



მეხუთე თაობის (5G) მობილური ქსელების ელექტრომაგნიტური გამოსხივების უსაფრთხოების საკითხები

მახარაძე სალომე¹, მიქაშავიძე რატი², გვაგვალა ცოტნე³, ერაძე გიორგი⁴

^{1,2,3,4}საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი, ციფრული სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, ¹ასოციირებული პროფესორი, ^{2,3,4}მაგისტრანტები

აბსტრაქტი

დღევანდელი სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურა მთავარი გამოწვევების გადაწყვეტის წინაშე დგას, როგორცაა: მომხმარებელთა მზარდი მოთხოვნების - ქსელში მონაცემთა სწრაფად და ხარისხიანად გადაცემის, არხების არასაკმარისი გამტარუნარიანობის და ქსელის გადატვირთულობის, ქსელში ჩართული მოწყობილობების რაოდენობის ექსპონენციალური ზრდის პრობლემების გადაჭრის საკითხების გადაწყვეტა.

მობილური კავშირის თაობიდან თაობაზე გადასვლა მიმართულია მონაცემთა მობილური გადაცემის სიჩქარისა და ხარისხის გაუმჯობესებაზე. საკმაოდ დიდი გზა გაიარა მობილური კავშირგაბმულობის სისტემების ევოლუციამ (1G, 2G, 3G, 4G, 5G, G-Generation-თაობა, უახლოეს მომავალში 6G, 7G). არსებულ ოთხ თაობას კავშირი გადაჰყავდა ახალ დონეზე, 3G და 4G-ს ძირითადი მიზანი იყო მობილური მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის გაზრდა. მეხუთე თაობის - 5G (Fifth Generation) მობილური კავშირის ახალი ტექნოლოგია შესაძლებელს ხდის ფართოზოლოვან მობილურ მონაცემთა გადაცემას. 5G არის წინა თაობების მობილური ტექნოლოგიების ევოლუცია. 5G ააჩქარებს „საგნების ინტერნეტის“ განვითარებას. 4G-დან 5G-ზე გადასვლა პრაქტიკულად შეეხება ყველას ვინც, კი სარგებლობს მობილური კავშირით.

მეხუთე თაობის-5G ქსელი არის უსადენო ახალი თაობის ინტერნეტ ტექნოლოგია, რომელიც უკვე არსებულ ტექნოლოგიებთან შედარებით, მნიშვნელოვნად გაზრდის მობილური ინტერნეტის სიჩქარეს, შეამცირებს დაყოვნებას და სრულიად ახალ საფეხურზე გადაიყვანს უმნიშვნელოვანეს დარგებს: ჯანდაცვას, განათლებას, ბიზნესს, სოფლის მეურნეობას, ინფრასტრუქტურას და სხვა. რაც მნიშვნელოვნად გააძლიერებს ქვეყნის ეკონომიკას.

5G-ში დიდი მოცულობის მონაცემები გადაიცემა უფრო მცირე მანძილზე, ვიდრე 4G LTE (Long Term Evolution)-ში, რაც ზრდის მთლიანი ქსელის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს

და შეერთების სტაბილურობას, მაშინაც კი როცა აბონენტი გადაადგილდება. 5G გამოიყენებს მილიმეტრულ ტალღებს (mmW) დიაპაზონით 30გჰც-300გჰც. 5G-ში გამოყენებულ მილიმეტრული სპექტრის ტალღებს შეუძლიათ თავისუფალ სივრცეში გავრცელება, სიხშირის ახალი დიაპაზონის გამოყენება საშუალებას იძლევა დიდი რაოდენობით მოწყობილობების მომსახურებისას, ნაკლები ენერგო მოხმარებით.

მობილურმა ტელეფონებმა გამოჩენის დღიდან გარკვეული შემფოთება გამოიწვია ჯანმრთელობის პოტენციური რისკების მხრივ, რომელიც დაკავშირებულია მობილური ტელეფონების გამოყენებასა და საბაზო სადგურების განთავსებასთან საცხოვრებელი სახლების ახლოს. ქსელებში დატვირთვის შესამცირებლად, სწრაფი კავშირის და დიდი ტერიტორიის დაფარვის უზრუნველსაყოფად 5G ქსელს ესაჭიროება მეტი გადაცემი-საბაზო სადგური, ვიდრე 4G ქსელს, რაც იწვევს საზოგადოებაში უარყოფით განწყობას, ჩნდება კითხვა: საბაზო სადგურების მიერ შექმნილი გამოსხივება რამდენად მაღალი იქნება და საზიანო იქნება თუ არა ის კაცობრიობისთვის?

5G შეუძლია იმუშაოს დაბალი, საშუალო ან მაღალი ზოლის მილიმეტრული ტალღების დიაპაზონში, რომელიც მერყეობს 24 გჰც-დან 66 გჰც-მდე. არსებულ მოქმედ ფიქსურ მობილურ კავშირებში, თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო მოწყობილობების მუშაობისთვის, აქამდეც გამოიყენებოდა ისეთი დაბალი სიხშირეები (6 გჰც-ზე დაბალი სიხშირეები), რაც ამჟამად უკვე მოქმედ 5G მობილური კავშირის ფუნქციონირებისთვის არის საჭირო (700 მგჰც, 2600 მგჰც და 1800 მგჰც, 3400-3600 მგჰც სიხშირული დიაპაზონი, მსოფლიოში პოპულარული სიხშირეა 3,4 გჰც-დან 3,8 გჰც-მდე). საბაზო სადგურის მუშაობის პრინციპი განსხვავებულია წინა თაობების სადგურების მუშაობის პრინციპისაგან. 5G უსადენო სტანდარტის მთავარი მახასიათებელია, ის რომ გამოიყენებს სხივის ფორმირების ტექნოლოგიას, რაც საშუალებას იძლევა სიხშირეები გაიგზავნოს სხვადასხვა მომხმარებლებზე ერთდროულად, განსხვავებით 4G ქსელებისაგან, სადაც საბაზო სადგურის მიერ გასხივებული სიგნალი ვრცელდება დიდ ფართობზე. 5G სადგურიდან გამოსხივდება მხოლოდ 20 ვატი, არ არის კონცენტრირებული სივრცეში და ძალიან სწრაფად მცირდება, მაგალითად, სიგნალი როცა მიაღწევს შენობის სახურავს ის უკვე საკმაოდ სუსტია. 5G გამოსხივების ნორმები შეესაბამება არამაიონებელი გამოსხივებისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისიის International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) მიერ განსაზღვრულ ნორმებს და დაბალი იქნება (200-1000 მიკროვატი) წინა თაობის ნორმებთან შედარებით.

საკვანძო სიტყვები: მეხუთე თაობა, 5G, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, მილიმეტრული ტალღები.

მეხუთე თაობის მობილური კავშირის ტექნოლოგია

მომხმარებელთა მოთხოვნები მუდმივად ზრდადია, აქედან გამომდინარე 4G LTE (Long Term Evolution) ვერ ართმევს თავს ქსელში ჩართული არსებული რაოდენობის მობილური მოწყობილობების მომსახურებას, დიდ ქალაქებში არსებული ქსელი იტვირთება, დღის პიკური დატვირთვის პერიოდში რეგულარულად წარმოიშვება კავშირის პრობლემები.

„ჭკვიანი“ მოწყობილობების ინტერნეტში ჩართვა გვკარნახობს უფრო სწრაფი და მძლავრი ქსელის საჭიროებაზე, რომელიც შეძლებს მილიარდი მოწყობილობის მომსახურებას. ამ ევოლუციასთან ერთად მობილურ ინტერნეტს დასჭირდება გახდეს უფრო სწრაფი, იაფი და შეძლოს უფრო მეტ მოწყობილობას მოემსახუროს ვიდრე დღეს ემსახურება. უფრო სწრაფი კავშირისათვის საჭიროა სწრაფი ინტერნეტი. 5G ქსელი უზრუნველყოფს:

- მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის 100-ჯერ გაზრდას;
- აბონენტის გადასაცემი ტრაფიკის 1000-ჯერ გაზრდას;
- დაკავშირებული მოწყობილობების რაოდენობის 100-ჯერ ზრდას;
- ენერჯის მოხმარების ტექნიკური საშუალებით 10-ჯერ შემცირებას;
- დაყოვნების შემცირებას 25-ჯერ;
- ქსელის მუშაობისთვის საჭირო ღირებულების შემცირებას.

5G-ს შესაძლებლობები:

- გაუმჯობესდება მობილური ინტერნეტის ხარისხი;
- „საგნების ინტერნეტი“ (IoT-Internet of Things) მასიური დანერგვა განავითარებს საწარმოო და საყოფაცხოვრებო ტექნოლოგიას. საგნების ინტერნეტი 5G-სთან შერწყმაში ახალი დონეა ქალაქის ინფრასტრუქტურის კონტროლისთვის;
- მოწყობილობები, რომლებიც მუშაობენ აკუმულატორით, კავშირის შესანარჩუნებლად სპეციალური გამაფართოებელი მოწყობილობების გარეშე გააგრძელებენ მუშაობას;
- ახალი უსადენო ტექნოლოგია შესაძლებელს გახდის დაშორებულ, ცუდათ აღჭურვილ ან ძნელად მისადგომ სფეროებში გამოყენებას; ყოველი მოწყობილობის ჭკვიანი თერმოსტატები და გადამცემები, სამრეწველო და ქალაქის ელექტრო ქსელებში დაიმკვიდრებს გამოყენებას;
- „ჭკვიანი“ ქალაქები და ინდუსტრია 4.0 გახდის ცხოვრებას უფრო მოსახერხებელს და უსაფრთხოს, ხოლო მუშაობას უფრო ნაყოფიერს და ეფექტურს;
- 5G-ს აქვს ნაკლები ქსელური დაყოვნება, ნაკლები ენერჯის მოხმარება შემცირებული ენერგო მოხმარების რეჟიმში გადართვის გამო, როცა ფიჭური კავშირი არ გამოიყენება.

მეხუთე თაობის ქსელის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების უსაფრთხოების საკითხები

5G-ში მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე არის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი განსხვავება მისი წინა მორბედი ქსელებისგან (ცხრილი1). მაქსიმალური თეორიული სიჩქარე 20 გიგაბიტი/წამშია, რაც 67-ჯერ მეტია 4G LTE Advanced-ზე (300 მეგაბიტი/წმ). 5G ქსელში 8 გბიტ Full HD ფილმის ჩამოტვირთვას 6 წმ დასჭირდება, რასაც 4G-ში რამდენიმე წუთი სჭირდება. აქამდე არსებულ ქსელებში ფიზიკურად დაკავშირებული ნაკლები რგოლები იყო, ამიტომ უფრო მარტივი იყო უსაფრთხოების უზრუნველყოფა. 5G უზრუნველყოფს საიმედო, სწრაფ კავშირს ქსელის გამტარუნარიანობის გაზრდას, რადიოტალღების გაფართოებული დიაპაზონის გამოყენებით. ზოგიერთ რეგიონში დანერგვის სირთულეები წარმოიშობა, დაფარვის არეალის ფიზიკური ხასიათის, დაცული კულტურული ისტორიული ძეგლების ან ძნელად მისადგომობის გამო.

ცხრილი 1. 4G და 5G ქსელების პარამეტრების შედარება

პარამეტრი	4G	5G
სიხშირული დიაპაზონი, გჰც	6 გჰც-მდე	30 გჰც-დან 300 გჰც-მდე
ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე, გბიტ/წმ	1	20
აბონენტის გადაადგილების მაქსიმალური სიჩქარე, კმ/სთ	≈ 400	> 500
დაყოვნება, მწმ	10	0,5
აქტიური აბონენტების რაოდენობა #/კმ ²	100 000	1 000 000

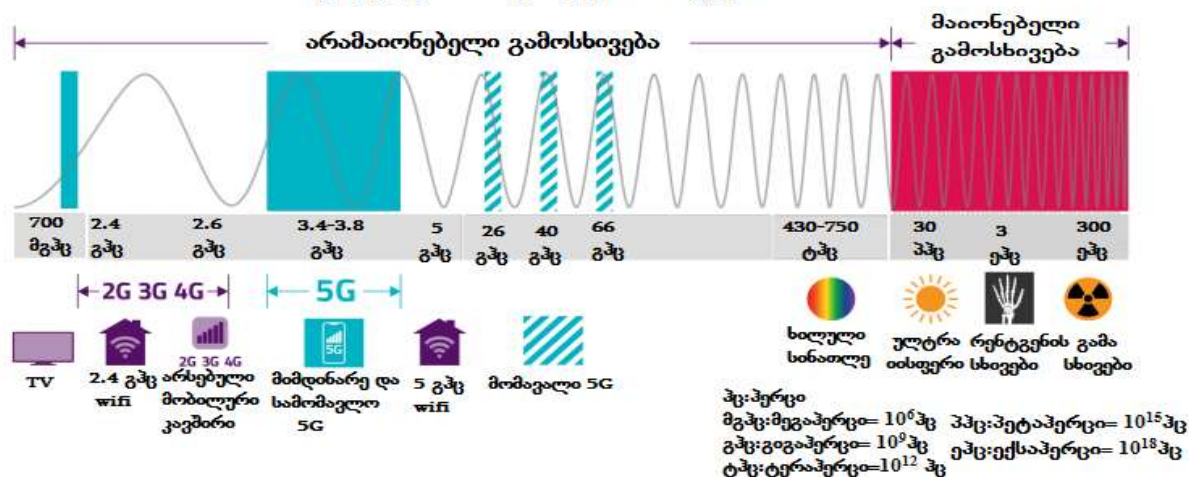
5G-ს ქსელის სრულყოფილი გაშლისათვის საჭირო იქნება სიხშირეების გამოყენება 24 გჰც-ზე მაღალ დიაპაზონში. საბაზო სადგურის მოქმედების დიაპაზონია 200 მ. 3G ქსელში საბაზო სადგურის მოქმედების რადიუსია 500 მ, 4G-ში დაახლოებით 400 მ. 5G-ში საჭირო იქნება საბაზო სადგურების რაოდენობის გაზრდა და საბაზო სადგურების განთავსება უფრო მჭიდროდ, ვიდრე 4G ქსელის სადგურები. გაიზრდება მაღალი სიხშირით მომუშავე საბაზო სადგურების და სხვა მოწყობილობების რაოდენობა. მიმდინარე საკომუნიკაციო სისტემები ძირითადად ფუნქციონირებს 6 გჰც სიხშირის ქვემოთ; მაგალითად, 4G-ში გამოყენებული სიხშირის ზოლები მერყეობს 700 მჰც-დან 3 გჰც-მდე. 5G გამოიყენებს უფრო მაღალ სიხშირეებს, ვიდრე წინა თაობების ფიჭური ტექნოლოგიები, მაგრამ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ინტენსიურობა იქნება დაბალი, იმისათვის რომ მოქმედების ზონები არ გადაიკვეთოს. ე.ი. 5G უფრო უსაფრთხო იქნება, ვიდრე წინა თაობის კავშირი. გადაცემის სიჩქარე 20-ჯერ მაღალი 4G-სთან (1გბიტ/წმ) შედარებით, გამოსახულება გახდება უფრო მკვეთრი, ვირტუალურ რეალობაში ჩაძირვა გახდება სრულყოფილი და მოცულობითი. ქსელში ჩაერთვება 1 მილიონი მოწყობილობა კვადრატულ კილომეტრზე. მიუხედავად ქსელში ჩართული დიდი რაოდენობით მოწყობილობებისა გადაცემის სიგნალის ხარისხი არ გაუარესდება. 5G აერთიანებს 5 ტექნოლოგიას: მილიმეტრულ ტალღებს, მცირე ფიჭებს, მასიურ მრავალარხიან შესასვლელ-გამოსასვლელს-MIMO (Multiple Input, Multiple Output), სხივის ფორმირებას და სრულად დუპლექსურ რეჟიმს.

წარმოადგენს თუ არა 5G ტექნოლოგია ახალ საფრთხეს ჩვენი ჯანმრთელობისთვის? – ეს არის მწვავე დებატების საგანი საზოგადოებაში. იმისათვის, რომ 5G ტექნოლოგიამ იმუშაოს საჭიროა დამატებითი სიხშირის ზოლები. მკვლევარები განიხილავენ სპექტრს 6 გჰც-დან 300 გჰც-მდე. ჩნდება დაინტერესება, როგორც მკვლევარების, ისე მთელი საზოგადოების, 5G ქსელების გამოსხივების უსაფრთხოების საკითხისადმი: აქვს თუ არა ასეთი მაღალი სიხშირეების (6-100 გჰც, მილიმეტრული ტალღები) გამოყენებას ნეგატიური გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე და გარემოზე?

არ არსებობს იმის ოფიციალური მტკიცებულება, რომ მობილური ქსელების და მათ შორის 5G შეიძლება დაკავშირებული იყოს რომელიმე დაავადების რისკის მატებასთან. ელექტრომაგნიტური გამოსხვების გავლენის კვლევა ადამიანის ჯანმრთელობაზე 60 წლის წინ დაიწყო, არ დადასტურებულა კონკრეტული დაავადების გამოწვევის მიზეზი მობილური ტექნოლოგიის გამოყენების, აქედან გამომდინარე მიზეზი იმისა რომ შეყოვნდეს ახალი ტექნოლოგიის გამოყენება არ არსებობს. შიში უარყოფითი ზეგავლენისა მობილური ტელეფონების ადამიანის ჯანმრთელობაზე ამ მოწყობილობების გამოჩენის დღიდან წარმოიშვა. საზოგადოებაში ყოველი ახალი გამოვლენა იწვევს ირაციონალურ დღევასა და სკეპტიციზმს. საუკუნეების მანძილზე ადამიანები ეწინააღმდეგებიან ტექნოლოგიურ ინოვაციებს. წარსულში დიდ შიშსა და პროტესტს იწვევდა პირველი ორთქლის მანქანები, თვითმფრინავები, მოგვიანებით მიკროტალღური ღუმელი, ფიჭური მობილური ტელეფონები. ახლაც საზოგადოების გარკვეული ნაწილი ანალოგიურად რეაგირებს 5G ტექნოლოგიაზე. 5G ქსელის მოწინააღმდეგეებს გააჩნიათ მოსაზრება: 5G-ის გამოყენებისას ხომ არ გადახურდება თავის ქალა, როგორი იქნება შედეგები, გაიზრდება თუ არა თავის ტვინის სიმსივნეების რისკი, სმენის დაქვეითების და სხვა დაავადებების მატების რისკი? უკვე 30 წელია მეცნიერები შეისწავლიან შესაძლო ბიოლოგიურ ეფექტს მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველებისას. გამოქვეყნებულია შედეგები და ანალიზი 10 ათასობით სამეცნიერო ექსპერიმენტებისა, ეპიდემიოლოგიური კვლევებისა, მაგრამ დღემდე აშკარა დემონსტრირება იმისა, რომ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას აქვს ნეგატიური გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე არავის გაუკეთებია. არის საუბარი პოტენციურ რისკზე გამოსხივებისაგან გამოწვეულ კიბოს გაჩენაზე, მაგრამ ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ზემოქმედებაც ასეთივე რისკის მატარებელია. „მტკიცებულება, რომელიც ერთმნიშვნელოვნად დაადასტურებს, რომ საქმე გვაქვს ნეგატიურ ზეგავლენასთან ადამიანის ჯანმრთელობაზე მაღალსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველებისაგან გამოწვეული არ არსებობს“ – ასეთი პოზიცია უკავია კიბოს კვლევის საერთაშორისო სააგენტოს The International Agency for Research on Cancer (IARC), რომელმაც შეიმუშავა კლასიფიკაცია რამდენიმე ასეული კარცეროგენისა და ნივთიერების. ელექტრომაგნიტური ველის მაღალსიხშირული რადიოტალღების ჩათვლით, რომელიც გამოიყენება ფიჭურ ქსელებში, შეტანილი იქნა იმ კიბოს რისკის ჯგუფში, რომელშიც იმპლანტები, რომელიც შეიცავს მეტალურ კობალტს ან ნიკელს. ამ ჯგუფში შედის ასევე ალოე ვერას ექსტრაქტი და ტალკი.

ელექტრომაგნიტური ველის სხვადასხვა ფორმა არსებობს, რომელიც განსხვავდება სიხშირითა და ხილული სინათლით. 5G იყენებს მილიმეტრულ ტალღებს (mmW) (ფიგურა 1).

ელექტრომაგნიტური სპექტრი



ფიგურა 1. ელექტრომაგნიტური სპექტრი

დღემდე გამოყენებული 5G ზოლები 700 მგჰც (694-790 მგჰც), 3,6 გჰც (3,4-3,8 გჰც) და 26 გჰც (24,25-27, 5 გჰც) სიხშირეები გამოკვლეულია ევროკავშირის დონეზე. პირველი ორი მსგავსია საფრთხის იდენტიფიკაციის თვალსაზრისით, რაც გამოიყენება 2G-4G ტექნოლოგიებისთვის და გამოკვლეული იყო როგორც ეპიდემიოლოგიურ, ისე ექსპერიმენტულ კვლევებში სხვადასხვა მიმართულებით (კანცეროგენობის და რეპროდუქციული/განვითარების ეფექტების ჩათვლით), რაიმე დამატებითი მავნებლობა არ გამოვლენილა, ხოლო 26 გჰც და უფრო მაღალი სიხშირეები, ამ მასშტაბით ჯერჯერობით არ არის შესწავლილი.

ევროპაში პირველადი პასუხისმგებლობა, მოსახლეობის დაცვაზე, ელექტრომაგნიტური ველების პოტენციური მავნე ზემოქმედებისგან (EMF-Electric and magnetic fields) ეკისრება ევროკავშირის წევრი ქვეყნების მთავრობას, რომელიც ეფუძნება არამაიონიზებელი გამოსხივებისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისიის International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) მითითებებულ გაიდლაინებს არამაიონიზებელი EMF-ის ზემოქმედების შესახებ. 2020 წლის მარტში ICNIRP-მა გამოაქვეყნა 1998 წლის სახელმძღვანელო მითითებების განახლებული ნაკრები რადიოსიხშირული EMF-ს 100 კჰც-დან 300 გჰც-მდე ზემოქმედების შესახებ, რომელშიც მუშაობს 5G ტექნოლოგია.

ელექტრომაგნიტურ ველების გამოსხივების დასაშვებ დონეებს არეგულირებს Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) და არამაიონიზებელი გამოსხივებისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისია International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

ICNIRP-ის გაიდლაინებით საკმარისად არის დასაბუთებული, რომ ჯანმრთელობაზე არასასურველი ეფექტები არ ვლინდება, გარდა „გათბობის“ ეფექტებისა და ნერვული სტიმულაციისა, ასევე აცხადებენ, რომ "არ არსებობს მტკიცებულება" EMF-ის მიერ გამოწვევი კიბოს, ელექტრო ჰიპერმგრძობელობის, უნაყოფობის ან ჯანმრთელობის სხვა ეფექტების შესახებ.

2020 წლის ოქტომბერში, აშშ-ს სურსათისა და წამლების ადმინისტრაციის FDA (Food and Drug Administration) მოხსენებაში იგივე დასკვნაა: „დღემდე არ არსებობს თანმიმდევრული ან სანდო სამეცნიერო მტკიცებულება ჯანმრთელობის პრობლემების შესახებ, რომელიც

გამოწვეულია მობილური ტელეფონების მიერ გამოსხივებული რადიოსიხშირული ენერჯის ზემოქმედებით“.

ჯანმო-მ გამოაქვეყნა რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველების ახალი რისკის შეფასება 2022 წლისთვის – „დღემდე და ჩატარებული მრავალი კვლევის შემდეგ, ჯანმრთელობაზე არასასურველი ეფექტი არ გამოვლენილა, მიზეზობრივად დაკავშირებული უსადენო ტექნოლოგიების ზემოქმედებასთან“. ქსოვილის გათბობა არის რადიოსიხშირული ველებისა და ადამიანის სხეულის ურთიერთქმედების მთავარი მექანიზმი. რადიოსიხშირული ზემოქმედების დონე იწვევს ადამიანის ორგანიზმში ტემპერატურის უმნიშვნელო მატებას. სიხშირის მატებასთან ერთად ნაკლებია შეღწევა სხეულის ქსოვილებში და ენერჯის შთანთქმა უფრო შემოიფარგლება სხეულის ზედაპირზე (კანი და თვალი). იმ პირობით, რომ მთლიანი ექსპოზიცია დარჩება საერთაშორისო გაიდლაინების ფარგლებში.

ელექტრომაგნიტურ ველს (ემვ) აქვს ადამიანის სხეულში შეღწევის უნარი, რომელიც იწვევს ქსოვილში ტემპერატურის მატებას. ადამიანის სხეულში ტემპერატურა იმატებს ვარჯიშისა და სპორტული აქტივობისას, სხეულს გააჩნია შინაგანი ტემპერატურის რეგულირების უნარი, თუმცა გარკვეული დონის ზემოქმედების ზემოთ შეიძლება გამოიწვიოს ჯანმრთელობის სერიოზული შედეგები – სითბური დარტყმა, ქსოვილის დაზიანება (დამწვრობა). რადიოსიხშირული ელექტრომაგნიტური ველის ერთერთი მახასიათებელია ის რომ, რაც უფრო მაღალია სიხშირე, მით უფრო დაბალია ემვ-ს სხეულში შეღწევის სიღრმე. მაღალი სიხშირეებიდან ენერჯია ძირითადად უფრო ზედაპირულად შეიწოვება ვიდრე წინა მობილური ტელეკომუნიკაციების ტექნოლოგიების. ადამიანის სხეულში ტალღების შეღწევის სიღრმე და გავლენა მცირდება სიხშირის ზრდასთან ერთად, კანი არ ზიანდება, რამდენადაც მილიმეტრული ტალღები აირეკლებიან კანის ზედაპირიდან.

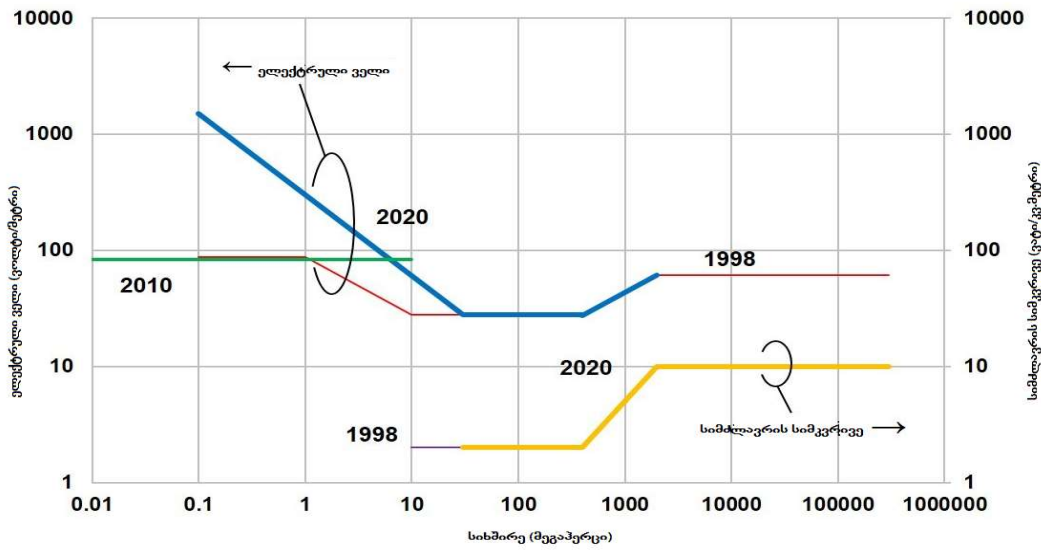
არამაიონებელი გამოსხივებისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისიამ - ICNIRP 20 წლის მანძილზე, პირველად განაახლა რეკომენდაცია 100 კჰც-დან 300 გჰც-მდე დიაპაზონში ელექტრომაგნიტური ველების მოქმედების დასაშვები ნორმების შესახებ, ცხრილი 2.

ცხრილი 2. ელექტრომაგნიტური ველების მოქმედების დიაპაზონი 100 კჰც-დან 300 გჰც-მდე

პარამეტრი	სიხშ. დიაპ.	ΔT	საშუალო ფართობი	საშუალო დრო	ჯანმრ. ზემოქ. დონე	მუშაკები	ფართო საზ.
ცენტრის ΔT	100კჰც-300გჰც	1°C	მთელ სხეულზე საშუალო	30 წთ	4 ვტ/კვ	0.4 ვტ/კვ	0.08 ვტ/კვ
ლოკალური ΔT (თავი&ტანი)	100კჰც-6გჰც	2°C	10 გრ	6 წთ	20 ვტ/კვ	10 ვტ/კვ	2 ვტ/კვ
ლოკალური ΔT (კიდურები)	100კჰც-6გჰც	5°C	10 გრ	6 წთ	40 ვტ/კვ	20 ვტ/კვ	4 ვტ/კვ
ლოკალური ΔT (თავი&ტანი,კი დურები)	>6-300 გჰც 30-300 გჰც	5°C	4 სმ ² 1 სმ ²	6 წთ 6 წთ	200 ვტ/მ ² 400 ვტ/მ ²	100 ვტ/მ ² 200 ვტ/მ ²	20 ვტ/მ ² 40 ვტ/მ ²

ICNIRP-ის მიერ 1998 წელს შემუშავებული შეზღუდვების შემდეგ ძირითადი ცვლილება ეხება 6 გჰც-ზე მაღალ სიხშირეებს:

- მთლიან ორგანიზმზე ზემოქმედების შეზღუდვის დამატებას;
 - მოკლე პერიოდით ზემოქმედებას სხეულის მცირე ნაწილზე (6 წთ-ზე ნაკლები) შეზღუდვის დამატებას;
 - მაქსიმალურად დასაშვები დონის ზემოქმედების დადაბლებას სხეულის მცირე ნაწილზე.
- ფიგურა 2-ზე მოცემულია ქსელებისათვის გამოსხივების რეკომენდებული დონეები 6 წუთზე მეტი დროით ზემოქმედებისას მთელ სხეულზე. ლურჯი ხაზი აღნიშნავს ახალ შეზღუდვებს ელექტრული ველის ზემოქმედებისას 2020 წლის შედარებას 1998 წელთან (წითელი ხაზი), მწვანე ხაზი-2010 წლის მონაცემებს, სტაფილოსფერი ხაზი – 2020წ.-1998წ. შედარება 100 კჰც-300გჰც სიხშირულ დიაპაზონში. მობილური კავშირის ქსელის ჩვეულებრივი მუშაობისას საბაზო სადგურიდან გამოსხივების დონე შეადგენს დაახლოებით 1% მაქსიმალურიდან, ხოლო მობილური ტელეფონის ტესტირებისას, მაქსიმალურად შესაძლო სიმძლავრეზე ეს პარამეტრი აღწევს დაახლოებით 50%-ს ზღვრული მნიშვნელობიდან. თუმცა ყოველდღიურ გამოყენებაში გამოსხივების დონე ძალიან ჰგავს საბაზო სადგურისას - დაახლოებით 1% მაქსიმალურიდან. ყველაზე მთავარია ის, რომ ჯანმრთელობაზე ზეგავლენის რისკის შეფასება უცვლელი რჩება, 1998 წელს განსაზღვრული რისკების საზღვრების მსგავსად.



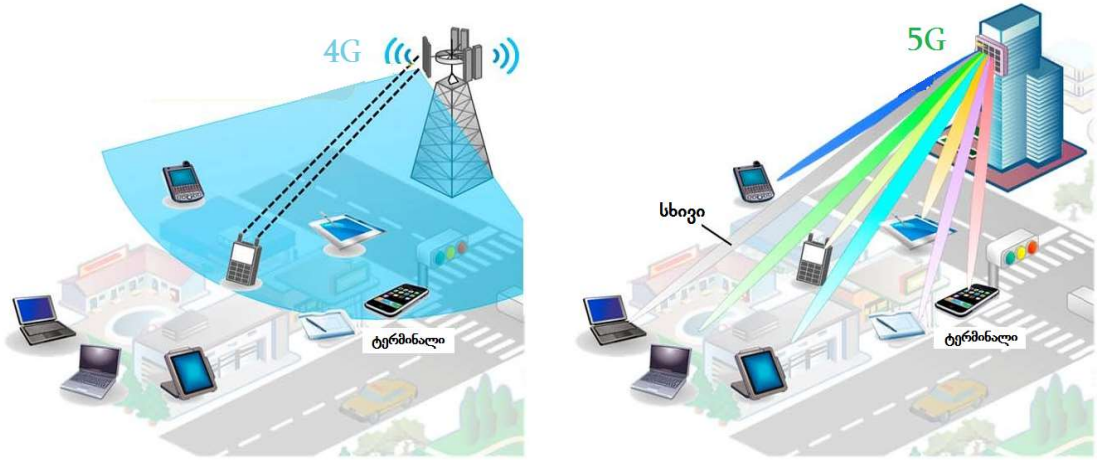
შენიშვნა: y-ღერძის ორი ერთეული ანუ ელექტრული ველი და სიმძლავრის სიმკვრივე ერთმანეთისგან დამოუკიდებელია.

ფიგურა 2. მთლიანი სხეულისთვის საშუალო გამოსხივების დონეები ICNIRP (1998), ICNIRP (2010) და ICNIRP (2020) გაიდლაინებისთვის, 100 კჰც-დან 300 გჰც-მდე სიხშირის დიაპაზონისთვის

ამერიკაში კვლევების შედეგად გამოირიცხა კიბოს დაავადებების რისკის არსებობა მობილურ კავშირთან დაკავშირებით. 2G-4G ქსელებში 2მ-5მ მანძილზე ელექტრომაგნიტური ველის გამოსხივების დასაშვები დონე ფიჭური კავშირის ზოლებისთვის შეადგენს 10 მიკროვატს სხეულის კვადრატულზე, დასახლებულ რაიონებში. ევროპის, აზიის ქვეყნებში, ამერიკაში დასაშვები ნორმა შეადგენს 200-1000 მკვტ-ს. ე.ი. ოპერატორებს შეუძლიათ

გამოიყენონ უფრო მძლავრი საბაზო სადგურები და უკეთესი ხარისხით დაფარონ ტერიტორია.

5G უკაბელო სტანდარტის მთავარი მახასიათებელია ის, რომ ის გამოიყენებს სხივის ფორმირების ტექნოლოგიას (ფიგურა 3), რომელიც საშუალებას აძლევს რადიოტალღების ელექტრომაგნიტურ ველის გამოსხივებას ფოკუსირება მოახდინონ იმ რეგიონზე, სადაც ეს საჭიროა (მაგალითად, ადამიანზე, რომელიც იყენებს მობილურ ტელეფონს), 4G ქსელებში სიგნალი ვრცელდება დიდ ფართობზე. 5G-ში შესაძლებელია ერთი და იგივე რადიოსიხშირის ტალღები გაიგზავნოს სხვადასხვა მომხმარებლებზე ერთდროულად დამატებითი ჩარევის გარეშე, რაც ზრდის კომუნიკაციის სიჩქარეს, რადგან არ არის საჭირო სიხშირის დიაპაზონის „გაზიარება“ მომხმარებლებს შორის.

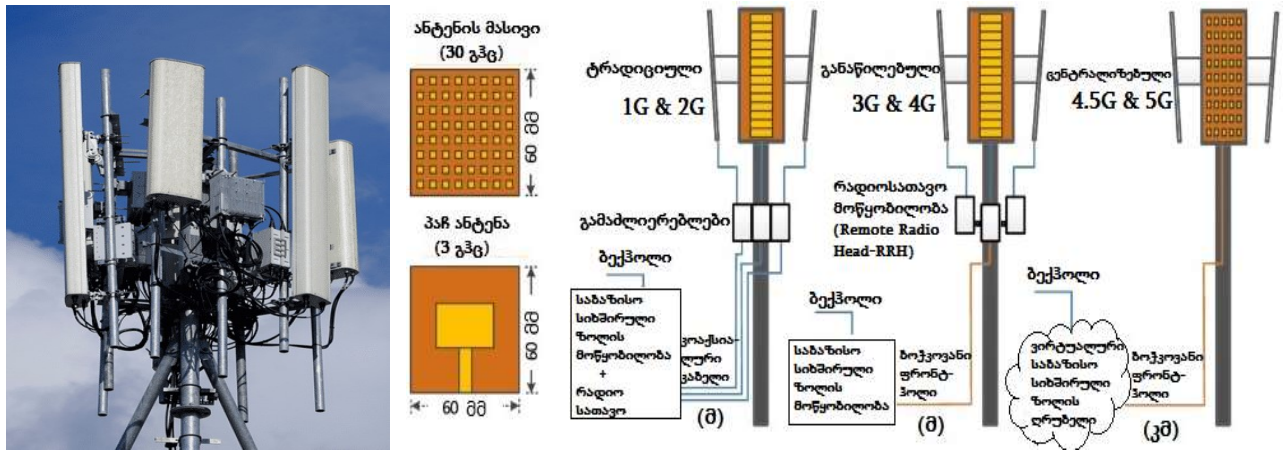


ფიგურა 3. 5G-ში სიგნალის სხივის ფორმირება

სხვადასხვა სიხშირე განსხვავებულად იქცევა სხვადასხვა გარემოში, ამის შედეგად საჭიროა დამატებითი ანტენები. უფრო მაღალი სიხშირის დიაპაზონის სიგნალებს შეუძლია მხოლოდ რამდენიმე მილის გავლა და ვერ აღწევენ მკვრივ მასალაში, რის შედეგადაც დაფარვის არეალი მცირდება. მცირე ფიჭის, საბაზო სადგურების დამატებით, პიკო, ფემტო ფიჭების გამოყენებით, სიხშირეების ხელახალი გამოყენებით შესაძლებელია ამ დანაკარგების აღმოფხვრა. მაღალ სიხშირეებზე უარყოფითად იმოქმედებს წვიმა, ნისლი, თოვლი და სხვ. რის გამოც სიგნალი განიცდის დანაკარგებს, ხარისხის გაურესებას, ამ ტიპის პრობლემის მოსაგვარებლად შესაძლებელია მაღალი სიმძლავრის პლანშეტური მიკროზოლიანი MIMO (Multiple Input, Multiple Output) ანტენის (ფიგურა 4) გამოყენება, მილიმეტრული ტალღის MIMO ანტენის სიხშირული დიაპაზონია 26 გჰც-29.5გჰც. საბაზო სადგურს უნდა გააჩნდეს შესაძლებლობა ხელახლა გამოიყენონ სიხშირეები თავიანთ ფიჭურ კლასტერში.

Massive MIMO Beamforming არის ტექნოლოგია, რომელიც ქსელის ტევადობისა და ფიჭის დაფარვის გაფართოების შესაძლებლობას იძლევა. 5G მულტი-ანტენა მოწყობილობებისათვის და საბაზო სადგურებისთვის მრავალი სიხშირის დიაპაზონში მუშაობის მხარდაჭერას მოითხოვს - 6 გჰც-დან მილიმეტრული ტალღების (mmW) სიხშირეების ჩათვლით. ტექნოლოგია არსებითად ზრდის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს და თითოეული მომხმარებლისთვის გამტარუნარიანობას, 5G Massive MIMO ანტენა უზრუნველყოფს ზუსტ დაფარვას 3D სხივის ფორმირების ტექნოლოგიის მეშვეობით, რაც

ოპერატორებს საშუალებას აძლევს დააკმაყოფილონ მზარდი მოთხოვნა მაღალსიხშირის და დიდი ტევადობის 5G ქსელის ორგანიზების.



ფიგურა 4. MIMO ანტენა

ICNIRP დაადგინა სპეციალური შთანთქმის სიჩქარე (Specific Absorption Rate-SAR) მობილური ტელეფონებისათვის – 1,6 ვტ/კგ, გაზომილი ადამიანის სხეულის 1 გრ ქსოვილზე.

ამერიკის კიბოს კვლევის საზოგადოების განმარტებით ჯერ კიდევ არ არის საკმარისი სამეცნიერო მტკიცებულება იმის შესახებ, რომ მობილური ტელეფონის ანტენებით გამოსხივებული რადიოსიხშირული ტალღები საზიანოა. იმის გამო რომ 5G იყენებს უფრო მაღალ სიხშირის ტალღებს ვიდრე 4G ეს მოსაზრება მოდის აქედან, რომ 5G საზიანოა, 5G-ში არ აღემატება 100 გპც სიხშირეს, რაც შორს არის მავნე გამოსხივებისაგან.

კაცობრიობას ახასიათებს კონსერვატიზმი, ამიტომ ყველაფერი ახალი იწვევს ხალხში უნდობლობას. ათწლეულებია კაცობრიობა გარშემორტყმულია მიკრო ტალღების დიაპაზონით, რადიო ლოკატორებით, პოლიციის რადარებით, თანამედროვე Wi-Fi-როუტერებით, რომლებიც მუშაობენ 2,4 გპც და 5 გპც-ზე. სტატისტიკა აჩვენებს, რომ ამ დროის განმავლობაში არავის განუცდია მუტაცია. 5G-ით ქალაქების რადიოდაფარვისთვის საჭირო იქნება 2-დან 6 გპც-მდე დიაპაზონი, მსოფლიოში პოპულარული სიხშირეა 3,4 გპც-დან 3,8 გპც-მდე, ზუსტად დასაფარად იმ ადგილების სადაც უმეტესი აბონენტია და ორგანიზაციები - დიაპაზონი 24,25 გპც-დან 29,5 გპც-მდე.

დასკვნა

მეხუთე თაობის ყველა უპირატესობა მთელ მსოფლიოში მიღწევადი იქნება უახლოეს რამდენიმე წელში. საინჟინრო და ტექნიკური საკითხების გარდა მოსაგვარებელია სამართლებრივი საკითხები ანუ ერთიანი 5G სტანდარტის შემუშავება, პოლიტიკური, ტექნოლოგიური საკითხების გადაჭრა, მწარმოებლების მიერ დასარეგულირებელია მოწყობილობები ახალი ქსელის სიმძლავრეებზე. ეს ტექნოლოგია მომავალში გააგრძელებს განვითარებას, გაუმჯობესებას, შექმნის ახალ შესაძლებლობებს და გაამარტივებს ჩვენს ცხოვრებას.

5G სტანდარტი ახორციელებს მონაცემთა უსწრაფეს გადაცემას მოწყობილობებს შორის რეაგირების მინიმალური დაყოვნებით, ადამიანის ჩარევის გარეშე, ხელოვნური ინტელექტის

შესაძლო კავშირით. 5G უსადენო ტექნოლოგიის შესაძლებლობები, ხელოვნურ ინტელექტთან ერთად იძლევა ციფრული ეკონომიკის მთელი სექტორის კონფიგურაციის საშუალებას, ბიზნეს მოდელების ინფორმაციული ტექნოლოგიების სფეროების ერთობლიობაში გადაქცევას. დაყოვნების მნიშვნელოვანი შემცირება ნიშნავს იმას რომ მოთხოვნის გაგზავნასა და მიღებას შორის დრო, მცირდება მინიმუმამდე. რაც აუმჯობესებს ონლაინ ინტერაქციის ხარისხს, ხელს უწყობს არასასურველი შეფერხებების თავიდან აცილებას აპლიკაციის რეალურ დროში გამოყენებისას. სტაბილური და უწყვეტი კომუნიკაცია ქსელის მაღალი გადატვირთულობის პირობებში, რაც მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ჩვეულებრივი მომხმარებლებისათვის, არამედ იმ ორგანიზაციებისათვის, რომლებსაც შეუძლიათ გამოიყენონ 5G უფრო ეფექტურად მუშაობისთვის და პროდუქტიულობის გაზრდისთვის.

მობილური კავშირით გამოწვეული საფრთხის პირდაპირი მტკიცებულება არ არსებობს. მიუხედავად მრავალი კვლევებისა ჯერჯერობით ვერცერთმა კვლევამ ვერ აღმოაჩინა მობილური ტელეფონებისა და კიბოს შორის კავშირი, ამ მიმართულებით კვლევები გრძელდება.

ექსპერტთა ჯგუფებმა, საზოგადოებრივი ჯანდაცვის ორგანიზაციებმა, მათ შორის ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ, სამეცნიერო კვლევებით დაასკვნეს, რომ არსებული მტკიცებულებები არ ადასტურებენ მობილური ტელეფონებისა და საბაზო სადგურების მიერ გამოსხივებული რადიოტალღების უარყოფით ეფექტს ჯანმრთელობაზე, ისინი აკმაყოფილებენ საერთაშორისო მოთხოვნებს.

მსოფლიოს უსაფრთხოებასთან დაკავშირებით ევროკომისიის მიერ რეკომენდებულია მკაცრი უსაფრთხოების შეზღუდვები ელექტრომაგნიტური ველებისთვის, რომელიც ვრცელდება ყველა სიხშირის დიაპაზონზე, მათ შორის რომელიც გამოიყენება 5G ქსელისთვის. უსაფრთხოების საერთაშორისო ორგანიზაციების შეფასებით: ARPANSA (ავსტრალია) - 5G ქსელების მიერ გამოყენებული რადიოტალღებისაგან ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე უარყოფითი გავლენა არ დაფიქსირებულა; DSA (ნორვეგია) - დღეს არსებული მონაცემების მიხედვით არ არსებობს 5G ტექნოლოგიის ჯანმრთელობისთვის საშიშროება; STUK (ფინეთი) - 5G მობილური ქსელებისთვის ისევე როგორც წინა თაობებისათვის (2G, 3G, 4G) ემგ-ს უსაფრთხოება უზრუნველყოფილია ემგ-ს საფრთხის სამართლებრივი მოთხოვნებით. 5G-ში როგორც მობილური მოწყობილობები, ასევე საბაზო სადგურები შეესაბამება უსაფრთხოების იმავე სტანდარტებს, რომელიც გამოიყენება ამჟამად არსებულ ქსელებში. საბაზო სადგურის ანტენა რადიოტალღებს საშუალებას მისცემს მიმართული იყოს მიმღები მოწყობილობისთვის სიგნალის მაქსიმალური სიძლიერის უზრუნველსაყოფად (მასიური MIMO), რადიოსიგნალების სიმძლავრის დონეები იქნება წინა თაობის ქსელებში გამოყენებული მნიშვნელობების ტოლი ან დაბალი. გამოსხივების ინტენსიობა სწრაფად მცირდება ანტენიდან დაშორებისას, გამოსხივების დონე იმ ადგილებში სადაც ადამიანები მუდმივად არიან გაცილებით დაბალია, მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობაზე. 4G ქსელში გამოსხივების სიმძლავრე 200 მილივატია, 2G-1000 მილივატი, 5G-გამოსხივების სიმძლავრე 100 მილივატამდე შემცირდება. 5G ზემოქმედების ხარისხის მიხედვით არ განსხვავდება მოქმედი ქსელებისაგან და ტექნოლოგია არის უვნებელი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Ivana Marić, Shlomo Shamai, Osvaldo Simeone, Theoretic Perspectives on 5G Systems and Beyond, Cambridge University Press, Online ISBN: 9781108241267, April 2022, p.756.
2. Волков А.Н., Мутханна А.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения на пути к сетям 2030. Информационные технологии и телекоммуникации, СПб, 2020, т. 8, №2 . стр. 32- 42.
3. <https://shorturl.at/myBZ4>; <https://rb.gy/nsdg9>; <https://www.shorturl.at/shortener.php>; <https://www.icnirp.org/en/differences.html>; <https://rb.gy/fhxm7>; <https://rb.gy/cxrua>; <https://rb.gy/qfpcs>; <https://rb.gy/2d81j> <https://shorturl.at/anH04>; <https://shorturl.at/ehqO1>; <https://shorturl.at/cAIKO>; <https://shorturl.at/cRSW4>; <http://surl.li/jdqfr>.

Electromagnetic radiation safety issues of the fifth generation (5g) mobile networks

¹Makharadze Salome, ²Mikashavidze Rati, ³Gvagvalia Tsotne, ⁴Eradze Giorgi

^{1,2,3,4}Georgian Technical University, Faculty of Informatics and Management Systems, Digital Telecommunication Technology's Department, ¹Associate Professor, ^{2,3,4}Masters students

Abstract

Today's telecommunication infrastructure is faced with the solution of the main challenges, such as: solutions to the growing demands of users - fast and high-quality data transfer in the network, insufficient channel bandwidth and network overcrowding, exponential growth of the number of devices connected to the network.

The transition from generation to generation of mobile connectivity is aimed at improving the speed and quality of mobile data transmission. The evolution of mobile communication systems (1G, 2G, 3G, 4G, 5G, G-Generation, in the nearest future 6G, 7G) has come a long way. The existing four generations took the connection to a new level, the main purpose of 3G and 4G was to increase the speed of mobile data transmission. The new technology of the fifth generation - 5G (Fifth Generation) mobile connection makes broadband mobile data transfer possible. 5G is an evolution of previous generations of mobile technology. 5G will accelerate the development of the "Internet of Things". The transition from 4G to 5G will affect practically everyone who uses a mobile connection.

The fifth generation-5G network is a new generation wireless internet technology, which, compared to existing technologies, will significantly increase the mobile Internet speed, it will reduce the delay and take the most important industries to a completely new level: health care, education, business, agriculture, infrastructure and more. which will significantly strengthen the country's economy.

In 5G, a large volume of data is transmitted over a shorter distance than in 4G LTE (Long Term Evolution), which increases the data transmission speed of the entire network and the stability of the connection, even when the subscriber moves. 5G will use millimeter waves (mmW) in the 30GHz-300GHz range. Millimeter spectrum waves used in 5G can spread in free space, use of a new frequency range allows serving a large number of devices with less power consumption.

From the day of appearance mobile phones, they have raised some concerns about the potential health risks associated with the use of mobile phones and the placement of base stations near homes. In order to reduce the load on the networks, provide fast connection and cover a large area, the 5G network requires more transmitter-base stations than the 4G network, What causes a negative mood in society, the question arises: How high will the radiation created by the base stations be and will it be harmful to humanity?

5G can operate in the low, mid or highband millimeter wave bands ranging from 24 GHz to 66 GHz. In the existing active cellular mobile connections, for the operation of modern telecommunication devices, have been used such low frequencies (frequencies below 6 GHz) as are needed for the operation of the currently active 5G mobile connection (700 MHz, 2600 MHz and 1800 MHz, 3400-3600 MHz frequency range, a popular worldwide frequency is 3.4 GHz to 3.8 GHz). The principle of operation of the base station is different from the principle of operation of stations of previous generations. A key feature of the 5G wireless standard is that it will use beamforming technology, which allows frequencies to be sent to different users simultaneously, unlike 4G networks, where the signal emitted by the base station spreads over a large area. The station emits only 20 watts, it is not concentrated in space and decreases very quickly, for example, the width when it reaches the roof is already quite weak. 5G radiation norms comply with the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) and will be lower (200-1000 microwatts) compared to the norms of the previous generation.

Key words: Fifth generation, 5G, electromagnetic radiation, millimeter waves.