახმელეთო ანტენებზე მუშაობის შესაძლებლობები (**VSAT** სისტემები).

**მოძრავი თანამგზავრული სამსახური (მოს).** ტრანსპორტის მუშაობის საერთაშორისო ხასიათიდან გამომდინარე, მისი უკეთ მართვისათვის იქმნება თანამგზავრული კავშირის გლობალური სისტემები, მაგალითად, საზღვაო თანამგზავრული კავშირის სისტემა "Inmarsat", რომელიც მოქმედებაში შევიდა

1982 წელს. იგი შეიცავს: გეოსტაციონალურ თანამგზავრებს, რომლებიც განთავსებულია ატლანტის, წყნარი, და ინდოეთის ოკეანეების ზემოთ; სხვადასხვა კონტინენტზე განთავსებულ სანაპირო სადგურებს; სხვადასხვა სტანდარტის სანაოსნო სადგურების განშტოებულ ქსელს. დღესდღეისობით "Inmarsat" სისტემის მომსახურებით სარგებლობს დაახლოებით 15 ათასი გემი. "Inmarsat" ორგანიზაციის ფარგლებში ხორციელდება საავიაციო თანამგზავრული კავშირის პრობლემის გადაწყვეტა.

კოსმოსურ ტექნოლოგიებში ბოლო წლებში წარმატებებმა, აგრეთვე მიკროელექტრონიკის განვითარების თანამედროვე დონემ, პარამეტრული კომპანდირებით ხმოვანი სიგნალების ეფექტური კოდირების ალგორითმების გამოჩენამ და თანამგზავრთაშორისი კავშირის ლაზერული ხაზების დამუშავებამ გამოიწვია დაბალ სიმაღლეზე მოძრავი მსუბუქი **ხმ**-ების გამოყენების შესაძლებლობის განხილვა მოძრავი თანამგზავრული სამსახურის შექმნის დროს. უწყვეტი კავშირის უზრუნველსაყოფად დაბალ სიმაღლეზე მოძრავი დიდი რაოდენობის (რამდენიმე ათეული) **ხმ**-ის გამოყენება ეკონომიურად მიზანშეწონილია ძირითადად ორი მიზეზის გამო: პირველი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თანამგზავრის **ფსმ**-ზე გაყვანის ღირებულება მცირეა და მეორე, იზოტროპული ანტენების მქონე მცირეგაბარიტული სააბონენტო სადგურების სისტემების შექმნის შესაძლებლობა.

განასხვავებენ **ფსმ**-ზე მოძრავ ორი ტიპის **მგ**-ის სისტემებს. მათგან უმარტივეს შემთხვევაში ინფორმაციის პაკეტები გადაიცემა **ხმ** - რეტრანსლიატორის გავლით პირდაპირ (უშუალოდ) ან იმ დროის დაყოვნებით, რაც საჭიროა გადასაფრენი ტრასის (მანძილის) დასაფარად. მეორე ტიპის სისტემები უზრუნველყოფს უწყვეტ კავშირს. ცალკეული **ხმ**-ების რადიოხედვის ზონები ერთიანდება ერთიან ინფორმაციულ სივრცეში. ასეთი სისტემის მაგალითს წარმოადგენს საერთაშორისო პროექტი "Iridium"-ი, რომელსაც ხელმძღვანელობს ფირმა "Motorola". სისტემა დაფუძნებულია 66 მსუბუქ (თითოეულის მასა 689 კგ-ია) **ხმ**-ზე, რომლებიც თანაბრადაა განაწილებული 780 კმ სიმაღლის 6 პოლარულ ორბიტაზე (თითოეულ ორბიტაზე 11 თანამგზავრია), რომელთა სიბრტყეები გადახრილია 30°-ით, ხოლო მოძრაობის ფაზები ერთმანეთს ემთხვევა. თითოეული თანამგზავრი დაკავშირებულია 4 მეზობელ თანამგზავრთან. რეტრანსლიატორები მუშაობს 48-სხივიან ანტენაზე, რაც იძლევა სისტემაში ერთდროულად 2100 აქტიური გამოსხივებისა და, შესაბამისად, დედამიწის მთელ ზედაპირზე ფიჭური

კავშირის ორგანიზების საშუალებას. სისტემაში გამოყენებულია მრავალსადგურიანი შეღწევა არხების სიხშირულ-დროითი დაყოფით, თანამგზავრთაშორისი ხაზებისა და შეუღლების სადგურებისათვის გათვალისწინებულია სიხშირეთა დიაპაზონი Ka 19 ... 29 გჰც, ხოლო სააბონენტო ხაზებისთვის "დედამიწა - ხმ" და "ხმ - დედამიწა" – სიხშირეთა ორი ზოლი L 1610...1625 მჰც დიაპაზონში. "Iridium"-ის სისტემა განკუთვნილი იყო 1,5 მილიონი აბონენტის მომსახურებაზე. სისტემის კომერციული ექსპლუატაცია დაიწყო 1998 წელს. სისტემაში გამოიყენება "Iridium"-ისა და მოძრავი ფიჭური კავშირის ერთ-ერთი სტანდარტის (მაგალითად, **GSM**) რეჟიმების შემცველი ორრეჟიმიანი სააბონენტო ტერმინალები. თუ აბონენტი მდებარეობს მობილური კავშირის სისტემის მომსახურების ზონაში, მაშინ მას მოემსახურება არსებული სისტემა, ხოლო მოცემული მომსახურების ზონის დატოვების შემთხვევაში ავტომატურად ხდება მისი გადართვა **OG**-ის "Iridium" სისტემაზე. თუმცა აღნიშნულ სისტემას არ ქონია კომერციული წარმატება, რის გამოც მისი შემდგომი ექსპლუატაციის საკითხი ჯერ-ჯერობით გაურკვეველია.

**რადიოსამაუწყებლო თანამგზავრული სამსახური (რმს).** რმს რელიზებას უკეთებს ტელეკომუნიკაციების განვითარების ერთ-ერთ მიმართულებას – პერსონალიზაციას, რომლის დროსაც სატელევიზიო პროგრამები მიიღება უშუალოდ აბონენტთა ინდივიდუალურ მიმღებზე. **ITU-R**-მ დაამტკიცა თანამგზავრული **ტვ** მაუწყებლობის საერთაშორისო გეგმა 12 გჰც (უშუალო სატელევიზიო მაუწყებლობა **HTB-12**) დიაპაზონში. გეგმაში დაფიქსირებულია **ხმ**-ების მდებარეობის ("დგომის") წერტილები **ბსო**-ზე, სიხშირული არხების ნომრები და საბორტე გადამცემი აპარატურის პარამეტრები. ყოფილი საბჭოთა კავშირის თანამგზავრებისათვის **ბსო**-ზე გამოყოფილია მდებარეობის 5 წერტილი – აღმოსავლეთის გრძედის 23<sup>0</sup>, 44<sup>0</sup>, 74<sup>0</sup>, 110<sup>0</sup> და 140<sup>0</sup>. აღსანიშნავია, რომ ისტორიულად ჩამოყალიბებული ტექნიკური განვითარების შედეგად "უშუალო" ტელევიზიაში აგრეთვე გამოიყენება 11 გჰც-ის დიაპაზონი, რომელიც გამოყოფილია ფიქსირებული თანამგზავრული სამსახურისთვის (**ზოს**). **HTB-12**-თვის გამოიყენება 100 **ხმ**-ზე მეტი, რომელთა შორისაა **TV-SAT-1, TV-SAT-2, TDF-1, TDF-2, TELE-X** და სხვა.

**HTB**-ის ფართო დანერგვისთვის აუცილებელია რამდენიმე ათეული სატელევიზიო პროგრამიანი თანამგზავრის არსებობა იმისათვის, რომ აბონენტს (მაყურებელს), რომელიც შეიძენს შედარებით ძვირადღირებულ მოწყობილობას, შეეძლოს მნიშვნელოვნად გააფართოვოს თავისი სატელევი-

ზიო არჩევანი. აღნიშნულიდან გამომდინარე, აქტუალურს წარმოადგენს ციფრული სატელევიზიო გამოსახულებების შეკუმშვის ისეთი მეთოდების დამუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფს ერთი სიხშირული არხით 6...10 სატელევიზიო პროგრამის გადაცემას.

გრძელდება **ხ0**-ის ორბიტაზე გაყვანის სისტემებისა და ტექნოლოგიების განვითარება. ერთ-ერთი საინტერესო საერთაშორისო პროექტია ე.წ. "საზღვაო სტარტი" (Sea Launch). პროექტის მიხედვით თანამგზავრის გაშვება ხორციელდება მოძრავი საზღვაო პლატფორმიდან, რომელსაც რაკეტა-მატარებელი გადააქვს ეკვატორისაკენ. ამ შემთხვევაში რაკეტების გაშვებისას გამოიყენება თავისი ღერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვის სიჩქარე, შესაბამისად, **ხ0**-ის გაყვანა მარტივდება, ანუ რაკეტა-მატარებლის იგივე პარამეტრების შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება უფრო მეტი რაოდენობის ტვირთის გატანა ორბიტაზე.

## 11. მოძრავი რადიოკავშირის პროფესიონალური სისტემები

მოძრავი რადიოკავშირის განვითარების გლობალურ სტრატეგიას წარმოადგენს ერთიანი საერთაშორისო სტანდარტების დამუშავება და დანერგვა და მათ საფუძველზე საერთაშორისო და საერთო მოხმარების გლობალური ქსელების შექმნა (აგება).

დღეისათვის მოძრავი რადიოკავშირის ბაზარზე დომინირებენ:

- მოძრავი რადიოკავშირის პროფესიონალური (კერძო) სისტემები (Professional Mobile Radio - **PMR**, Public Access Mobile Radio - **PAMR**);
- პერსონალური რადიოგამოძახების სისტემები (Paging System);
- ფიჭური მოძრავი რადიოკავშირის სისტემები (Cellular Radio Systems);
- უსადენო ტელეფონების სისტემები (Cordless Telephon).

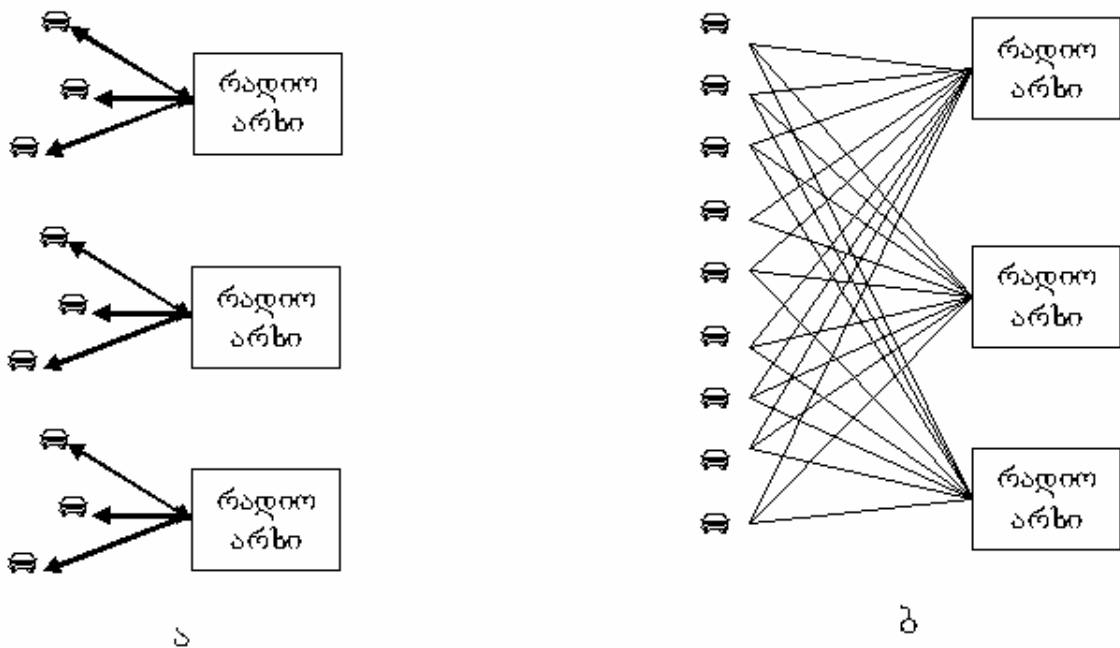
თავდაპირველად შემუშავებული იქნა პროფესიონალური (კერძო) მოძრავი რადიოკავშირის სისტემები. სისტემებმა, რომლებიც უზრუნველყოფს საერთო მოხმარების ქსელებთან ურთიერთქმედებას, მიიღეს დასახელება **კერძო სისტემები (PAMR)**, ხოლო სისტემებმა, რომლებიც არ უზრუნველყოფს ასეთ ურთიერთქმედებას, ანუ განკუთვნილია აბონენტთა ჩაკეტილი (შეზღუდული) ჯგუფისათვის – დასახელება **პროფესიონალური სისტემები (PMR)**.

პირველ პროფესიონალურ სისტემებში მიმღები და გადამცემი პროექტირდებოდა გარკვეულ, ფიქსირებულ სიხშირეზე მუშაობისათვის. თითოეული რადიოარხი განკუთვნილი იყო აბონენტების შედარებით მცირე

ჯგუფისათვის (ნახ. 12ა). თუ აბონენტების რაოდენობა გადააჭარბებდა ერთი არხის შესაძლებლობას, მაშინ ქმნიდნენ მეორე ჯგუფს, რომლისთვისაც გამოიყოფოდა სხვა რადიოარხი.

სისტემაში საერთო მიღწევის არხების კონით (ტრანკინგული სისტემა) (ნახ. 12ბ) ქსელის თითოეულ აბონენტს შეუძლია ისარგებლოს არხების ერთი და იგივე ჯგუფით. გამოძახების მიღების შემთხვევაში აბონენტების წყვილს გამოეყოფა ამ მომენტისათვის თავისუფალი ერთ-ერთი რადიოარხი. გათიშვის შემდეგ არხი თავისუფლდება და იგი შეიძლება გადაეცეს აბონენტთა ნებისმიერ სხვა წყვილს. ტექნიკურად ეს პროცესი შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი ორი ხერხიდან ერთ-ერთის საშუალებით:

- რადიოსადგურის მიერ თავისუფალი არხის თანმიმდევრული მოძებნით (მაგალითად, დაუკავებლობის სპეციალური მარკერული სიგნალის მეშვეობით). ასეთი სისტემები ხასიათდება კავშირის დამყარების მნიშვნელოვანი დროით და ისინი გამოიყენება არხების შედარებით მცირე რაოდენობის (5...8-მდე) შემთხვევაში;
- სპეციალურად გამოყოფილი საერთო სიგნალიზაციის არხით, რომელზეც მორიგე მიღების რეჟიმშია აწყობილი ქსელის ყველა რადიოსადგური. ასეთი სისტემები ყველაზე გავრცელებულია.



ნახ. 12. მოძრავი რადიოკავშირის პროფესიონალური (კერძო) სისტემების სტრუქტურა

საერთო მიღწევის არხების კონიანი სისტემის გატარების უნარი (გამტარუნარიანობა) მნიშვნელოვნად აღემატება მიმაგრებული არხებიანი სისტემის გამტარუნარიანობას. მაგალითად, ერთადერთ არხს მისი ბლოკირების (შემთხვევა, როდესაც არხი დაკავებულია) 10%-იანი ალბათობისა და უდიდესი დატვირთვის საათში ერთი აბონენტის საუბრის 2,5 წთ-ის ტოლი საშუალო ხანგრძლივობის შემთხვევაში შეუძლია მოემსახუროს არაუმეტეს ორ-სამ აბონენტს. ოცი ასეთი არხი მათი ცალ-ცალკე გამოყენებისას იძლევა დაახლოებით 50 აბონენტის მომსახურების საშუალებას. იმავე პირობების შემთხვევაში სისტემას საერთო მიღწევის არხების კონით იგივე 20 არხის გამოყენების შემთხვევაში უკვე შეუძლია მოემსახუროს 420 აბონენტს, ე.ი. მისი გამტარუნარიანობა იზრდება 8-ჯერ უფრო მეტად.

ტელეკომუნიკაციის პროფესიონალური ქსელების დაპროექტება ხდება სამაუწყებლო ქსელების მსგავსად: საკმაოდ მძლავრი გადამცემი მუშაობს დიდ სიმაღლეზე ჩამოკიდებულ ანტენაზე, რის გამოც იგი პირდაპირი ხედვის პირობებში მოიცავს 40-50 კმ რადიუსის მქონე ტერიტორიას. ამასთან მომსახურების 5...8 ათას კმ<sup>2</sup>-ის ფართზე აბონენტებისათვის მიღწევადია რამდენიმე ათეული რადიოარხი.

ზემოთ აღწერილი ტრანკინგული პრინციპის საფუძველზე გასული საუკუნის 60-იან წლებში საბჭოთა კავშირში დამუშავდა მოძრავი კავშირის სისტემა "Алтай", რომელიც მოდერნიზებული სახით დღესაც გამოიყენება რუსეთში და მუშაობს 330 მჰც სიხშირეზე.

ტრანკინგული ტელეკომუნიკაციის ყველაზე გავრცელებულ სისტემებს წარმოადგენს სისტემები გამოყოფილი მმართველი არხით, რომლებიც იყენებს **MTP1317, MTP1327, MTP1343,** და **MTP1347** სტანდარტებს. აღნიშნული სტანდარტები თავდაპირველად დამუშავდა დიდ ბრიტანეთში 174...225 მჰც სიხშირეზე და ისინი შემდგომში გავრცელდა სიხშირეთა სხვა დიაპაზონებზეც.

ცნობილია აგრეთვე ტრანკინგული სისტემები შეთავსებული მართვის არხით. ამ შემთხვევაში მართვის სიგნალების გადასაცემად გამოიყენება სიხშირეთა ბგერითი საინფორმაციო ზოლის ის მონაკვეთი, რომელიც მოთავსებულია ლაპარაკის სიგნალის სიხშირული სპექტრის ქვევით - 150 ჰც-მდე ზოლში. ასეთი ტიპის სისტემები დამუშავებული იყო ფირმა E.F. Johnson-ის (აშშ) მიერ და მათ მიიღო **LTR** აღნიშვნა.

მოძრავი რადიოკავშირის პროფესიონალური სისტემების განვითარების საერთო ტენდენციაა ანალოგური კორპორატიული ან ეროვნული სტანდარტე-

ბიდან საერთაშორისო ციფრულ სტანდარტებზე გადასვლა საუბრების გასაიდუმლოებისა (კონფიდენციალურობისა) და აბონენტთა როუმინგის უზრუნველყოფით. ეს ტენდენციები დაკავშირებულია მოძრავი რადიოკავშირის ტრანკინგულ სისტემებზე საერთოევროპული **TETRA**-ს სტანდარტის დანერგვასთან, რომელიც დამუშავებულია **ETSI**-ს ფარგლებში. **TETRA** სტანდარტის სისტემები გამოიყენება სალაპარაკო შეტყობინებების ციფრულ ფორმაში გადაცემისათვის, მონაცემთა გადაცემისათვის და ა.შ.. **TETRA** სისტემები უზრუნველყოფს აბონენტებს შორის პირდაპირ კავშირს საბაზო სადგურების მონაწილეობის გარეშე. **TETRA** სტანდარტის სისტემების დანერგვა ევროპაში დაიწყო 90-იანი წლების ბოლოს თავდაპირველად უშიშროების სამსახურებისათვის, პოლიციისათვის და სასაზღვრო დაცვისათვის.

თუმცა ქსელის რადიალური სტრუქტურის მქონე ტრანკინგული სისტემების ეფექტურობა საკმარისი არაა მჭიდროდ დასახლებულ რაიონებში მოძრავი კავშირის მომსახურებათა მოთხოვნების დაკმაყოფილებისათვის. მაგალითად, 10-მილიონიანი ქალაქის შემთხვევაში ასეთი სისტემით მოსახლეობის მხოლოდ 0,1%-ის უზრუნველყოფა მომსახურების სტანდარტული ხარისხით (საუბრების საშუალო ხანგრძლივობა 1,5 წთ, ბლოკირებების ალბათობა 5%) მოითხოვს დაახლოებით 250 რადიოარხის გამოყოფას ან ერთი არხის 25 კპც სიგანის ზოლის შემთხვევაში ორი 6,25 მჰც-იანი სიხშირული ზოლის გამოყოფას.

მჭიდროდ დასახლებული ადგილებისათვის მოძრავი რადიოკავშირის აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტა მოხერხდა მოძრავი რადიოკავშირის ქსელის ფიჭური პრინციპით აგების საფუძველზე.

## 12. ტელეკომუნიკაციის ფიჭური სისტემების ზოგადი დახასიათება

ახალი სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარება დაკავშირებულია ტელეკომუნიკაციის, ინფორმაციული ტექნოლოგიებისა და ელექტრონიკის დარგებში მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევების აქტიურ დანერგვასთან. პრიორიტეტული ტექნოლოგიებიდან ერთ-ერთ მნიშვნელოვანს წარმოადგენს ფიჭური ტელეკომუნიკაცია, რომელიც მოსახლეობაში მზარდი პოპულარობით გამოირჩევა და რომელიც ვითარდება ძალზე სწრაფი ტემპებით. დღეისათვის არ არსებობს ტელეკომუნიკაციის ისეთი სახეობა, რომელიც ვითარდება ისე სწრაფად, როგორც რადიოტელეფონია, განსაკუთრებით კი – ფიჭური ტელეკომუნიკაცია. ტელეკომუნიკაციის ამ სახე-

ობის მომხმარებელთა რიცხვი ყოველწლიურად დაახლოებით 40%-ით იზრდება. ფიჭური კავშირის აბონენტთა რიცხვის ზრდის მაჩვენებელი განსაკუთრებით შთამბეჭდავია **GSM (Global System for Mobile Communications)** ქსელებისათვის (აბონენტთა ყოველწლიური მატება დაახლოებით 70%-ს შეადგენს).

მიუხედავად იმისა, რომ პირველი ფიჭური ქსელის გამოჩენის მომენტიდან არც თუ ისე დიდი დროა გასული, ფიჭური ტელეფონი უკვე არ ითვლება პრესტიჟის საგნად. დღეისათვის იგი უკვე წარმოადგენს ინსტრუმენტს, რომელიც იძლევა სამუშაო დროის უფრო ეფექტურად გამოყენებისა და ტექნოლოგიური, ეკონომიკური და სხვა პროცესების ოპერატიული მართვის საშუალებას. ამასთან ფიჭური ქსელები არა მარტო ფართოვდება სივრცეში, არამედ მათი საშუალებით სულ უფრო მატულობს აბონენტთათვის მიწოდებული მომსახურების სახეობები, მათ შორის მონაცემთა გადაცემისა და ინტერნეტში ჩართვის შესაძლებლობები.

ფიჭური ტელეკომუნიკაციის დაარსების თარიღად მიიჩნევენ 1971 წელს, როდესაც აშშ-ის კავშირგაბმულობის ფედერალურ კომისიას კომპანია **Bell System**-მა წარუდგინა რადიოსატელეფონო კავშირის ქსელის არქიტექტურა, რომელსაც შემდგომში ფიჭური ეწოდა. თუმცა ამ იდეიდან რეალურ პროექტებამდე განვლო 10 წელმა. გასული საუკუნის 70-იან წლებში ფიჭური სისტემების დამუშავება და 80-იან წლებში მათი დანერგვა დაკავშირებული აღმოჩნდა სხვადასხვა და საკმაოდ რთული ტექნიკური პრობლემების გადაწყვეტასთან. ფიჭური ტელეკომუნიკაციის პირველი ქსელები ანალოგურს წარმოადგენდა, რომელთა ექსპლუატაციამ სპეციალისტებს მისცა ფიჭური ქსელების ორგანიზაციის ძირითადი პრინციპების დამუშავებისა და მათი საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელებთან მიერთების საშუალება. აღნიშნულ ქსელებში გამოიყენება არსების სიხშირული განცალკევება (**FDMA – Frequency Division Multiple Access**). ამ მეთოდს ემყარება ფიჭური ტელეკომუნიკაციის ყველა ცნობილი ანალოგური სტანდარტი: **NMT** (სკანდინავიის ქვეყნები, ბელგია, ნიდერლანდები, ესპანეთი, ლუქსენბურგი, საუდის არაბეთი), **NAMPS** (აშშ, კანადა, ავსტრალია), **TACS** (დიდი ბრიტანეთი, ირლანდია), **HCMTS** (იაპონია), **ETAS** (ინგლისი, ლონდონი), **RTMS-101H** (იტალია), **C-450** (გერმანია), **Radiocom** (საფრანგეთი). ფიჭური ტელეკომუნიკაციის შესაბამისი სისტემები 1-ლი თაობის (**1G**) სისტემებს წარმოადგენს. აღნიშნული სისტემების დამპროექტებლები ცდილობდნენ არსებული სტანდარტების რიცხვის შემცირებას, რაც იძლეოდა სხვადასხვა

სისტემების თავსებადობის გაუმჯობესების საშუალებას. თუმცა პრაქტიკაში ეს ყოველთვის ვერ მიიღწეოდა, რის გამოც საბოლოოდ ჩამოყალიბდა ე.წ. მყარი ფიჭური ორიენტაციის სამი ძირითადი ზონა: ჩრდილოეთი ამერიკა, დასავლეთი ევროპა და იაპონია. დანარჩენ რეგიონებში, როგორც ზემოთ მოყვანილი ჩამონათვალიდან ჩანს, გვხვდება სხვადასხვა ფიჭური სტანდარტების ქსელები.

ფიჭური ტელეკომუნიკაციის ანალოგური ქსელებისათვის დამახასიათებელია რიგი ნაკლოვანებებისა, როგორცაა: ცუდი ხელშეშლამდრადობა და მასთან დაკავშირებული საუბრების გადაცემის დაბალი ხარისხი; ისედაც დეფიციტური რადიოსიხშირული სპექტრის არაეფექტური გამოყენება, საუბრების მოსმენისაგან დაუცველობა და სხვა. უნდა აღინიშნოს, რომ ანალოგურმა სისტემებმა თავისი განვითარების პიკს მიაღწია 1993 წელს, რის შემდეგაც შეიმჩნევა მათი აბონენტების რიცხვის მნიშვნელოვანი კლება, რაც რამდენიმე წელიწადში გამოიწვევს ტელეკომუნიკაციის ბაზრიდან მსგავსი სისტემების გაქრობას.

1-ლი თაობის სისტემებს 90-იანი წლებიდან თანდათანობით ენაცვლება მე-2 თაობის ციფრული სისტემები (**2G**), რაც, გარდა 1-ლი თაობის სისტემებისათვის დამახასიათებელი ზემოთ აღნიშნული ნაკლოვანებებისა, განპირობებული იყო ქსელების ტევადობის მკვეთრად გაზრდის აუცილებლობით. გარდა ამისა, ამ დროისათვის უკვე მომწიფდა კავშირის ხარისხის გაუმჯობესების, დამატებითი მომსახურების სახეობების მიწოდების, ახალ ციფრულ სატელეფონო ქსელებთან დაკავშირების, როუმინგის განხორციელების გამარტივების, სისტემის უნიფიკაციისა და ერთიან საერთაშორისო სტანდარტზე მუშაობის აუცილებლობა. 1-ლი თაობის სისტემები ამ დროისათვის უკვე სავსებით მიუღებელი აღმოჩნდა გაერთიანების გზაზე მდგარი ევროპისათვის, რის გამოც ჯერ კიდევ 1982 წელს ევროპის ტელეკომუნიკაციის 17 ადმინისტრაციის მიერ შეიქმნა მოძრავი კავშირის ექსპერტთა **GSM ჯგუფი (GSM – Group Special Mobile)**, რომელიც შეუდგა ფიჭური ტელეკომუნიკაციის ახალი ციფრული მოძრავი კავშირის გლობალური სისტემის (**GSM – Global System for Mobile Communications**) დამუშავებას, რომლის დანერგვისა და ექსპლუატაციის პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით 1987 წელს დაარსდა ევროპული სამუშაო ჯგუფი **MoU (Memorandum of Understanding - GSM-ის გამოყენებისათვის ერთობლივი შეთანხმებების არსის განსაზღვრის მემორანდუმი)**, რომელიც დღეისათვის აერთიანებს **GSM-ის** ოპერატორებს მსოფლიოს თითქმის 100 ქვეყნიდან. ასე

რომ, დღეისათვის მობილური კავშირის **GSM** სტანდარტი (900 მგჰც) და მისი მაღალსიხშირული ნაირსახეობა **DCS (Digital Cellular System)**, რომელიც მუშაობს 1800 მგჰც სიხშირეზე, სამართლიანად ითვლება ევროპული ფიჭური ტელეკომუნიკაციის ლიდერად. ამ თვალსაზრისით არც საქართველოა გამონაკლისი, ვინაიდან აქ უკვე მუშაობს **GSM** სისტემის 2 ოპერატორი – "ჯეოსელი" და "მაგთი-GSM". უნდა აღინიშნოს, რომ აშშ-ში განახორციელეს არსებული ანალოგური **AMPS** სისტემის ციფროვიზაცია და შექმნეს სისტემა **DAMPS**, ანუ **IS-54** (800 მგჰც) და **IS- 661** (1900 მგჰც), რითაც ოპერატორებმა თავიდან აიცილეს ახალი ქსელური ინფრასტრუქტურის შექმნის აუცილებლობა, ხოლო აბონენტებს მიეცათ ერთდროულად ორივე სისტემაში მუშაობის საშუალება.

მობილური ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში გამოიყენება არსების განცალკევების დროითი (**TDMA – Time Division Multiple Access**) ან კოდური (**CDMA – Code Division Multiple Access**) მეთოდი სიხშირული განცალკევების მეთოდთან კომბინაციით. მათგან **CDMA** ტექნოლოგია (თანამედროვე **IS-95** სისტემა) მე-3 თაობის (**3G**) ფიჭური ტელეკომუნიკაციის საფუძვლად ითვლება, ვინაიდან ეს ტექნოლოგია ყველა დანარჩენისაგან გამოირჩევა მაღალი ხელშეშლამდგრადობით, რადიოსპექტრის გამოყენების ყველაზე მაღალი ეფექტურობით, ქსელის ტევადობის გაზრდის შესაძლებლობით, საბაზო სადგურების სიმცირით და სხვა, რასაც საბოლოო ჯამში მივყავართ მაღალ ეკონომიკურ ეფექტურობამდე და შედეგად ტარიფების შემცირებამდე.

21-ე საუკუნის დასაწყისში მსოფლიო შედის გლობალურ ინფორმაციულ საზოგადოებაში, რაც, თავის მხრივ, მოითხოვს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურის შექმნას. ბუნებრივია, რომ მსოფლიო საზოგადოების წინაშე დღეს უცებ დადგა მობილური ტელეკომუნიკაციის უნივერსალური სისტემის შექმნის პრობლემა, რომლის საშუალებითაც შეძლებისდაგვარად განხორციელდება ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობა. მე-3 თაობის მობილური კავშირის სისტემების შექმნის დასაწყისად შეიძლება ჩაითვალოს 1985 წელს მიღებული ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის (**მსკ (ITU-International Telekommunikation Union)**) პროგრამა "ტელეკომუნიკაციის საერთო სარგებლობის მომავალი მიწისპირა სისტემები", რომლის მიზანსაც წარმოადგენდა მსოფლიოში ერთიანი ციფრული სტანდარტის დანერგვა, თუმცა მე-20 საუკუნის დასასრულს **3G** სისტემების შექმნის პროგრამამ შეით-

ვისა ინტერნეტში სწრაფი შეღწევისა და ტელეკომუნიკაციის სხვა სახეობებითაც მომსახურების მოთხოვნებიც.

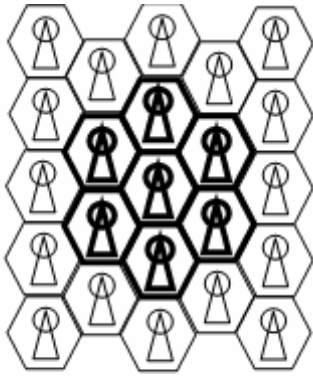
მსოფლიოს ფიჭური ქსელების გამაერთიანებელი ახალი სისტემა იქმნება ITU-ს **IMT-2000 (International Mobile Telecommunications** – საერთაშორისო მოძრავი ტელეკომუნიკაცია) პროგრამის საფუძველზე. ახალი **3G** კონცეფცია გულისხმობს მულტიმედის მომსახურების მიწოდებას, მათ შორის ვიდეოს, მეტყველების, ფაქსიმილური შეტყობინებების და მონაცემთა გადაცემა-მიღებას ნებისმიერი აბონენტისათვის ერთიანი ნომრის მქონე მობილური ტერმინალებით.

დღეისათვის მე-3 თაობის სისტემებიდან ძირითადად განიხილება ევროპული **UMTS (Universal Mobile Telecommunication System** – უნივერსალური მობილური ტელესაკომუნიკაციო სისტემა) და ჩრდილოამერიკული **CDMA2000** სისტემები. ეს უკანასკნელი **IS-95**-ის განვითარებას წარმოადგენს.

**2G**-დან **3G**-ზე პირდაპირი გადასვლა რევოლუციურს წარმოადგენს, თუმცა არსებობს ევოლუციური გზაც – არსებული **GSM, IS-136, CDMAOne** სისტემების მოდიფიკაციის გზა, ანუ **2G**-დან **2G+** -ზე (ანუ **2,5G**-ს) და შემდეგ **3G** ქსელებზე გადასვლა.

მსოფლიოში დღეისათვის უკვე გაყიდულია მრავალი ლიცენზია **3G** ქსელების გაშლისათვის და ამ დროს სპეციალისტების მიერ უკვე გაცხადდა ფიჭური ტელეკომუნიკაციის მე-4 (**4G**) თაობის სისტემების დაპროექტებაზე მუშაობის დაწყების შესახებ, რაც კიდევ ერთხელ მიუთითებს ფიჭური ტელეკომუნიკაციის სწრაფ და დინამიურ განვითარებაზე.

მოძრავი რადიოკავშირის ფიჭური სისტემა (**მრფს**) იყენებს მცირე სიმძლავრის დიდი რაოდენობის გადამცემებს, რომელთა დანიშნულებაა შედარებით მცირე ზომის (მაგალითად, 1..2 კმ რადიუსის) ზონის მომსახურება. აღნიშნული მცირე ზომის დაფარვის ზონებს **ფიჭებს** უწოდებენ. იმისათვის, რომ გასაგები გახდეს, თუ როგორ ცვლის ეს საერთო სურათს, დავეშვათ რომ, ხელთ არსებული ყველა სიხშირული არხი შეიძლება განმეორებით იყოს გამოყენებული ფიჭური სტრუქტურის ყველა უჯრედში. მაშინ 10-მილიონიანი ქალაქის მცხოვრებთა 0.1%-ის მომსახურებისათვის საჭირო 250 არხი შეიძლება მივიღოთ, მაგალითად, 50 კმ რადიუსის მქონე მოსამსახურებელი ტერიტორიის 10 კმ რადიუსის მქონე 25 ფიჭად დაყოფით და თითოეულ ფიჭაში სიხშირეთა ერთი და იგივე ნაკრების მქონე მხოლოდ 10 რადიოარხის ორგანიზაციით (მაგალითი მოყვანილია მხოლოდ ფიჭური პრინციპის ასახსნელად).



ნახ. 13. ფიჭური სტრუქტურის ნიმუში

დაუშვებლად დიდი ურთიერთხელშეშლების გამო აუცილებელია სიხშირეთა ერთნაირი ნაკრების მქონე უჯრედების შენაცვლება სიხშირეთა სხვა ნაკრების მქონე ბუფერული უჯრედებით. მომსახურების ზონაში სიხშირეთა სხვადასხვა ნაკრების მქონე უჯრედების ჯგუფს **კლასტერებს** უწოდებენ. მე-13 ნახაზზე მოყვანილია ანალოგიური ქსელისათვის დამახასიათებელი  $n=7$  ზომის კლასტერის სტრუქტურის ნიმუში. თუ, მაგალითად, ერთი უჯრედის აბონენტების მომსახურებისათვის

საჭიროა 10 სიხშირისაგან შემდგარი ნაკრები, მაშინ  $n=7$  ზომის კლასტერის მქონე ფიჭური სტრუქტურის ასაგებად საჭირო იქნება 70 სიხშირე, რაც იძლევა ნებისმიერად დიდი ზომის ტერიტორიის მომსახურების საშუალებას.

ფიჭური ქსელის ძირითადი პოტენციური მდგომარეობს იმაში, რომ უჯრედებს შორის ურთიერთხელშეშლების დონე დამოკიდებულია არა უჯრედებს შორის მანძილზე, არამედ ამ უკანასკნელის უჯრედების რადიუსთან ფარდობის სიდიდეზე. უჯრედების რადიუსი დამოკიდებულია რადიოგადამცემის სიმძლავრეზე და განისაზღვრება სისტემის შემმუშავებლების მიერ, რომელმაც დაპროექტების დროს უნდა შეარჩიოს კლასტერის შესაბამისი ზომა. უჯრედის რადიუსის შემცირებასთან ერთად იზრდება მომსახურების ზონის 1 კვადრატულ კილომეტრზე და სიხშირეთა გამოყენებული ზოლის 1 მჰც-ზე მოსული (გაანგარიშებული) საბაზო სადგურების რაოდენობა.

ფიჭური ქსელის ექსპლუატაციაში გაშვების საწყის ეტაპზე მისი სრულმასშტაბიანი გაშლა, რა თქმა უნდა, ძვირადღირებულია. ჩვეულებრივ, ქსელის აგება იწყება დიდი ზომის უჯრედების დანერგვით, რომლებიც გარკვეული დროის შემდეგ თანდათანობით გარდაიქმნება მეტი რაოდენობის უფრო მცირე ზომის უჯრედებად. ქსელის უჯრედების გარდაქმნის ასეთ მეთოდს **გახლეჩვას** უწოდებენ. იმ შემთხვევაში, როდესაც რომელიმე უჯრედში დატვირთვა მიაღწევს იმ დონემდე, როდესაც მასში არსებული არსების რაოდენობა არასაკმარისი აღმოჩნდება აბონენტთა მომსახურების დადგენილი ხარისხის შენარჩუნებისათვის (ანუ გამოძახებისას არსის ბლოკირების ალბათობა აღმოჩნდება დადგენილზე მეტი, კერძოდ 5%), მაშინ ეს უჯრედი იყოფა (იხლიჩება) უფრო მცირე ზომის უჯრედებად შემცირებული სიმძლავრის გადამცემებით. ამის შედეგად დანაწევრებული (გახლეჩილი) უჯ-

რედის ტერიტორიაზე ქსელის გამტარუნარიანობა იზრდება იმდენჯერ, რამდენიცაა ახლად წარმოქმნილი უჯრედების რაოდენობა. ეს პროცედურა შეიძლება განმეორდეს მანამ, სანამ ქსელი არ მიაღწევს თავისი გამტარუნარიანობის საანგარიშო მნიშვნელობას.

მცირე ზომის უჯრედები საჭიროა მხოლოდ ქალაქის ცენტრალურ ნაწილებში, რომლებიც გამოირჩევა აბონენტების მაღალი სიმკვრივით. გარეუბნებთან ახლოს აბონენტების სიმკვრივე მცირდება, რის გამოც შესაბამისი უჯრედების ზომა შეიძლება გაიზარდოს. უჯრედების გახლეჩვა შეიძლება საკმაოდ მოქნილად განხორციელდეს როგორც სივრცეში ასევე დროში. ასეთი მოქნილობა განსაკუთრებით მოსახერხებელია დამპროექტებლებისათვის, ვინაიდან ასეთი მიდგომისას შესაძლებელი ხდება გაიზარდოს ქსელის გამტარუნარიანობა იმ ადგილზე და იმ დროს, სადაც და რა დროსაც ეს არის აუცილებელი.

შედარებით მცირე უჯრედების გამოყენება წარმოქმნის კავშირის უწყვეტობის უზრუნველყოფის პრობლემას. თავისუფალი მარშრუტით მოძრაობისას ფიჭური ქსელის აბონენტმა საუბრის ერთი სეანსის დროს შეიძლება გაიაროს რამდენიმე უჯრედი. ამ შემთხვევაში სისტემის უწყვეტობა უზრუნველყოფილია სისტემის შესაძლებლობით აბონენტთან კავშირი გადასცეს იმ საბაზო სადგურს, რომლის მოქმედების ზონაშიც მოცემულ მომენტში მდებარეობს აბონენტი.

სიგნალების დონეების მუდმივად (უწყვეტად) გაზომვების გამო, რომლებიც მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრს მიეწოდება მოძრავ აბონენტთან მყოფი უახლოესი საბაზო სადგურიდან, სისტემას შეუძლია განსაზღვროს აბონენტის მიერ ორ უჯრედს შორის საზღვრის გადაკვეთის მომენტი და სალაპარაკო არხი გადართოს პირველი უჯრედიდან მეორესკენ იმდენად მცირე დროის განმავლობაში, რომელიც არ გამოიწვევს საუბრის გაწყვეტას. ასეთი პროცედურა, რომელსაც **ესტაფეტურ გადაცემას (Handover)** უწოდებენ, მოითხოვს საკმაოდ რთულ ალგორითმს, რომელმაც რამდენიმე მეზობელი უჯრედიდან უნდა განსაზღვროს უშუალოდ ის უჯრედი, რომლისკენაც მოძრაობს ობიექტი, და, აგრეთვე, სწრაფქმედ ალგორითმებს და სქემოტექნიკურ გადაწყვეტილებებს, რომლებიც უზრუნველყოფს პირველ უჯრედში დაკავებული სალაპარაკო არხის გამოთავისუფლებას და მეორე უჯრედში თავისუფალი არხის მოძებნასა და მისი საშუალებით კავშირის აღდგენის შესაძლებლობას.

ფიჭური არქიტექტურის აღწერილი ძირითადი პრინციპების რეალიზაცია ხორციელდება შემდეგნაირად:

- მცირე ზომის ფიჭების რადიოდაფარვისათვის მცირესიმბლავრიანი რადიოგადამცემების გამოყენება;
- მომსახურების ერთი ზონის ფარგლებში სიხშირეების განმეორებითი გამოყენება;
- გამტარუნარიანობის ეტაპობრივი გაზრდა უჯრედების გახლეჩის ხარჯზე.

ერთი უჯრედიდან მეორესაკენ აბონენტის მოძრაობისას უწყვეტი კავშირის უზრუნველყოფამ ევროპისა და ჩრდილოეთ ამერიკის რიგ განვითარებულ ქვეყნებში 80-იანი წლების დასაწყისში გამოიწვია მოძრავი ფიჭური რადიოკავშირის სისტემის (**მზრს**) შექმნა, რაც საფუძვლად დაედო მთელს მსოფლიოში მოძრავი რადიოკავშირის მომსახურების მასობრივ დანერგვას.

80-იან წლებში აგებული **მზრს**-ები მიეკუთვნება პირველი თაობის სისტემებს, რომლებიც აღიწერება **AMPS** (აშშ), **HCMTS** (იაპონია), **NMT-450** და **NMT-900** (ჩრდილოეთ ევროპა), **C-450** (გერმანია), **TACS** (დიდი ბრიტანეთი), **ETACS** (ინგლისი, ლონდონი), **RTMS-101H** (იტალია) და **Radio-200** (საფრანგეთი) სტანდარტებით. ეს სისტემები ძირითადად განკუთვნილი იყო აბონენტთა მომსახურებაზე გარკვეული ქვეყნის საზღვრებს შიგნით, ისინი ხმის გადასაცემად იყენებდნენ ანალოგურ სიხშირულ მოდულაციასა და შიდაზოლურ (in-band) სიგნალიზაციას სააბონენტო ტერმინალსა და დანარჩენ ქსელს შორის კავშირის დასამყარებლად. გამონაკლისს შეადგენდა **NMT-450 (NMT-900)** სტანდარტის სისტემა, რომელიც ექსპლუატაციაში იქნა გაშვებული 1981 წელს როგორც ჩრდილოეთ ევროპის ოთხი ქვეყნის (დანია, ფინეთი, ნორვეგია და შვედეთი) საერთაშორისო სისტემა. მიუხედავად იმისა, რომ ანალოგური **მზრს**-ები არ აკმაყოფილებს ტელეკომუნიკაციის განვითარების თანამედროვე მოთხოვნილებებს, ერთ-ერთი ანალოგური სტანდარტი (**NMT-450**) მაინცაა მიღებული რუსეთის ფედერალურ სტანდარტად.

მეორე თაობის სისტემები პროექტირდებოდა საერთაშორისო როუმინგის (საკუთარი ტერმინალით სხვა ქვეყნიდან ჩამოსული აბონენტის ავტომატური მომსახურება) უზრუნველყოფი მსხვილმაშტაბიანი ქსელების შესაქმნელად. დღეისათვის დამუშავებულია 4 სტანდარტი:

- პანევროპული **GSM**;
- ურთიერთკონკურენციაში მყოფი ორი ჩრდილოამერიკული სტანდარტი: **TIA IS-54** სტანდარტის შესაბამისი **ADS (D-AMPS)** და **TIA IS-95** სტანდარტის შესაბამისი **CDMA** სტანდარტები;
- იაპონური **JDC**.

მათგან ყველაზე პროგრესულია **GSM** სტანდარტი და მისი მახასიათებლები განხილულია ქვემოთ.

**D-AMPS** სტანდარტი აშშ-ში მუშავდებოდა 1987 წლიდან. ფედერალურმა საკომუნიკაციო კომისიამ (**FCC**) სისშირეთა 900 მჰც დიაპაზონში ვერ შეძლო გამოეყო ცალკე სისშირული ზოლი პერსპექტიული ციფრული **მრშს**-სათვის. ფიჭური კავშირის (**CTIA**) და ტელეკომუნიკაციის მწარმოებელთა (**TIA**) ასოციაციებმა მიიღეს ანალოგური **AMPS** სტანდარტის **მრშს**-ს სამომავლო ციფრულ **მრშს**-თან სისშირეთა ერთ ზოლში შეთავსების გადაწყვეტილება **AMPS**-ში არსებული არხების დაშორების (30 კჰც) შენარჩუნებითა და ლაპარაკის გარდაქმნის 8 კბიტ/წმ-იანი სიჩქარის მქონე **VSELP** კოდების გამოყენებისას. **ADC (D-AMPS) მრშს**-ს **TIA IS-54** სტანდარტი მიიღეს 1990 წელს. მიუხედავად იმისა, რომ **D-AMPS** სრულად ციფრული სისტემა არაა (მისი მართვის არხები ანალოგურია), იგი მაინც უფრო პროგრესული აღმოჩნდა, ვიდრე **AMPS** სისტემა.

არხების კოდური დაყოფის პრინციპზე მომუშავე **CDMA** სისტემის **მრშს** დამუშავებული იყო აშშ-ში ფირმა **Qualcomm**-ის მიერ. დღეისათვის კი მისი განვითარება ხორციელდება ფირმა **Motorola**-ს მიერ.

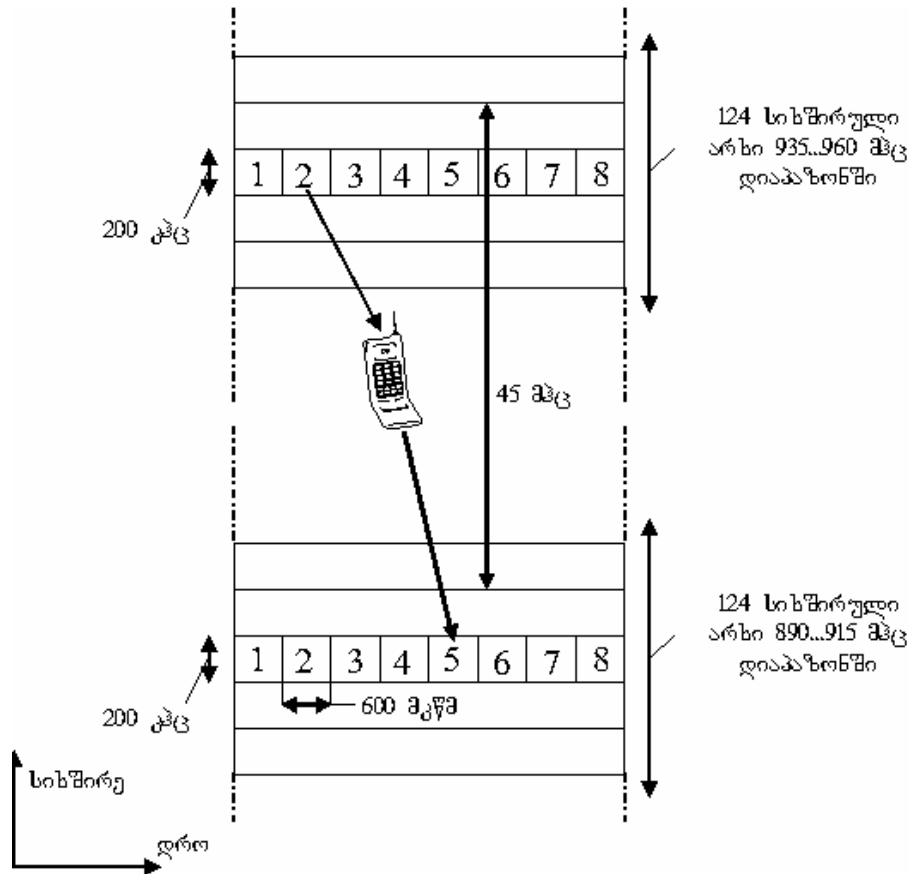
1991 წელს მიიღეს ციფრული **მრშს**-ს იაპონური სტანდარტი **JDC**. **JDC** სტანდარტი გათვალისწინებულია სისშირეთა 800/900 მჰც და 1400/1500 მჰც დიაპაზონებში სამუშაოდ და, ისევე როგორც **D-AMPS**, იყენებს არხების დროითი დაყოფის პრინციპს სამი დროითი ფანჯრით გადამტან სისშირეზე. **JDC** სისტემის თავისებურებებს წარმოადგენს: **ISDN**-თან პირდაპირი კავშირი; გადასაცემი შეტყობინებების დაშიფვრის შესაძლებლობა; 11,2 კბიტ/წმ სიჩქარის მქონე ლაპარაკის **VSELP** კოდების გამოყენება; **D-AMPS**-თან შედარებით სისშირული არხების დაცილების ნაკლები სისშირე (25 კჰც). მთლიანობაში იაპონური ციფრული **მრშს** მრავალი მონაცემით არ ჩამოუვარდება **GSM** სტანდარტის ევროპულ **მრშს**-ს და ზოგიერთი პარამეტრით ჯობია ამერიკული **D-AMPS** სტანდარტის სისტემას.

განვიხილოთ **GSM** სტანდარტის მახასიათებლები. ევროპის ფოსტისა და ტელეგრაფის კონფერენციამ (**CEPT**) 1982 წელს საერთოევროპული ფიჭური ტელეკომუნიკაციის სისტემის შექმნის შესაძლებლობის შესწავლის მიზნით შექმნა ჯგუფი, რომელსაც **GSM (Groupe Special Mobile)** ეწოდა. 1989 წელს **GSM**-თან დაკავშირებული სამუშაოები გადავიდა ევროპის ტელეკომუნიკაციის სტანდარტიზაციის ინსტიტუტის (**ETSI-European Telecommunication Standards Institute**) განმგებლობაში, ხოლო 1990 წელს გამოქვეყნდა **GSM**-ის პირველი ფაზის სპეციფიკაციები. მიუხედავად იმისა, რომ **GSM** სისტემა ევროპაშია სტანდარტიზებული, სინამდვილეში იგი მაინც არაა მხოლოდ ევროპული სტანდარტი, რის გამოც **GSM** აბრევიატურამ მიიღო ახალი მნიშვნელობა - **Global System for mobile Communications** (მოძრავი კომუნიკაციის გლობალურის სისტემა).

**GSM** სტანდარტის სისტემა აგებულია უახლოესი ციფრული ტექნოლოგიების საფუძველზე პროგრამული მართვის მქონე ციფრული სისტემის სახით, რომელიც თავსებადია ინტეგრალური მომსახურების საერთო მოხმარების სატელეფონო ქსელთან (**ISDN**). მასში გამოყენებულია:

- ღია სისტემების ურთიერთქმედების ეტალონური მოდელი;
- სასიგნალო სისტემა **SS7 (Signaling System 7)**;
- ინტელექტუალური **IN/1** ქსელის აგების პრინციპები.

გადაცემის პროცესში ამ სისტემის ელემენტებს შეუძლია აკონტროლოს და მართოს სიგნალის ყველა ძირითადი მახასიათებელი. სისტემა ფლობს საკმარის "ინტელექტს" მუშაობაში გადახრების აღმოსაჩენად, მათი დიაგნოსტიკის ჩასატარებლად და აუცილებელი კორექციის განსახორციელებლად. მასში რეალიზებულია **ISDN**-ის შესაძლებლობების დიდი ნაწილი და მოძრავ რადიოქსელთან დაკავშირებული სხვა დამატებითი შესაძლებლობები, კერძოდ: რადიოქსელის მართვა, მოძრავი ობიექტის ადგილმდებარეობის თვალთვალი, ესტაფეტური გადაცემის ფუნქციის უზრუნველყოფა, გადაცემული ინფორმაციის დაცვა და ა.შ. ქსელის ინფრასტრუქტურა ქმნის და მუდმივად განაახლებს დიდი მოცულობის მონაცემთა ბაზებს, რომლებიც შეიცავს აუცილებელ მონაცემებს აბონენტებისა და მათი ადგილმდებარეობის შესახებ, აღმოფხვრის ყველა წარმოქმნილ უწყესრიგობებს, დატვირთვის ცვლილების შესაბამისად მოდიფიცირებას უკეთებს თავის კონფიგურაციას და ასრულებს ქსელის მომსახურებისა და ექსპლუატაციის, ტარიფიკაციისა და სხვა სტაციონალურ და მოძრავ ქსელებთან ურთიერთქმედების ფუნქციებს.



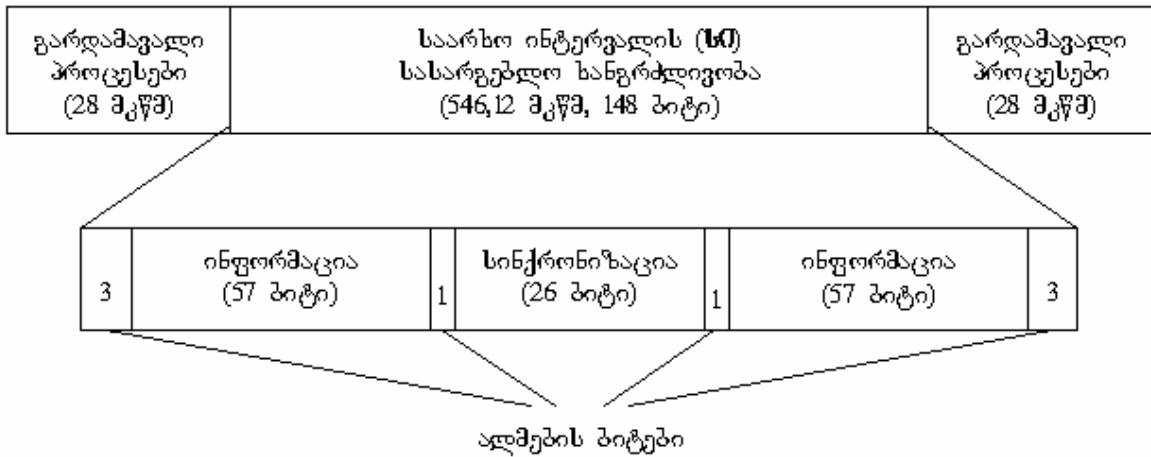
ნახ. 14. GSM სისტემის დროითი და სიხშირული სტრუქტურა

**GSM** სისტემის კავშირის არხში დასაშვებია გადამტანი სიხშირისა და ხელშეშლების 9 დბ-ის ტოლი ფარდობა (ანალოგურ სისტემებში ეს მაჩვენებელი 18 დბ-ის რიგისაა). 9 დბ-ის ტოლი მოგება განპირობებულია სიგნალების ციფრული დამუშავების ცნობილი უპირატესობებით და, კერძოდ, შემდეგი ტიპის მოწყობილობების გამოყენებით:

- კავშირის არხში არსებული ხმაურისადმი მდგრადი ხმის კოდეკები;
- ეფექტური ციფრული მოდულატორები, რომელთა მეშვეობითაც რადიოსიგნალის ენერჯის ძირითადი ნაწილი თავმოყრილია კავშირის არხის სიხშირეთა ზოლში;
- შენაცვლების პროცედურასთან თავსებადი ხელშეშლამდგრადი კოდების მაფორმირებლები;
- კორექტორები, რომელთაც შეუძლია უზრუნველყონ სისტემის მუშაობა იმ სიგნალების მრავალსიხივიანი გავრცელების პირობებში, რომელთა არეკვლილი სხივების დამატებითი დაყოვნების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობაა 16 მკწმ;
- სიხშირეების გადართვადი სინთეზატორები, რომლებიც აუმჯობესებს მუშაობის ხარისხს სიგნალების მრავალსიხივიანი გავრცელების პირობებში.

**GSM** სისტემები მუშაობს 900 მჰც დიაპაზონში, რომელიც გაყოფილია ორ ქვედიაპაზონად, რომელთაგან თითოეულის სიგანეა 25 მჰც (ნახ. 14): დიაპაზონი 890...915 მჰც განკუთვნილია პორტატული მოწყობილობებიდან საბაზო სადგურისაკენ გადაცემისათვის და 935...960 მჰც – მიღებისათვის, ანუ ამ შემთხვევაში გამოიყენება დუპლექსური კავშირი არხების სიხშირული დაყოფით (**FDD - frequency Division Duplex**). თითოეული სიხშირული ქვედიაპაზონი დაყოფილია 124 სიხშირულ არხად მეზობელ არხებს შორის 200 კჰც-ის ტოლი სხვაობით (თითოეული სიხშირული არხის ზოლის სიგანე არ აღემატება 200 კჰც-ს). **GSM** სისტემის სალაპარაკო არხი იყენებს სიხშირული არხების ისეთ წყვილს, რომელთა რეზულტირებული (ჯამური) დაცილება ორივე ქვედიაპაზონში გადამტანი სიხშირეების მნიშვნელობების მიუხედავად შეადგენს 45 მჰც-ს. აღნიშნული დაცილების არსებობა ხელს უშლის გადაცემისა და მიღების მიმართულებებს შორის ხელშეშლების წარმოქმნას. ძალზე პერსპექტიულია **GSM** ქსელების აგება 1800 მჰც სიხშირულ დიაპაზონში.

თითოეულ სიხშირულ არხში მონაცემები გადაიცემა 8 საარსო ინტერვალში (**ს0**), ე.ი. გამოიყენება არხების დროითი დაყოფა. 8 **ს0** ერთიანდება ციკლში, ხოლო 26 ციკლი - 120 მწმ ხანგრძლივობის ციკლურად განმეორებად ზეციკლში. **ს0**-ს ხანგრძლივობა დაახლოებით 600 მკწმ-ია და მისი სტრუქტურა ნაჩვენებია მე-15 ნახაზზე. კონკრეტული პორტატული მოწყობილობა საბაზო სადგურის სიგნალის გადაცემას აწარმოებს ერთ-ერთ **ს0**-ში. სხვა დანარჩენი **ს0**-ების განმავლობაში გადაცემა არ მიმდინარეობს (გადამცემი "გაჩუმებულია"). **ს0**-ის დასაწყისსა და დასასრულს გამოყოფილია 28 მკწმ-იანი ინტერვალი გარდამავალი პროცესებისთვის, რომლის დროსაც გადამცემის გამოსხივების სიმძლავრე **ს0**-ის დასაწყისში იზრდება 70 დბ-ით და იმავე სიდიდით მცირდება მის დასასრულში. **ს0**-ის სასარგებლო ხანგრძლივობაა 546,12 მკწმ, რომლის განმავლობაში გადაიცემა 148 ბიტი. პორტატული მოწყობილობა ერთ-ერთ საარსო ინტერვალში, რომელშიც არ მიმდინარეობს გადაცემა, ახორციელებს სიგნალის მიღებას საბაზო სადგურიდან. ეს იმას ნიშნავს, რომ გადაცემა და მიღება ხორციელდება დროის სხვადასხვა ინტერვალში (გამოიყენება სიგნალების დროითი დაყოფის პრინციპი) ერთი და იგივე ანტენის გამოყენებით.



ნახ. 15. GSM-ის საარხო ინტერვალის სტრუქტურა

ფიჭის საზღვრებში საბაზო სადგურსა და პორტატულ მოწყობილობას შორის მანძილი შეიძლება 30 კმ-ს აღწევდეს, რის გამოც სიგნალის გავრცელების დაყოვნება შეიძლება აღმოჩნდეს 100 მკწმ-ის ტოლი. ასეთი დაყოვნება სერიოზულად მოქმედებს საბაზო სადგურის მუშაობაზე, რადგან გადაცემული სიგნალი შეიძლება ნაწილობრივ შეიჭრას მეზობელ სიგნალში. ამიტომ საბაზო სადგურს შეუძლია პორტატულ მოწყობილობას ბრძანებები გაუგზავნოს წინსწრებით იმისათვის, რომ საბაზო სადგურში მიღებული სიგნალი მოხვდეს თავის სიგნალში. საბაზო სადგურს, მასსა და პორტატულ მოწყობილობას შორის მანძილის მიხედვით, ამ უკანასკნელის ენერგორესურსის ხარჯვის შემცირების მიზნით შეუძლია მისი გადაცემის სიმძლავრის რეგულირება.

ფიჭური კავშირის სისტემების მუშაობის ერთ-ერთი თავისებურებაა სიგნალის მიღება მრავალსიხვიანი გავრცელების პირობებში (მიმღების შესასვლელზე მოქმედებს გადამცემიდან მიღებული სიგნალისა და რელიეფის არათანაბრობიდან, შენობებიდან და ა.შ. მრავალჯერ არეკვლილი სიგნალების ერთობლიობა). მრავალსიხვიანი გავრცელება იწვევს ისეთ არასასურველ მოვლენებს, როგორცაა სიგნალის დროში გაწეილი დაყოვნება, რელიეფური შესუსტება და ა.შ. მრავალსიხვიანი გავრცელებით გამოწვეული შედეგების აცილება შესაძლებელია სიგნალების გამათანაბრებელი მექანიზმის გამოყენებით. იგი ხორციელდება სიგნალის სასარგებლო ხანგრძლივობის სამ ნაწილად დაყოფით, რომლებიც, თავის მხრივ, დაყოფილია აღმების ბიტებით (ნახ. 15). შუაში განლაგებულია სპეციალური, ადვილად ამოსაცნობი 26-ბიტიანი სინქროთანმიმდევრობა (სინქროსიგნალი), რომლითაც ხორციელდება მიღებული სიგნალის გათანაბრება (გასწორება). სინქროთანმიმდევრობამდე და მის შემდეგ თავსდება საინფორმაციო დატვირთვის 57 ბიტი.

ცენტრალიზებული მართვისაგან განსხვავებით, რომელიც დამახასიათებელია პირველი თაობის სისტემებისათვის, **GSM-სტანდარტის** სისტემაში მიღებულია მოძრავი კავშირის საკომუტაციო ცენტრსა, საბაზო სადგურებსა და გადასატან ტერმინალებს შორის განაწილებული მართვის პრინციპი. კავშირის სეანსის მთელი დროის განმავლობაში გადასატანი ტერმინალი ზომავს მეზობელი საბაზო სადგურებიდან მიღებული სიგნალების დონეებს და გაზომვის შედეგებს გადასცემს მათ მომსახურე საბაზო სადგურს. აღნიშნული საბაზო სადგური განსაზღვრავს ესტაფეტური გადაცემის განხორციელების აუცილებლობას და მოძრავი კავშირის საკომუტაციო ცენტრის სისტემურ კონტროლერს გადაუგზავნის ინფორმაციას ახალი უპირატესი უჯრედის შესახებ. განაწილებული მართვის ასეთი ალგორითმის წყალობით სამუშაოთა უდიდესი ნაწილი სრულდება არა სისტემური კონტროლერის, არამედ საბაზო სადგურებისა და მოძრავი ტერმინალების მიერ, რაც იძლევა ცენტრალური რგოლის გადატვირთვის თავიდან აცილებისა და ესტაფეტური გადაცემის პროცედურის გამარტივების საშუალებას.

**GSM-სტანდარტის** სისტემა მომხმარებელს სთავაზობს როგორც სალაპარაკო, ასევე არასალაპარაკო მომსახურებათა ფართო სპექტრს. სალაპარაკო შეტყობინებებს, ტელეფონიის გარდა, მიეკუთვნება ბგერითი ფოსტა და სპეცსამსახურების გამოძახებები (სასწრაფო, სახანძრო, პოლიცია და ა.შ.), რომლებიც, როგორც წესი, ხორციელდება 112-ის აკრეფით (ევროპაში იგი მიღებულია სტანდარტად).

არასალაპარაკო (არახმოვანი, არაბგერითი) ხასიათის მომსახურების ნაკრები ემყარება **ISDN**-ის მომსახურებობთა ჩამონათვალს, რომელიც **GSM-სტანდარტის** ქსელის აბონენტებისათვის შეიცავს 35-დუ დასახელებას. მონაცემთა გადაცემის მომსახურებები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, რაც დამოკიდებულია პოტენციალურ კორესპონდენტებზე (ან საერთო მოხმარების სატელეფონო, ან **ISDN**, ან კიდევ სპეციალიზირებული ქსელების აბონენტები), გადაცემული ინფორმაციის ხასიათზე (მონაცემები, ფაქსიმილე და სხვა), გადაცემის რეჟიმზე (პაკეტური კომუტაცია, გამჭოლი ციფრული არხი, სატელეფონო მოდემების გამოყენებით კომუტაცია და ა.შ.), ტერმინალების ტიპზე და ა.შ. მოძრავი კავშირის სისტემებისათვის სპეციფიკურს წარმოადგენს მოკლე შეტყობინებების სამსახური (**SMS - Short Massege Service**) (შემავალი, გამავალი და სამაუწყებლო), რომლებიც წარმოადგენს პერსონალური გამოძახების (პეიჯინგის) სამსახურის ნაირსახეობას.

მოძრავი ფიჭური კავშირის განვითარების შემდგომი ეტაპია მესამე თაობის **(3G) მრშს**-ის შექმნა. ევროპაში მესამე თაობის **მრშს**-ის განვითარების სამუშაოები, რომლებმაც მიიღო **მოძრავი კავშირის უნივერსალური სისტემის (UMTS - Universal mobile Telecommunication System)** სახელი, საკვლევი პროგრამა **RACE**-ის მიხედვით ხორციელდება **CEPT**-ის (**Conference of European Posts and Telegraphs**) მიერ. **UMTS**-ის შექმნის კონცეფცია ითვალისწინებს ტელეკომუნიკაციის არსებული ციფრული სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაერთიანებას ერთიან სისტემაში, რომელიც უზრუნველყოფს მოძრავი კავშირის სტანდარტიზირებული მომსახურებების (ფიჭური, უსადენო, პერსონალური გამოძახების და ა.შ.) შეთავაზებას.

მესამე თაობის ერთიანი საერთაშორისო **მრშს**-ის (მისი დასახელებაა **FPLMTS**) შექმნა განახორციელა **ITU**-მ და იგი წარმატებით ინერგება ფიჭური მობილური კავშირის **GSM** ქსელებში.

### 13. ფიჭური რადიოკავშირის ქსელების არქიტექტურა

ტელეკომუნიკაციის უსადენო სისტემების არქიტექტურა ორიენტირებულია მათი ადგილზე განლაგებისას მოცემული სისტემების ორგანიზაციის შემდეგ პრინციპებზე:

1. **ზონური რადიოშელწვევის პრინციპი.** ამ დროს სამოსამსახურო ტერიტორიის ცენტრში ხდება რადიოშელწვევის საბაზო სადგურის განლაგება, რომლითაც ხორციელდება ურთიერთდაკავშირება სისტემის აბონენტებს შორის. ტელეკომუნიკაციის არსებული უსადენო სისტემები შეიძლება აიგოს ერთზონიანი და მრავალზონიანი პრინციპებით. პირველ შემთხვევაში სისტემაში გამოიყენება რადიოშელწვევის მხოლოდ ერთი საბაზო სადგური, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ერთდროულად რამდენიმე სადგური. ამასთან კავშირის მრავალზონიან უსადენო სისტემებში გამოიყენება სისშირული დაგეგმარების პრინციპი, რომელიც გულისხმობს სხვადასხვა ზონებში რადიოკავშირის ერთი და იგივე სისშირის განმეორებით გამოყენებას. ამასთანავე აღნიშნული ზონები ერთმანეთისაგან ისეთ მანძილზე უნდა იყოს დაშორებული, რომ უზრუნველყოფილ იქნას საჭირო ხარისხის რადიოკავშირის განხორციელება საბაზო სადგურების ურთიერთხელშეშლების მინიმალურად შესაძლო დონის გათვალისწინებით. თავის მხრივ, ერთი საბაზო სადგურის მომსახურების ზონა (ფიჭა, უჯრედი) შეიძლება

დაიყოს სექტორებად, რომელთა რაოდენობა განისაზღვრება საბაზო სადგურებზე განთავსებული მიმმართველი ანტენების რაოდენობით.

**2. აბონენტებს შორის პირდაპირი კავშირის პრინციპი პირდაპირი ხედვის საზღვრებში.** ასეთ სისტემებში აბონენტებს შორის კავშირის სიშორე პირდაპირაა დამოკიდებული სააბონენტო დანადგარის მიმღებ-გადამცემი მოწყობილობების ენერგეტიკულ მახასიათებლებზე.

**3. აბონენტებს შორის კავშირის ორგანიზაციის კომბინირებული პრინციპი.** ამ შემთხვევაში პირდაპირი ხედვის აბონენტებს ერთმანეთთან დაკავშირება შეუძლიათ პირდაპირი კავშირის პრინციპის შესაბამისად, ხოლო პირდაპირი ხედვის არის გარეთ მყოფ აბონენტთა შორის კავშირის დასამყარებლად გამოიყენება მიღწევის კვანძები (ე.წ. შლუზები), რომლებიც იმყოფება პირდაპირი ხედვის არეში როგორც "საკუთარ" აბონენტებთან, ასევე ერთმანეთთან.

მომსახურებადი ტერიტორიის ფიჭებად დაყოფა შესაძლებელია ორი მეთოდით – სტატისტიკური, რომელიც ემყარება კავშირის სისტემებში სიგნალების გავრცელების სტატისტიკური პარამეტრების გაზომვას, და დეტერმინირებული, რომელიც ემყარება მოცემული კონკრეტული რაიონისათვის სიგნალის გავრცელების პარამეტრების გაზომვას ან გაანგარიშებას. სტატისტიკური მეთოდის გამოყენებისას მთელი მომსახურებადი ტერიტორია იყოფა ფორმით მსგავს ფიჭებად და რადიოტალღების გავრცელების სტატისტიკური კანონების საშუალებით განისაზღვრება მათი დასაშვები ზომები და მანძილი სხვა ფიჭებამდე, რომელთა საზღვრებშიც სრულდება დასაშვები ურთიერთგავლენის პირობები. ტერიტორიის ოპტიმალურად დაყოფისათვის (გადაფარვებისა და უბნების გამოტოვების გარეშე) შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამი გეომეტრიული ფიგურა – სამკუთხედი, კვადრეტი და ექვსკუთხედი. მათ შორის ყველაზე მისადაგებული ფიგურაა ექვსკუთხედი, ვინაიდან მის ცენტრში ანტენის დაყენებისას მიმმართველობის დიაგრამის წრიული ფორმა თითქმის მთლიანად დაფარავს მთელ ფართობს.

იმ ფიჭებს შორის მანძილები, რომლებშიც შესაძლებელია ერთი და იგივე სამუშაო სიხშირეების გამოყენება, დამოკიდებულია რადიოტალღების გავრცელების პირობებზე, ხელშეშლების დასაშვებ დონეზე და მოცემული უჯრედის ირგვლივ განლაგებული რადიოსადგურების რაოდენობაზე. მიმმართველობის წრიული დიაგრამიანი ანტენების შემთხვევაში ფიჭებისათვის ჩვეულებრივ გამოიყენება სიხშირეთა განმეორებითი გამოყენების მოდელი

(კლასტერი) შვიდი ან ცხრა საბაზო სადგურისათვის. აღნიშნული მოდელი გულისხმობს ყველა მიმართულებით ერთნაირი სიმძლავრის სიგნალის გადაცემას, რაც სააბონენტო სადგურებისათვის ექვივალენტურია ყველა მიმართულებიდან ხმაურების მიღებისა. ხმაურების დონის შემცირება მიიღწევა სექტორული ანტენების გამოყენების ხარჯზე. გარდა ამისა, ფიჭების სექტორიზაცია იძლევა სიხშირეთა მრავალჯერადი გამოყენების საშუალებას ფიჭების შიგნით ხმაურების დონის შემცირებასთან ერთად. მაგალითად, სამი ფიჭის, სამი საბაზო სადგურისა და სამი 120-გრადუსიანი ანტენის გამოყენებისას ყოველ ფიჭაში შეიძლება სიხშირეთა 9 ჯგუფის ამოქმედება. სიხშირეთა ზოლის გამოყენების უფრო მეტ ეფექტურობას უზრუნველყოფს მოდელი, რომელიც შეიცავს ოთხ საბაზო სადგურს. ამ შემთხვევაში თითოეულ ფიჭაში გამოიყენება 6 სამოცგრადუსიანი ანტენა, თანაც ყოველი სიხშირე გამოიყენება ორჯერ. ამის გამო 4 საბაზო სადგურიდან თითოეულს შეუძლია იმუშაოს სიხშირეთა 12 ჯგუფზე. ამრიგად, სიხშირეთა განმეორებითი გამოყენების მოდელებში სექტორული ანტენების მეშვეობით სისტემის ტევადობა შეიძლება გაიზარდოს 40%-ით. სისტემის ტევადობის უფრო მეტად გაზრდა შესაძლებელია, თუ კავშირის პროცესში გამოვიყენებთ სააბონენტო და საბაზო სადგურების სიმძლავრეთა ავტომატურ რეგულირებას, არხების ადაპტურ განაწილებას დატვირთვისა და სიგნალი/ხელშემლა ფარდობის მინიმიზაციის გათვალისწინებით, აგრეთვე საბაზო და მოძრავ სადგურებზე მიმღები და გადამცემი ანტენების სივრცულ დაშორიშორებას. ეს უკანასკნელი იძლევა 4...7 დბ-ით მოგებას სიგნალი/ხელშემლა ფარდობის თვალსაზრისით.

თუ დატვირთვის ინტენსივობა მთელ ზონაში თანაბარია, მაშინ ყველა ფიჭის ზომას თანაბარს იღებენ. თუმცა ჩვეულებრივ მთელ მომსახურებად ტერიტორიაზე აბონენტთა განაწილება არათანაბარია. მაგალითად, ქალაქის პირობებში აბონენტთა განაწილების სიმკვრივე, როგორც წესი, მაღალია ცენტრალურ (საქმიან) ცენტრში და იგი მცირდება ცენტრიდან პერიფერიისაკენ. ამიტომ მიზანშეწონილია, რომ ფიჭის ზომები იზრდებოდეს ცენტრიდან პერიფერიისაკენ. ეს იძლევა ქსელის ღირებულების შემცირების საშუალებას საბაზო სადგურების რაოდენობის შემცირების ხარჯზე. თუმცა ამ შემთხვევაში საბაზო სადგურების გადამცემების სიმძლავრეები დამოკიდებული იქნება ფიჭების ზომებზე. გარდა ამისა, სხვადასხვა ზომების ფიჭების შემთხვევაში უფრო ზუსტად უნდა განისაზღვროს ის ფიჭები, რომლებშიც განმეორებით იქნება გამოყენებული მუშა არხები.

სტატისტიკური მეთოდის გამოყენებისას უმრავლეს შემთხვევაში იმ ფიჭებს შორის ინტერვალი, რომლებშიც გამოყენებული იქნება ერთნაირი მუშა არხები, აიღება აუცილებელზე მეტი ურთიერთხელშეშლების დასაშვებ დონეზე შენარჩუნების მიზნით.

უკეთეს შედეგებს იძლევა ფიჭების განცალკევების დეტერმინირებული მეთოდი. ამ შემთხვევაში ყოველთვისაა შესაძლებელი საბაზო სადგურების ისეთი განლაგება, რომელიც უზრუნველყოფს მუშა არხის განმეორებითი გამოყენების ინტერვალის საშუალო სიდიდის მინიმიზირებას ქსელის მიერ დაკავებულ ტერიტორიაზე დამაკმაყოფილებელი მომსახურების პირობებში. საბაზო სადგურების ოპტიმალურად განლაგებისათვის აუცილებელია მათი განლაგების ადგილიდან გამოსხივებული სიგნალის საშუალო დონის ცოდნა აბონენტის საბაზო სადგურიდან დაშორების (ფიჭის ფარგლებში) ნებისმიერი ადგილისათვის, მათ შორის ისეთი ადგილებისთვისაც, რომელთა შორს გამორიცხულია სიგნალების ურთიერთხელშეშლების არსებობა. ინფორმაცია სიგნალების დონის შესახებ შეიძლება მიღებულ იქნას გაზომვების ან (და) გათვლების გზით.

დაახლოებით თანაბარი დატვირთვის დროს ფიჭურ სისტემებში გამოიყენება არხების ფიქსირებული განაწილების პრინციპი, რომელიც დროსაც სააბონენტო სადგურს (ტერმინალს) აბონენტის ერთი ფიჭიდან მეორეში გადასვლისას შეუძლია ავტომატურად გადაერთოს ახალი ფიჭის არხებიდან ერთ-ერთზე. თუ ყოველი ფიჭისათვის გათვალისწინებულია არხების გარკვეული ჯგუფი, მაშინ მოცემულ ფიჭაში მუშაობისას ტერმინალი ავტომატურად ირჩევს დროის მოცემულ მომენტში თავისუფალ არხს. სხვა ფიჭაში გადასვლისას იგი ავტომატურად გადაერგება არხების სხვა ჯგუფზე და ამ ახალ ფიჭაში ეძებს თავისუფალ არხს. უნდა აღინიშნოს, რომ არხების ფიქსირებული განაწილებისას პიკური დატვირთვის შემთხვევაში, რომელიც უმთავრესად წარმოიქმნება მომსახურებადი ტერიტორიის ცენტრში, ცენტრალური უჯრედები შეიძლება იყოს გადატვირთული, ხოლო პერიფერიულები – ნაკლებად დატვირთული, რაც იწვევს არხების რესურსის არაეფექტურ გამოყენებას. სიხშირული რესურსის უფრო ეფექტური გამოყენება შესაძლებელია არხების დინამიური განაწილების შემთხვევაში, რომლის დროსაც ნებისმიერი არხი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მომსახურების ნებისმიერ ზონაში, რაც, რასაკვირველია, მოითხოვს დიდი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავებას და, შესაბამისად, სწრაფმქმედი გამომთვლელი მანქანის გამოყენებას, რომელშიც უნდა მოხდეს მომსახურების

ყოველ ზონაში ყოველი არხის მდგომარეობისა და სისტემის მდგომარეობის ცვლილების შესახებ ინფორმაციათა დამახსოვრება. ამ შემთხვევაში მდგომარეობის განსაზღვრისათვის ზარის წამომწეებ აბონენტს უნდა გააჩნდეს თავისი სამისამართო ნიშანი. ამრიგად, არხების დინამიური განაწილებისას იზრდება არხების დატვირთვა და მცირდება კავშირის განხორციელებაზე უარების ინტენსივობა არხების ფიქსირებული განაწილების სისტემებთან შედარებით. ამასთან ერთად რთულდება სისტემის მართვა.

#### 14. ფიჭური რადიოკავშირის არსებული და პერსპექტიული სისტემები

გასული საუკუნის მიწურულს მოძრავი კავშირის ქსელები გადაიქცა ტელესაკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის უმთავრეს კომპონენტად.

შეიძლება ითქვას, რომ დღეისათვის საქართველოში ჩამოყალიბებულია მოძრავი ფიჭური რადიოკავშირის ინფრასტრუქტურა (ფუნქციონირებს ციფრული GSM სტანდარტის ორი ოპერატორი – "ჯეოსელი" და "მაგთი-GSM". ამჟამად კი მუშაობას იწყებს მესამე ოპერატორი "მობიტელი"). ციფრულ სტანდარტზე მომუშავე ოპერატორებს თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების წყალობით ნებისმიერ დროს და ქვეყნის ტერიტორიის დიდ ნაწილში შეუძლიათ მასობრივ მომხმარებელს მიაწოდონ დღეისათვის შესაძლებელი მომსახურების თანამედროვე სახეობების სრული სპექტრი, რის გამოც მათ ჰყავთ აბონენტთა სოლიდური რაოდენობა. აღნიშნულ ოპერატორებს მათ მიერ შერჩეული მსოფლიოში ფართოდ გავრცელებული და პერსპექტიული სტანდარტის გამო არ გააჩნიათ და მომავალშიც არ ექნებათ პრობლემები როუმინგით გაერთიანებული პერსონალური კავშირის მსოფლიო სისტემაში შესასვლელად. დღეს სულ უფრო ნათელი ხდება პერსონალური კავშირის მსოფლიო სისტემის ინტეგრაცია არა ერთიანი საერთო სტანდარტის ფორმირების გზით (რაც დღეისათვის არარეალურია), არამედ ფართოდ გავრცელებული და პერსპექტიული სტანდარტების (მათ შორის GSM სტანდარტის) ურთიერთქმედების სისტემების შექმნით, თანაც ეს შეეხება ურთიერთქმედებას როგორც ფიჭური რადიოკავშირის სხვადასხვა სისტემებს შორის, ასევე ფიჭური სისტემების ურთიერთქმედებას როგორც თანამგზავრულ სისტემებთან, ასევე ლოკალურ ქსელებთან.

მე-6 ცხრილში მოყვანილია საქართველოში დანერგილი ფიჭური კავშირის სტანდარტების (AMPS, GSM-900, DCS-1800) მონაცემები.

**AMPS** სისტემა (სტანდარტი **EIA/TIA-553**) ფიჭური კავშირის ანალოგური სისტემებიდან ყველაზე სრულყოფილს წარმოადგენს. ციფრული სისტემების გამოჩენის მომენტისათვის ეს სისტემა უკვე ფართოდ იყო გავრცელებული, განსაკუთრებით აშშ-ში. ამერიკაში მიღებული წესების თანახმად ამერიკული სტანდარტების პაკეტის 800 მგჰც სიხშირის დიაპაზონის ყველა სისტემამ უნდა უზრუნველყოს აღნიშნული სტანდარტის ტერმინალების მომსახურება.

ზემოთ აღნიშნული წესი სერიოზულ შეზღუდვებს უწესებს ამერიკულ ციფრულ სისტემებს, რომელთა შორის მთავარს წარმოადგენენ **TDMA D-AMPS**

ცხრილი 6

| სტანდარტი, სისტემა | დიაპაზონი, მგჰც | მახასიათებელი       | გავრცელება მსოფლიოში          | შენიშვნა                                       |
|--------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|--|
| <b>AMPS</b>        | 800             | ანალოგური           | ჩრდილოეთი და სამხრეთი ამერიკა | ფართოდ გამოყენებული სტანდარტი (გარდა ევროპისა) |
| <b>GSM</b>         | 900             | ციფრული <b>TDMA</b> | ევროპა                        | ევროპის ძირითადი სტანდარტი                     |
| <b>DCS-1800</b>    | 1800            | ციფრული <b>TDMA</b> | ევროპა                        | ევროპის ძირითადი სტანდარტი                     |

ციფრული სისტემების სიხშირული არხის არაოპტიმალური სიგანე და აგრეთვე ანალოგური კავშირისათვის გარკვეული რაოდენობის სიხშირული არხების გამოყოფის აუცილებლობა, რის გამოც ნაკლებად ეფექტურად გამოიყენება სიხშირული ზოლი. რუსეთში აღნიშნული სტანდარტის სისტემები მუშაობს 40-ზე მეტ ქალაქში. მიუხედავად იმისა, რომ ამ სტანდარტის სისტემები ნაწილობრივ მოძველდა, მათ მაინც გააჩნიათ კიდევ დიდხანს არსებობის პერსპექტივა ამერიკული შესაბამისი განვითარებადი ციფრული სისტემებიდან მხარდაჭერის გამო.

მე-7 ცხრილში წარმოდგენილია **AMPS** სტანდარტის კავშირის ფიჭური სისტემის ძირითადი მახასიათებლები.

მე-20 საუკუნის 90-იანი წლებიდან ევროპასა და მსოფლიოს სხვა მრავალ ქვეყანაში დაიწყო ფიჭური კავშირის ციფრული სისტემების დანერგვა. ციფრული ფიჭური სისტემებიდან მსოფლიოში დღეისათვის ყველაზე მეტადაა გავრცელებული **D-AMPS** სისტემა მრავალჯერადი შეღწევის **TDMA** ტექნოლო-

გით. აშშ-ში მისი კომერციული ექსპლუატაცია წარმოებს 1991 წლიდან. ეს სტანდარტი მუდმივად ვითარდება და ძირითადი მახასიათებლების მიხედვით პრაქტიკულად არ ჩამოუვარდება **GSM** სტანდარტს. კერძოდ, გათვალისწინებულია მასში არსების დინამიური დანიშნულების ალგორითმების შემოტანა რეალურ მდგომარეობასთან კავშირში, ხმის აქტივობის გათვალისწინებითა და მოძრავი ტერმინალების სიმძლავრის უფრო ზუსტი რეგულირებით, რაც კომპლექსში გამოიწვევს სპექტრული ეფექტურობის მრავალჯერად გაზრდას. არსებობს ამ სტანდარტის ვერსია უფრო პერსპექტიულ 1900 მგჰც სიხშირეზე.

ცხრილი 7

|     | პარამეტრი   | მნიშვნელობა                               |
|-----|---|---|
| 1.  | მუშა სიხშირეების დიაპაზონი, მგჰც:<br>გადაცემისათვის<br>მიღებისათვის | 825 – 845<br>870 – 890                    |
| 2.  | სიხშირეთა დუბლექსური განაწილება, მგჰც                               | 45  |
| 3.  | არხის სიხშირული ზოლის სიგანე, კჰც                                   | 30  |
| 4.  | სიხშირული არხების რაოდენობა   | 624 + 42 არხი<br>სინქრონიზა-<br>ციისათვის |
| 5.  | სიხშირეთა გამეორების კოეფიციენტი                                    | 7   |
| 6.  | სიხშირის პიკური დევიაცია, კჰც                                       | 12  |
| 7.  | სატელეფონო სიგნალების მოდულაციის<br>ტიპი                            | სიხშირული (სმ)                            |
| 8.  | მართვის არხების რაოდენობა   | 21  |
| 9.  | დატვირთვა ერთ უჯრედზე, ერლანგი                                      | 30,8                                      |
| 10. | მართვა/დევიაცია სიგნალების მოდულაციის<br>ტიპი, კჰც                  | <b>FSK/ ± 8</b>                           |
| 11. | საბაზო სადგურის სიმძლავრე, ვტ                                       | 100                                       |
| 12. | პროგრამული უზრუნველყოფის სიმძლავრე,<br>ვტ                           | 3   |
| 13. | სიგნალი/ხელშეშლა ფარდობის მინიმალურად დასაშვები სიდიდე, დბ          | 10  |
| 14. | უჯრედის რადიუსი, კმ   | 2 – 20                                    |

**GSM-900** სტანდარტის ციფრული სისტემა მრავალჯერადი შეღწევის **TDMA** ტექნოლოგიით ამჟამად ტექნიკური თვალსაზრისით მობილური ფიჭური კავშირის ყველაზე სრულყოფილ სისტემას წარმოადგენს. მასში რეალიზებულია ისეთი სისტემური და ტექნიკური გადაწყვეტები, როგორცაა: სიხშირეთა განმეორებითი გამოყენების უფრო ეფექტური მოდელი; სიხშირულ განაწილებაზე დამყარებული სიგნალების შესუსტების წინააღმდეგ ბრძოლის

მეთოდები; კავშირის არხის ტესტირება ფსევდოშემთხვევითი მიმდევრობის საშუალებით; ბლოკური და ხვევადი კოდირება სიმბოლოთა გადანაცვლებით; მოდულაციის სპექტრულ-ფრეკტური **GMSK** სახეობის გამოყენება; მეტყველების დაბალსიხარბიანი **LPC** კოდეკების გამოყენება; გადასაცემი შეტყობინების დაშიფვრა. ამ სისტემის ელემენტების ფუნქციონალური თავსებადობა ხორციელდება ინტერფეისების საშუალებით. **GSM** სტანდარტში ყველა ფუნქციონალური ქსელური კომპონენტი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს სიგნალიზაციის **CCITT (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony)** – ტელეგრაფიისა და ტელეფონიის საერთაშორისო საკონსულტაციო კომიტეტი - **ტტსსპ) SS №7** სისტემის შესაბამისად.

**DCS-1800** სისტემა ანალოგიურია **GSM-900** სისტემისა და იგი სუფთა ტექნიკური თვალსაზრისით მისგან უმთავრესად განსხვავდება სიხშირული დიაპაზონითა და ხელის ტერმინალის (მობილური ტელეფონის აპარატის) ზღვრული სიმძლავრით (**DCS-1800**-თვის პიკური სიმძლავრეა 1ვტ, ხოლო **GSM-900**-თვის – 2 ვტ). მისთვის ფიჭის მინიმალური ზომა გაცილებით მცირეა **GSM-900**-თან შედარებით. ამასთან ერთად 1800 მგჰც დიაპაზონში პერსონალური კავშირისათვის შეიძლება გამოიყოს უფრო ფართო სიხშირული ზოლი. ეს გარემოება **DCS-1800** სისტემას აძლევს იმ ამოცანების თავის თავზე აღების საშუალებას, რომლებიც ტრადიციულად წყდება გამტარებიანი და ფიქსირებული რადიოკავშირის ქსელებით.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, საქართველოში წარმატებით მომუშავე ფიჭური კავშირის ორი ოპერატორი ("ჯეოსელი" და "მათი-GSM") იყენებს **GSM-900** და **DCS-1800** სისტემებს.

ფიჭური კავშირის უახლესი სისტემებიდან აღსანიშნავია ე.წ. სამატარებლო (სამგზავრო) **UIC** სისტემა, რომლის მუშაობაც გათვალისწინებულია 1900 მგჰც სიხშირეზე. უახლოეს ხანში ნავარაუდევია მისი ამუშავება მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში.

მე-8 ცხრილში მოყვანილია აღნიშნული ციფრული სისტემების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები.

**IS-95** სტანდარტის **CDMA** სისტემა 800 მგჰც დიაპაზონში წარმოადგენს ფიჭური კავშირის ერთადერთ მომქმედ სისტემას მრავალი შედწევის კოდური განცალკევებიანი ტექნოლოგიით. გათვალისწინებულია მისი ვერსიის გამოყენება 1900 მგჰც სიხშირეზე, რის გამოც ის კონკურენციას გაუწევს - **AMPS-1900** (ანუ **PCS-1900**) და **DCS-1800** ამერიკულ ვერსიებს.

მრავალი წელია, რაც მიმდინარეობს დისკუსია **TDMA** და **CDMA** (პრაქტიკულად მხოლოდ **IS-95** სტანდარტის) ტექნოლოგიების შედარებითი ღირ

სებების შესახებ, რის საფუძველზეც გამოიკვეთა მოსაზრება, რომლის მიხედვითაც დარწმუნებით შეიძლება იმის მტკიცება, რომ მობილური ფიჭური კავშირის ქსელებში თანამედროვე გამოყენების ფარგლებში **CDMA** ტექნოლოგიას ტექნიკური თვალსაზრისით არ გააჩნია უდავო უპირატესობები თანამედროვე **TDMA (D-AMPS და GSM)** სისტემებთან შედარებით, ყოველ შემთხვევაში ისეთი უპირატესობები მაინც, რომელიც შეიძლება ღირდეს ახალი სისტემის ექსპლუატაციისათვის გამოცდილების შექმნის მიზნით გაწეული სწავლების ორგანიზებად, ინფრასტრუქტურის განვითარებად და სხვა. თუმცა დღესაც კარგად ჩანს ის პოზიციები, სადაც გამოიყენება **IS-95** სტანდარტი. ესაა ავტონომიური ფიჭები, ანუ სისტემები ფიჭების მცირე რაოდენობით, აგრეთვე ნელა მოძრავ ობიექტებთან ფიქსირებული კავშირის სისტემები. ხშირად ასეთ სისტემებს მიაკუთვნებენ ლოკალური რადიოქსელების (**WLL**) კატეგორიას. რუსეთში (ჩელიაბინსკი), მაგალითად, **IS-95** სტანდარტის სისტემა გამოიყენება სწორედ აღნიშნული დანიშნულებით.

**WARC'92** რეკომენდაციის შესაბამისად 1900 მგჰც დიაპაზონი გამოიყოფა კავშირის პერსონალური საშუალებების განსახორციელებლად აბონენტთა დიდი სიმკვრივის პირობებში (რეკომენდირებული სიხშირეებია 1885–2025 და 2110–2200 მგჰც; აშშ-ში გამოიყენება დიაპაზონი 1850–1910 და 1930–1990 მგჰც).

ჩრდილოეთ ამერიკაში ეს სისტემებია: **D-AMPS-1900** (სტანდარტი **J-STD-011)** **IS-136** სტანდარტის ბაზაზე; **DCS-1900** (სტანდარტი **J-STD-007)** **GGSM** სტანდარტის ბაზაზე.

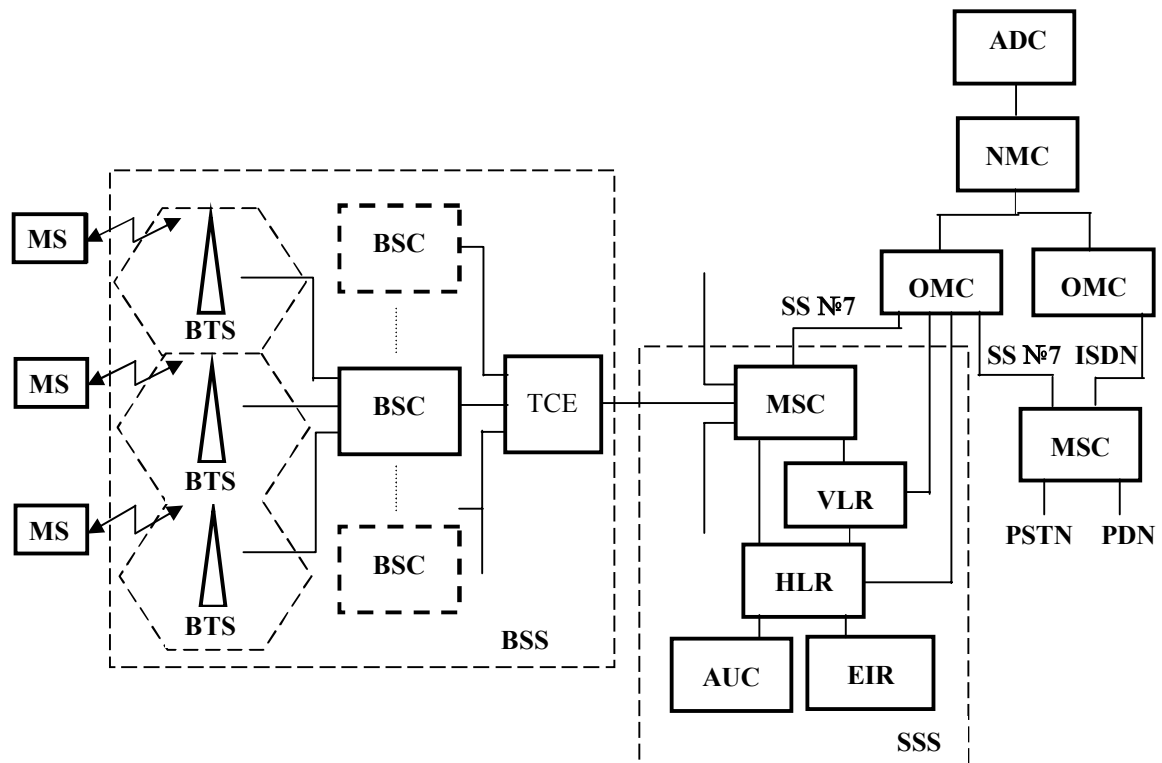
ცხრილი 8

|     | პარამეტრი  | მნიშვნელობა  |
|-----|--|--|
| 1.  | სიხშირეთა ზოლები, მგჰც<br><b>GSM</b><br><b>UIC</b><br><b>DCS –1800</b> | საბაზო სადგურის მიღება / გადაცემა<br>890 – 915 / 935 – 960<br>876 – 880 / 921 – 925<br>1710 – 1785 / 1805 – 1880 |
| 2.  | სიხშირეთა განაწილება, მგჰც   | 45   |
| 3.  | მიღწევის მეთოდი  | <b>TDMA</b>  |
| 4.  | საბაზო სადგურის გადამცემის სიმძლავრე, დბვტ                             | 13/3*  |
| 5.  | პროგრამული უზრუნველყოფის გადამცემის სიმძლავრე, დბვტ                    | 10/0*  |
| 6.  | მოდულაციის სახეობა   | <b>QMSK</b>  |
| 7.  | მეტყველების გარდაქმნის სიჩქარე, კბიტ/წმ                                | 13   |
| 8.  | გადამცემის საერთო სიჩქარე, კბიტ/წმ                                     | 270.833  |
| 9.  | სიხშირეთა სხვაობა არხებს შორის, კჰც                                    | 200  |
| 10. | მეტყველების არხების რაოდენობა ერთ გადამტანზე                           | 8  |
| 11. | მეტყველების ერთი სიგნალისათვის სიხშირეთა ექვივალენტური ზოლი, კჰც       | 25   |
| 12. | სიგნალი/ხმაური ფარდობის საჭირო სიდიდე, დბ                              | 9  |
| 13. | ფიჭის მაქსიმალურად შესაძლო რადიუსი, კმ                                 | 35/10*   |

შენიშვნა: \***GSM-900/DCS-1800**.

## 15. GSM სტანდარტის კავშირის ფიჭური ქსელის სტრუქტურული სქემა

GSM სტანდარტის მოძრავი რადიოკავშირის ტიპური ქსელის სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია მე-16 ნახაზზე.



**BTS** (Base Transceiver Station) – საბაზო სადგური; **BSC** (Base Station Controller) – საბაზო სადგურის კონტროლერი. **TCE** – ტრანსკოდერი; **MSC** – მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრი; **BSS** (Base Station System – **BSC+TCE+BTS**) – საბაზო სადგურის დანადგარი; **AUC** (Authentication Center) – აუტენტიფიკაციის ცენტრი; **OMC** (Operations and Maintenance Center) – მართვისა და მომსახურების ცენტრი; **MS** (Mobile Station) – მოძრავი სადგურები; **HLR** (Home Location Register) – მდგომარეობის რეგისტრი; **VLR** (Visitor Location Register) – გადაადგილების რეგისტრი; **EIR** (Equipment Identity Register) – მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრი; **NMC** (Network Management Center) – ქსელის მართვის ცენტრი; **ADC** (Administration Center) – ადმინისტრაციული ცენტრი; **PSTN** (Public Switched Telephone Network) – საერთო სარგებლობის სატელეფონო ქსელი; **PDN** (Packet Data Network) – პაკეტური გადაცემის ქსელები; **ISDN** (Integrated Services Digital Network) – ციფრული ქსელები მომსახურებათა ინტეგრაციით; **SSS** (Switching SubSystem) – კომუტაციის ქვესისტემა.

ნახ. 16. GSM სტანდარტის ფიჭური კავშირის ქსელის სტრუქტურული სქემა და ინტერფეისები

ევროპის ფოსტისა და ტელეკომუნიკაციის ადმინისტრაციების კონფერენციის (CEPT) 1980 წლის რეკომენდაციის შესაბამისად, რომელიც ეხებოდა 862-960 მგჰც დიაპაზონში მოძრავი კავშირისათვის სიხშირეთა გამოყენებას, GSM სტანდარტი ითვალისწინებს გადამცემების მუშაობას სიხშირეთა ორ დიაპაზონში. 890-915 სიხშირული ზოლი გამოიყენება შეტყობინებათა გადაცემისათვის მოძრავი სადგურიდან საბაზო სადგურისაკენ,

ხოლო დიაპაზონი 935-960 – საწინააღმდეგო მიმართულებით. კავშირის სეანსის დროს არხების გადართვისას ამ სიხშირეებს შორის სხვაობა მუდმივია და იგი 45 მგჰც-ს შეადგენს. კავშირის მეზობელ არხებს შორის სიხშირეთა დაშორებაა 200 კჰც. ამრიგად, მიღება/გადაცემისათვის გამოყოფილ სიხშირეთა 25 მგჰც-იან ზოლში განთავსდება კავშირის 124 არხი [ 3...6 ]. **GSM** სტანდარტში **TDMA** ტექნოლოგიის გამოყენების გამო შესაძლებელია ერთ გადამტან სიხშირეზე ერთდროულად 8 მეტყველების არხის განთავსება. მეტყველების გარდამქმნელად გამოიყენება **RPE-LTP** კოდეკი გარდაქმნის 13 კბიტ/წმ სიჩქარით.

რადიოარხებში წარმოქმნილი შეცდომებისაგან დასაცავად გამოიყენება ბლოკური და ხვევადი კოდირება გადანაცვლებით. კოდირებისა და გადანაცვლების ეფექტურობის ამაღლება მოძრავი სადგურის გადაადგილების დაბალი სიჩქარისას მიიღწევა სამუშაო სიხშირეების მდორე გადართვით წამში 217 გადართვის სიჩქარიანი კავშირის სეანსის პროცესში.

ქალაქის პირობებში რადიოტალღების მრავალსიხვიანი გავრცელებით გამოწვეული მისაღები სიგნალების ინტერფერენციული შესუსტებების საწინააღმდეგოდ აპარატურაში გამოიყენება ეკვალიზერები, რომლებიც უზრუნველყოფენ იმ იმპულსური სიგნალების გათანაბრებას, რომელთა დაყოვნების დროის საშუალოკვადრატული გადახრა არ აღემატება 16 მკწმ-ს. მოწყობილობის სინქრონიზაციის სისტემა ითვალისწინებს სიგნალების 233 მკწმ-დე დაყოვნების აბსოლუტური დროის კომპენსაციას, რაც შეესაბამება კავშირის მაქსიმალურ სიშორეს –35 კმ-ს (ფიჭის მაქსიმალური რადიუსი).

რადიოსიგნალების მოდულაციისათვის გამოიყენება სპექტრალურ-ეფექტური გაუსის მოდულაცია მინიმალური სიხშირული ძვრით (**GMSK**). სალაპარაკო სიგნალის დამუშავება ამ სტანდარტში ხდება მისი წყვეტილი გადაცემის **DTX (Discontinuous Transmission)** სისტემის ფარგლებში.

**GSM** ქსელების მოწყობილობა შეიცავს მოძრავ (რადიოტელეფონები) და საბაზო სადგურებს, ციფრულ კომუტატორებს, მართვისა და მომსახურების ცენტრს, სხვადასხვა დამატებით სისტემებსა და მოწყობილობებს. სისტემის ელემენტების ფუნქციონალური თავსებადობა განხორციელებულია რიგი ინტერფეისების საშუალებით. მე-16 ნახაზზე ნაჩვენებია **GSM** სტანდარტში მიღებული ფუნქციონალური აგება და ინტერფეისები.

მოძრავი სადგური **MS** შეიცავს მოწყობილობას, რომელიც განკუთვნილია **GSM**-ის აბონენტების მიღწევისათვის კავშირის არსებულ ქსელებთან. **GSM** სტანდარტის ფარგლებში მიღებულია მოძრავი სადგურების 5

კლასი – სატრანსპორტო საშუალებებზე დასაყენებელი 1-ლი კლასის მოდელიდან 20 ვტ გამოსასვლელი სიმძლავრით მე-5 კლასის მოდელამდე 0,8 ვტ გამოსასვლელი სიმძლავრით (ცხრილი 9). შეტყობინებათა გადაცემისას გათვალისწინებულია გადამცემის სიმძლავრის ადაპტური რეგულირება, რაც უზრუნველყოფს კავშირის საჭირო ხარისხს. მოძრავი და საბაზო სადგურები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელნი არიან.

ცხრილი 9

| მოდელის კლასი | გადამცემის მაქსიმალური სიმძლავრე, ვტ | დასაშვები გადახრები, დბ |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1             | 20                                   | 1,5                     |
| 2             | 8                                    | 1,5                     |
| 3             | 5                                    | 1,5                     |
| 4             | 2                                    | 1,5                     |
| 5             | 0,8                                  | 1,5                     |

ყოველ მოძრავ სადგურს (**MS**) გააჩნია საკუთარი საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერი (**IMSI**), რომელიც მის მესხიერებაშია ჩაწერილი. გარდა ამისა, ყოველ **MS**-ს ენიჭება კიდევ ერთი საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერი – **IMEI**, რომელიც გამორიცხავს **GSM** ქსელში მოპარული **MS**-ის ან ისეთი **MS**-ის ჩართვას, რომელსაც არ გააჩნია ამის უფლება.

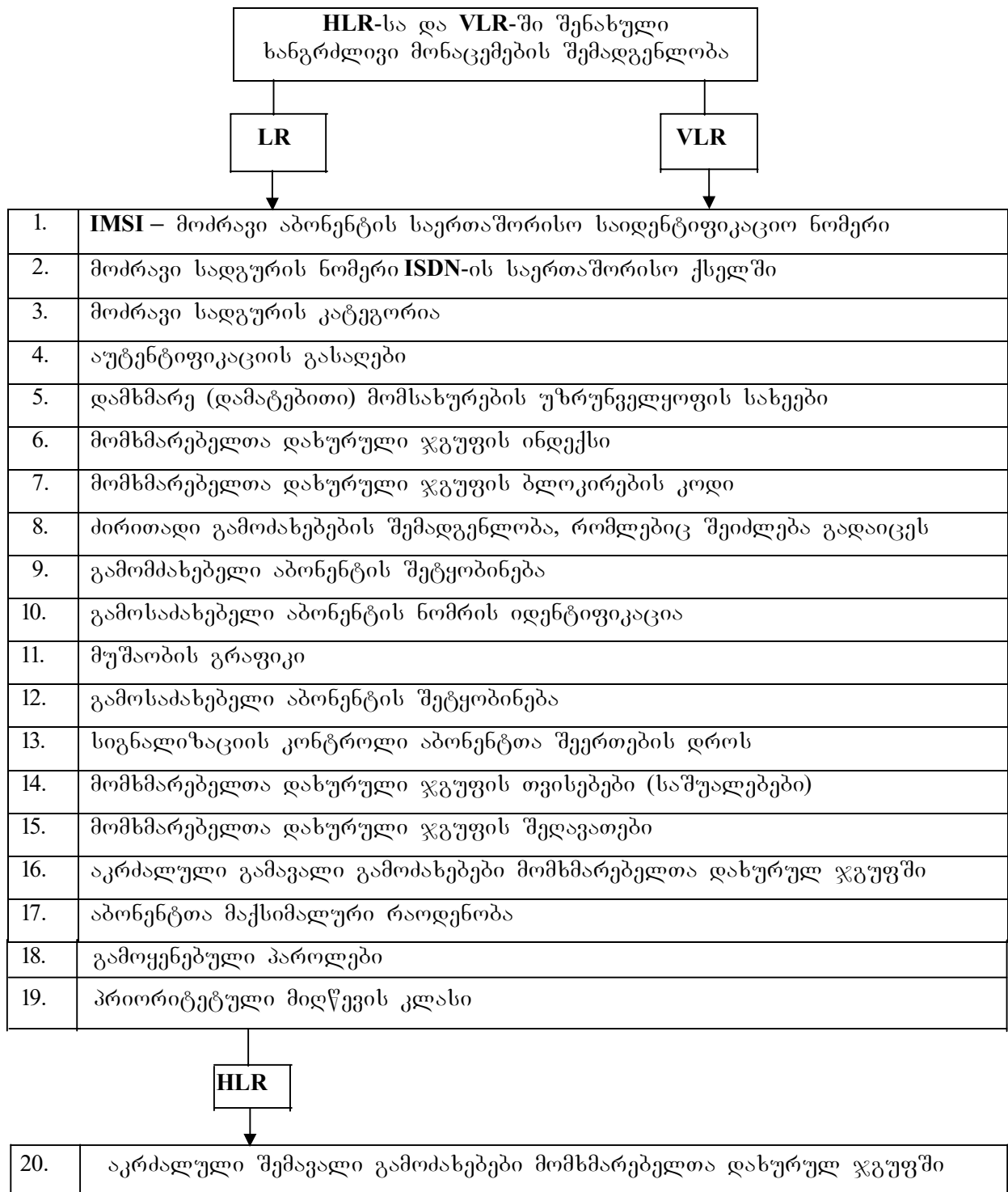
**BSS** მოწყობილობა შედგება საბაზო სადგურების კონტროლერებისაგან (**BSC**) და საკუთრივ მიმღებ-გადამცემი საბაზო სადგურებისაგან (**BTS**). ერთ კონტროლერს შეუძლია მართოს რამოდენიმე სადგური. იგი ასრულებს შემდეგ ფუნქციებს: რადიოარხების განაწილების მართვა, მათი შეერთების კონტროლი და რიგითობის რეგულირება; ე.წ. "მსტუნავი" სიხშირით მუშაობის რეჟიმის უზრუნველყოფა; სიგნალების მოდულაცია და დემოდულაცია; შეტყობინებათა კოდირება და დეკოდირება; ლაპარაკის სიგნალის კოდირება; ლაპარაკის, მონაცემებისა და გამოძახების სიგნალების გადაცემის სიჩქარის ადაპტაცია; პერსონალური გამოძახების შეტყობინებების გადაცემის რიგითობის მართვა.

ტრანსკოდერი (**TCE**) უზრუნველყოფს ლაპარაკის გადაცემის არხის გამოსასვლელი და მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრის (**MSC**) მონაცემების სიგნალების (64 კბიტი/წმ) გარდაქმნას **GGSM**-ის რადიო ინტერფეისისათვის გათვალისწინებული რეკომენდაციების შესაბამის სახეში (13 კბიტი/წმ).

კომუტაციის ქვესისტემის მოწყობილობა (**SSS**) შედგება მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრისაგან (**MSC**), მდგომარეობის რეგისტრისაგან (**HLR**), გადაადგილების რეგისტრისაგან (**VLR**), აუტენტიფიკაციის ცენტრისაგან (**AUC**) და მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრისაგან (**EIR**).

**MSC** ემსახურება ფიჭების ჯგუფს და უზრუნველყოფს მოძრავი სადგურების ყველა სახის შეერთებას. ის წარმოადგენს ინტერფეისს მოძრავი კავშირის ქსელსა და კავშირის ფიქსირებულ (**PSTN**, **PDN** და **ISDN**) ქსელებს შორის და უზრუნველყოფს გამოძახებათა მარშრუტიზაციას და ასრულებს მათი მართვის ფუნქციას. გარდა ამისა, **MSC** ასრულებს რადიოარხების კომუტაციის ფუნქციებს, რომლებსაც მიეკუთვნება ესტაფეტური გადაცემა (იგი უზრუნველყოფს კავშირის უწყვეტობას მოძრავი სადგურის ფიჭიდან ფიჭაში გადაადგილებისას) და ფიჭაში მუშა არხების გადართვა ხელშეშლების ან დაზიანებების წარმოშობისას. ყოველი **MSC** ემსახურება გარკვეული გეოგრაფიული ზონის საზღვრებში მყოფ აბონენტებს. **MSC** მართავს გამოძახების დამყარებისა და მარშრუტიზაციის პროცედურებს. **PSTN**-თვის იგი უზრუნველყოფს **SS №7** სიგნალიზაციის სისტემის, ლაპარაკის გადაცემის ან ინტერფეისის სხვა სახეობათა ფუნქციებს. **MSC** აგრეთვე აფორმირებს მონაცემებს ლაპარაკების ტარიფიკაციისათვის, ადგენს სტატისტიკურ მონაცემებს და უზრუნველყოფს უსაფრთხოების ზომებს რადიოარხებთან შედწევისას. **MSC** აგრეთვე მართავს ადგილმდებარეობის რეგისტრაციისა და საბაზო სადგურების ქვესისტემაში (**BSC**) მართვის გადაცემის პროცედურებს. ამ **BSC**-ით ხდება ერთი საბაზო სადგურის კონტროლერით მართულ ფიჭებში გამოძახებათა გადაცემის პროცედურა. თუ გამოძახების გადაცემა ხორციელდება სხვადასხვა **BSC**-ით მართულ ორ ფიჭას შორის, მაშინ პირველადი მართვა ხდება **MSC**-ში. **GSM** სტანდარტში აგრეთვე გათვალისწინებულია გამოძახების გადაცემის პროცედურა სხვადასხვა **MSC**-ის კონტროლერებს (ქსელებს) შორის. მოძრავი კავშირის კომუტაციის ცენტრი (**MSC**) **HLR** (მდგომარეობის ანუ სახლის რეგისტრი) და **VLR** (გადაადგილების ანუ სტუმრის რეგისტრი) რეგისტრების საშუალებით მუდმივად ახორციელებს მოძრავი სადგურის გადაადგილებისადმი თვალთვალს. **HLR**-ში ინახება მოძრავი სადგურის ადგილმდებარეობის შესახებ ინფორმაციის ის ნაწილი, რომელიც კომუტაციის ცენტრს აძლევს გამოძახების მიწოდების საშუალებას. ეს რეგისტრი შეიცავს მოძრავი აბონენტის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო ნომერს (**IMSI**), რომელიც გამოიყენება აუტენტიფიკაციის ცენტრში (**AUC**)

მოძრავი სადგურის ამოცნობისათვის, და აგრეთვე მონაცემებს, რომლებიც აუცილებელია GSM-ის ქსელის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის. ამ მონაცემების ჩამონათვალი წარმოდგენილია მე-17 ნახაზზე.



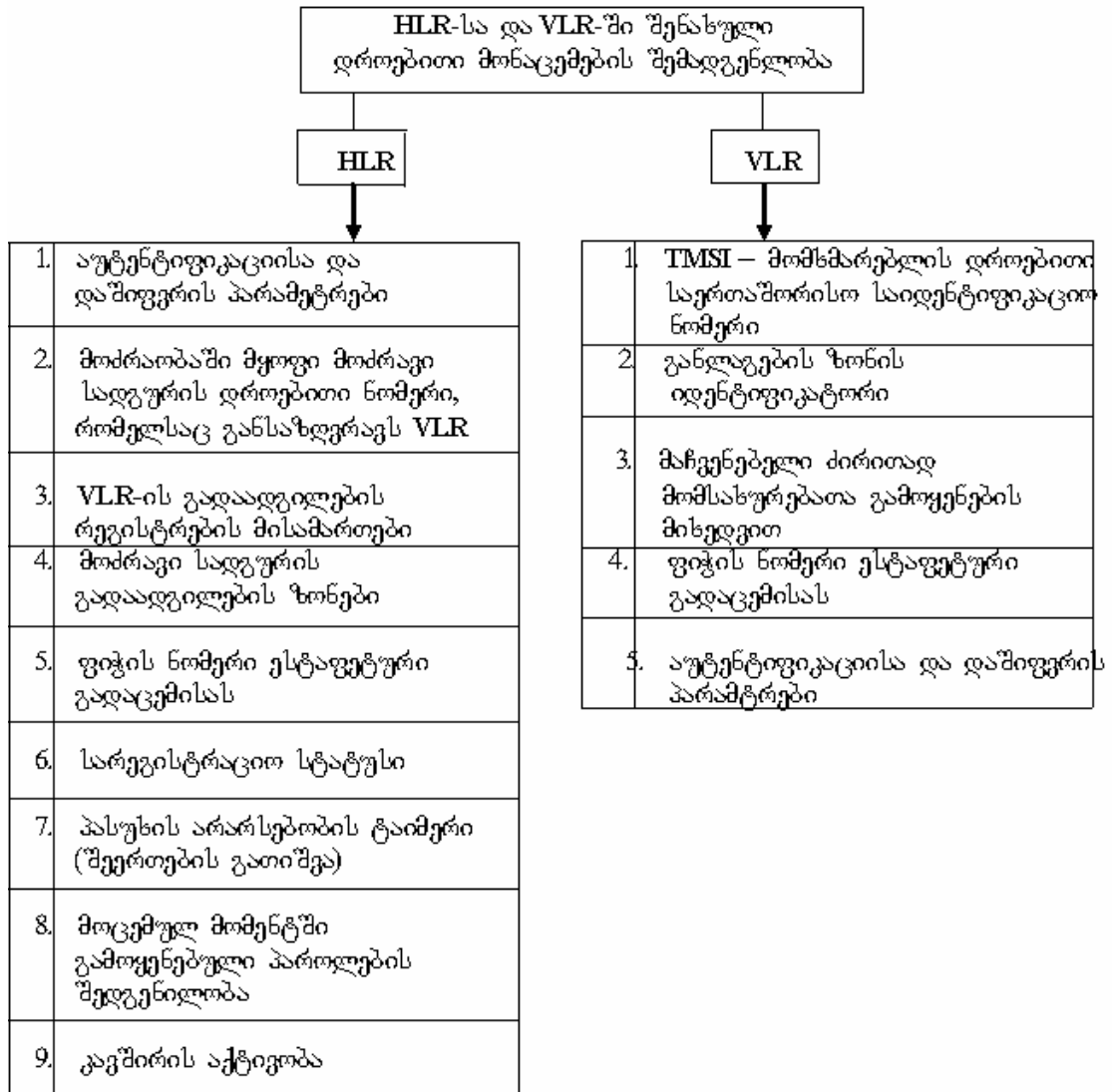
ნახ. 17. **HLR-სა და VLR-ში შენახული ხანგრძლივი მონაცემების შემადგენლობა**

ფაქტიურად **HLR** წარმოადგენს ქსელში მუდმივად დარეგისტრირებული აბონენტების შესახებ მონაცემთა ბაზის ცნობარს. იგი შეიცავს აბონენტთა ამოსაცნობ მისამართებს და ნომრებს, აგრეთვე აბონენტთა ნამდვილობის

პარამეტრებს, კავშირის მომსახურების სახეობების შედგენილობას, ინფორმაციას მარშრუტიზაციისა და მონაცემებს აბონენტის როუმინგის შესახებ აბონენტის დროებითი საიდენტიფიკაციო ნომრისა (**TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity**) და შესაბამისი **VLR**-ის შესახებ მონაცემების ჩათვლით. **HLR**-ში არსებული მონაცემების მიღების შესაძლებლობა გააჩნია ყველა **MSC** –სა და **VLR**-ს. თუ ქსელში რამდენიმე **HLR**-ია, მაშინ მონაცემთა ბაზა შეიცავს მხოლოდ ერთ ჩანაწერს აბონენტის შესახებ, ამიტომ ყოველი **HLR** წარმოადგენს აბონენტების შესახებ ქსელის საერთო მონაცემთა ბაზის ნაწილს. სხვადასხვა ქსელს შორის როუმინგის უზრუნველყოფის მიზნით **HLR**-ში შეღწევის საშუალება შეიძლება ქონდეს სხვა ქსელების **MSC**-სა და **VLR**-ს.

გადაადგილების რეგისტრი (**VLR**) წარმოადგენს მეორე ძირითად მოწყობილობას, რომელიც უზრუნველყოფს ფიჭიდან ფიჭაში მოძრავი სადგურის გადაადგილების კონტროლს. მისი საშუალებით მიიღწევა მოძრავი სადგურის ფუნქციონირება მდგომარეობის რეგისტრით კონტროლირებადი ზონის ფარგლებს გარეთ. იმ შემთხვევაში, როდესაც მოძრავი სადგური გადადის ერთი საბაზო სადგურის კონტროლერის მოქმედების ზონიდან მეორეში, მაშინ რეგისტრირდება უკანასკნელი კონტროლერის მიერ, ანუ გადაადგილების რეგისტრში ჩაიწერება ახალი ინფორმაცია. ამ რეგისტრებში შენახული დროებითი (არახანგრძლივი) მონაცემების შემადგენლობა წარმოდგენილია მე-18 ნახაზზე. **VLR** შეიცავს იმავე მონაცემებს, რასაც **HLR**, ოღონდ ეს მონაცემები **VLR**-ში ინახება მანამ, სანამ აბონენტი იმყოფება მის მიერ კონტროლირებად ზონაში.

**GSM** სტანდარტის ქსელებში ფიჭები ჯგუფდება გეოგრაფიულ ზონებად (**LA – Location Area**), რომლებსაც ენიჭება საკუთარი საიდენტიფიკაციო ნომერი **LAC (Location Area Code)**. ყოველი **VLR** შეიცავს მონაცემებს რამდენიმე გეოგრაფიული ზონის (**LA**) აბონენტთა შესახებ. ერთი ზონიდან მეორეში აბონენტის გადაადგილებისას **VLR**-ში ავტომატურად ახლდება მონაცემები მისი ადგილმდებარეობის შესახებ. თუ ძველი და ახალი გეოგრაფიული ზონები (**LA**) იმყოფებიან სხვადასხვა **VLR**-ის მოქმედების ზონაში, მაშინ ძველ **VLR**-ში მონაცემები წაიშლება მას შემდეგ, როდესაც მოხდება მათი კოპირება ახალ **VLR**-ში. ასევე ახლდება **HLR**-ში არსებული **VLR**-ის აბონენტის მიმდინარე მისამართი.



ნახ. 18. HLR-სა და VLR-ში შენახული დროებითი მონაცემების შემადგენლობა

VLR ასევე უზრუნველყოფს "მოხეტიალე" მოძრავი სადგურისათვის (MSRN – Mobile Station Roaming Number) ნომრის მინიჭებას. იმ დროს, როდესაც აბონენტი იღებს შემომავალ ზარს, VLR ირჩევს მის MSRN-ს და მას გადასცემს MSC-ს, რომელიც ახორციელებს ამ გამოძახების მარშრუტიზაციას იმ საბაზო სადგურისაკენ, რომლის მოქმედების ზონაშიც იმყოფება აბონენტი. გარდა ამისა, ერთი MSC-დან მეორისაკენ შეერთებათა გადაცემისას VLR L ანაწილებს მართვის გადაცემის ნომრებს, მართავს ახალი TMSI-ს განაწილებას და მათ გადასცემს HLR-კენ, გამოძახების დამუშავებისას მართავს მართავს ნამდვილობის დადგენის პროცედურებს. მთლიანობაში VLR წარმოადგენს ლოკალურ მონაცემთა ბაზას იმ ზონის აბონენტთა შესახებ, სადაც ის იმყოფება, რაც იძლევა HLR-დან მუდმივი მოთხოვნების გამორიც-

ხვისა და გამოძახებათა მომსახურების დროის შემცირების შესაძლებლობას.

ფიჭური კავშირის სისტემის რესურსების არასანქცირებული გამოყენების გამოსარიცხად მასში გათვალისწინებულია აუტენტიფიკაციის მექანიზმები. აუტენტიფიკაციის ცენტრი (**AUC**) შედგება რამდენიმე ბლოკისაგან იგი აფორმირებს აუტენტიფიკაციის გასაღებებსა და ალგორითმებს. მისი საშუალებით მოწმდება აბონენტის უფლებამოსილებები და ხორციელდება მისი დაშვება ქსელში. **AUC** იღებს გადაწყვეტილებებს აუტენტიფიკაციის პროცესის პარამეტრების შესახებ და მონაცემების მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრში (**EIR**) არსებული ბაზის საფუძველზე განსაზღვრავს დაშიფვრის გასაღებებს.

ფიჭური კავშირის სისტემის გამოყენების პერიოდში მოძრავი აბონენტი დებულობს აბონენტის ნამდვილობის სტანდარტულ მოდულს (**SIM-ბარათს**), რომელიც შეიცავს: **IMSI-ს**, აუტენტიფიკაციის საკუთარ ინდივიდუალურ გასაღებს (**KKi – Individual Subscriber Authentication Key**), აუტენტიფიკაციის ალგორითმს (**A3 – Authentication Algorithm**). მოძრავ სადგურსა და ქსელს შორის ინფორმაციის გაცვლის შედეგად **SIM-ბარათში** ჩაწერილი ინფორმაციის საშუალებით ხორციელდება აუტენტიფიკაციის სრული ციკლი და აბონენტს ეძლევა ქსელში ჩართვის ნება.

მოწყობილობის იდენტიფიკაციის რეგისტრი (**EIR**) შეიცავს მონაცემთა ცენტრალიზებულ ბაზას მოძრავი სადგურის მოწყობილობის საერთაშორისო საიდენტიფიკაციო კოდის (**IMEI**) ნამდვილობის დასადასტურების მიზნით. თუ ქსელს გააჩნია რამდენიმე **EIR**, მაშინ ყოველი მათგანი მართავს მოძრავი სადგურების გარკვეულ ჯგუფს.

მართვისა და მომსახურების ცენტრი (**OMC**) უზრუნველყოფს ქსელის ელემენტების მართვასა და მათი მუშაობის ხარისხს. მის ფუნქციებში შედის: ავარიული სიგნალების რეგისტრაცია და დამუშავება, დაზიანებათა აღმოფხვრა ავტომატურად ან მომსახურე პერსონალის მეშვეობით, ქსელის მოწყობილობათა მდგომარეობისა და მოძრავი სადგურის გამოძახების შემოწმება, ტრაფიკის მართვა, სტატისტიკური მონაცემების შეგროვება, პროგრამული უზრუნველყოფისა და მონაცემთა ბაზის მართვა და სხვა.

ქსელის მართვის ცენტრი (**NMC**) უზრუნველყოფს მთელი ქსელის ტექნიკურ მომსახურებასა და ექსპლუატაციას **OMC-ების** დახმარებით, რომლებიც უზრუნველყოფს რეგიონალური ქსელების მართვას. **NMC-ს** ფუნქციებში შედის: ტრაფიკის მართვა **GSM-ის** მთელი ქსელის ფარგლებში,

ავარიული სიტუაციების (კვანძების მწყობრიდან გამოსვლა ან გადატვირთვა) დროს ქსელის დისპეტჩერული მართვა, ქსელის ტექნიკურ აღჭურვილობებში ავტომატური მართვის მოჭყობილობათა მდგომარეობის კონტროლი, ოპერატორთა მონიტორებზე მთელი ქსელის მდგომარეობის ასახვა, სიგნალიზაციის მარშრუტებისა და კვანძებს შორის შეერთებების მართვა, **GSM**-სა და **PSTN**-ს შორის შეერთებათა კონტროლი და სხვა.

**GSM** სტანდარტის სისტემებში არსებობს სამი სახის ინტერფეისი: გარე ქსელებთან შეერთებისათვის; **GSM** ქსელების სხვადასხვა მოწყობილობებს შორის; **GSM** ქსელსა და გარე მოწყობილობას შორის. ისინი სრულად აკმაყოფილებენ **ETSI/GSM 03.02** რეკომენდაციების მოთხოვნებს (**ETSI – European Telecommunications Standards Institute** – ევროპის ტელეკომუნიკაციის სტანდარტიზაციის ინსტიტუტი).

### 1. ინტერფეისები გარე ქსელებთან.

– ინტერფეისი საერთო დანიშნულების სატელეფონო ქსელთან:

საერთო დანიშნულების (სარგებლობის) სატელეფონო ქსელთან შეერთება ხორციელდება **MSC**-ის საშუალებით კავშირის 2 მგბიტი/წმ-იანი ხაზით **SS №7** სიგნალიზაციის შესაბამისად. 2 მგბიტი/წმ-იანი ინტერფეისის მახასიათებლები შეესაბამება ტელეფონიისა და ტელეგრაფიის საერთაშორისო საკონსულტაციო კომიტეტის (**ტტსსპ**) **G.732** რეკომენდაციებს.

– ინტერფეისი **ISDN** ქსელთან: **ISDN** ქსელებთან შეერთებისათვის გათვალისწინებულია კავშირის ოთხი 2 მგბიტი/წმ-იანი ხაზი **SS №7** სიგნალიზაციის დახმარებით და იგი პასუხობს **ტტსსპ**-ს **Q.700** სერიის მოთხოვნებს.

– ინტერფეისი **NMT-450** სტანდარტის ქსელთან: კომუტაციის ცენტრი **NMT-450** ქსელს უერთდება კავშირის ოთხი 2 მგბიტი/წმ-იანი სტანდარტული ხაზით და **SS №7** სიგნალიზაციით. ამასთან უნდა სრულდებოდეს **ტტსსპ**-ს რეკომენდაციები სატელეფონო ქსელის მომხმარებელთა ქვესისტემისა (**TUP–Telephone User Part**) და ყვითელი წიგნის შეტყობინებათა გადაცემის (**MTP –Message Transfer Part**) ქვესისტემის შესახებ. 2 მგბიტი/წმ-იანი ხაზის ელექტრული მახასიათებლები შეესაბამება **G.732**-ის მოთხოვნებს.

– ინტერფეისი **GSM** სტანდარტის საერთაშორისო ქსელებთან: აღნიშნული შეერთებები ხორციელდება სიგნალიზაციის სისტემებისა (**SCCP – Signalling Connection Control Part**) და მოძრავი კავშირის ქსელთაშორისი კომუტაციის (**GMSC – Gateway Mobile Services Switching Center**) ოქმების საფუძველზე.

## 2. შიდა GSM-ინტერფეისები.

– ინტერფეისი MSC-სა და BSS-ს შორის (A-ინტერფეისი) უზრუნველყოფს შეტყობინებათა გადაცემას BSS-ის გამოძახებათა გადაცემისა და გადაადგილების მართვისათვის. A-ინტერფეისი აერთიანებს კავშირის არხებსა და სიგნალიზაციის ხაზებს (CCITT SS №7). A-ინტერფეისის სრული სპეციფიკაცია შეესაბამება ETSI/GSM რეკომენდაციების 08 სერიას.

– ინტერფეისი MSC-სა და HLR-ს შორის შეთავსებულია VLR-თან (B-ინტერფეისი).

– ინტერფეისი MSC-სა და HLR-ს შორის (ჩ-ინტერფეისი).

– ინტერფეისი HLR-სა და NLR-ს შორის (D-ინტერფეისი) გამოიყენება მოძრავი სადგურის მდებარეობის შესახებ მონაცემების გაცვლისა და კავშირის პროცესის მართვისათვის.

– ინტერფეისი MSC-ებს შორის (E-ინტერფეისი) უზრუნველყოფს სხვადასხვა MSC-ებს შორის ურთიერთქმედებას ე.წ. ჰანდოვერ-ის (კავშირის სეანსის პროცესში აბონენტის "გადაცემა" მისი ზონიდან ზონაში მოძრაობისას კავშირის უწყვეტობის შენარჩუნებით).

– ინტერფეისი BSC-სა და BTS-ს შორის (A-ბის ინტერფეისი) ETSI/GSM რეკომენდაციებით განკუთვნილია შეერთებათა დამყარების პროცესებისა და მოწყობილობათა მართვისათვის. გადაცემა ხორციელდება 2,048 მბიტ/წმ სიჩქარის ციფრული ნაკადებით. შესაძლებელია აგრეთვე 64 კბიტ/წმ-იანი ფიზიკური ინტერფეისის გამოყენება.

– ინტერფეისი BSC-სა და OMC-ს შორის (O-ინტერფეისი) გამოიყენება X.25 ქსელებში.

– საბაზო სადგურის კონტროლერის შიდა BSC-ინტერფეისი უზრუნველყოფს კავშირს BSC-ის სხვადასხვა მოწყობილობასა და ტრანსკოდირების (TCE) მოწყობილობას შორის. იგი იყენებს O32-გადაცემის (O32 – იმპულსურ-კოდური მოდულაცია) 2,048 მბიტ/წმ-იან სტანდარტს და იძლევა 16 კბიტ/წმ-იანი სიჩქარის ოთხი არხიდან 64 კბიტ/წმ-იანი არხის ორგანიზების საშუალებას.

– ინტერფეისი MS-სა და BTS-ს შორის (Um-რადიოინტერფეისი) განისაზღვრება ETSI/GSM რეკომენდაციების 04 და 05 სერიებით.

– ქსელური ინტერფეისი OMC-სა და ქსელს შორის (მმართველი ინტერფეისი OMC-სა და ქსელის ელემენტებს შორის) განისაზღვრება ETSI/GSM 12.01 რეკომენდაციებით და წარმოადგენს Q.3 ინტერფეისის ანალოგს. ქსელის შეერთება OMC-თან შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნეს SS №7 სისტემით ან X.25 ოქმით.

### 3. ინტერფეისები GSM-ქსელსა და გარე მოწყობილობას შორის.

– ინტერფეისი MSC-სა და სერვის-ცენტრს (SC) შორის საჭიროა შეტყობინებათა სამსახურის რეალიზაციისათვის და განისაზღვრება ETSI/GSM 03.40 რეკომენდაციებით (SC- Service Center – სერვის-ცენტრი, მომსახურების ცენტრი).

– ინტერფეისი სხვა OMC-კენ. ქსელის მართვისა და მომსახურების ყოველი ცენტრი შეერთებული უნდა იყოს სხვა OMC-ებთან, რომლებიც მართავენ სხვა რეგიონის ქსელებს ან სხვა ქსელებს. შეერთებები ხორციელდება X-ინტერფეისების საშუალებით ტტსსპ-ს M.30 რეკომენდაციების შესაბამისად. უმაღლესი დონის ქსელებთან OMC-ს ურთიერთობისათვის გამოიყენება Q.3 ინტერფეისი.

## 16. შიჭური რადიოკავშირის ქსელების სისშირულ-ტერიტორიული

### დაბეზმარების სისტემები

ტელეკომუნიკაციის ფართო წრის ამოცანების გადასაწყვეტად აუცილებელია მთელი რიგი ისეთი მონაცემების ცოდნა, როგორცაა: ტელეკომუნიკაციისა და მონიტორინგის სისტემების მონაცემები; ინფორმაციები ტოპოლოგიის, დედამიწის განფენილი ზედაპირის, დასახლებული პუნქტებისა და ინფრასტრუქტურის შესახებ; ადმინისტრაციული და სხვა სახის მონაცემები. კერძოდ, მოძრავი კავშირის სისტემების სისშირულ-ტერიტორიული დაპროექტებისას (სტდ) მონაცემები დედამიწის განფენილი ზედაპირის შესახებ საჭიროა სიგნალების გავრცელების ტრასებზე დანაკარგების ანგარიშისათვის. ყველა ჩამოთვლილი მონაცემი კონკრეტულ ტერიტორიაზეა დამოკიდებული, რის გამოც მონაცემების საფუძველს წარმოადგენს სპეციალიზირებული გეოინფორმაციული სისტემა (ბის).

არასამხედრო დანიშნულების პირველი ელექტრონული ბის-ის დამუშავება დაიწყო აშშ-სა და კანადაში გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან. 70-იანი წლებიდან კი დაიწყო მისი ინტენსიური განვითარება, რის შედეგადაც შეიქმნა საერთო დანიშნულების სისტემები და წარმოიქმნა კოსმოსური გადაღებების საფუძველზე კარტოგრაფიული მონაცემების ფორმირების შესაძლებლობა. პერსონალური კომპიუტერების გავრცელებამ კი, თავის მხრივ, მნიშვნელოვნად გააფართოვა ბის-ის გამოყენების არეალი. 1992 წელს აშშ-ის გარემოს გამოკვლევის ინსტიტუტში დამუშავდა მსოფლიოს

ციფრული რუქა, რომელიც იძლევა ერთგვაროვანი ობიექტების (რკინიგზა, გზები, რელიეფი, მილსადენები, ელექტროგადამცემი ხაზები, ჰოდროსისტემები და სხვა) ფენების ანალიზის საშუალებას. დღეისათვის ამ სფეროში მომუშავე წამყვანი ფირმების მიერ დამუშავებულია და იყიდება ვიწროსპეციალიზირებული ბის-ის პროგრამების პაკეტები. მძლავრი გეოინფორმაციული სისტემები, როგორც წესი, წარმოადგენენ მთავრობებისა და უწყებების საკუთრებას. მაგალითად, აშშ-ის მთავრობის საკუთრებას წარმოადგენს მართვის სისტემა საგანგებო სიტუაციების დროს.

რადიოკავშირის (კერძოდ, ფიჭური კავშირის) ქსელების სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების ამოცანებში გეოინფორმაციულ მონაცემთა გამოყენებისას აღნიშნული ქსელების მდგომარეობისა და მათი განვითარების პერსპექტივების ანალიზი წარმოშობს ნებისმიერი (მობილური თუ ფიქსირებული) ქსელისათვის საერთო ხასიათის პრობლემებს, რომელთა შორის უმთავრესია: გამოყენებული რადიოსიხშირეების დიაპაზონის გაზრდის ობიექტური აუცილებლობა მოწყობილობათა საარხო ტევადობისა და სისტემის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით ქსელების დაპროექტებისას იწვევს დამატებითი სირთულეების წარმოქმნას (საბაზო სადგურების განთავსების ადგილების შერჩევასა და მათი პარამეტრების დასაბუთებაში); ჩადებული საშუალებების ამოგების ხანგრძლივი დრო იწვევს კავშირის მოძრავი საშუალებების განვითარების რაციონალური სტრატეგიის განსაზღვრის აუცილებლობას კონკრეტული რაიონის თავისებურებების გათვალისწინებით; შეზღუდულ ტერიტორიაზე მომხმარებელთა რაოდენობისა და დინამიკის გაზრდა მოითხოვს ქსელის ეფექტური მართვის უზრუნველყოფას.

აღნიშნული პრობლემები მნიშვნელოვანწილად შეიძლება იყოს გადაწყვეტილი მოძრავი რადიოკავშირის სისტემების სისშირულ-ტერიტორიული დაპროექტებისას ბის-ის ტექნოლოგიების ფართო გამოყენებით, რაც უზრუნველყოფს საბაზო სადგურების განსათავსებელი ადგილების მაქსიმალურად შესაძლო ოპტიმალურობით შერჩევას და იძლევა მოძრავი რადიოკავშირის ქსელების სტრუქტურულ-ტოპოლოგიური და ტექნიკური მახასიათებლების ოპტიმიზაციის საშუალებას. ბის-ი, აგრეთვე, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მოძრავი რადიოკავშირის სისტემების ოპტიმალური დაგეგმარებისა და ორგანიზაციულ-ტექნიკური მართვისათვის.

## 17. სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების სისტემის აგების პრინციპები და მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობები

სისტემამ უნდა უზრუნველყოს ფიქური კავშირის ქსელების სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარება მათი გამოყენების სისშირეთა დიაპაზონში და აგრეთვე შემდეგი მონაცემების გაანგარიშება:

- საბაზო სადგურის მომსახურების ზონები მათ საზღვარზე ველის მოცემული დონის მიხედვით და ზონის ფარგლებში მოცემული ხარისხის რადიოკავშირის უზრუნველყოფის შესაძლებლობის კონტროლით;

- საბაზო სადგურის დაფარვის ზონები, სადაც სიგნალის დონე არ იქნება მოცემულზე ნაკლები, თუმცა ამასთანავე გარანტირებული არ იქნება რადიოკავშირის შესაძლებლობა დაფარვის მთელ ზონაში;

- საბაზო სადგურის დაფარვის ზონები კავშირის მიხედვით, რომლებშიც სრულდება მოთხოვნები კავშირის ხარისხის თაობაზე;

- ურთიერთხელშეშლების ზონები მიღების ძირითადი და გვერდითი არხების მიხედვით, რომლებიც განისაზღვრება საბაზო სადგურების მომსახურებისა და გადაფარვის ზონების ზედდებით და სადაც სიგნალებისა და ხელშეშლების ფარდობა ნაკლებია მის დამცავ თანაფარდობასთან შედარებით.

დაგეგმარების სისტემების ინსტრუმენტებმა უნდა უზრუნველყოს მომსახურებისა და დაფარვის ზონების აგება ზონის შიგნით როგორც ველის დონის გათვალისწინებით, ასევე მის გარეშე. უკანასკნელ შემთხვევაში აიგება მხოლოდ ზონის საზღვრები, რომელშიც საბაზო სადგურის გადამცემის სიგნალის ველი აღემატება მოცემულ დონეს.

ქსელის საბაზო სადგურების განლაგების გეგმა და მათი პარამეტრები (გადამცემის სიმძლავრე, დანაკარგები ანტენის ფილერში, ანტენების დაყენების სიმაღლე და მათი ორიენტაცია) ანგარიშის ჩატარებისათვის საწყის მონაცემებს წარმოადგენენ. ქსელის საბაზო სადგურების განლაგების გეგმა და მომსახურებისა და დაფარვის ზონების გაანგარიშების მონაცემები აისახება რუკაზე, რომელზეც ველის სხვადასხვა დონე წარმოდგენილი იქნება სხვადასხვა ფერში.

რადიოტალღების გავრცელებისას ძირითადი დანაკარგების გაანგარიშებისათვის ითვალისწინებენ ადგილის რელიეფს, საცხოვრებელი განაშენიანების გეგმას და წყალსაცავებისა და ტყის მასივების არსებობას.

სისტემა ორიენტირებული უნდა იყოს რადიოს საერთაშორისო საკონსულტაციო კომისიის, ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო კავშირისა და სხვა რეკომენდაციებში აღწერილ მოდელებზე, რომლებიც შეეხება რადიოტალღების გავრცელებას.

დაფარვის ზონა ემთხვევა მომსახურების ზონას იმ შემთხვევაში, როდესაც სააბონენტო ტერმინალების მიერ გამოსხივებული სიმძლავრე აღემატება საბაზო სადგურების მიერ გამოსხივებულს. ამ დროს კავშირის სიშორე განისაზღვრება გამომსხივებელი საბაზო სადგურის სიმძლავრით. წინააღმდეგ შემთხვევაში კი, როდესაც სააბონენტო ტერმინალის მიერ გამოსხივებული სიგნალის სიმძლავრე ნაკლებია საბაზო სადგურისაზე, მაშინ სააბონენტო ტერმინალი დაფარვის ზონის საზღვარზე არსებობისას ვერ უზრუნველყოფს სიგნალის საჭირო დონეს საბაზო სადგურის მიმღების შესასვლელზე და კავშირის სიშორე შეიზღუდება სააბონენტო ტერმინალის მიერ გამოსხივებული სიმძლავრით. სხვადასხვა სიმძლავრის სააბონენტო ტერმინალის დაფარვის ზონის გაანგარიშება შეიძლება განხორციელდეს საბაზო სადგურის ფაქტიური გადამცემის ექვივალენტური გადამცემით ჩანაცვლების გზით. ასეთი გადამცემის გამოსხივებული სიმძლავრე მიიჩნევა სააბონენტო გადამცემის სიმძლავრის ტოლად, ხოლო ექვივალენტური ანტენის მიმართველობის ნორმირებულ დიაგრამად მიიღება საბაზო სადგურის მიმღები ანტენის მიმართველობის ნორმირებული დიაგრამა. ასეთი ექვივალენტური გამომსხივებლის დაფარვის ზონა იქნება საბაზო სადგურის მომსახურების ზონა მოცემული პარამეტრების მქონე სააბონენტო სადგურებისათვის (ტერმინალებისათვის, აპარატებისათვის). ამ ზონის ფარგლებში უზრუნველყოფილი იქნება სააბონენტო და საბაზო სადგურებს შორის საჭირო ხარისხის ორმხრივი კავშირი. თუ საბაზო სადგურზე გამოიყენება მიმორიგებული (განცალკევებული, გაფანტული) მიღება, მაშინ მომსახურების ზონის ანგარიშისას აღნიშნული მიღების მეთოდით მიღებული ენერგეტიკული მოგების სიდიდე დაემატება სააბონენტო სადგურის ექვივალენტური ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტს.

სისტემაში გათვალისწინებული უნდა იყოს დასაპროექტებელი ქსელის ყველა საბაზო სადგურის მიერ შექმნილი ხმაურების ზონების ანგარიშის შესაძლებლობა. ხელშეშლების ზონა ფასდება საბაზო სადგურის გადამცემის დაფარვის ზონის სახით, რომელშიც ელექტრული ველის დონე აღემატება ველის დაძაბულობის მინიმალურად დასაშვებ დონეს, რომელიც სიგნალი/ხელშეშლის დაცულობის ფარდობის სიდიდითაა შემცირებული

მიღების თავსებად (მეზობელ) არსში. საბაზო სადგურების წყვილში ხელშეშლების სრული გამორიცხვისათვის საკმარის პირობას წარმოადგენს მომსახურებისა და ურთიერთხელშეშლების ზონების ურთიერთგადაკვეთების არარსებობა.

სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების სისტემის განზოგადებული ფუნქციონალური სქემა წარმოდგენილია მე-19 ნახაზზე:

1. სისტემური კატალოგი, რომელიც შეიცავს ბის-ის დანართებს, შედგება სისტემური ბიბლიოთეკის პროექტების ფაილებისაგან.

2. მიმდინარე პროექტის ადგილმდებარეობის რუკა, რომელიც შეიცავს შემდეგ ცხრილებს: დონის ხაზები; საცხოვრებელი დასახლების კვარტალები; გზები (ანგარიშებში არ გამოიყენება); წყალსაცავები; ტყის მასივები.

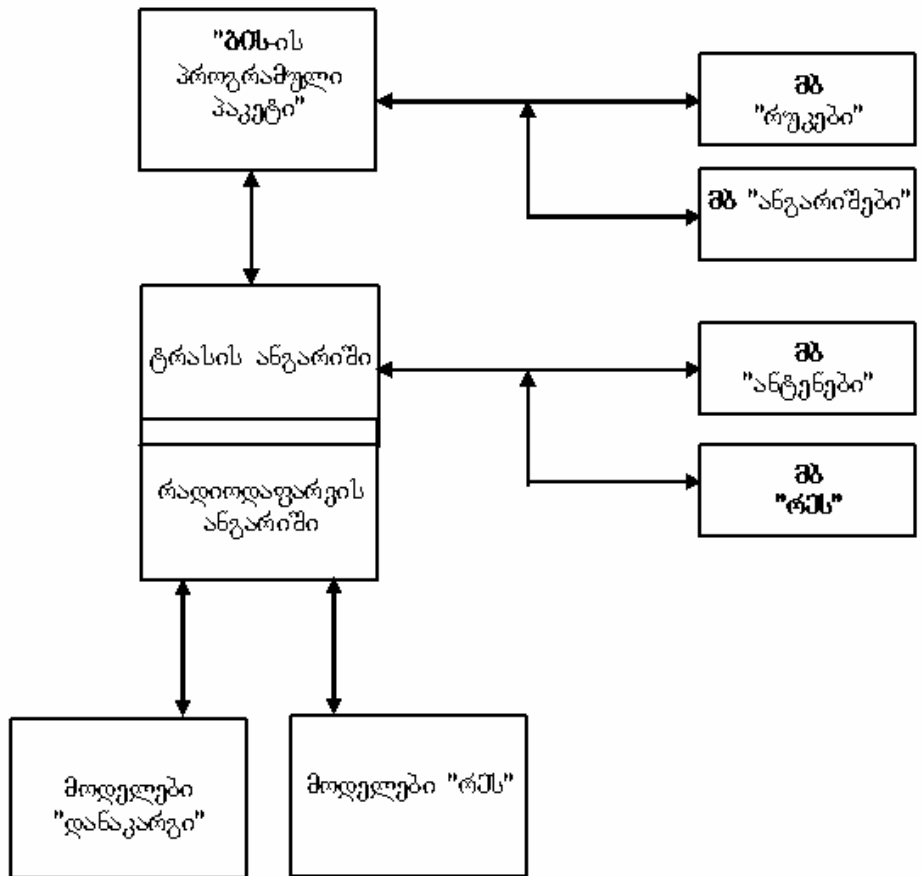
3. მიმდინარე პროექტის კატალოგი, რომელიც შეიცავს საწყისი მონაცემებისა და ამ პროექტის სისშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების შესახებ ანგარიშების შედეგებს.

გავრცელების დანაკარგების ანგარიშისათვის სისტემამ უნდა გამოიყენოს შემდეგი გეოგრაფიული მონაცემები: ზღვის დონიდან რელიეფის სიმაღლის იზოხაზები; განაშენიანების კვარტალები; წყლის ობიექტები (ზღვები, ტბები, მდინარეები); ტყის მასივები.

მომსახურების ზონები გაიანგარიშება რამდენიმე ტიპის სააბონენტო რადიოსადგურებისათვის, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება იზოტროპულად გამოსხივებული ექვივალენტური სიმლავრით.

მომსახურების ზონები გაიანგარიშება რამდენიმე ტიპის სააბონენტო რადიოსადგურებისათვის, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება იზოტროპულად გამოსხივებული ექვივალენტური სიმლავრით.

დაფარვის ზონები აიგება საბაზო სადგურის გადამცემი ანტენის მიმმართველობის დიაგრამის გათვალისწინებით გადამცემის გამოსასვლელზე მოცემული სიმძლავრის შემთხვევაში კომბინერსა და საანტენო-ფიდერულ ტრაქტში დანაკარგების გათვალისწინებით. საწყისი მონაცემების ცხრილის ფორმირებისას დაგეგმარებისათვის ხდება ყოველი საბაზო სადგურისათვის ანტენისა და მისი გადამცემის სიმძლავრის შერჩევა.



შენიშვნა: **ბის** – გეოინფორმაციული სისტემა.  
**შს** – მონაცემების ბაზა.  
**რძს** – რადიოელექტრონული საშუალება.

ნახ. 19. სიხშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების სისტემის განზოგადებული ფუნქციონალური სქემა

ანტენების მიმმართველობის დიაგრამების აღწერილობები ინახება ტექსტური ფორმატის ფაილებში. ასეთი ფაილების ფორმირებისა და დიაგრამების გრაფიკების ასაგებად შეიძლება გამოყენებული იქნას ელექტრონული ცხრილები "Excel".

სისტემა იძლევა შიდაქსელური ელექტრომაგნიტური თავსებადობის შესახებ მონაცემების მიღების საშუალებას, რომლის საფუძველზე შეიძლება ქსელის სიხშირული გეგმის აგება ან ოპტიმიზირება. ამისათვის საბაზო სადგურების დაფარვის ზონები აიგება იმ დონემდე, რომელიც უტოლდება მომსახურების ზონების საზღვარზე თავსებად (მეზობელ) არხში დაცული ფარდობის სიდიდით შემცირებულ დონეს. დაფარვის ასეთი ზონების მომსახურების ზონებთან გადაკვეთები წარმოადგენენ შესაძლო ხელშეშლების ზონებს. ასეთი პრინციპით ანგარიშობს სისტემა ქსელის საბაზო სადგურების ურთიერთხელშეშლების ცხრილს (ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მატრიცა).

მომსახურებისა და დაფარვის ზონების შიგნით სიგნალებისა და ხელშეშლების დონეების შესახებ მონაცემები იძლევა ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ანალიზის საშუალებას თანაც სააბონენტო და საბაზო სადგურების გადამცემების სიმძლავრეთა რეგულირებისა და აგრეთვე მოძრავი ობიექტებისათვის არხების გამოყოფისა და გადაცემის (ერთი ზონიდან მეორეში გადასვლისას) ალგორითმების გათვალისწინებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ რეალურ ქსელებში ხმაურები შეიძლება არ არსებობდეს მომსახურებისა და ურთიერთხელშეშლების ზონების ნაწილობრივი გადაფარვის შემთხვევაშიც კი. დაპროექტების პროცესში ეს გარემოება უნდა გახდეს დამატებითი განხილვის საგანი. ამ საკითხის გადაწყვეტისას გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ მოძრავი კავშირის ქსელებში შიდასისტემური ხელშეშლამდგრადობის დონე დანარჩენი თანაბარი პირობების შემთხვევაში განისაზღვრება სააბონენტო და საბაზო სადგურების სიმძლავრეების რეგულირების ხასიათით და რიგი სხვა ფაქტორით, კერძოდ, მაგალითად, აბონენტთა ესტაფეტური გადაცემისა და არხის გამოყოფის ალგორითმებით და რადიოკავშირის იმ სისტემის სხვა თავისებურებებით, რომელსაც მიეკუთვნება საპროექტო ქსელი.

#### **18. მოძრავი რადიოკავშირის ქსელების სიხშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების ამოცანების გადაწყვეტისას მონაცემთა ბეიონფორმაციული ბაზების გამოყენების პრინციპები**

მოძრავი რადიოკავშირის ქსელების სიხშირულ-ტერიტორიული დაგეგმარების ამოცანების გადაწყვეტა ხორციელდება მომსახურების შესაძლო ზონებისა და ქსელის საბაზო სადგურების ურთიერთხელშეშლების პროგნოზირების საფუძველზე, რომელიც გულისხმობს სპეციალური გაანგარიშებების საფუძველზე ჩატარებულ ალბათურ მსჯელობას. ამასთან პროგნოზის სივრცული განუსაზღვრელობის შემცირების მიზნით გამოიყენება მოძრავი (სააბონენტო) სადგურების არაჰიპოტეტიკური "ადგილმდებარეობა" ქსელის მომსახურების ზონაში, არამედ ტერიტორიის სივრცული გარჩევადობის ელემენტები, რომლებსაც ჯეიკის ტერმინოლოგიის მიხედვით უწოდებენ გადაადგილების "გლობალურ" და "ლოკალურ" ზონებს. ეს ობიექტურად არსებული ზონები განიხილება როგორც მოძრავი კავშირის დაფარვის ზონის სივრცული გარჩევადობის ელემენტარული მოედნები (**სბმმ**). საველე (დაუსახლებელი) ზონებისათვის **სბმმ**-ის როლში მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას სააბონენტო სადგურების გადაადგილების გლობალური

ზონები. ქალაქის პირობებისათვის კი მდგომარეობა არაერთგვაროვანია, ვინაიდან ასეთ ზონებში გარჩევადობა უნდა იყოს უფრო მაღალი, ხოლო ე. წ. დაჩრდილვის პირობები იცვლება გაცილებით უფრო იშვიათად სავსე პირობებთან შედარებით. **სბმმ** ხასიათდება სააბონენტო სადგურის შესასვლელზე საბაზო სადგურის სიგნალის მდორე და სწრაფი შესუსტებების გარკვეული სტატისტიკური მახასიათებლებით. ის სბმმ-ები, რომლებისთვისაც დაკმაყოფილებულია სიგნალი/ხელშეშლა პარამეტრის სივრცული განაწილების ხასიათისადმი წაყენებული მოთხოვნები, შედიან საბაზო სადგურისა და შესაბამისად ქსელის დაფარვის ზონაში. ცნობილია, რომ საშუალორეგიონული ადგილებისათვის სიგნალის დონის კვაზისტაციონალური ფლუქტუაციების ინტერვალის სიდიდე, რომელსაც სააბონენტო სადგურების გადაადგილების "გლობალურ" ზონას უწოდებენ, შეადგენს 500-დან 2000 მ-დე. სიგნალის (მისი სიმძლავრის უცვლელობისას) ამპლიტუდის ფლუქტუაციების კვაზისტაციონალურობის ინტერვალი ("ლოკალური" ზონა) შეადგენს ტალღის რამდენიმე სიგრძეს.

საბაზო სადგურის დაფარვის ზონა პროგნოზირდება როგორც მოცემული პარამეტრების მქონე **სბმმ**-ების ერთობლიობა. საბაზო სადგურის კავშირის მიხედვით დაფარვის ზონა კი განისაზღვრება როგორც სპეციალური გაანგარიშებების საფუძველზე განხორციელებული ალბათური მსჯელობა ყოველ **სბმმ**-ში კავშირისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესახებ.

პროგნოზის სტატისტიკური მეთოდის ალტერნატიულია დეტერმინირებული მეთოდები, რომლებშიც **სბმმ**-ში კავშირის ხარისხის პროგნოზის მეთოდები ეყრდნობა ორი ფაქტორის – საბაზო სადგურიდან **სბმმ**-დე სიგნალის გავრცელების ტრასაზე წინაღობათა გავლენისა და **სბმმ**-ში ადგილობრივი პირობების გავლენის გათვალისწინებას. თუ შემოვიფარგლებით მოძრავი რადიოკავშირის რადიოსაზში გადაცემის არხის ენერგეტიკული მოდელით, მაშინ გლობალურ ზონაში სიგნალის ამპლიტუდის ფლუქტუაციების ხასიათი განისაზღვრება სამი პარამეტრით: ველის დონის მედიანური მნიშვნელობით, მისი ფლუქტუაციების საშუალოკვადრატული გადახრითა და პარამეტრით, რომელიც ახასიათებს კავშირის ინტერვალზე რადიოტალღების გავრცელების პირობების მიხედვით საბაზო და სააბონენტო სადგურების ანტენების ფაზურ ცენტრებს შორის პირდაპირი ხედვის პირობების არსებობას ან არარსებობას.

**სბმმ**-ში სიგნალის დონის მედიანური მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას პირდაპირი ხედვის ულტრამოკლე ტალღის

**(უმტ)** დიაპაზონის რადიოხაზში სიგნალის მიღების ანგარიშის ცნობილი მეთოდები, რომლებიც მჭიდროდაა დაკავშირებული გამოყენებულ საწყის მონაცემებთან. ამ შემთხვევაში ხდება ტრასის პროფილის ან მისი სამგანზომილებიანი სურათის მოცემული სიზუსტით აღდგენა. შესაბამისად განიხილავენ **2D** და **3D** მეთოდებს. **2D** მეთოდისათვის პროფილი წარმოადგენს ბრტყელ სურათს, ხოლო **3D** მეთოდისათვის განიხილავენ ან ფრენელის პირველი ზონის მოცულობას ან ისეთ მოცულობას, რომელიც იძლევა მიღების წერტილში მრავალი გზიდან სიგნალის მოსვლის შესაძლებლობის გათვალისწინების საშუალებას ("ტრასული" მრავალსხივიანობა). დღეისათვის უფრო მეტად გავრცელებულია **2D** მეთოდები [7]. ღია სივრცის პირობებისათვის აიგება ტრასის პროფილი, ამასთან რეალური წინაღობები აპროქსიმირდება ცნობილი გეომეტრიული ფიგურებით (ნახევრად უსასრულო პარაბოლები, ცილინდრები და კლინები, რომლებსაც შეესაბამება სიგნალის მიღების სიდიდის ანგარიშის სხვადასხვა სიზუსტე და სიჩქარე). შემდეგ ცნობილი ფორმულებით იანგარიშება სიგნალის შესუსტება თითოეული წინაღობისათვის და კომბინირდება მიღებული შედეგები. ანგარიშის უდიდესი სიჩქარისას უმცირეს სიზუსტეს იძლევა წინაღობათა აპროქსიმაცია კლინით.

საბაზო სადგურსა და **სბმმ**-ს შორის პირდაპირი ხედვის არსებობა ან არარსებობა განისაზღვრება ტრასაზე სიგნალის გავრცელების გეომეტრიული თანაფარდობებით.

აღნიშნულ ორივე შემთხვევაში ადგილმდებარეობის ციფრული რუკის გამოყენება იძლევა მოძრავი რადიოკავშირის სისტემის განლაგების გეოგრაფიულ რაიონში ატმოსფეროს რეფრაქციის მდგომარეობის გათვალისწინების საშუალებას, რაც წარმოადგენს **ბის**-ტექნოლოგიის უდაო უპირატესობას კავშირის ხარისხზე ადგილმდებარეობის მორფოლოგიის გავლენის გათვალისწინების დღეისათვის გამოყენებულ სტატისტიკურ მეთოდებთან შედარებით. მაგალითად, **ბის**-ტექნოლოგიის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება **სბმმ**-ში ხარისხიანი კავშირის ალბათობის ზედა და ქვედა საზღვრების ანგარიში ატმოსფეროს რეფრაქციის პირობების მიხედვით.

გლობალური ზონის ფარგლებში ველის დონის ფლუქტუაციების მისი მედიანური მნიშვნელობიდან საშუალოკვადრატული გადახრა განისაზღვრება **სბმმ**-ის ფარგლებში განფენილი ზედაპირის ტიპის კლასიფიკაციის მიხედვით. მაგალითად, **სბმმ**-ის ფარგლებში ხარისხიანი მოძრავი რადიოკავშირის ალბათობის პროგნოზირების თვალსაზრისით განფენილი ზედაპირის ნომე-

ნკლატურა შეიძლება შეიცავდეს დაბლობს, ტყეს, წყლის ზედაპირს, დასახლებულ პუნქტს, ჭაობს და ა.შ.. განფენილი ზედაპირის ტიპების ნომენკლატურის შემადგენლობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომლებიც ახასიათებენ **სბმმ**-ში განფენილი ზედაპირის ტიპის გავლენის ხარისხს რადიოხაზის პარამეტრებზე. გავლენის ფაქტორები შეიძლება იყოს სისწორეთა დიაპაზონი, სიგნალის სახე (ანალოგური თუ დისკრეტული) და კავშირის ხარისხისა და ალბათობის ამადლებისათვის გამოყენებული მეთოდები.

აღნიშნული მითოდები იძლევა აგრეთვე მიღების წერტილში "სიგნალის ასლის" დიდი დაყოვნებით მოსვლის შესაძლებლობის გამოვლენის საშუალებას და ისინი აქტუალურია რთულრელიეფიანი ადგილებისათვისა და ქალაქის თანაბარი სიმაღლის განაშენიანებისათვის (დასახლებისათვის).

ქალაქის პირობებისათვის ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირის (**შსპ**) მიერ რეკომენდირებულია **Walfisch-Ikegami** მოდელის გამოყენება, რომელშიც შეხამებულია **2D** და **3D** მეთოდები. კერძოდ, მეთოდი **Walfisch** უზრუნველყოფს **2D** კომპონენტს, ხოლო **Ikegami** – **3D**-ს. **Walfisch** მეთოდი მდგომარეობს ამაში, რომ მიღების წერტილში იგი ითვალისწინებს ტრასაზე გავრცელების შემდეგ მექანიზმებს: ველის დიფრაქცია შენობებზე, რომელთა აპროქსიმირება ხდება ექვიდისტანტური მესერიით (ტრასის გავლენა) – **Flat Edge Model**, ტრასაზე არსებული ბოლო შენობის ნაპირზე ველის დიფრაქცია და მისი არეკვლა მოპირდაპირე შენობიდან (ადგილობრივი პირობების გავლენა). მოდელში გამოიყენება ტრასაზე არსებულ შენობათა სიმაღლისა და გზების სიგანის გასაშუალებელი მნიშვნელობები. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ მოდელი სიზუსტეს კარგავს ტრასის ამადლების დიდი და ძალიან მცირე კუთხისა და ტრასაზე არსებული შენობების სიმაღლეთა მნიშვნელოვანი ცვლილებისას. გარდა ამისა, ქუჩის მოპირდაპირე შენობის კედლიდან ველის არეკვლის კოეფიციენტის ექსპერიმენტული მნიშვნელობები იცვლება 2...15 დბ-ის საზღვრებში. საერთო მოდელის მოცემული ნაწილი გადამუშავებულია და ითვალისწინებს ტრასაზე თანაბარი სიმაღლის შენობების არსებობას. მოდელში **Ikegami** –ის წვლილი მდგომარეობს იმაში, რომ იგი ითვალისწინებს მიღების წერტილში სიგნალის მიღებას რამოდენიმე გზით სიგნალების ასლების შემდგომი აჯამებით ("ტრასული" მრავალსიხვიანობა).

გეოინფორმაციული სისტემა (**ბოს**) გამოიყენება რადიოსიხშირული სპექტრის მართვის სისტემებში. კერძოდ, ფირმა **AURSTAR** –ის (აშშ) მიერ

დამუშავებულია **ბისი**, რომელიც განკუთვნილია რადიოსიხშირული სპექტრის მართვისა და რადიომონიტორინგის ქსელის ორგანიზებისათვის. სისტემის კომპიუტერული ქსელი მოიცავს მრავალ მომხმარებელს რეგიონალური დონიდან სამთავრობო ორგანიზაციამდე, რომელიც პასუხისმგებელია რადიოსპექტრის გამოყენებაზე. სისტემაში დამახსოვრებულია ინფორმაცია ადგილმდებარეობის ციფრული რუკის სახით, რომელიც იძლევა წარმოდგენას ადგილმდებარეობის ტოპოგრაფიის, განფენილი ზედაპირის ტიპის, კავშირგაბმულობის სისტემების (თანამგზავრული კავშირის მიწისპირა სადგურები, თანამგზავრული ორბიტები, მობილური და ფიჭური სისტემების საბაზო სადგურები, რადიო და სატელევიზიო მაუწყებლობის გადამცემები და სხვა) დისლოკაციის (განლაგების ადგილების), კავშირგაბმულობის ქსელების მომსახურების ზონების, ხელშეშლებისა და სხვათა შესახებ.

რადიოსიხშირული სპექტრის მართვის სისტემების წინაშე მდგომ ერთ-ერთ ამოცანას წარმოადგენს ტექნიკური ექსპერტიზის ამოცანა სიხშირული მიკუთვნებისათვის გაკეთებულ განაცხადზე, რომელიც საზოგადოდ შეიცავს სხვადასხვა რადიოელექტრონული სისტემების მომსახურების ზონების ანგარიშის ამოცანას. სიხშირულ მიკუთვნებაზე განაცხადის ტექნიკური ექსპერტიზის მთავარი მიზანია ექსპლუატაციაში შესაყვანი კავშირგაბმულობის სისტემების მოცემული ჯგუფის მომქმედ სისტემებთან ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ანალიზის ჩატარება და რეკომენდაციების შემუშავება რადიოსიხშირული სპექტრის გამოყენებისათვის, რაც მიიღწევა სხვადასხვა რადიოელექტრონული სისტემების ერთდროული ფუნქციონირების პროცესების მოდელირებით ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე (**მბმ**).

მოდელები შეიცავს დეტერმინირებულ ან სტატისტიკურ პარამეტრებს, რომლებიც ახასიათებენ რადიოელექტრონულ სისტემებსა და რადიოტალღების გავრცელების ტრასებს. გადამცემების მოდელები შეიცავს მონაცემებს ძირითადი გამოსხივების (სიმძლავრე და სიხშირული მახასიათებლები) შესახებ, აგრეთვე მონაცემებს ზოლსგარეშე და გვერდითი გამოსხივებების შესახებ და სხვა. მიმღებების მოდელებში გათვალისწინებულია მონაცემები მუშა სიხშირისა და სიხშირული ამორჩევადობის შესახებ ძირითადი არხის მიხედვით, აგრეთვე გვერდითი არხების მიხედვით ამორჩევადობის, ბლოკირებისა და ინტერმოდულაციის მახასიათებლებს. იმის გამო, რომ მიმღებების სტრუქტურული სქემები და ელემენტური ბაზა მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მათი მოდელების შესახებ მასალები ითვალისწინებენ ზოგიერთი პარამეტრის გან-

საზღვრას ნატურული გამოცდების საშუალებით. გადამცემებისა და მიმღებების ანტენების მოდელები შეიცავს მონაცემებს ანტენის პოლარიზაციისა და მიმართულების დიაგრამის შესახებ ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში, აგრეთვე მონაცემებს პოლარიზაციული განმხილვების შესახებ. ტრასაზე დანაკარგების მოდელი სიხშირულ დიაპაზონზე დამოკიდებულებით ითვალისწინებს სიგნალის გავრცელების სხვადასხვა მექანიზმებს და განფენილი ზედაპირის მახასიათებლებს.

## 19. რადიოკავშირის ქსელების დაფარვის ზონების პროგნოზის მეთოდების ზოგადი დახასიათება

მობილური კავშირის ქსელების დაპროექტებისას ქსელის დაფარვის ზონა განისაზღვრება სტატისტიკური და დეტერმინირებული მეთოდების საფუძველზე, რომლებიც ითვალისწინებენ ქსელის გაშლის გეოგრაფიული რაიონის აღმწერ პარამეტრებს.

პროგნოზის სტატისტიკური მეთოდები, რომლებიც ეყრდნობა რეალური სიგნალის გაზომვების პრეზენტაციულ ამორჩევას, მრავალი ფირმისა და ოპერატორის პრაქტიკაში დიდი ხნის განმავლობაში წარმოადგენდა ძირითად მეთოდებს და მათ დღემდეც არ დაუკარგავთ თავისი აქტუალობა. სტატისტიკური მეთოდების თანახმად დაფარვის ზონები მოდელირდება წრიო, რომლის რადიუსი შეესაბამება მის საზღვარზე ხარისხიანი კავშირის გლობალური ზონების მოცემულ პროცენტს, ან კიდევ დაფარვის ზონების საზღვარი განისაზღვრება როგორც **სბმმ**-ში საბაზო სადგურიდან აზიმუტური კუთხის მიხედვით დაშორებული წერტილების ერთობლიობა იმ საზღვრამდე, სადაც კავშირის ხარისხის მაჩვენებლები მიაღწევს თავის ზღვრულ მნიშვნელობებს.

პროგნოზის დეტერმინირებული მეთოდები ემყარება საბაზო სადგურიდან **სბმმ**-დე სიგნალის გავრცელების ტრასაზე წინაღობათა გავლენის ფაქტორებისა და ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებას **სბმმ**-ში. თუ შემოვიფარგლებით ენერგეტიკული მოდელით მობილური კავშირის რადიოსაზში, მაშინ გლობალურ ზონაში სიგნალის ამპლიტუდის ფლუქტუაცია განისაზღვრება ველის მედიანური მნიშვნელობით, მისი ფლუქტუაციების საშუალოკვადრატული გადახრითა და პარამეტრით, რომელიც ახასიათებს პირდაპირი ხედვის პირობების არსებობას ან არარსებობას საბაზო სადგურის ანტენების ფაზურ ცენტრებსა და აბონენტს შორის ინტერვალზე გავრცელების პირობების მიხედვით.

ქსელების დაგეგმარებისა ბის-ტექნოლოგიების გამოყენება იძლევა მოძრავი აბონენტების ადგილმდებარეობის კონკრეტული პირობებისა და რადიოკავშირის ტრასაზე გავრცელების არის უფრო ზუსტად მოდელირების საშუალებას.

## 20. დაფარვის ზონების პროგნოზის მეთოდები სიბნალის ველის დაძაბულობის სტატისტიკური მოდელის საფუძველზე

მოძრავი რადიოკავშირის ქსელებში სიბნალის ველის დაძაბულობა, არის რა შემთხვევითი პროცესი ადგილმდებარეობის მიხედვით და დროში, აპროქსიმირდება ლოგარითმულად ნორმალური კანონით, რომლის პარამეტრებსაც წარმოადგენენ ველის დაძაბულობის მედიანური მნიშვნელობა ადგილმდებარეობის მიხედვითა და დროში (დბ (მკვ/მ)) და სტანდარტული გადახრა (დბ მედიანასთან შედარებით).

სიბნალის ველის დაძაბულობის მედიანური მნიშვნელობა განისაზღვრება ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირის (მსკ) 370-ე და 529-ე "გავრცელების მრუდების" რეკომენდაციების საშუალებით, რომლებიც წარმოადგენენ შემდეგ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას.

$$E_0 = f(R, F, h_1, T), \quad (1)$$

სადაც:  $R$  – ტრასის სიგრძეა, კმ;  $F$  – მუშა სიხშირეა (სიხშირეთა დიაპაზონი), მგჰც;  $h_1$  – გადამცემი ანტენის ეფექტური სიმაღლეა, მ;  $T$  – დროა, რომლის განმავლობაშიც ველის დაძაბულობა აღემატება პროგნოზირებად დონეს, %.

ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანის (მბმ) გამოყენებით ანგარიშების ჩატარებისათვის აუცილებელია გავრცელების მრუდების აპროქსიმირება. ამ მიზნით მიზანშეწონილია თავისუფალ ბოლოებიანი კუბური სპლაინების გამოყენება, რაც იძლევა მრუდების აღწერის საჭირო სიზუსტეს მცირე რაოდენობის საწყისი მონაცემების შემთხვევაში.

გავრცელების მრუდები წარმოადგენს 1 კვტ სიმძლავრის წყაროს მიერ წარმოქმნილი ველის დაძაბულობის დონეების სხვადასხვა პარამეტრებზე დამოკიდებულების გრაფიკებს, რომლებიც დროის სხვადასხვა პროცენტისათვის (50, 10, 5, 1%) აღემატება ადგილმდებარეობის 50%-ს (200x200 მ ზომის ნებისმიერი ზონის ფარგლებში). ზოგი მათგანი განეკუთვნება სახმელეთო ტრასებს, ხოლო დანარჩენები – საზღვაოს. გაზომ-

ველის უმრავლესობა ტარდება 500 კმ-ზე ნაკლები მანძილისათვის ხანგრძლივი დროის (რამდენიმე წელი) განმავლობაში და ისინი შეიძლება ჩაითვალოს გასაშუალოებული კლიმატური პირობების მონაცემებად. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ დროის მოკლე პერიოდისათვის (მაგალითად, რამდენიმე საათი ან დღე) ველის დაძაბულობები შეიძლება გაცილებით მეტი იყოს აღნიშნულ მრუდებზე წარმოდგენილ მონაცემებთან შედარებით. აღნიშნული მრუდებით მიღებული მონაცემები დიდი მანძილისათვის ნაკლებად საიმედოა. პუნქტირით წარმოდგენილი მრუდები ასრულებს საერთო ორიენტირის როლს ველის დაძაბულობის ალბათური მნიშვნელობებისათვის. გავრცელების მრუდები, რომლის ნიმუში წარმოდგენილია მე-20 ნახაზზე, შეესაბამება გადამცემი ანტენის სხვადასხვა ეფექტურ  $h_1$  სიმაღლეს (37,5-დან 1200 მ-დე) და 10 მ სიმაღლის მიმღებ ანტენას, ამასთანავე გადამცემი ანტენის ეფექტური სიმაღლის ყოველი მომდევნო მნიშვნელობა ორმაგდება წინა მნიშვნელობასთან შედარებით. სახმელეთო ტრასების მრუდები შეესაბამება  $\Delta h=50$  მ-ს.

კონკრეტული ტრასისათვის ველის დაძაბულობას ანგარიშობენ ფორმულით

$$E=E_0(R,F, h_1,T) + P - 30 + G(\alpha) + K_{h2} + K_{\Delta h} + K_{terra} + K_0(\theta) + K_{\Delta N}, \quad (2)$$

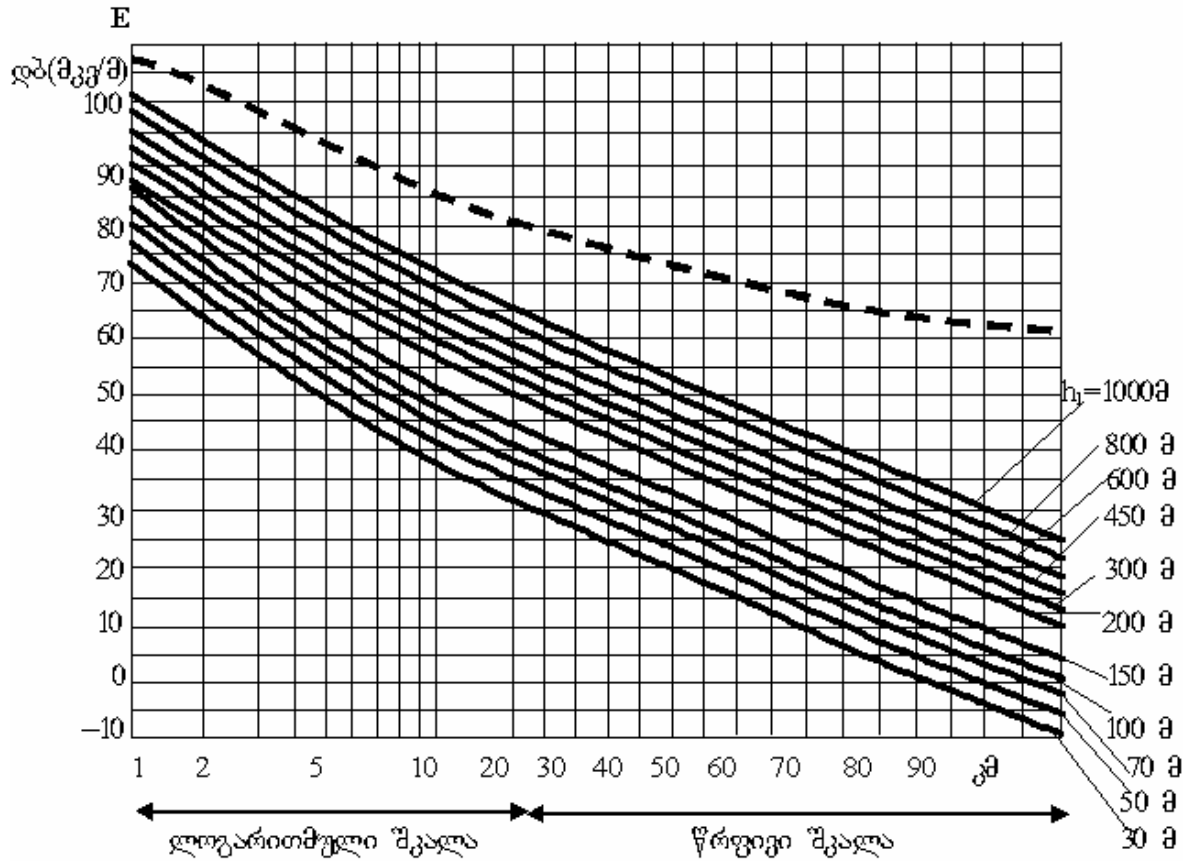
სადაც:  $P$  – გამოსხივებული სიმძლავრეა, დბ-ში (ვტ-ში);  $G(\alpha)$  – გადამცემი ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტია დეციბელებში იმ მიმართულებით, რომელიც განისაზღვრება  $\alpha$  კუთხით;  $K_{\Delta h}$  – ადგილმდებარეობის არათანაბრობის ხარისხზე დამოკიდებული კოეფიციენტია დეციბელებში;  $K_{h2}$  – მიმღები ანტენის სიმაღლეზე და მიღების ზონაში ადგილმდებარეობის თავისებურებებზე დამოკიდებული კოეფიციენტია დეციბელებში;  $K_{terra}$  – იმ პუნქტების პროცენტულ რაოდენობაზე დამოკიდებული კოეფიციენტია დეციბელებში, რომლებისთვისაც ველის დაძაბულობა აღემატება პროგნოზირებად დონეს;  $K_0$  – კოეფიციენტია დეციბელებში, რომელიც დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის გამჭოლ  $\theta$  კუთხეზე (გრადუსებში);  $K_{\Delta N}$  – კოეფიციენტია დეციბელებში, რომელიც ითვალისწინებს კლიმატურ ზონებს. გადამცემი ანტენის ეფექტური სიმაღლე  $h_1$  (ნახ. 21) განისაზღვრება როგორც ანტენის სიმაღლე ადგილმდებარეობის საშუალო დონიდან გადამცემიდან 3...15 კმ-ის არეში მიმღების მიმართულებით (ვენის ხელშეკრულებით გასაშუალოების არეა 1...15 კმ).

$$h_1 = h_n - h_m, \quad (3)$$

სადაც:  $h_1$  – ცენტრალური ანტენის ეფექტური სიმაღლე მეტრებში;  $h_n$  – ანტენის ფიზიკური სიმაღლე ზღვის დონიდან (მეტრებში);  $h_m$  – ადგილმდებარეობის საშუალო სიმაღლე მეტრებში.

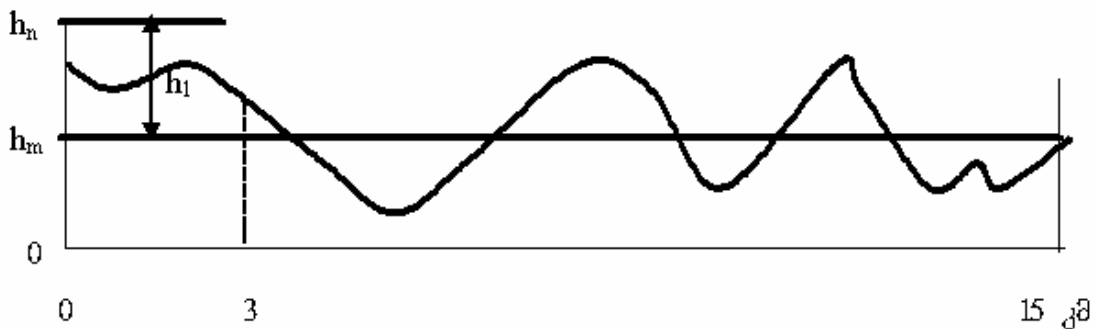
ადგილმდებარეობის საშუალო სიმაღლე

$$h_m = \sum_{i=0}^{48} / 49 . \quad (4)$$



ნახ. 20. გაერცელების მრუდები ქალაქის პირობებისათვის.

სიხშირე  $\approx 900$  მჰც. დროის 50%



ნახ. 21. გადამცემა ანტენის ეფექტური სიმაღლის განსაზღვრა

$h_1$ -ის გამოსათვლელად გამოყენებული უნდა იქნას სიმაღლეები (3000+250i) მეტრი გადამცემიდან მიმღების მიმართულებით. მოკლე ტრასებისათვის (10 კმ-ზე ნაკლები) სიმაღლეთა "სწრაფი" ცვლილებისას რეკომენდირებულია სიმაღლეთა ათვლის ბიჯის შემცირება. თუ ტრასა გადამცემიდან მიმღებამდე 15 კმ-ზე ნაკლებია, მაშინ მხედველობაშია მისაღები მხოლოდ რეალური მანძილი მიმღებამდე.

გადამცემი ანტენის ეფექტური  $h_1$  სიმაღლისათვის, როდესაც  $0 < h_1 < 37,5$  მ, ველის დაძაბულობა გადამცემიდან  $x$  მანძილზე აიღება ისეთივე, როგორც 37,5 მ სიმაღლისათვის ( $x + 25 - 4,1\sqrt{h_1}$ ) კმ მანძილზე. ეს პროცედურა სამართლიანია ისეთი მანძილებისათვის, რომლებიც რადიოჰორიზონტის გარეთ გადის და რომლებიც განისაზღვრება როგორც  $4,1\sqrt{h_1}$  კმ. უფრო მოკლე მანძილებისათვის ველის დაძაბულობის მნიშვნელობათა მისაღებად საჭიროა:

1. გამოთვლილ იქნას სხვაობა  $h_1$  სიმაღლის ტრანსჰორიზონტალური ტრასების შესაბამის ველის დაძაბულობასა და იმ მნიშვნელობას შორის, რომელიც გადაღებულია მრუდის საშუალებით 37,5 მ სიმაღლისა და იმავე მანძილისათვის.

2. წინა პუნქტის მიხედვით გამოთვლილი სხვაობის აბსოლუტურ მნიშვნელობა გამოაკლდეს  $h_1 = 37,5$  მ-სათვის მრუდის მიხედვით გამოთვლილი ველის დაძაბულობის მნიშვნელობას რეალურად განსახილველი მანძილისათვის.

ყოველივე ეს შეიძლება გამოისახოს შემდეგი გამოსახულებით:

$$E(x, h_1) = \begin{cases} E((x + 25 - 4,1\sqrt{h_1}), 37,5) & x \geq 4,1\sqrt{h_1} - \text{სათვის} \\ E(x, 37,5) - E(4,1\sqrt{h_1}, 37,5) + E(25, 37,5) & x < 4,1\sqrt{h_1} - \text{სათვის} \end{cases} \quad (5)$$

სადაც  $E(x, h_1)$  ველის დაძაბულობაა (დბ (მკვტ/მ))  $x$  (კმ) მანძილისათვის და გადამცემი ანტენის ეფექტური  $h_1$  (მ) სიმაღლისათვის.

გადამცემი ანტენის ეფექტური  $h_1$  სიმაღლისათვის, რომელიც აღემატება 1200 მ-ს, გადამცემიდან  $x$  მანძილზე ველის დაძაბულობა აიღება ისეთივე, როგორც მრუდით განსაზღვრული ველის დაძაბულობა  $h_1 = 1200$  მ-სათვის ( $x + 140 - 4,1\sqrt{h_1}$ ) კმ მანძილზე, რაც სამართლიანია რადიოჰორიზონტს ( $4,1\sqrt{h_1}$  კმ) გაცილებული მანძილებისათვის. უფრო მოკლე მანძილებისათვის ველის დაძაბულობის გამოსათვლელად საჭიროა:

1. გამოთვლილ იქნას სხვაობა  $h_1$  სიმაღლის ტრანსჰორიზონტალური ტრასების შესაბამის ველის დაძაბულობასა და იმ მნიშვნელობას შორის, რომელიც გადაღებულია მრუდის საშუალებით 1200 მ სიმაღლისა და იმავე მანძილისათვის.

2. წინა პუნქტის მიხედვით გამოთვლილი სხვაობის აბსოლუტურ მნიშვნელობა დაემატოს  $h_1 = 1200$  მ-სათვის მრუდის მიხედვით გამოთვლილი ველის დაძაბულობის მნიშვნელობას რეალურად განსახილველი მანძილისათვის.

ეს გამოისახება შემდეგი გამოსახულებით:

$$E(x, h_1) = \begin{cases} E((x + 140 - 4,1 \sqrt{h_1}), 1200) & x \geq 4,1\sqrt{h_1} - \text{სათვის} \\ E(x, 1200) - E(4,1\sqrt{h_1}, 1200) + E(140, 12000) & x < 4,1\sqrt{h_1} - \text{სათვის} \end{cases} \quad (6)$$

ველის დაძაბულობის მიღებული მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს ველის დაძაბულობას თავისუფალი სივრცისათვის:

$$E_{L-rec.Space} = 77,2 + P - Lg(R), \text{ დბ (მკვტ/მ)}, \quad (7)$$

სადაც  $P$  – გამოსხივებული სიმძლავრეა დეციბელებში - დბ (ვატებში – ვტ).

გადამცემი ანტენის ეფექტური სიმაღლის უარყოფითი მნიშვნელობებისათვის აუცილებელია შემასწორებელი კოეფიციენტის გამოყენება, რომელიც დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის გამჭოლ კუთხეზე. იმ შემთხვევაში, როდესაც არსებობს ადგილმდებარეობის ციფრული რუკა, გადამცემის მიერ უზრუნველყოფილი გამჭოლი კუთხე გადამცემი ანტენის ეფექტური სიმაღლის უარყოფითი მნიშვნელობებისათვის უნდა გამოითვალოს ნებისმიერ შემთხვევაში. შემდეგ კი ეგრეთ წოდებული კორექციის კოეფიციენტის მრუდის საშუალებით მიიღება შესაბამისი შემასწორებელი (მაკორექტირებელი) კოეფიციენტი. იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არსებობს მონაცემთა ბაზა, მაშინ შემასწორებელი კოეფიციენტის მიახლოებითი მნიშვნელობა შეიძლება გამოითვალოს ანტენის ეფექტური სიმაღლის ანგარიშიდან, რომლის საშუალებითაც ვლინდება ადგილმდებარეობის გამჭოლი კუთხე.

ადგილმდებარეობის გამჭოლი კუთხე მოცემული გადამცემისათვის, რომლის ანტენის ეფექტური სიმაღლეა  $h$  (მ) ( $h$  უარყოფითია) ტოლია

$$\theta = \text{arc tg} (h / 9000). \quad (8)$$

ადგილმდებარეობი არათანაბრობის ხარისხი  $\Delta h$  განისაზღვრება როგორც სხვაობა ისეთ სიმაღლეებს შორის, რომლებიც 10 და 90%-ით აღემატება გადამცემიდან მიმღების მიმართულებით ტრასის 10-დან 50 კმ-დე სიგრძის მონაკვეთს. თუ გადამცემსა და მიმღებს შორის ტრასის სიგრძე 50 კმ-ზე ნაკლებია, მაშინ ანგარიშისას გათვალისწინებული უნდა იქნას მხოლოდ რეალური (ნამდვილი) მანძილი მიმღებამდე. სახმელეთო ტრასებისათვის გავრცელების მრუდები ჩვეულებრივ აიგება  $\Delta h=50$  მ-სათვის. თუ ადგილმდებარეობის არათანაბრობის ხარისხი განსხვავდება 50 მ-საგან, მაშინ ველის დაძაბულობისათვის შემოაქვთ შემასწორებელი (მაკორექტირებელი) კოეფიციენტები 80-დან 250 მმ-დე და 450-დან 1000 მმ-დე.

80-დან 250-დე მმ დიაპაზონში შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდეგი ფორმულები:

$$K = \begin{cases} d(R - 10) / 40, & \text{თუ } 10 \leq R < 50 \\ d, & \text{თუ } 50 \leq R < 100 \\ d/2 + (d - d/2)(200 - R)/100, & \text{თუ } 100 \leq R < 200 \\ d/2, & \text{თუ } 200 \leq R \end{cases} \quad (9)$$

სადაც:

$$d = \begin{cases} 18,3 \text{ Lg} (\Delta h / 50) & \Delta h > 50 - \text{თვის} \\ 10 \text{ Lg} (\Delta h / 50) & \Delta h < 50 - \text{თვის} \end{cases} \quad (10)$$

450-დან 1000 მმ-დე დიაპაზონში შემასწორებელი კოეფიციენტის ანგარიშისათვის (9) გამოსახულებით ჩატარებული ანგარიშის შედეგი უნდა გამრავლდეს 1,5-ზე.

ადგილმდებარეობის არათანაბრობით ( $\Delta h$ ) გამოწვეული შესწორებები მნიშვნელოვან შეცდომებს იწვევს შემდეგ სიტუაციებში:

– გავრცელების არეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჰორიზონტალურისაგან;

– გავრცელების არეებში მოქცეულია ღრმა ველები;

– გავრცელების არეები შეიცავს ადგილმდებარეობის რელიეფის ერთ დომინირებულ არაერთგვაროვნებას ( მაგალითად, მხოლოდ ერთადერთ მთას).

ეს შემთხვევები, როგორც წესი, იწვევს  $\Delta h$ -ის გაზრდას და ხელშემწყობი სიგნალის ველის დაძაბულობის შეუფასებლობას.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გარკვეულ ზონებში (მაგალითად, მიღების მცირე ზონაში) ველის დაძაბულობის პროგნოზირებისათვის საჭიროა მაღალი სიზუსტე, მაშინ შეიძლება გავითვალისწინოთ შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის გამჭოლ  $\theta$  კუთხეზე. ადგილმდებარეობის გამჭოლი კუთხის სხვადასხვა შესაბამის შემასწორებელ კოეფიციენტს ითვალისწინებენ (2) ფორმულით ანგარიშის ჩატარებისას და მათ სიხშირეთა ძალზე მაღალი (ძმს) და ულტრამაღალი (უმს) დიაპაზონებისათვის პოულობენ შესაბამისად შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$K_{\theta} = 1,2 - 20 \text{ Lg} (\sqrt{(-35,6 \theta - 0,1)^2 + 1} - 35,6 \theta - 0,1) \quad \text{და}$$

$$K_{\theta} = 8 - 20 \text{ Lg} (\sqrt{(-93,1 \theta - 0,1)^2 + 1} - 93,1 \theta - 0,1), \quad (11)$$

სადაც  $\theta$  – ადგილმდებარეობის გამჭოლი კუთხეა რადიანებში.

ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია როგორც მიმღები ანტენის სიმაღლეზე, ასევე იმ ადგილმდებარეობის ხასიათზე, რომელიც აკრავს მას (სოფლის, გარეუბნის, ქალაქის ზონები). მიმღები ანტენის სიმაღლე განისაზღვრება როგორც ანტენის დაყენების წერტილში მისი გამოსხივების ცენტრის სიმაღლე ადგილმდებარეობის დონესთან შედარებით. (2) გამოსახულების მიხედვით ველის დაძაბულობის გამოსათვლელად მიმღები ანტენის 1,5-დან 40 მ-დე ( $1,5 \leq h_2 \leq 40$  მ) სიმაღლის შემთხვევაში შემასწორებელი  $K_{h_2}$  კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$K_{h_2} = (c \cdot 20 \text{ Lg} (h_2 / 10)) / 6, \quad \text{დბ} \quad (12)$$

სადაც  $c$  – ს მნიშვნელობები მოცემულია მე-10 ცხრილში.

ცხრილი 10

| ზონა      | c, დბ |     |
|-----------|-------|-----|
|           | ძმს   | უმს |
| სოფლის    | 4     | 4   |
| გარეუბნის | 5     | 6   |
| ქალაქის   | 6     | 8   |

ცნობილია, რომ ველის საშუალო დაძაბულობა სხვადასხვა კლიმატურ რეგიონში სხვადასხვაა. შეიმჩნევა ველის საშუალო დაძაბულობისა და დედამიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროს 1-ელ კილომეტრზე რეფრაქციის ინდე-

ქსის გრადიენტს შორის კორელაცია (კავშირი). თუ რეფრაქციის  $\Delta N$  კოეფიციენტი განსახილველი რეგიონისათვის მნიშვნელოვნად განსხვავდება 40-საგან, მაშინ ველის დაძაბულობის გამოსათვლელად საჭიროა შესაბამისი შემასწორებელი კოეფიციენტის გათვალისწინება.

$$K_{\Delta N} = 0,5 (\Delta N - 40) \quad \text{დბ.} \quad (13)$$

მომსახურების ზონის პროგნოზირების მეთოდების დანიშნულება იმაში მდგომარეობს, რომ უზრუნველყოფილი იყოს მიღების პირობების მუდმივობა მთელ მოცემულ არეში და არა მარტო რომელიმე ცალკეულ წერტილში. ასეთი მუდმივობა კი დამოკიდებულია განსახილველი ზონის ზომებზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც რადიოტრასის ერთი ბოლო ფიქსირებულია, ხოლო მეორე – მოძრავი (მაგალითად, ფიჭური კავშირის შემთხვევა), მაშინ დანაკარგები ტრასაზე მუდმივად იცვლება მოძრავი ბოლოს ადგილმდებარეობის ცვლილებასთან ერთად გარეშე შემოქმედებათა ყველა მრავალსახეობის შესაბამისად. მოსახერხებელია ამ შემოქმედებათა დაყოფა სამ ძირითად კატეგორიად:

**ცვლილებები, რომლებიც დაკავშირებულია მრავალსხივურ გავრცელებასთან.** სიგნალის ცვლილებები ხდება ტალღის სიგრძის შესაბამის მანძილებზე მრავალსხივური გავრცელების ეფექტთან კავშირში (მაგალითად, დედამიწის ზედაპირიდან, შენობებიდან და სხვა ობიექტებიდან არეკვლის გამო).

**ცვლილებები, რომლებიც დაკავშირებულია დედამიწის ზედაპირზე არსებულ ლოკალურ დაბრკოლებებთან.** ამ შემთხვევაში სიგნალის ცვლილებები ხდება დედამიწის ზედაპირზე არსებული ლოკალური დაბრკოლებების (მაგალითად, შენობები, შენობათა მასშტაბის შესაბამისი ხეები და სხვა) გამო. ეს ცვლილებები, როგორც წესი, გაცილებით დიდია, ვიდრე მრავალსხივური გავრცელებით გამოწვეული ცვლილებები.

**ტრასის პროფილის თავისებურებებით განპირობებული ცვლილებები.** ამ შემთხვევაში ცვლილებები ხდება გავრცელების მთელ ტრასაზე გეომეტრიულ ცვლილებათა (მაგალითად, გორაკების არსებობა და სხვა) გამო. მთლიანობაში, თუ არ გავითვალისწინებთ ძალიან მოკლე ტრასებს, ამ ცვლილებების მასშტაბი გაცილებით მეტია ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე არსებული დაბრკოლებებით გამოწვეული ცვლილებები.

მოძრავი ბოლოს (ობიექტის) ადგილმდებარეობის არამუდმივობა ჩვეულებრივ ფასდება 100x200 მ ზომის მართკუთხა ზონებისათვის. ზოგჯერ აყენებენ აგრეთვე დამატებით პირობას, რომ ზონა იყოს ბრტყელი.

უნდა აღინიშნოს, რომ სისშირეთა ზოლის 1,5 მმ სიგანის ფართოხოლოვანი ციფრული სისტემების შემთხვევაში შესაბამისი სიგნალები ანალოგურ სისტემებთან შედარებით ნაკლებად განიცდის ცვლილებებს.

კოეფიციენტი  $K_{terra}$ , რომელიც დამოკიდებულია მიღების პუნქტების მოცემულ პროცენტზე, გამოითვლება გამოსახულებით

$$K_{terra} = 0,5400653357 + (LgT - \frac{2,51551 + 0,802853 \sqrt{LgT} + 0,010328 LgT}{1 + 1,43278 \sqrt{LgT} + 0,189269 LgT + 0,001308 LgT \sqrt{LgT}}).$$

(14)

300 მმ-ზე მაღალი სისშირეებისა და  $\Delta h > 50$  მ-თვის  $K_{terra}$  კოეფიციენტის ნაპოვნი მნიშვნელობა უნდა გამრავლდეს  $Lg(\Delta h / 5)$ -ზე.

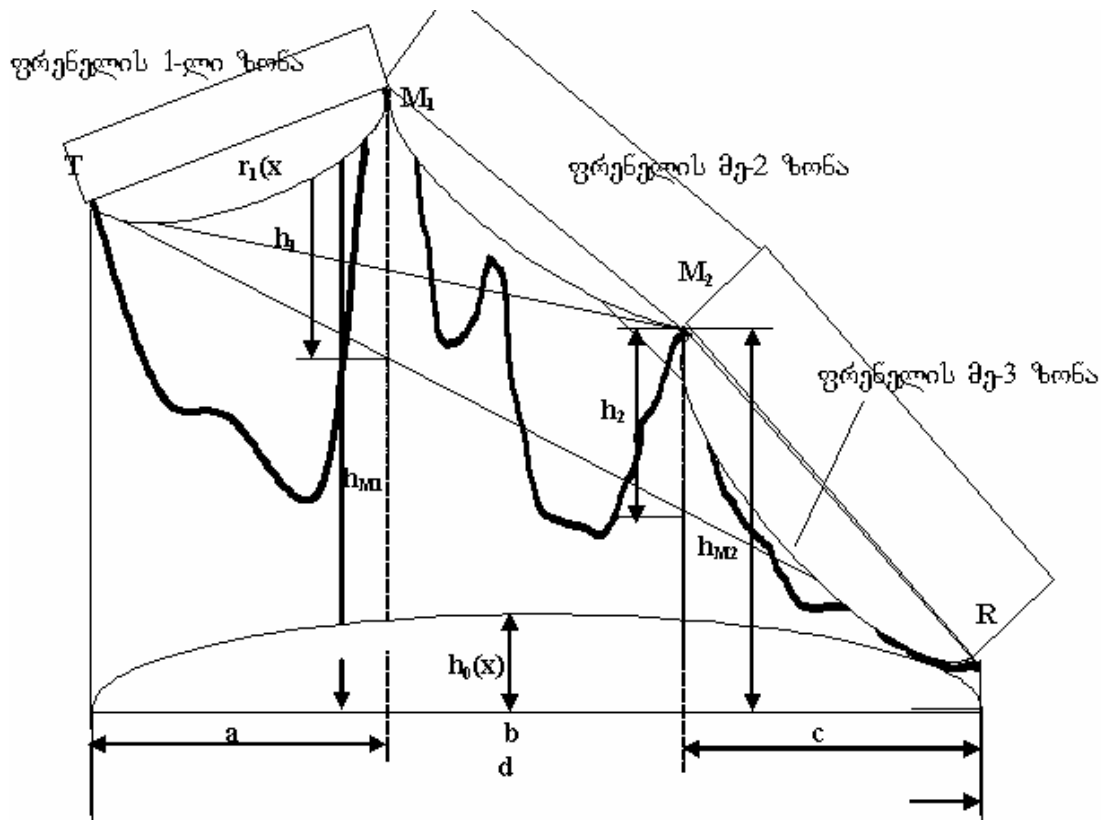
უნდა აღინიშნოს, რომ (2) გამოსახულებით გამოთვლილი და სხვადასხვა ტრასებისათვის გაზომილი ველის დაძაბულობის მნიშვნელობები მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

## 21. ღაზარვის ზონების ანბარიშის მეთოდის სიბნალის ველის დაძაბულობის დეტერმინირებული მოდელის საფუძველზე

დეტერმინირებული მეთოდები მოითხოვს საბაზო და სააბონენტო სადგურებს შორის ტრასის პროფილის აგებას კავშირის დამყარების ყოველი შესაძლო პოზიციისათვის და პრაქტიკული დანართებისათვის – აგრეთვე გამოთვლების ავტომატიზაციას ბის-ის გამოყენებით ადგილმდებარეობის ციფრული რუკების საფუძველზე. ველის დაძაბულობის პროგნოზირების მეთოდი ეფუძნება დიფრაქციის ზოგად თეორიას და იგი ითვალისწინებს ერთი ან ორმწვერვალიანი ადგილმდებარეობის დაბრკოლებით გამოწვეულ დიფრაქციულ დანაკარგებს.

თავდაპირველად მონაცემთა კარტოგრაფიული ბაზის დახმარებით უნდა აიგოს გადამცემისა და მიმღების ანტენებს შორის არსებული ტრასის პროფილი (ნახ. 22). თუ მორფოლოგია (ტყე, ნაგებობები და სხვა) არაა ცნობილი, მაშინ 1000-დან (d-1000) მ-დე არსებულ სიმაღლეებს უნდა დაემატოს 10 მ. ანგარიშისას საჭიროა  $h_0(x)$  სიდიდის გათვალისწინება (ნახ. 22).

$$h_0(x) = (x(d-x)) / 17000000, \quad \text{მ} \quad (15)$$



ნახ. 22. ტრასის პროფილი ორმწვერვალიანი დაბრკოლებით:  $M_1$  – მთავარი დაბრკოლება;  $M_2$  – მეორადი დაბრკოლება

ფორმულა სამართლიანია დედამიწის ექვივალენტური რადიუსისათვის, რომელიც დედამიწის ნამდვილი რადიუსის 4/3- ია.

$h_1$  და  $h_2$  სიმაღლეები და ფრენელის ზონები  $r_1(x)$ -დან  $r_3(x)$ -დე უნდა განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$h_1 = h_{M1} - (h_1 + (h_R - h_1) a / (a + b + c)); \quad (16)$$

$$h_2 = h_{M2} - (h_1 + (h_R - h_T) (a + b) / (a + b + c)); \quad (17)$$

$$r_i(x) = -\sqrt{x (k_i - x) \lambda / a} = -17300\sqrt{x (k_i - x) / fa}, \quad (18)$$

$$i = 1, 2 \text{ და } 3; \quad k_1 = a, \quad k_2 = b \text{ და } k_3 = c,$$

სადაც  $\lambda$  – ტალღის სიგრძეა. ფორმულებში ყველა სიდიდე წარმოდგენილი უნდა იყოს საბაზო ერთეულებში (ტრასის სიგრძე – მეტრებში, სიხშირე – ჰერცებში).

შეგნიშნოთ, რომ ერთი დაბრკოლების შემთხვევაში აუცილებელია მხოლოდ  $h$ -ისა და ფრენელის  $r_1(x)$  და  $r_2(x)$  ზონების გამოთვლა.

მწვერვალიან დაბრკოლებებზე დიფრაქციული დანაკარგების გათვალისწინებით ველის დაძაბულობის გამოსათვლელად საჭიროა შემდეგი პირობების დაცვა:

1. ტრასაზე არ უნდა იყოს არაუმეტეს ორი მწვერვალისა.

2. არ უნდა გადაიფაროს ფრენელის პირველი ზონა  $T$  და  $M_1$ ,  $M_1$  და  $M_2$ ,  $M_2$  და  $R$  მონაკვეთებზე.

3. წინაღობის მაქსიმალური სიგანე ( $M_1$  და  $M_2$ ) არ უნდა აღემატებოდეს  $d/20$ -ს.

თუ ეს პირობები სრულდება, მაშინ დიფრაქციული დანაკარგები, რომლებიც ერთი დაბრკოლებითაა განპირობებული, შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი ფორმულით:

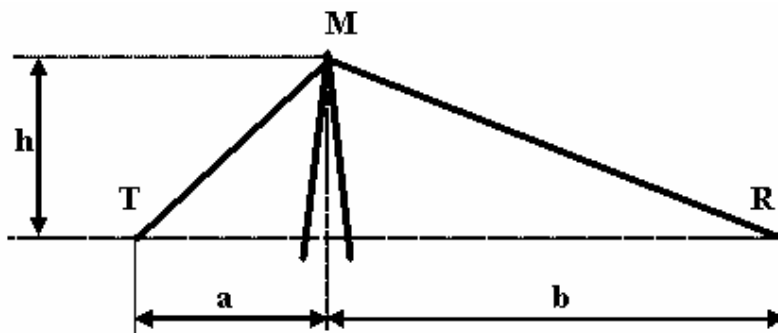
$$a_M = 6,4 + 20 \operatorname{Lg} (\sqrt{v^2 + 1} + v), \text{ დბ.} \quad (19)$$

თუ  $a_M$  აღემატება 40 დბ-ს, მაშინ შემდგომი ანგარიშისას უნდა გამოვიყენოთ 40 დბ:

$$v = h\sqrt{2(a+b)/\lambda ab} = 8,16 \times 10^{-5} h \sqrt{f(a+b)/ab}, \quad (20)$$

სადაც  $h$ ,  $a$  და  $b$  პარამეტრები განისაზღვრება 23-ე ნახაზის შესაბამისად.

თუ  $v < -1$ - ზე, მაშინ შემდგომ ანგარიშებში უნდა გამოვიყენოთ  $v = -1$ .



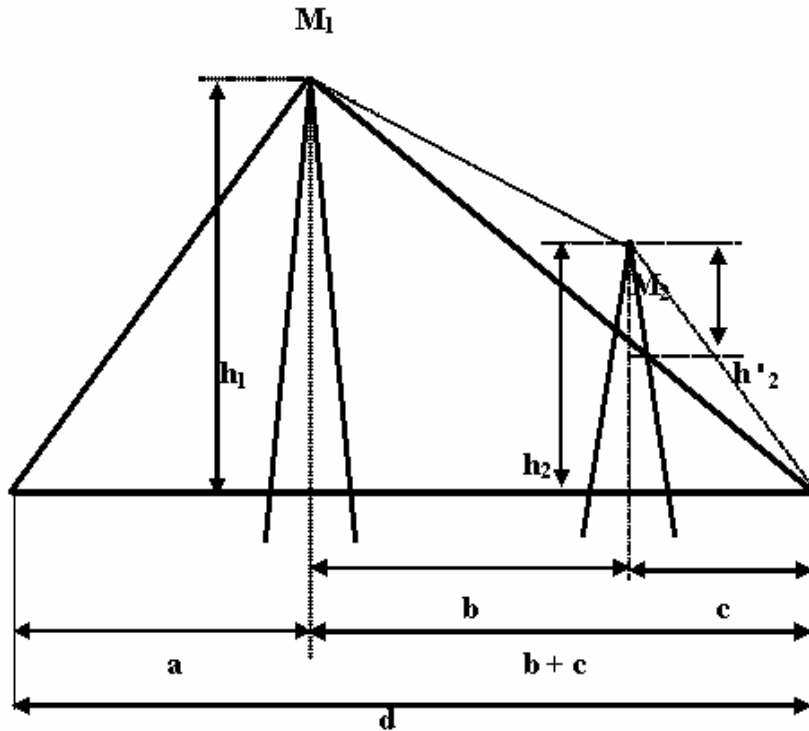
ნახ. 23. დიფრაქციული დანაკარგების ანგარიში ერთმწვერვალის დაბრკოლების მქონე ტრასისათვის

$h$  სიმაღლე გამოითვლება ფორმულით:

$$h = h_M - (h_1 + a(h_R - h_T) / (a + b)). \quad (21)$$

ამასთან  $h$  შეიძლება იყოს უარყოფითი (პირდაპირი ხედვის ხაზის ქვეშ  $T$ -დან  $R$ -მდე).

ორი დაბრკოლებით გამოწვეული დიფრაქციული დანაკარგები (ნახ. 24) გამოითვლება შემდეგი მეთოდის შესაბამისად.



ნახ. 24. დიფრაქციული დანაკარგების ანგარიში ორმწვერვალიანი დაბრკოლების მქონე ტრასისათვის

განისაზღვრება ძირითადი (მთავარი) წინაღობა:

თუ  $h_1\sqrt{(a+b)}c \geq h_2\sqrt{(a+b)}a$  , მაშინ  $M_1$  - ია მთავარი წინაღობა;

თუ  $h_1\sqrt{(a+b)}c < h_2\sqrt{(a+b)}a$  , მაშინ  $M_2$  - ია მთავარი წინაღობა.

მთავარი დაბრკოლების დიფრაქციული დანაკარგები  $a_{M1}$  იანგარიშება ისევე, როგორც ერთი დაბრკოლების შემთხვევაში.

მეორე დაბრკოლების დიფრაქციული  $a_{M2}$  დანაკარგები გამოითვლება ისევე, როგორც იგი გამოითვლებოდა იმ შემთხვევაში, როდესაც რადიოსაზი ძირითადი დაბრკოლებიდან მეორე დაბრკოლების გავლით გაივლიდა შესაბამის რადიოსადგურამდე.

24-ე ნახაზზე  $M_1$  აღნიშნავს ძირითად დაბრკოლებას, ხოლო  $M_2$  - მეორედს. მე-20 გამოსახულების მიხედვით  $v_{M1}$ -ის განსასაზღვრავად აუცილებელია  $a$ ,  $(b+c)$  და  $h_1$ , ხოლო  $v_{M2}$ -ის გამოსათვლელად -  $b$ ,  $c$  და  $h'_2$  მნიშვნელობების გამოყენება, სადაც  $h'_2 = h_2 - c h_1 / (b+c)$ .

მიღების წერტილში ველის დაძაბულობა

$$E = E_{\text{თს}} - a_{M1} - a_{M2} , \quad ( 22 )$$

სადაც  $E_{\text{თს}}$  – თავისუფალი სივრცის ველის დაძაბულობა ( $E_{\text{თს}} = 107 - 20Lg$  d).  $a_{M1}$  და  $a_{M2}$  – დიფრაქციული დანაკარგებია პირველ და მეორე დაბრკოლებაზე.

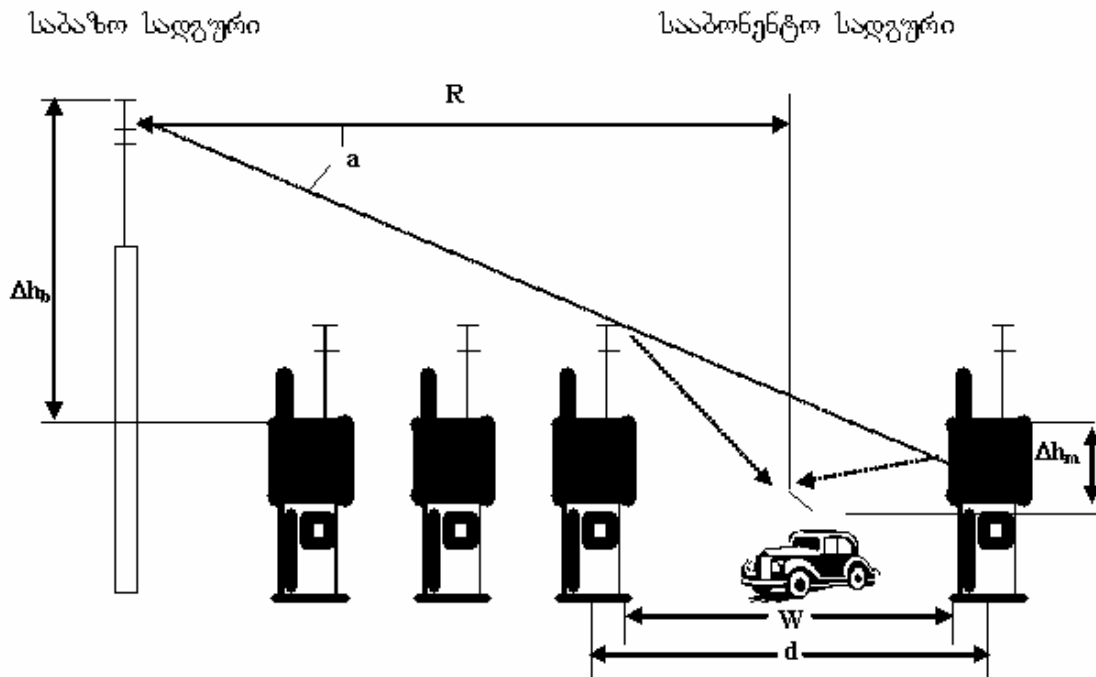
## 22. ღაფარვის ზონების ანგარიშის მეთოდობა სიგნალის ველის დაძაბულობის დიფრაქციული ანალიტიკური მოდელის საფუძველზე

დიფრაქციული ანალიტიკური მოდელი დამუშავებულია მოძრავი კავშირის სისტემებისათვის სპეციალურად საქალაქო და საგარეუბნო ტრასებზე მიღეგების ანგარიშისათვის. ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირის მიერ რეკომენდირებული ოკუმურა-ხატას სტატისტიკური მოდელისაგან განსხვავებით დიფრაქციული მოდელი იძლევა გაცილებით ფართო დიაპაზონში (2000...2200 მჰც-დე) ანგარიშის ჩატარების საშუალებას საბაზო სადგურიდან სააბონენტო სადგურის დაშორებისას რამდენიმე ასეული მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე და საბაზო სადგურის ანტენის დაყენების სხვადასხვა სიმაღლისათვის. უპირველეს ყოვლისა, მოდელის განკუთვნილია დახურულ ტრასებზე ანგარიშის ჩასატარებლად, ანუ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც სააბონენტო სადგურში მიღებული სიგნალი წარმოადგენს მრავალი არეკვლილი სიგნალის რთული ინტერფერენციის შედეგს. შეიძლება ითქვას, რომ დიფრაქციული მოდელი იძლევა მიღების წერტილში სიგნალის გასაშუალებელი მნიშვნელობების ანგარიშის საშუალებას ქალაქის რელიეფის ხასიათზე დამოკიდებულებით.

ტრასაზე მიღეგების ანგარიშისათვის საწყის მონაცემებს წარმოადგენს (ნახ. 25): მუშა სიხშირე  $f$  (მჰც) და მისი შესაბამისი ტალღის სიგრძე  $\lambda$  (მ), სააბონენტო და საბაზო სადგურებს შორის მანძილი  $R$  (მ), ქუჩების საშუალო სიგანე  $w$  (მ), შენობათა სიგანე  $w_h = d - w$ , საბაზო სადგურის ანტენის დაკიდების სიმაღლე შენობათა საშუალო სიმაღლესთან მიმართებაში  $\Delta h_h$  (მ), სააბონენტო სადგურის საშუალო  $\Delta h_m$  (მ) "ჩადაბლება" ("ჩაღრმავება") გარშემო არსებული შენობების საშუალო სიმაღლესთან შედარებით.

შენობათა სიმაღლე შეიძლება განისაზღვროს სართულების რაოდენობით (ითვლება, რომ ერთი სართულის სიმაღლეა 3 მ). მაშინ ოთხსართულიანი სახლის სიმაღლე იქნება 12 მ. თუ ჩავთვლით, რომ სააბონენტო სადგური (ჩვენს შემთხვევაში მობილური ტელეფონის აპარატი) დედამიწიდან 1,5 მ სიმაღლეზეა, მაშინ ქუჩებისათვის, რომლებზეც აშენებულია ოთხსართულიანი შენობები,  $\Delta h_m=10,5$  მ-ს. თორმეტსართულიანი განაშენიანებისათვის კი –  $\Delta h_m=34,5$  მ-ს. ქუჩების სიგანე  $w$  და მათ შორის

მანძილი  $d$  მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან ქალაქის სხვადასხვა რაიონებში.



ნახ. 25. რადიოკავშირის ტრასა

რადიოკავშირის ტრასაზე (რტ) ჯამური დანაკარგები წარმოადგენს სამი კომპონენტის ჯამს:

$$W_{რტ} = W_0 + W_{nl} + W_{md}, \quad (23)$$

სადაც:  $W_0$  – მიღება თავისუფალ სივრცეში გავრცელებისას;  $W_{nl}$  – მიღება უახლოესი სააბონენტო სადგურის შესაბამისი შენობის სახურავიდან დიფრაქციისას;  $W_{md}$  – ბრტყელი ტალღების მრავალჯერად დიფრაქციასთან დაკავშირებული მიღება. ისინი გამოწვეულია ტრასაზე შენობების მთელი რიგის არსებობით.

პირველი და მეორე პროცესების მექანიზმი კარგადაა ცნობილი და  $W_0$  და  $W_{nl}$  კომპონენტები შეიძლება შედარებით მარტივად აღიწეროს ანალიზურად. ასე მაგალითად, დანაკარგები, რომლებიც დაკავშირებულია სფერული ტალღის თავისუფალ სივრცეში გავრცელებასთან, ტოლია

$$W_0 = -10 \text{ Lg} (\lambda / 4\pi R)^2, \quad (24)$$

საიდანაც ჩანს, რომ  $W_0$  დამოკიდებულია ტალღის  $\lambda$  სიგრძესა და  $R$  მანძილზე. სახურავებიდან ქუჩის სავალი ნაწილისაკენ დიფრაქცია შეიძლება წარმოვადგინოთ ორი ცილინდრული ტალღის საშუალებით, რომლებიც გამოსხივდება შენობის სახურავის ნაპირებიდან.  $W_{nl}$  –ს განსაზღვრავენ დიფრაქციის გეომეტრიული თეორიის საფუძველზე:

$$W_{nl} = -10 \text{ Lg} (2\lambda / r \theta^2 (2\pi + \theta)^2), \quad (25)$$

სადაც  $\theta = \arctg (\Delta h_m / x)$  – მადიფრაგირებელი სხივის დაცემის კუთხეა;  $x$  – მანძილია სააბონენტო სადგურიდან მარცხენა სახლის კედლამდე ( $0 < x < w$ ) და  $r = \sqrt{(\Delta h_m)^2 + x^2}$  – მანძილია სააბონენტო სადგურიდან მარცხენა სახლის სახურავამდე (იხ. ნახ. 25). (25)

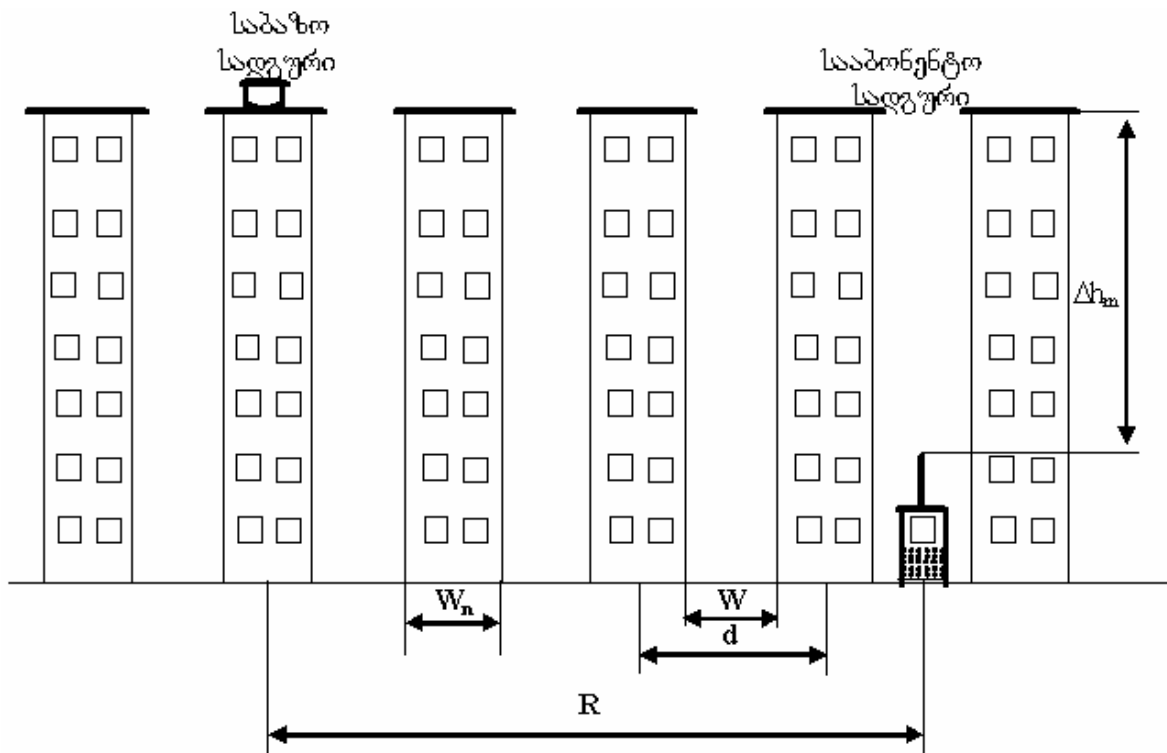
გამოსახულებაში მამრავლი  $\frac{1}{2}$ , რაც იძლევა იმ ტალღების შეკრების გათვალისწინების საშუალებას, რომლებიც მარცხენა შენობის სახურავზე სხვა მოსულ (მათ შორის მოპირდაპირე კედელთან გაფანტვის შედეგად წარმოქმნილ) ტალღებთან დიფრაქციის შედეგად წარმოიქმნა.

გაცილებით რთულია შენობათა რივის შემთხვევაში (ნახ. 26, 27 და 28) ტალღების დიფრაქციით გამოწვეული მიღების ანგარიში. ამ შემთხვევაში გამოთვლათა შედეგები შემდეგი სახისაა:

$$W_{md} = -10 Lg(Q_m^2), \quad (26)$$

სადაც  $Q_m$  – ეკრანების (საბაზო და სააბონენტო სადგურებს შორის არსებული სახლების)  $m$  რაოდენობაზე, საბაზო სადგურის ანტენის დაკიდების  $\Delta h_b$  სიმაღლეზე, ქუჩებს შორის საშუალო  $d$  მანძილზე და ტალღის  $\lambda$  სიგრძეზე დამოკიდებული რთული ფუნქციაა.  $Q_m$ -ის ზოგადი გამოსახულება მნიშვნელოვნად მარტივდება საბაზო სადგურის ანტენის დაკიდების სამი პრაქტიკულად საინტერესო შემთხვევისათვის:

1. საბაზო სადგურის ანტენა მოთავსებულია უშუალოდ შენობათა სახურავების ღონეზე (ნახ. 26).



ნახ. 26. რადიოკავშირის ტრასის ვარიანტი

ასეთი შემთხვევა დამახასიათებელია ისეთი რაიონებისათვის, რომლებიც ერთი სიმაღლის ერთნაირი ტიპის შენობებითაა განაშენიანებული. საბაზო სადგურის ანტენის შენობათა სახურავების დონეზე დაყენებისას  $\Delta h_b=0$ . ვსაზღვრავთ  $R=md$ . ასეთ პირობებში

$$Q_m = 1/m = d/R . \quad (27)$$

ტრასაზე სიგნალის მიღებისათვის ვღებულობთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$W_{\text{ტრ}} = -10 \text{ Lg} (\lambda / 2\sqrt{2} \pi R)^2 - 10 \text{ Lg} (2\lambda/r \theta^2(2\pi + \theta)^2) - 10 \text{ Lg}(d/R)^2 . \quad (28)$$

(28) -ე გამოსახულებაში პირველი  $W_0$  შესაკრებში შეტანილია შემასწორებელი კოეფიციენტი  $1/\sqrt{2}$ , რომელიც ითვალისწინებს ანტენის გამოსხივების ძირითადი ფოთოლაკის სტრუქტურის ცვლილებას. მეტნაკლებად დამახასიათებელი შემთხვევისათვის, როდესაც  $\Delta h_m = 10,5$  მ,  $w = 30$  მ,  $d = 80$  მ, ცნობილია ტრასაზე დანაკარგების საანგარიშო ფორმულა:

$$W_{\text{ტრ}} = 40 \text{ Lg} (R) + 30 \text{ Lg} (f) + 49 , \quad \text{დბ} \quad (29)$$

სადაც  $R$  გამოსახულია კმ-ში, ხოლო სიხშირე  $f$  - მჰც-ებში. ამრიგად, მიღევა იზრდება როგორც მანძილის მე-4 და სიხშირის მე-3 ხარისხი.

**2. საბაზო სადგურის ანტენა აწეულია შენობათა სახურავების მიმართ (ნახ. 27).**

იმ შემთხვევაში, როდესაც ანტენა შენობის სახურავებიდან აწეულია თუნდაც რამდენიმე მეტრის სიმაღლეზე, მაშინ  $Q_m$ -ის გამოსახულებას წარმოადგენენ შემდეგი სახით:

$$Q_m \approx 2,35 (\Delta h_b \sqrt{d} / R \sqrt{\lambda})^{0,9} . \quad (30)$$

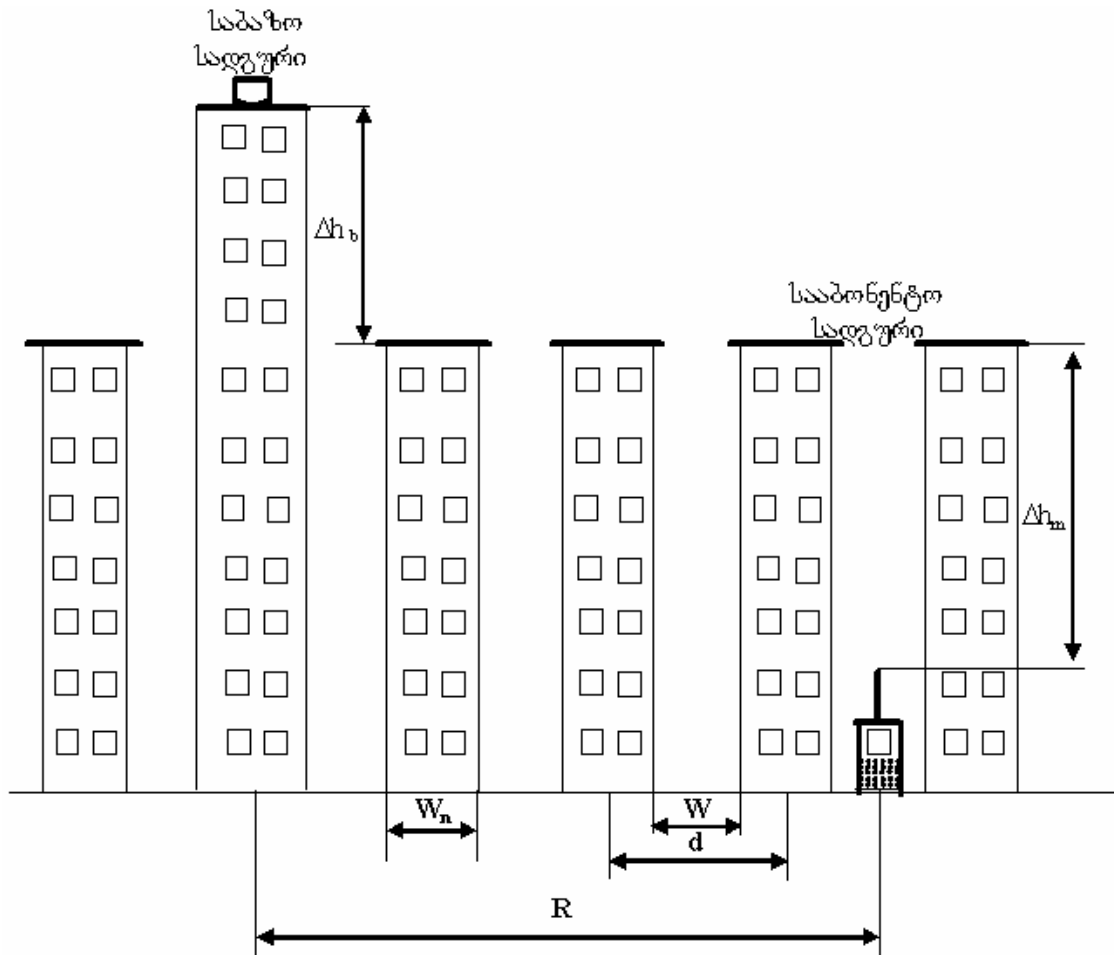
მიღევა ტრასაზე გამოითვლება ფორმულით:

$$W_{\text{ტრ}} = -10 \text{ Lg} (\lambda / 4\pi R)^2 - 10 \text{ Lg} (2\lambda/r \theta^2(2\pi + \theta)^2) - 10 \text{ Lg} (2,35^2 (\Delta h_b \sqrt{d} / R \sqrt{\lambda})^{1,8}) . \quad (31)$$

მაგალითად, იმ შემთხვევაში, როდესაც  $\Delta h_m = 10,5$  მ,  $w = 30$  მ,  $d = 80$  მ, მივიღებთ:

$$W_{\text{ტრ}} = 38 \text{ Lg} (R) - 21 \text{ Lg} (f) - 81,5 \quad \text{დბ} . \quad (32)$$

როგორც (32)-დან ჩანს, მიღევა დაახლოებით იზრდება როგორც მანძილის მეოთხე და სიხშირის მეორე ხარისხი.



ნახ. 27. რადიოკავშირის ტრასის ვარიანტი

3. საბაზო სადგურის ანტენა მოთავსებულია სახლის სახურავზე დაბლა ( $\Delta h_b < 0$ ). ეს მიკროფიჭებისათვის გავრცელებული შემთხვევაა, როდესაც საბაზო სადგურების ანტენებს ამაგრებენ შენობების კედლებზე (ნახ. 28).

ამ შემთხვევაში ტალღების დიფრაქციისა და არეკვლის პროცესი განპირობებულია ქუჩის იმ სახლების ურთიერთმოპირდაპირე კედლებით, სადაცაა დაყენებული საბაზო და სააბონენტო სადგურები.

საბაზო სადგურის ანტენის დაკიდების მე-3 შემთხვევისათვის (იხ. ნახ. 28) მიღების საანგარიშო გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$W_{ტრ} = - 10 \text{ Lg} (\lambda / 2\sqrt{2} \pi R)^2 - 10 \text{ Lg} (2\lambda/r \theta^2(2\pi + \theta)^2) -$$

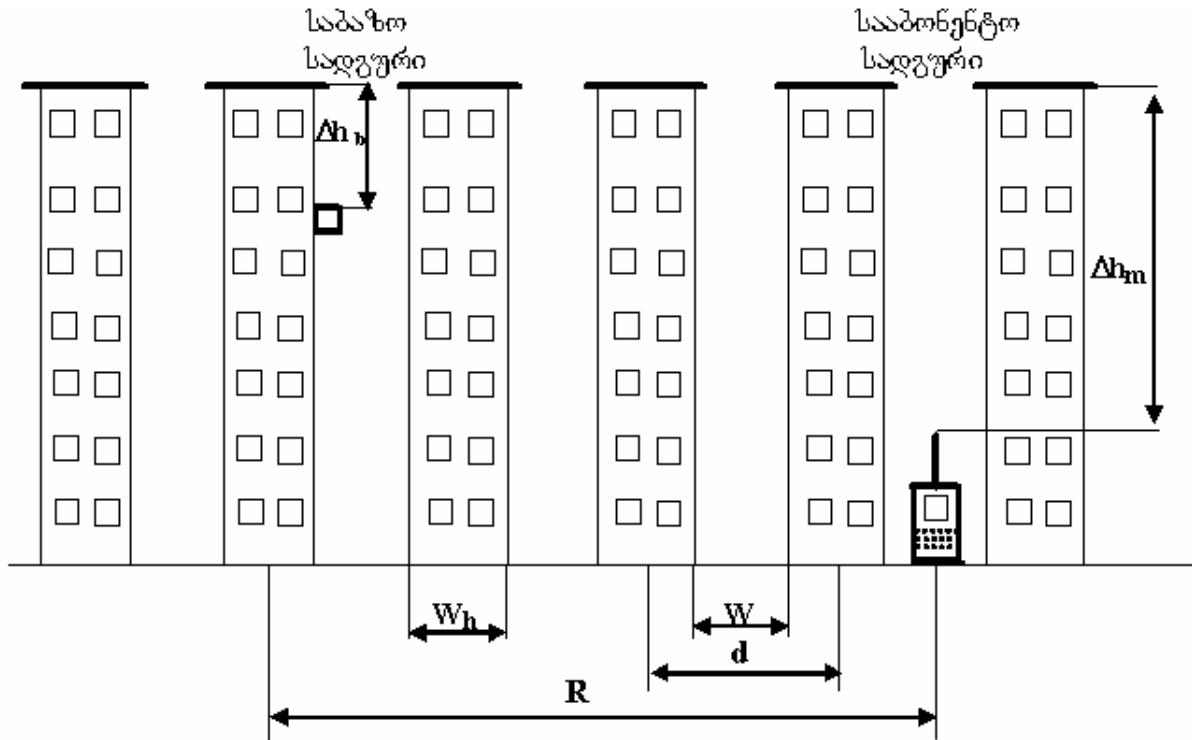
$$- 10 \text{ Lg} [(d/2\pi(R - d))^2$$

$$4\lambda \pi^2 / \sqrt{(\Delta h)^2 + d^2} (\Psi(2\pi + \Psi))^2], \quad (33)$$

სადაც  $\Psi = \arctg(-\Delta h_b / d)$ .

(33)-ე ფორმულა იძლევა დანაკარგების ანგარიშის საშუალებას შენობათა ერთი ან რამდენიმე რიგის შემდეგ დაჩრდილულ არეში. ამასთანავე შესაძლებელია მეზობელ ქუჩებში განლაგებული საბაზო სადგურების მიკრო-

ფიჭებში მოცემული საბაზო სადგურის მიერ წარმოქმნილი ხელშეშლების განსაზღვრა.



ნახ. 28. რადიოკავშირის ტრასის ვარიანტი

### 23. პერსონალური რადიოგამოძახების სისტემები

მოძრავი კავშირის მომსახურებათა თანამედროვე ბაზარი ხასიათდება პერსონალური რადიოგამოძახების სისტემების (პრბს) განვითარების მაღალი ტემპებით, რომელიც ჰარმონიულად ერწყმის რადიოკავშირისა და მონაცემთა გადაცემის სისტემებს.

**პერსონალური გამოძახება (პეიჯინგი)** – სატელეკომუნიკაციო მომსახურებაა, რომელიც უზრუნველყოფს მომსახურების ზონის ფარგლებში ცალმხრივი ინფორმაციის უსაღენო გადაცემას. დანიშნულების მიხედვით პრბს-ები იყოფა კერძო (დაწესებულების) და საერთო მოხმარების სისტემებად.

**კერძო პრბს** უზრუნველყოფს შეტყობინებების გადაცემას ლოკალურ ზონებში ან შეზღუდულ ტერიტორიაზე არსებული აბონენტების ცალკეული ჯგუფებისათვის. როგორც წესი, ასეთ სისტემებში შეტყობინების გადაცემა დისპეტჩერების მიერ ხორციელდება მართვის პულტიდან საერთო მოხმარების სატელეფონო ქსელებთან (**სმტქ**) ურთიერთქმედების გარეშე.

**საერთო მოხმარების პრბს**-ის ქვეშ იგულისხმება ტექნიკური საშუალებების ერთობლიობა, რომელთა საშუალებითაც **სმტქ**-ის გავლით რადიოარხში გადაიცემა შეზღუდული მოცულობის შეტყობინება. **პრბს**-ის

განვითარება ხორციელდება **სმტქ**-თან ავტომატური ურთიერთქმედების ტექნიკის დანერგვის, ანბანურ-ციფრული კოდით გამოდახეების (მისამართების) და შეტყობინებების ციფრული მეთოდებით გადაცემის გამოყენების, გამტარუნარიანობისა და ხელშეშლამდგრადობის გაზრდის, დამაბოლოებელი მოწყობილობების მინიატურიზაციისა და მათ მიერ ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირების გზით.

დღეისათვის აშშ-ის, დიდი ბრიტანეთის, იაპონიისა და სხვა ქვეყნების სხვადასხვა ფორმების მიერ მუშავდება ეროვნული და კერძო **პრბს**-ის სხვადასხვა მრავალრიცხოვანი ტიპები. **პრბს**-ის განვითარების საკვანძო ფაქტორს წარმოადგენდა რადიონტერფეისის სტანდარტიზაცია.

1978 წელს პირველად გამოქვეყნდა კოდის სტანდარტი **POCSAG (Post Office Code Standartization Group)** და გაცემული იყო მისი დანერგვის რეკომენდაციები ტონალური შეტყობინებების გადაცემისათვის. 1979 წელს გამოქვეყნდა ციფრული და ანბანურ-ციფრული შეტყობინებების გადაცემის **POCSAG** კოდი 512 ბიტი/წმ სიჩქარით, რომელიც შემდგომში გაზარდეს 1200 და 2400 ბიტი/წმ-მდე. კოდი **POCSAG ITU-R**-მა დაამტკიცა 1982 წელს (584-ე რეკომენდაცია). დღეისათვის კი აღნიშნული კოდი გამოიყენება არსებული **პრბს**-ების უმრავლესობაში.

**პრბს** ქსელის ფუნქციონალურ განვითარებაზე, შეტყობინებათა გადაცემის სიჩქარის გაზრდაზე და, აგრეთვე, ნაციონალური **პრბს**-ების ტრანსნაციონალურ ქსელებში ინტეგრაციაზე არსებულმა მოთხოვნებმა გამოიწვია **პრბს**-ის საერთოევროპული სტანდარტის შექმნა **ETSI**-ის ფარგლებში, რომელსაც **ERMES (European Radio Messaging System)** ეწოდა და რომელიც მოწონებული იყო 1992 წელს.

**ERMES** სტანდარტის **პრბს**-ების ძირითადი ღირსებებია:

- ყველა ევროპული ქვეყნისათვის საერთო ქსელი და საერთოევროპული როუმინგი;
- საერთო რადიონტერფეისი, რომელიც უზრუნველყოფს ქსელის მაღალ ტევადობას სხვადასხვა სახის შეტყობინების გადაცემისას, მათ შორის სიხშირეთა ვიწრო ზოლში გადასაცემი ტექსტური შეტყობინებების ჩათვლით;
- პერსონალური რადიოგამოდახეების მიმღებების საერთო (ერთიანი) სპეციფიკაცია.

**ERMES** სტანდარტი ითვალისწინებს აგრეთვე **POCSAG** სტანდარტის **პრბს**-სთან ინტეგრაციის შესაძლებლობას.

**პრბს**-ების განვითარების ახალ მიმართულებას წარმოადგენს ფირმა **Motorola**-ს მიერ დამუშავებული **FLEX** კოდი და მასზე დაფუძნებული **პრბს**. **FLEX**-ზე დაფუძნებული **პრბს**-ის ძირითად უპირატესობებს **POCSAG**-ზე დაფუძნებულ **პრბს**-თან შედარებით წარმოადგენს: შეტყობინებათა გადაცემის გაზრდილი სიჩქარე, სისტემის მეტი მოცულობა, არხების ხელშეშლამდგრადობის გაზრდილი მახასიათებლები და პეიჯერის მუშაობის უფრო ეკონომიური რეჟიმის უზრუნველყოფა. **Motorola**-ს მიერ დამუშავებულია პეიჯერები, რომლებიც მუშაობს სამივე – **POCSAG**, **ERMES** და **FLEX** სტანდარტებზე.

## 24. უსადენო ტელეფონების სისტემები

საერთო მოხმარების უსადენო ტელეფონების (**შტ**) (**Cordless Telephony - CT**) სისტემები მნიშვნელოვან კონკურენციას უწევს ფიჭური კავშირის სისტემებს. თავდაპირველად **შტ**-ების სისტემები ორიენტირებული იყო შეზღუდული ფართის ბინებისა და ოფისებისათვის. შემდგომში კი ისინი იმდენად განვითარდა, რომ მათ შეიძინეს საერთო მოხმარების ფუნქცია.

1985 წელს **CEPT**-მა წარმოადგინა **შტ**-ის პირველი სტანდარტი **CT1**, რომელიც გათვალისწინებული იყო 900 მჰც დიაპაზონისათვის 40 დუპლექსური სიხშირულად განცალკევებული (დაყოფილი) არხით. ანალოგურ სისტემებში სალაპარაკო შეტყობინებების გადაცემის დაბალი ხარისხისა და საუბრების საიდუმლოებლობის დაცვის არარსებობის გამო შეიქმნა ციფრული უსადენო სისტემების დამუშავების აუცილებლობა. ახალი სტანდარტი, რომელმაც **CT2**-ის სახელწოდება მიიღო, შემუშავებული იყო დიდ ბრიტანეთში, რომელიც უზრუნველყოფდა საუბრების კონფიდენციალობასა და ხმოვანი შეტყობინებების მიღების უკეთეს ხარისხს **CT1**-თან შედარებით. **CT2** სტანდარტში გამოყენებულია სიხშირეთა 864...868 მჰც დიაპაზონი და დუპლექსური გადაცემა არხების დროითი დაყოფით. **CT2** სტანდარტი საფუძვლად იქნა მიღებული **Telepoint** სისტემების შექმნისას, რომლებიც განკუთვნილია საერთო მოხმარების სატელეფონო ქსელში ნებისმიერი აბონენტის შედწვევისათვის ქალაქში დაყენებული რადიოპორტების საშუალებით. რადიოინტერფეისის **CT2** პროტოკოლი დამტკიცებულია **ETSI**-ის მიერ და მისი აღნიშვნაა **ETS-300131**.

1992 წელს **ETSI**-მ მიიღო უსადენო ტელეფონის საერთოევროპული **DECT** სისტემის სტანდარტი **ETS-300175**, რომელიც განკუთვნილია ხმოვანი

შეტყობინებებისა და მონაცემების გადაცემისათვის სისშირეთა 1880...1900 მჰც დიაპაზონში.

აშშ-ში კომპანია **Bellcore**-ის მიერ დამუშავებული იქნა **PACS** სტანდარტის საერთო შედგენის უსადენო კავშირის სისტემა, რომელიც მუშაობს **FCC**-ის მიერ კავშირის პერსონალური ქსელებისათვის გამოყოფილ სისშირეთა 1850...1910 მჰც და 1930...1990 მჰც დიაპაზონებში. ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით **PACS** სტანდარტი **DECT**-ის ანალოგიურია, მაგრამ იგი ორიენტირებულია აშშ-ში მიღებულ სისშირეთა სპექტრის განაწილებასა და პერსონალური კავშირის განვითარების კონცეფციაზე, რომლებიც განსხვავებულია ევროპულისაგან.

პორტატული ტელეფონების გამოყენებაზე დაფუძნებული კავშირის უსადენო სისტემა, რომლის აღნიშვნაა **PHS**, დამუშავებულია და წარმატებითაა დანერგილი იაპონიაში. **PHS** უზრუნველყოფს ორმხრივ უსადენო კავშირს ქსელის მიკროფიჭური არქიტექტურის საზღვრებში. **PHS**-ში გამოყენებულია არხების დროითი და გადაცემისა და მიღების რეჟიმების დროითი დუპლექსური განცალკევების პრინციპები. აღნიშნული სტანდარტის სამუშაო სისშირის დიაპაზონია 1895...1918 მჰც.

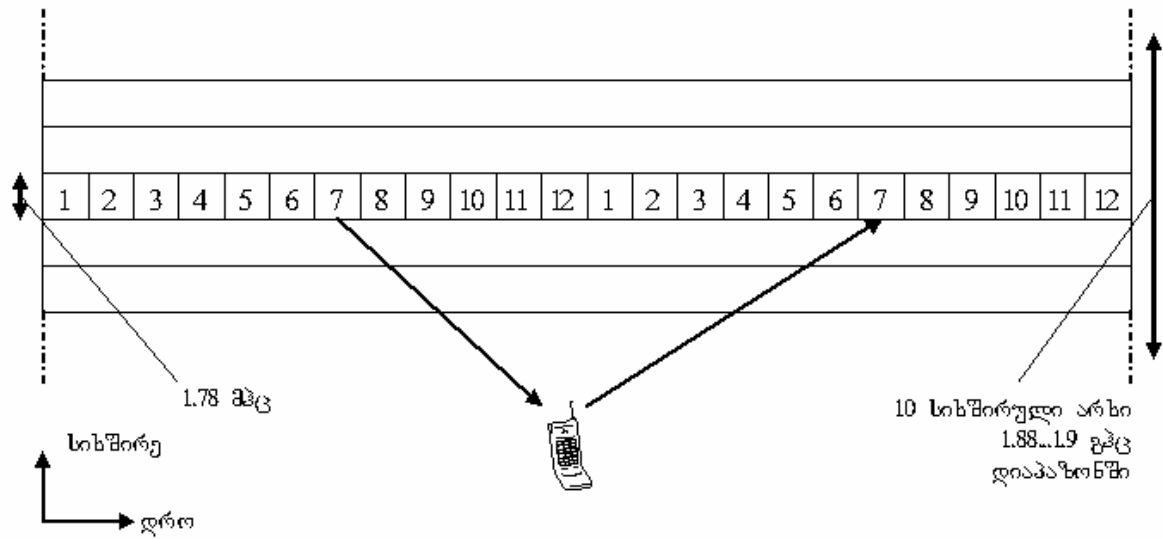
უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ **DECT** სტანდარტის შესაბამისი უსადენო ტელეფონების საერთოევროპული სისტემის მახასიათებლები. **DECT (Digital European Cordless Telecommunications)** სტანდარტი **ETSI**-მა გამოაქვეყნა 1992 წელს, ხოლო ამ სტანდარტის შესაბამისი პირველი კომერციული სისტემები გამოჩნდა 1993 წელს. თავდაპირველად ისინი ძირითადად წარმოადგენდა უსადენო დაწესებულებების **სსს-ების (ღსსს)** აგების საშუალებასა და აგრეთვე სახლის უსადენო ტელეფონების აპარატებს. შემდგომში გამოჩნდა **DECT**-ის სხვა ვარიანტები, რომლებიც მუშავდებოდა ჯერ კიდევ სტანდარტის შექმნის პროცესში. მათ შემადგენლობაში შევიდა: ადგილობრივი რადიოკავშირის სისტემების საშუალებები (**Radio in the Local Loop - RLL**); სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფს შეზღუდული მობილურობის მქონე აბონენტების უსადენო შედგენას საერთო მოხმარების ქსელებში (**Cordless Terminal Mobility - CTM**); საშუალებები, რომლებიც **DECT** აპარატურას აძლევს ფიჭურ ქსელებთან (მაგალითად, **GSM**-თან) მუშაობის საშუალებას.

**DECT** სტანდარტი დამუშავებულია ღია სისტემების ურთიერთქმედების ეტალონური მოდელის შესაბამისად. სტანდარტის თავისებურებას წარმოადგენს კავშირის სისტემების ერთ ტერიტორიაზე "თანაარსებობის" გარანტიის შესაძლებლობა მათი მუშაობის კოორდინაციისა და სისშირეთა დაგეგმარების

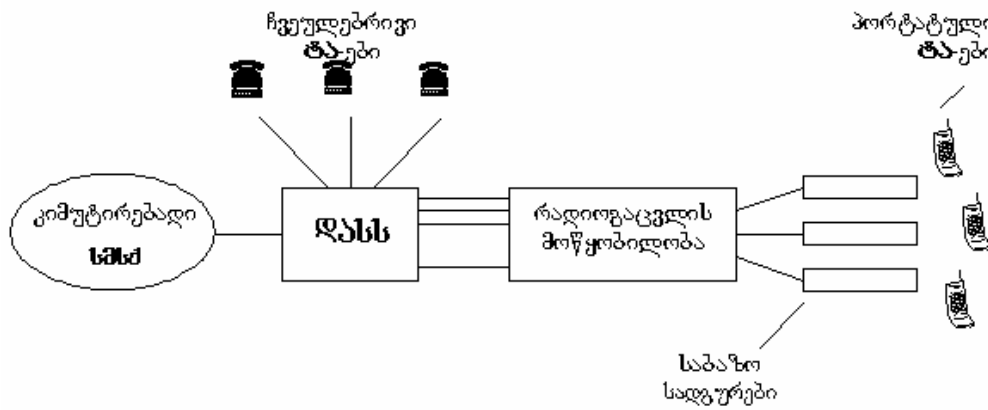
აუცილებლობის არარსებობის დროს, რაც საჭიროა ჩვეულებრივი ფიჭური ქსელებისათვის. **DECT** სტანდარტი იქმნებოდა რადიოკავშირის რთული სისტემის – უსადენო **ფსს**-ის აგებისათვის. უსადენო **ფსს**-ის სივრცე ხასიათდება ტრაფიკის მაღალი სიმკვრივითა და კავშირის ხარისხისა და კონფიდენციალობისადმი წაყენებული მკაცრი მოთხოვნებით. სიგნალის ციფრულ ფორმაში გადასაყვანად **DECT** სისტემა გარდაქმნის ალგორითმად იყენებს ადაპტურ **დიკმ**-ს (**ადიკმ**), რომლის სიჩქარეა 32 კბიტი/წმ, რაც უზრუნველყოფს ხმის გადაცემის ისეთივე ხარისხს, როგორც აქვს სტანდარტულ სტაციონალურ ქსელს.

**DECT** სტანდარტის სისტემები მუშაობს სიხშირეთა 1880...1900 მჰც დიაპაზონში, რომელიც დაყოფილია 10 სიხშირულ არხად. თითოეულ სიხშირულ არხში მონაცემები გადაიცემა ციკლურად 24 საარხო ინტერვალში (**სი**), ანუ გამოიყენება არხების დროითი დაყოფის (განცალკევების) პრინციპი. **სი**-ის პირველ ნახევარში ხორციელდება საბაზო სადგურიდან პორტატული მოწყობილობისაკენ გადაცემა, მეორე ნახევარში კი – მიღება საწინააღმდეგო მიმართულებით. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში გამოიყენება დუპლექსური კავშირის ორგანიზება არხების დროითი დაყოფით (**TDD**). თითოეული სალაპარაკო არხი იყენებს **სი**-ების წყვილს, რითაც უზრუნველყოფილი ხდება 120 სალაპარაკო არხის ორგანიზების შესაძლებლობა (ნახ. 29).

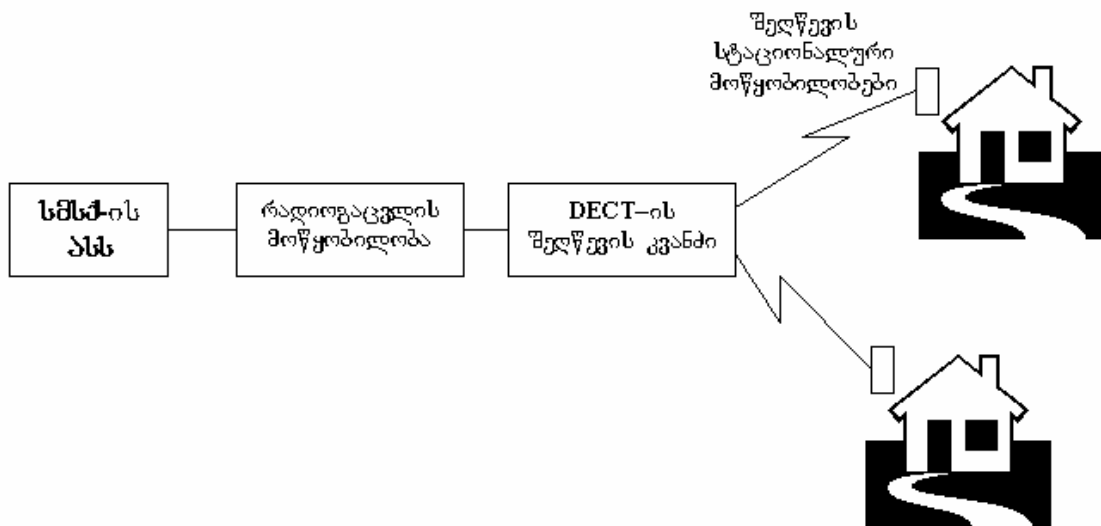
არხების არჩევის მექანიზმი, რომელიც ცნობილია როგორც არხების უწყვეტი დინამიური ამორჩევა (**Continuous Dynamic Chanel Selection - CDCS**), სისტემების არაკოორდინირებული მუშაობის დროს მათ აძლევს "გვერდი-გვერდ" ფუნქციონირების საშუალებას. **DECT** სტანდარტის ნებისმიერ პორტატულ მოწყობილობას გააჩნია 120-დან ნებისმიერი არხის დაკავების საშუალება. იმ დროს, როდესაც შეერთების დამყარებაა საჭირო, **DECT**-ის პორტატული მოწყობილობა ირჩევს იმ არხს, რომელიც უზრუნველყოფს საუკეთესო ხარისხის მომსახურებას. მას შემდეგ, რაც შეერთება დამყარდება, მოცემული მოწყობილობა განაგრძობს დიაპაზონის ანალიზს და ამის შედეგად თუ აღმოჩნდება საუკეთესო ხარისხის უზრუნველყოფი არხი, იგი გადაერთვება ამ უკანასკნელზე. ძველი და ახალი შეერთებები დროშია გადაფარული, რაც უზრუნველყოფს ერთიდან მეორე არხზე შეუმჩნეველ გადართვას. **DECT** სტანდარტის სისტემაში **CDSC**-ის გამოყენების გამო საჭირო არაა სიხშირეების დაგეგმარება. ამ პრობლემის მოგვარებას უზრუნველყოფს პორტატული მოწყობილობა.



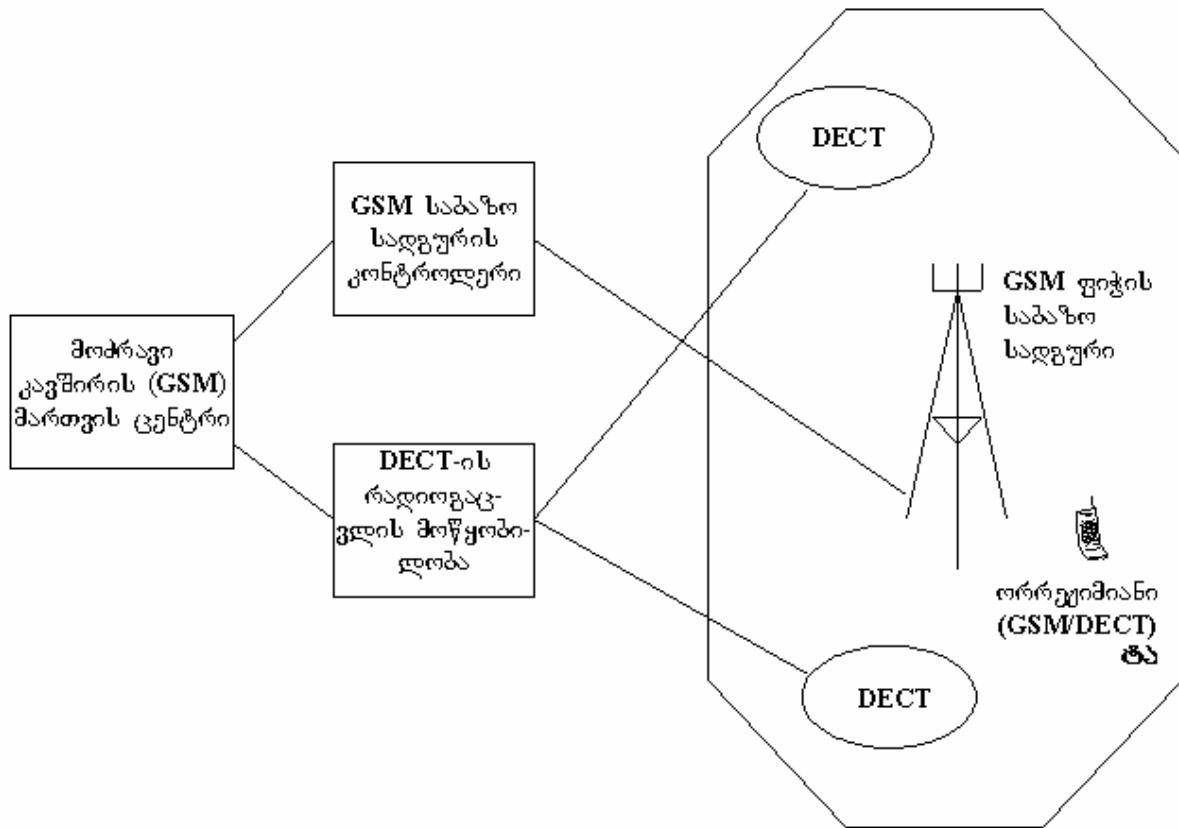
ნახ. 29. DECT სტანდარტის სისტემის კადრის სტრუქტურა



ნახ. 30. DECT სტანდარტის უკაბელო ღასს-ის არქიტექტურა



ნახ. 31. DECT სტანდარტის RLL სისტემის არქიტექტურა



ნახ. 32. DECT და GSM სტანდარტების სისტემების ურთიერთქმედების სქემა. DECT-ის “კუნძულები” განთავსებულია GSM-ის უჯრედებში (ფიჭებში).

DECT-ის სტანდარტი ითვალისწინებს დაცვის ისეთ ფუნქციებს, როგორცაა დაშიფვრა და აუტენტიფიკაცია. ევროპაში იგი სავალდებულო სტანდარტია. აშშ-ში DECT-ის საფუძველზე იქმნება იმ სატელეკომუნიკაციო საშუალებების სტანდარტი, რომლებიც მუშაობს FCC-ს მიერ პერსონალური კავშირის სისტემებისათვის (PCS) გამოყოფილ სიხშირეთა 1850...1990 მგც დიაპაზონში.

DECT-ის სტანდარტის გამოყენების ძირითადი ხერხები წარმოდგენილია 30-ე, 31-ე და 32-ე ნახაზებზე.

## ლიტერატურა

1. Баева Н.Н. Многоканальная электросвязь и РРЛ. –М.: Радио и связь, 1988.12 с.
2. Гаранин М.В., Журавлёв В.И., Кунегин С.В. Системы и сети передачи информации. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
3. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. მრავალარხიანი ელექტროკავშირგაბმულობა. – თბილისი, სტშ, 1994. – 100 გვ.
4. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. ტელეკომუნიკაციის სისტემები. ნ.1: ტელეკომუნიკაციის ანალოგური და ციფრული სიგნალები, არხები და ხაზები. ლექციების კონსპექტი. – თბილისი, სტშ, 2001. – 121 გვ.
9. გ. ირემაშვილი. GSM სტანდარტის მობილური კავშირის საბაზო სადგურების სიგნალებით თბილისის ტერიტორიის დაფარვის ზონების გამოკვლევა/ სამაგისტრო ნაშრომი. თბილისი, სტშ, 2003. – 98 გვ.
10. გ. ირემაშვილი. ტელეკომუნიკაციის ფიჭური სისტემების განვითარების ტენდენციები/ საქართველოს მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდის სამეცნიერო შრომების კრებული №1 (15). თბილისი, 2003.
11. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Дмитриев В. И. Системы мобильной связи / СПбГУТ, СПб., 1998. N1.
12. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М.: Эко-Трендз, 1997, 238 с.
13. Данилов В. И. Сотовые телефонные сети стандарта GSM. Учебное пособие. - СПб.: РИО СПбГУТ, 1995.
14. Самуйлов К. Е. , Никитина М. В. Сети подвижной связи в стандарте GSM // Сети, 1996, N6.
15. Разработка автоматизированной системы учета и экспертизы ЭМС радиосредств метрового диапазона децентрализованного назначения. Отчет по НИР "Марс-1" /ЛОНИИР: Руководитель работы Г. Р. Рубинштейн. СПб., 1984.
16. Xia H. H. A Simplified Analytical Model for Predicting Path Loss in Urban and Suburban Environments // IEEE Trans. on Vehicular Technology. 1997.Vol. 46, N4, P. 1040...1045.
17. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / СПбГУТ, СПб., 2000, 196 с.
8. Отчет 1025 XVII Пленарной ассамблеи МККР. Документ 8. 1024 –1 от 15.12.89 "Технические и оперативные характеристики бесшнуровых телефонных систем".
19. Отчеты МККР, 1990. Прил. к т. V, отчет 1008 -1.

20. Struzak R. G. Microcomputer modelling, analysis and planning in terrestrial television broadcasting // Telecommunication. 1992, N 148.
21. Маковеева М. М. Основы проектирования подвижных систем радиосвязи. – М.: МТУСИ, 1999. – 31 с.
22. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ. / Под ред. У. К. Джейкса; Пер. с англ. под ред. М. С. Ярлыкова, М. В. Чернякова. - М.: Связь, 1979. – 520с.
23. Постушков В. П., Гужва А. Ю., Оценка вероятности уверенного приема сигналов в зоне обслуживания базовой станции. - М.: Электросвязь, 2002, N8, с.25–26.
24. ბ. თამაზაშვილი, გ. გაბესკირია, ნ. გოთუა, თ ვეკუა და სხვ. ფიჭურ პრინციპზე აგებული ტელეკომუნიკაციის სისტემები. – თბილისი, მერანი, 2001, – 208 გვ.
25. Карташевский В. Г., Семенов С. Н., Фирстова Т. В. Сети подвижной связи. М.: Эко-Трендз , 2001, 300 с .