1. ფიჭური სადგურის და მისი განლაგების ადგილის დახასიათება

შ.პ.ს "მაგთიკომი" აბონენტთა მომსახურების სრულყოფის მიზნით გეგმავს საქართველოს ცალკეულ რეგიონებში მობილური სატელეფონო კავშირის "მაგთი GSM" ქსელის რიგი ფიჭური სადგურების რეკონსტრუქციას. ერთ-ერთი ასეთი ობიექტია სწორედ 2007 წელს გაშვებული ფიჭური რადიოსადგური ***ალექსეევკა.***

მობილური სატელეფონო კავშირის GSM სისტემა ევროპული სტანდარტების საფუძველზე დამუშავებული სისტემაა და გამოირჩევა მაღალი ტექნიკური, სამომხმარებლო და ეკოლოგიური მაჩვენებლებით. მან აპრობაცია გაიარა და ფართოდ დაინერგა ევროპის, აზიის, ამერიკის ქვეყნებში.

„მაგთი-GSM"-ის განვითარების პროექტი ითვალისწინებს ფიჭური სადგურის რეკონსტრუქციას ქ. თბილისში, სამგორის რაიონში, ალექსეევკის დასახლებაში, ყოფილი სამხედრო ნაწილის ტერიტორიაზე მდებარე შენობის სახურავზე. მილი განთავსებულია მოსწორებულ ბაქანზე, ზღვის დონიდან 500 მეტრზე. ანტენები დამონტაჟდება მიწიდან 28 მეტრ სიმაღლეზე. სულ დამონტაჟდება GSM ტიპის 3 ანტენა. ანტენები მიმღებ-გადამცემი იქნება. მიმღებ-გადამცემთა სამუშაო ზონები იქნება 120° (A ანტენა), 240° (B ანტენა) და 345° (C ანტენა) დირექციული კუთხეების 68°-იანი სექტორები.

საბაზო სადგური მთლიანად ფარავს რადიოსიგნალის შესაბამისი დონით ირგვლივ მდებარე დასახლებულ ტერიტორიას. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების თვალსაზრისით საყურადღებო ობიექტები ანტენების გასხივების სექტორებში მდებარე ტერიტორიაზე არ აღინიშნება.

1.1. ფიჭური სადგურის ტექნიკური მახასიათებლები

საბაზო სადგური განკუთვნილია ერთდროულად GSM –900, GSM –1800 და UMTS სტანდარტებზე სამუშაოდ. ფიჭური სადგურის გადამცემებისა და ანტენების მაჩვენებლები სამივე სტანდარტისათვის მოყვანილია ცხრ.1.

საბაზო სადგური ქსელის საკომუტაციო ცენტრს უკავშირდება რადიოსარელეო სისტემის საშუალებით, რომლის მახასიათებლებია:

F მიმართულება:

აპარატურის ტიპი	–	XP4
სამუშაო სიხშირული დიაპაზონი	–	15 გჰც,
გადამცემის სიმძლავრე	–	0,08 ვტ,
ანტენის ტიპი	–	პარაბოლური,
ანტენის დიამეტრი	–	0.3 მ,
ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი	–	30.6 დბ
მიმმართველობის დიაგრამის სიგანე	–	4.5°,
ანტენის განლაგების სიმაღლე	–	20 მ,
გავრცელების მიმართულება (აზიმუტი)	–	218°,
გავრცელების დახრა	–	-1.5°.

ცხრ.1

№	დასახელება	A ანტენა			B ანტენა			C ანტენა		
		GSM-900	GSM-1800	UMTS	GSM-900	GSM-1800	UMTS	GSM-900	GSM-1800	UMTS
1	სამუშაო სიხშირეთა დიაპაზონი, მგჰც.	925-960	1805-1880	2110-2170	925-960	1805-1880	2110-2170	925-960	1805-1880	2110-2170
2	გადამცემთა საერთო სიმძლავრე, ვტ.	40	32	40	40	32	40	40	32	40
3	ელექტრომაგნიტური ტალღის პოლარიზაცია	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.	ვერტ.
4	ფიდერის მილევა, დბ.	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	ანტენის ტიპი	742241	742241	742241	742241	742241	742241	742241	742241	742241
6	ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტი, დბ.	15	17	15	15	17	15	15	17	15
7	ანტენის მიმმართველობის დიაგრამის სიგანე ჰორიზონტ. სიბრტყეში, გრად.	68	68	68	68	68	68	68	68	68
8	ანტენის მიმმართველობის დიაგრამის სიგანე ვერტ. სიბრტყეში, გრად.	7	7	7	7	7	7	7	7	7
9	ანტენის დაცვითი მოქმედების კოეფიციენტი, დბ.	>25	>25	>25	>25	>25	>25	>25	>25	>25
10	გადამცემი ანტენების რაოდენობა, ცალი	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	ანტენების განლაგების სიმაღლე, მეტრი	28	28	28	28	28	28	28	28	28
12	ანტენის აზიმუტი, გრად.	120	120	120	240	240	240	345	345	345
13	ანტენების დახრილობა, გრად	6	6	6	6	6	8	3	3	3

2. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების სანიტარიული ნორმები და ანგარიშის მეთოდიკა

რადიოტექნიკური საშუალებების მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების უსაფრთხოების შეფასებისათვის დღეისათვის საქართველოში მოქმედებს ნორმატიული დოკუმენტი, რომელიც დამტკიცებულია საქ. შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2001 წლის 16 აგვისტოს №297/6 ბრძანების საფუძველზე: სწდან 2.2.42.1.8.001-01 (იხ. საქართველოს საკანონმდებლო მაცნე №90, 24.08.2001).

ამ დოკუმენტის მიხედვით 300 მგჰც-ზე უფრო მაღალ სიხშირეებზე მომუშავე რადიოტექნიკური საშუალებებისთვის ნორმირება უკეთდება ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის (ენს) მნიშვნელობას. ამასთან ნორმირებულია ენს-ის ორი მნიშვნელობა: 1) მომსახურე პერსონალისათვის - ენს$_1$ =200/T მკვტ/სმ^2; სადაც **T** ელექტრომაგნიტური ველის (ემვ) ზემოქმედების დროა საათებში. 8-საათიანი სამუშაო დღისათვის ენს$_1$ =25 მკვტ/სმ^2; 2) მოსახლეობისათვის - ენს$_2$=10 მკვტ/სმ^2.

ფიჭური სატელეფონო კავშირის ქსელში დიდ უმეტეს შემთხვევაში საბაზო სადგურებთან ერთად განლაგებულნი არიან რადიოსარელეო სადგურები. ზოგიერთ შემთხვევაში კი ობიექტზე შესაძლოა განლაგებული იყოს მხოლოდ საბაზო რადიოსადგური (როდესაც მასთან კავშირი ხორციელდება საკაბელო მაგისტრალის საშუალებით) ან მხოლოდ დამაბოლოვებელი და სარეტრანსლიაციო რადიოსარელეო სადგურები, როდესაც საჭიროა საკომუტაციო ცენტრის დაკავშირება ქსელის ცალკეულ ელემენტებთან. ნებისმიერ შემთხვევაში რადიოსადგურების ანტენები განთავსდება არსებულ შენობა-ნაგებობებზე ან სპეციალურად ამ მიზნით აგებულ ანძებზე.

საბაზო სადგურის შემცველი ობიექტების ირგვლივ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველი ძირითადად განპირობებულია ამ უკანასკნელთა მოქმედებით, რადგან რადიოსარელეო სისტემების გადამცემების სიმძლავრე გაცილებით მცირეა საბაზო სადგურის გადამცემების სიმძლავრესთან შედარებით. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში რადიოსარელეო გადამცემების მოქმედების გათვალისწინება, თეორიული გათვლების საფუძველზე ელექტრომაგნიტური ველის პროგნოზირებისას, არაფერს ახალს არ მოგვცემს, რადგან მათი წვლილი ველის ჯამურ სურათში არის გაცილებით მცირე, ვიდრე მეთოდიკის შესაძლებლობები შეფასების სიზუსტის თვალსაზრისით. თუმცა აქვე აღვნიშნავთ, რომ ობიექტის სანიტარიულ პასპორტში ასახული უნდა იყოს მასზე დამონტაჟებული ყველა რადიოსაშუალების ტექნიკური მახასიათებლები. შესაბამისად ელექტრომაგნიტური ველის მაჩვენებლების გაზომვა უნდა ჩატარდეს ყველა მათგანის ფუნქციონირების დროს, რათა შეფასებულ იქნას ველი ყველაზე „უარესი“ შემთხვევისათვის.

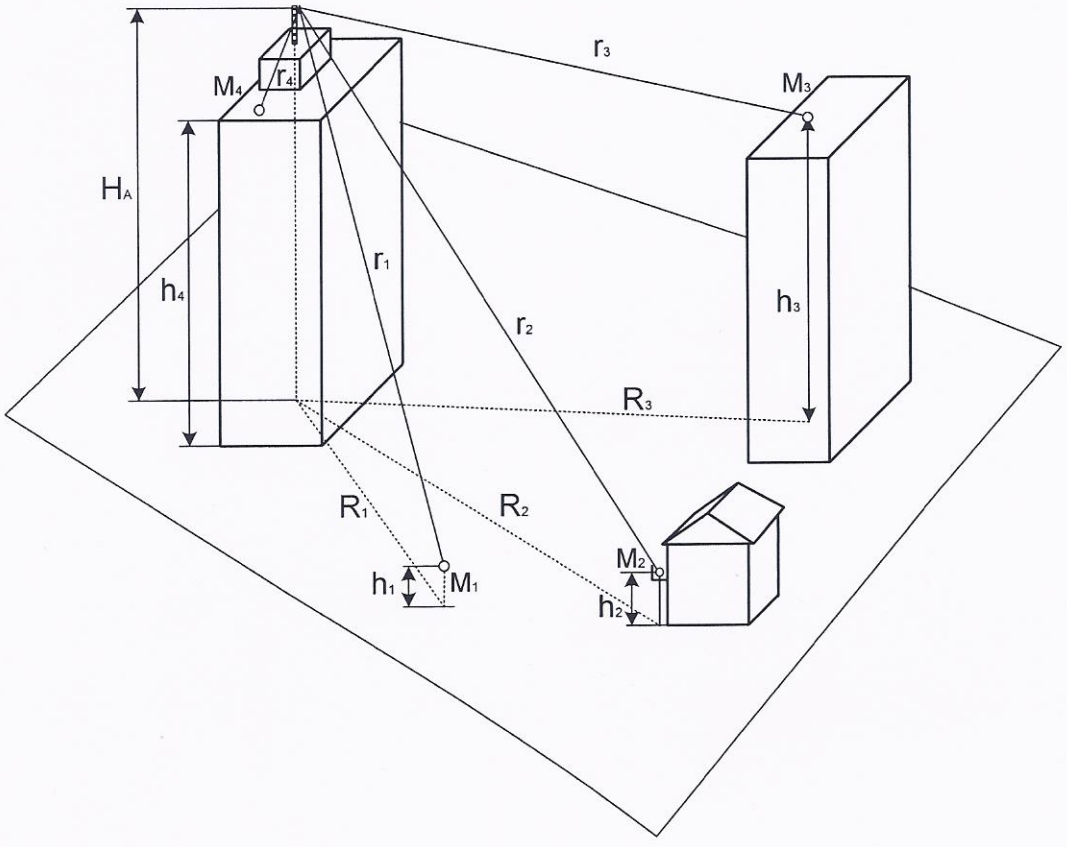
ზოგადი შემთხვევისათვის ანტენის განლაგების სქემა და მის ირგვლივ ზონაში ენს-ის გაზომვის ტიპიური წერტილები $M_1 \ldots M_4$ მოცემულია ნახ. 1-ზე.

წერტილი M_1, განლაგებული $h_1 = 2$ მეტრ სიმაღლეზე, შეესაბამება სანიტარიული დამცავი ზონის R_1 ზღვარს, რომელიც განსაზღვრულია დოკუმენტში [1].

წერტილი M_2, განლაგებული h_2 სიმაღლეზე, ინტერესს წარმოადგენს მაშინ, როდესაც საჭიროა ახლომდებარე სახლებში ენს-ის განსაზღვრა.

წერტილი M_3 შეესაბამება განაშენიანების ზონის შეზღუდვას h_3 სიმაღლეზე, რომელიც A ანტენის H_A სიმაღლის თანაზომადია.

წერტილი M_4 განლაგებული $h_4 = H_A$ სიმაღლეზე განიხილება, თუ განისაზღვრება ენს-ის დონე მომსახურე პერსონალისთვის.



ნახ. 1

საზოგადოდ რადიოსადგურიდან r მანძილით დაშორებული, A ანტენის შორეულ ზონაში განლგებული M წერტილისთვის ენს განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\text{ენს} = [30 P_A G_A \eta_{ფ} K_{ინტ}^2 / r^2 Z]. F^2(\alpha) \cdot F^2(\varphi), \quad (1)$$

სადაც: P_A – A ანტენის მკვებავი გადამცემის სიმძლავრეა,

G_A – ანტენის გაძლიერების კოეფიციენტია იზოტროპული დამსხივებლის მიმართ,

$\eta_{ფ} = \eta_0 \cdot \eta_{თბ}$ – დანაკარგებია საანტენო-ფიდერულ ტრაქტში;

η_0 – დანაკარგებია არეკვლებზე, რომლებიც განპირობებულია ანტენის ფიდერთან შეთანხმების არასრულყოფილობით (საზოგადოდ $\eta_0 > 0,9$);

$\eta_{თბ}$ – ფიდერის მ.ქ.კ.-ია, განპირობებული თბური დანაკარგებით;

$K_{ინტ} = 1,15...1,3$ – შესუსტების მამრავლია, განპირობებული დასახლებულ პუნქტებში მეზობელი ობიექტებიდან არეკვლილი ტალღების ინტერფერენციით ძირითად ტალღასთან;

$Z = 377$ ომს – თავისუფალი გარემოს ტალღური წინაღობაა,

$F^2(\alpha)$ – ვერტიკალურ სიბრტყეში ანტენის მიმმართველობის ნორმირებული დიაგრამაა;

$F^2(\varphi)$ – ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ანტენის მიმმართველობის ნორმირებული დიაგრამაა;

α და φ – გასხივების მთავარი მიმართულების მიმართ გადახრის კუთხეებია შესაბამისად ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სიბრტყეებში.

2.1. რადიოსარელეო სადგურების ანტენების მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის თავისებურება და ანგარიშის მეთოდი

რადიოსარელეო სადგურების შემთხვევისათვის სპეციფიკურია ის გარემოება, რომ ანტენის ირგვლივ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ენს-ის ზღვრულ მნიშვნელობას მიახლოვებული დონეები განლაგებულია ანტენის ახლო ზონაში, განსხვავებით საბაზო რადიოსადგურებისგან, სადაც ეს ზღვრული მნიშვნელობები თითქმის მუდამ განლაგებულია შორეულ ზონაში. აქედან გამომდინარე, ანგარიშის ის მეთოდიკა, რაც გამოიყენება საბაზო სადგურებისთვის იძლევა დიდ ცდომილებას ველის შეფასებისას. სწორედ ამიტომ, რადიოსარელეო სისტემების მიერ შექმნილი ველების ანგარიშისათვის გამოიყენება უფრო რთული, მაგრამ ამავე დროს ახლო ზონაში ველის შეფასების უფრო ზუსტი მეთოდი, რომელიც დამტკიცებულია საქ. შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2003 წლის 24 თებერვლის №38/ნ ბრძანების საფუძველზე.

რადიოსარელეო სადგურების ანტენები წარმოადგენენ აპერტურული კლასის ანტენებს, რომელთა სპეციფიკური თვისებაა მიმმართველობის მრავალფოთლიანი დიაგრამა და აქედან გამომდინარე ელექტრომაგნიტური ველის რთული სტრუქტურა ანტენის ახლო ზონაში.

აპერტურული ანტენების გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივის ანგარიშის მეთოდიკა გულისხმობს ველის შეფასებისას დამსხივებლისა და აპერტურის დამოუკიდებელ წყაროებად განხილვას. ასეთ შემთხვევაში განსახილველ M წერტილში გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივე:

$$П = П_а + П_д, \qquad (2)$$

სადაც $П_а$ და $П_д$ გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივის მდგენელებია, შექმნილი შესაბამისად აპერტურის და დამსხივებლის მიერ. აპერტურული და დამსხივებლის მდგენელების გამოსახულებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$П_а = P \cdot D_0 \cdot B^2(R) \cdot F^2(\theta,R) / 4\pi R^2, \ вტ/მ^2, \quad (3)$$

$$П_д = 0{,}1 \cdot P \cdot D_д / 4\pi R^2, \ вტ/მ^2. \quad (4)$$

აქ P - ანტენის მიერ გასხივებული სიმძლავრეა, ვატებში;

D_0 – ანტენის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტია შორეულ (ტალღურ) ზონაში;

$B^2(R)$ – ფუნქციაა, რომელიც ითვალისწინებს ანტენის ახლო ზონაში მიმმართველობის დიაგრამის ცვლილებას ანტენამდე R მანძილის შესაბამისად;

$F^2(\theta,R)$ - ანტენის მიმმართველობის ნორმირებული დიაგრამაა სიმძლავრის მიხედვით;

$D_д$ - დამსხივებლის მიმართული მოქმედების კოეფიციენტია;

θ და R - განსახილველი წერტილის სფერული კოორდინატებია (იხ. ნახ.2).

ანგარიშის სიმარტივისთვის (4) გამოსახულებაში მიღებულია, რომ დამსხივებლის მიმმართველობის ნორმირებული დიაგრამის მნიშვნელობა სიმძლავრის მოხედვით, სარკისგარე მიმართულებათა სექტორში $F_д^2(\theta)=0,1$. საზოგადოდ $F_д^2(\theta)$ არ არის დამოკიდწბული R-ზე, რადგან განსახილველი წერტილი მუდამ იმყოფება დამსხივებლის შორეულ ზონაში.

მანძილი ანტენის ახლო და შორი ზონების საზღვრამდე (სასაზღვრო მანძილი) წრიული აპერტურის მქონე ანტენების შემთხვევისათვის

$$R_{ზღ}=2d^2/\lambda,$$

სადაც d – ანტენის დიამეტრია, ხოლო $\lambda = c/f$ - ტალღის სიგრძეა,

$c = 3\cdot10^8$ მ/წმ - სინათლის სიჩქარეა, ხოლო f – გასხივების სიხშირეა.

ანგარიშის მეთოდიკა ეფუძნება

$$x = R/ R_{ზღ} \quad და \quad u = (\pi d \sin\theta/\lambda$$

ფარდობითი ცვლადების შემოტანას. რომელთა გათვალისწინებით (3) და (4) ფორმულებში, შედეგის გამრავლებით 100-ზე და გადასვლით დეციბელებზე მიიღება საბოლოო გამოსახულებები $П_ა$-ს და $П_д$-ს საანგარიშოდ (დეციბელებში 1 მკვტ/სმ^2-ის მიმართ):

$$П_ა = 10\cdot\lg (P\cdot\lambda^2 / d^4) + 10\cdot\lg D_0 + 20\cdot\lg[B(x)/x]+ 20\cdot\lg F(u,x)+3, \text{ დბ}, \quad (5)$$

$$П_д = 10\cdot\lg (P / (4\pi R^2) + 10\lg D_д + 10, \text{ დბ}, \quad (6)$$

სადაც B(x) - ფუნქციაა, რომელიც ითვალისწინებს მიმართული მოქმედების კოეფიციენტის ცვლილებას x-ფარდობით მანძილზე დამოკიდებულებით;

F(u,x)- ნორმირებული დიაგრამაა u და x კოორდინატებში.

$20\cdot\lg[B(x)/x]$ ფუნქციას მცირე x-ებისთვის აქვს ოსცილირებადი სახე, მაგრამ სანიტარული შეფასებების მიზნებისთვის საკმარისია მისი მომვლების გამოყენება. ამ მომვლების მნიშვნელობები სხვადასხვა x-ისთვის მოცემულია ცხრ.2-ში (იხ. აგრეთვე "Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 300 ГГц": МУК 4.3.680-97. - М: "Интерсэн"):

ცხრილი 2

x	20·lg[B(x)/x], დბ	x	20·lg[B(x)/x], დბ	x	20·lg[B(x)/x], დბ
0	14,5	0,35	8,5	7	2,9
0,125	14,45	0,4	7,33	0,75	2,36
0,15	14,17	0,45	6,56	0,8	1,83
0,175	135	0,5	5,67	0,85	1,3
0,2	12,5	0,55	4,93	0,9	0,83
0,25	11,17	0,6	4,17	1,0	0
0,3	9,5	0,65	3,43	>1	-20·lg x

ძალზედ ოსცილირებადი ხასიათი აქვს აგრეთვე F(u,x) ფუნქციას. მისი მომვლების მნიშვნელობები ფიქსირებული x პარამეტრისთვის u ცვლადის ცალკეული მნიშვნელობებისთვის, წრიული აპერტურის მქონე ანტენებისთვის მოცემულია მეთოდური სახელმძღვანელოს 3 და 1 ცხრილებში.

სანიტარიული მიზნებისთვის აპერტურული ანტენების მიერ შექმნილი ველის შეფასებისას საკმარისია შემოვიფარგლოთ ანალიზით მხოლოდ ანტენის წინა ნახევარსივრცეში, რადგან თანამედროვე ანტენებისთვის უკანა ნახევარსივრცეში ველი ძალზედ სუსტია მათი მაღალი დაცვითი მოქმედების კოეფიციენტის გამო.

ანტენის წინა ნახევარსივრცეში, $\theta \le \beta$ კუთხეების სექტორში, გამოსხივების

ნაკადის სიმკვრივის ჯამური მნიშვნელობა იანგარიშება გამოსახულებით:

$$\Pi = 10^{\Pi_{ა,დბ}/10} + 10^{\Pi_{დ,დბ}/10}, \qquad (7)$$

სადაც $\Pi_{ა,დბ}$ და $\Pi_{დ,დბ}$ იანგარიშება (5) და (6) გამოსახულებებით.

გრძელფოკუსიანი ანტენებისთვის (რომელთათვისაც პარაბოლური სარკის გაშლის კუთხე $2\Psi_0 \le 180°$) - $\beta = 90°$;

მოკლეფოკუსიანი ანტენებისთვის (რომელთათვისაც $2\Psi_0 > 180°$) - $\beta = 180° - \Psi_0$.

თუ Ψ_0 არ არის მოცემული და ვიცით ფოკუსური F მანძილი, მაშინ იგი შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$\Psi_0 = 2 \operatorname{arctg} (d / 4F).$$

საზოგადოდ გამოსხივების ნაკადის სიმკვრივის (გნს) შეფასებისათვის ღერძული სიმეტრიის ანტენების შემთხვევაში (მაგთიკომი იყენებს სწორედ ასეთ ანტენებს), შეიძლება ავიღოთ $2\Psi_0 = 180°$.

დამსხივებლის მიმართული მოქმედების $D_д$ კოეფიციენტი დამოკიდებულია Ψ_0 კუთხეზე. სხვადასხვა Ψ_0 კუთხისთვის მისი მნიშვნელობები მოცემულია ცხრ.3-ში (იხ. აგრეთვე "Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц - 300 ГГц": МУК 4.3.680-97. - М: "Интерсэн"):

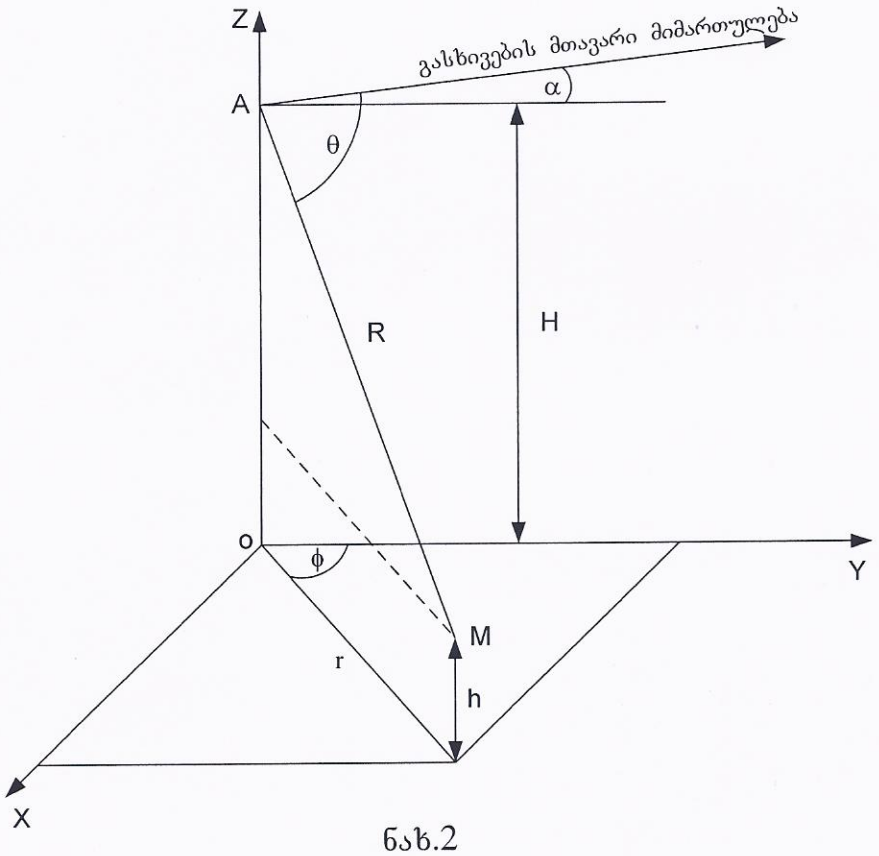
ცხრილი 3

Ψ_0, გრად.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$D_д$, დბ	10	9,8	9,7	9,1	8,2	7,4	6,4	5,3	4,1	3,2	2,6	2,4	2,4

განსახილავი M წერტილის სფერული R და θ კოორდინატები აპერტურის ცენტრის მიმართ ნახ.2-ის მიხედვით იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებებით:

$$R = \sqrt{(H-h)^2 + r^2} \quad , \qquad (8)$$

$$\theta = \arccos\{[r \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha - (H - h)\sin\alpha] / R\} \, , \qquad (9)$$



ნახ.2

სადაც H – ანტენის განლაგების სიმაღლეა,

h – განსახილველი M წერტილის განლაგების სიმაღლეა,

r – ანტენისა და წერტილის ჰორიზონტალურ გეგმილებს შორის მანძილია,

α – განხივების მთავარი მიმართულების დახრის კუთხეა ჰორიზონტის მიმართ,

φ – კუთხეა განხივების მთავარი მიმართულების ჰორიზონტალურ გეგმილსა და r მონაკვეთს შორის.

3. საბაზო რადიოსადგურის მიერ გარემომცველ სივრცეში შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის შეფასება

ანტენის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის გარემომცველ სივრცეში განაწილების შეფასებისათვის მოსახერხებელია განისაზღვროს სივრცის არე, რომელშიც ენს-ის მნიშვნელობა მეტია ან ტოლი ზღვრულად დასაშვებზე.

საბაზო სადგურის ანტენების შემთხვევისათვის შესაძლოა გამოვიყენოთ გამოსახულება (1). ამ გამოსახულებიდან განვსაზღვროთ მანძილი ანტენიდან სივრცის ყველა იმ წერტილამდე, რომელშიც ენს ტოლია ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობისა:

$$r = \sqrt{[30 \cdot P_A G_A \eta_{ფ} K_{ინტ}^2 / \text{ენს}_{ზღვ} Z].\ F^2(\alpha) \cdot F^2(\varphi)}\ , \quad (2)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ საქართველოში მოქმედი ნორმატივების შესაბამისად, მოსახლეობისათვის $\text{ენს}_{ზღვ}=0{,}1 \text{ვტ/მ}^2$, მაშინ გვექნება:

$$r = \sqrt{[30 P_A G_A \eta_{ფ} K_{ინტ}^2 / 0{,}1 Z].\ F^2(\alpha) \cdot F^2(\varphi)}\ . \quad (3)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ველი შექმნილია არა ერთი, არამედ რამოდენიმე წყაროს მიერ, მაშინ მანძილი ნორმას გადაჭარბებული ზონის საზღვრამდე შეიძლება ვიანგარიშოთ, როგორც ცალკეული მათგანის შესაბამის მანძილთა საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა:

$$r_{\Sigma} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + \dots r_n^2}\ ,$$

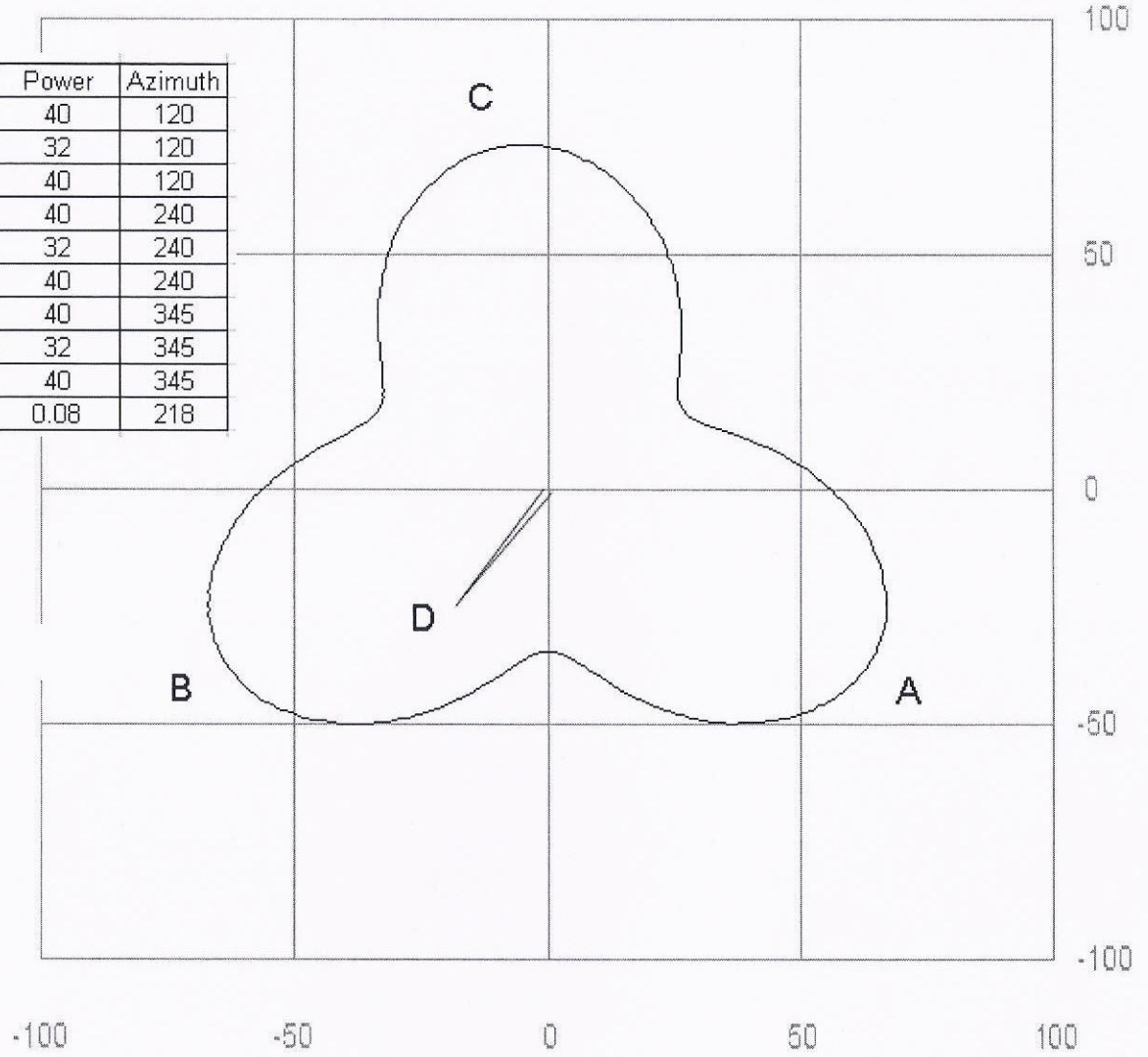
სადაც n წყაროთა რაოდენობის მაჩვენებელია. მაგალითად, ორ სტანდარტზე მომუშავე ანტენის შემთხვევაში გვექნება:

$$r_{\Sigma} = \sqrt{[(30 P_{A1} G_{A1} \eta_{ფ1} K_1^2 / 0{,}1 Z)\ F_1^2(\alpha) \cdot F_1^2(\varphi)] + [(30 P_{A2} G_{A2} \eta_{ფ2} K_2^2 / 0{,}1 Z)\ F_2^2(\alpha) \cdot F_2^2(\varphi)]}\ .$$

ამ გამოსახულებაში აპარატურის ტექნიკურ მონაცემებში მოყვანილი მნიშვნელობების შეტანით და ანტენების მიმმართველობის დიაგრამების გამოყენების საფუძველზე ვაგებთ ანტენების მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის ნაკადის სიმკვრივის ტოლ მნიშვნელობათა დიაგრამებს ჰორიზონტალურ (ნახ.3ა) და ვერტიკალურ (ნახ.3ბ,გ,დ) სიბრტყეებში, საიდანაც ჩანს, რომ საქართველოში მოქმედი ნორმატივებისთვის 742241 ტიპის ანტენებისთვის გადამცემთა განსახილავ რეჟიმში მუშაობის შემთხვევაში ენს ნორმაშია A ანტენიდან 9 მეტრის ქვემოთ და 73.5 მეტრზე შორს პირდაპირი სხივის გასწვრივ; B ანტენიდან 10 მეტრის ქვემოთ და 70.5 მეტრზე შორს პირდაპირი სხივის გასწვრივ; C ანტენიდან 5 მეტრის ქვემოთ და 73.5 მეტრზე შორს პირდაპირი სხივის გასწვრივ. ამ დიაგრამების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ 28 მეტრ სიმაღლეზე განლაგებული GSM ანტენების ქვეშ სანიტარიული დამცავი ზონა არ არსებობს. რაც შეეხება განაშენიანების შეზღუდვის ზონას, მის შესახებ ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ანტენის განლაგების წერტილში დედამიწის ზედაპირის პირობითი ნულოვანი დონის მიმართ იგი შეადგენს:

A ანტენისთვის 19 მეტრ სიმაღლეზე 73.5 მეტრს 120° აზიმუტის მიმართულებით;
B ანტენისთვის 18 მეტრ სიმაღლეზე 70.5 მეტრს 240° აზიმუტის მიმართულებით;
C ანტენისთვის 23 მეტრ სიმაღლეზე 73.5 მეტრს 345° აზიმუტის მიმართულებით.

Name	Antenna	Frequency	Gain	Power	Azimuth
A	742241	900 MHz	15 dBi	40	120
A	742241	1800 MHz	17 dBi	32	120
A	742241	2100 MHz	15 dBi	40	120
B	742241	900 MHz	15 dBi	40	240
B	742241	1800 MHz	17 dBi	32	240
B	742241	2100 MHz	15 dBi	40	240
C	742241	900 MHz	15 dBi	40	345
C	742241	1800 MHz	17 dBi	32	345
C	742241	2100 MHz	15 dBi	40	345
D	XP4	15000 MHz	36.7dBi	0.08	218



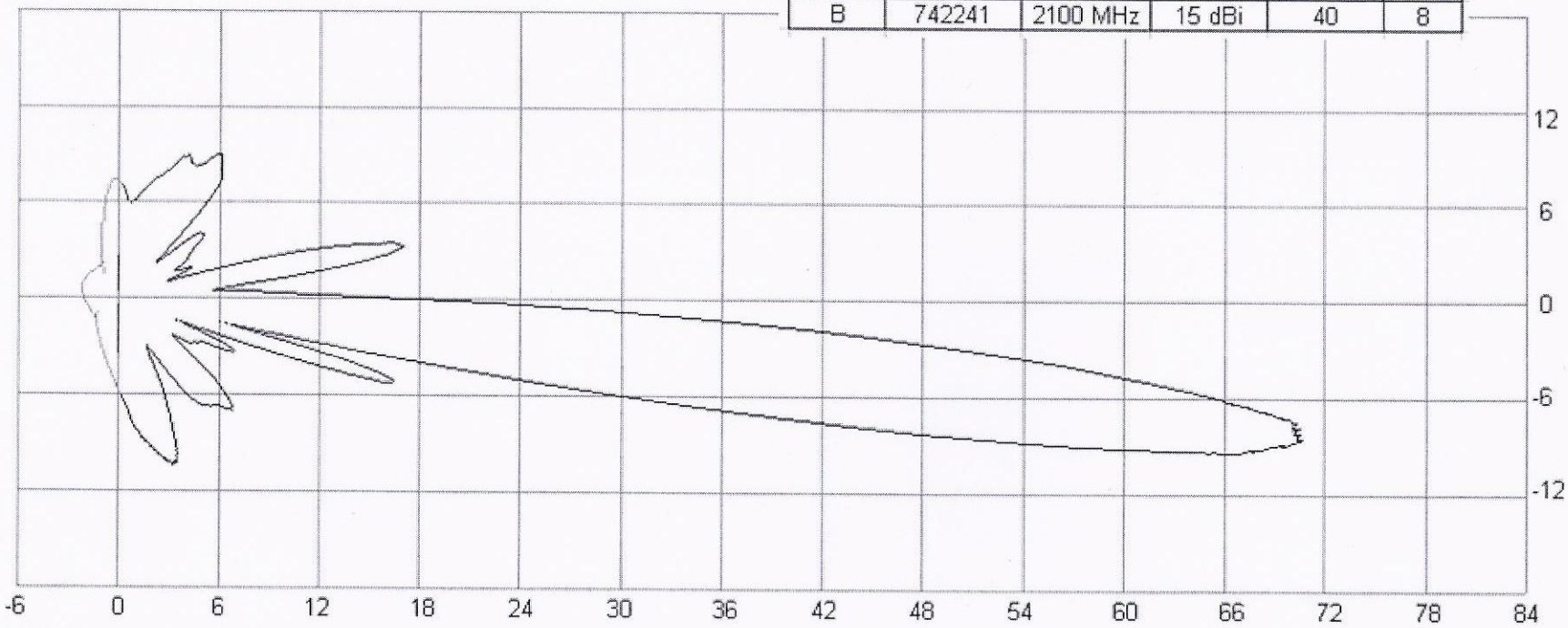
ნახ.3ა.

Name	Antenna	Frequency	Gain	Power	Tilt
A	742241	900 MHz	15 dBi	40	6
A	742241	1800 MHz	17 dBi	32	6
A	742241	2100 MHz	15 dBi	40	6



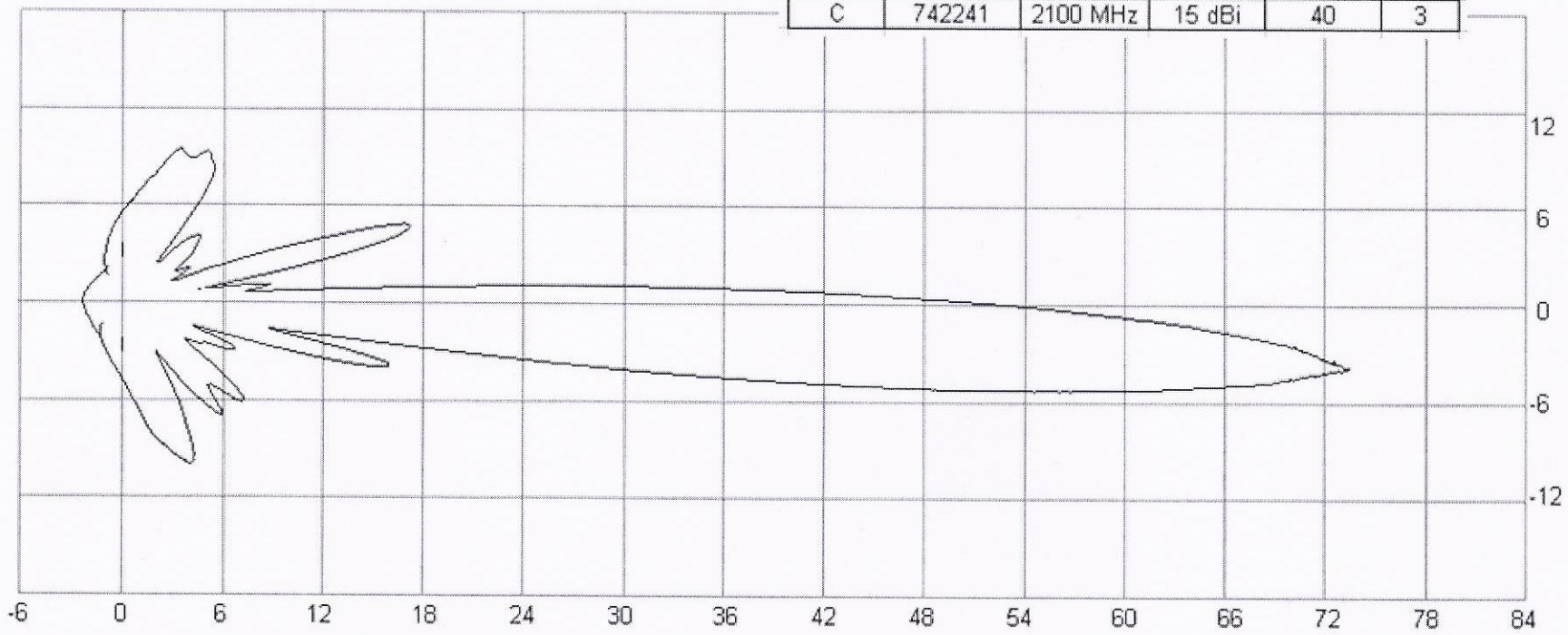
ნახ.3ბ.

Name	Antenna	Frequency	Gain	Power	Tilt
B	742241	900 MHz	15 dBi	40	6
B	742241	1800 MHz	17 dBi	32	6
B	742241	2100 MHz	15 dBi	40	8



ნახ.3ვ.

Name	Antenna	Frequency	Gain	Power	Tilt
C	742241	900 MHz	15 dBi	40	3
C	742241	1800 MHz	17 dBi	32	3
C	742241	2100 MHz	15 dBi	40	3



ნახ.3ი.

3. რადიოსარელეო სადგურების ანტენების მიერ გარემომცველ სივრცეში შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის შეფასება

ანტენის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ენერგიის გარემომცველ სივრცეში განაწილების შეფასებისათვის მოსახერხებელია განისაზღვროს სივრცის არე, რომლის შიგნითაც ენს-ის მნიშვნელობა მეტია ან ტოლი ზღვრულად დასაშვებზე.

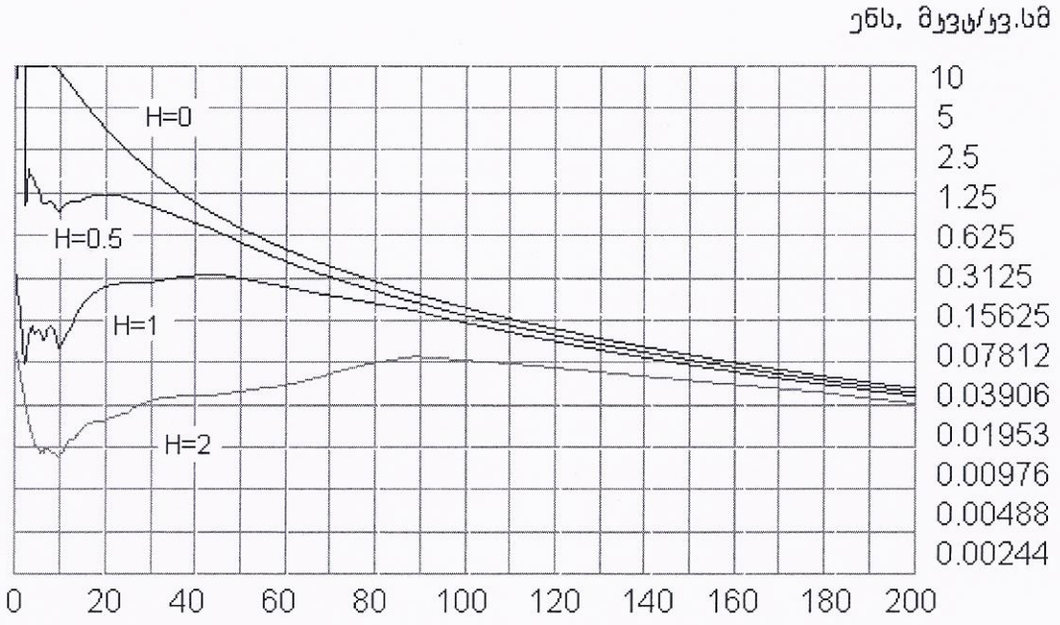
თითოეული ანტენის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის მაჩვენებლების თეორიული შეფასებისათვის, წინა პარაგრაფში მოყვანილი მეთოდიკის შესაბამისად, კომპიუტერული მოდელირებით, სპეციალურად დამუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფის საფუძველზე, გადაღებულ იქნა ყველა გამოყენებული კონფიგურაციის რადიოსარელეო სადგურის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის გარამომცველ სივრცეში განაწილების დიაგრამები და თითოეული მათგანისათვის ნორმას გადაჭარბებული ზონის სასაზღვრო კონტურები, რომლებიც წარმოდგენილია ნახაზებზე 4ა და 4ბ, სადაც:

ა)–ნახაზზე ჰორიზონტალური მიმართულებით გადაზომილია მანძილი ანტენამდე მეტრებში, ვერტიკალურად – ენს-ის მნიშვნელობა მკვტ/სმ^2), ΔH – გადახრაა მეტრებში ანტენის მთავარი ოპტიკური ღერძიდან.

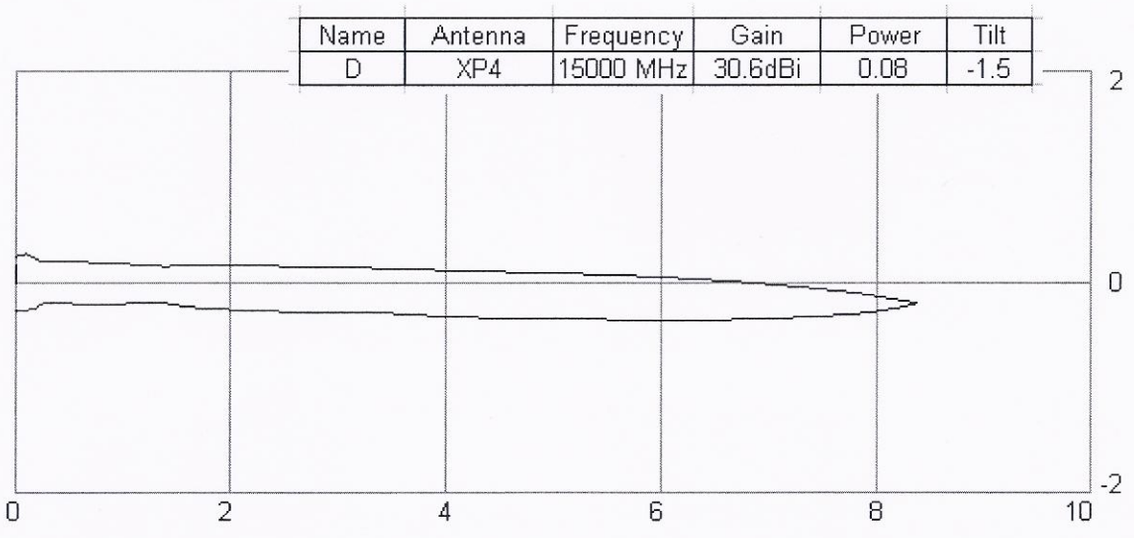
ბ)–ნახაზზე ჰორიზონტალური მიმართულებით გადაზომილია მანძილი ანტენამდე, ხოლო ვერტიკალური მიმართულებით–გადახრა მეტრებში ანტენის სარკის მთავარი ოპტიკური ღეძიდან.

ამ მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ თითოეული ანტენისათვის ნორმას გადაჭარბებული არე არ გამოდის მთავარი მიმართულების ირგვლივ განლაგებული იმ ცილინდრული ზონის საზღვრებს გარეთ, რომლის დიამეტრიც ანტენის დიამეტრის რიგისაა, ხოლო ამ ზონის მიღმა ველი ძალზედ სწრაფად მცირდება. აქედან გამომდინარე 20 მეტრ სიმაღლეზე დაკიდული რადიოსარელეო სადგურის ანტენა ქმნის ვიწრო კონას, რომელიც მის ქვეშ მდებარე უახლოეს რელიეფს სცილდება სულ ცოტა 19.5 მეტრით. შესაბამისად, 2 მეტრ სიმაღლეზე მის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის მაჩვენებლები ნორმატიულთან შედარებით გაცილებით მცირეა და ამიტომ სანიტარიულ-დამცავი ზონის ფორმირებაში პრაქტიკულად არ მონაწილეობს. რაც შეეხება განაშენიანების შეზღუდვის ზონას, მის შესახებ შეიძლება ითქვას, რომ ანტენის განლაგების წერტილში დედამიწის ზედაპირის პირობითი ნულოვანი დონის მიმართ იგი შეადგენს 219.5 მეტრ სიმაღლეზე 8.5 მეტრს 218° აზიმუტის მიმართულებით.

ა)


ენს, მკვტ/კვ.სმ
H=0
H=0.5
H=1
H=2
10
5
2.5
1.25
0.625
0.3125
0.15625
0.07812
0.03906
0.01953
0.00976
0.00488
0.00244
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200

ბ)


Name
Antenna
Frequency
Gain
Power
Tilt
D
XP4
15000 MHz
30.6dBi
0.08
-1.5
2
0
-2
0
2
4
6
8
10

ნახ.4.

დასკვნა

- ფიჭური კავშირგაბმულობის ქსელის საბაზო რადიოსადგურ ***ალექსეევკას*** ანტენების ირგვლივ მდებარე ობიექტებზე ენს-ის მნიშვნელობა გაცილებით დაბალია ნორმატიულზე.

- იმის გამო, რომ ანტენები განლაგებულია საკმაოდ მაღლა და მათ აქვთ კარგი მიმმართველობა, ორი მეტრის სიმაღლის სანიტარიული დამცავი ზონა, რასაც ითვალისწინებს ნორმატივი, არ არსებობს (შეზღუდვა სიმაღლის მიხედვით იწყება გაცილებით მაღლა).

- პარაგრაფი 3-ში მიღებული შედეგების მიხედვით განაშენიანების შეზღუდვის ზონის შესახებ ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ანტენის განლაგების წერტილში დედამიწის ზედაპირის პირობითი ნულოვანი დონის მიმართ იგი შეადგენს:

  A ანტენისთვის 19 მეტრ სიმაღლეზე 73.5 მეტრს 120° აზიმუტის მიმართულებით;

  B ანტენისთვის 18 მეტრ სიმაღლეზე 70.5 მეტრს 240° აზიმუტის მიმართულებით;

  C ანტენისთვის 23 მეტრ სიმაღლეზე 73.5 მეტრს 345° აზიმუტის მიმართულებით;

  D ანტენისთვის 19.5 მეტრ სიმაღლეზე 8.5 მეტრს 218° აზიმუტის მიმართულებით.

- გამომდინარე ზემოაღნიშნულიდან საბაზო რადიოსადგურის განლაგების ადგილი და მისი კონფიგურაცია გარემომცველი რელიეფის ელექტრომაგნიტური ველისგან დაცულობის თვალსაზრისით სწორედ არის შერჩეული და შესაძლებელია მისი ასეთი სახით ექსპლოატაცია.

104-Б

88-I

12,6

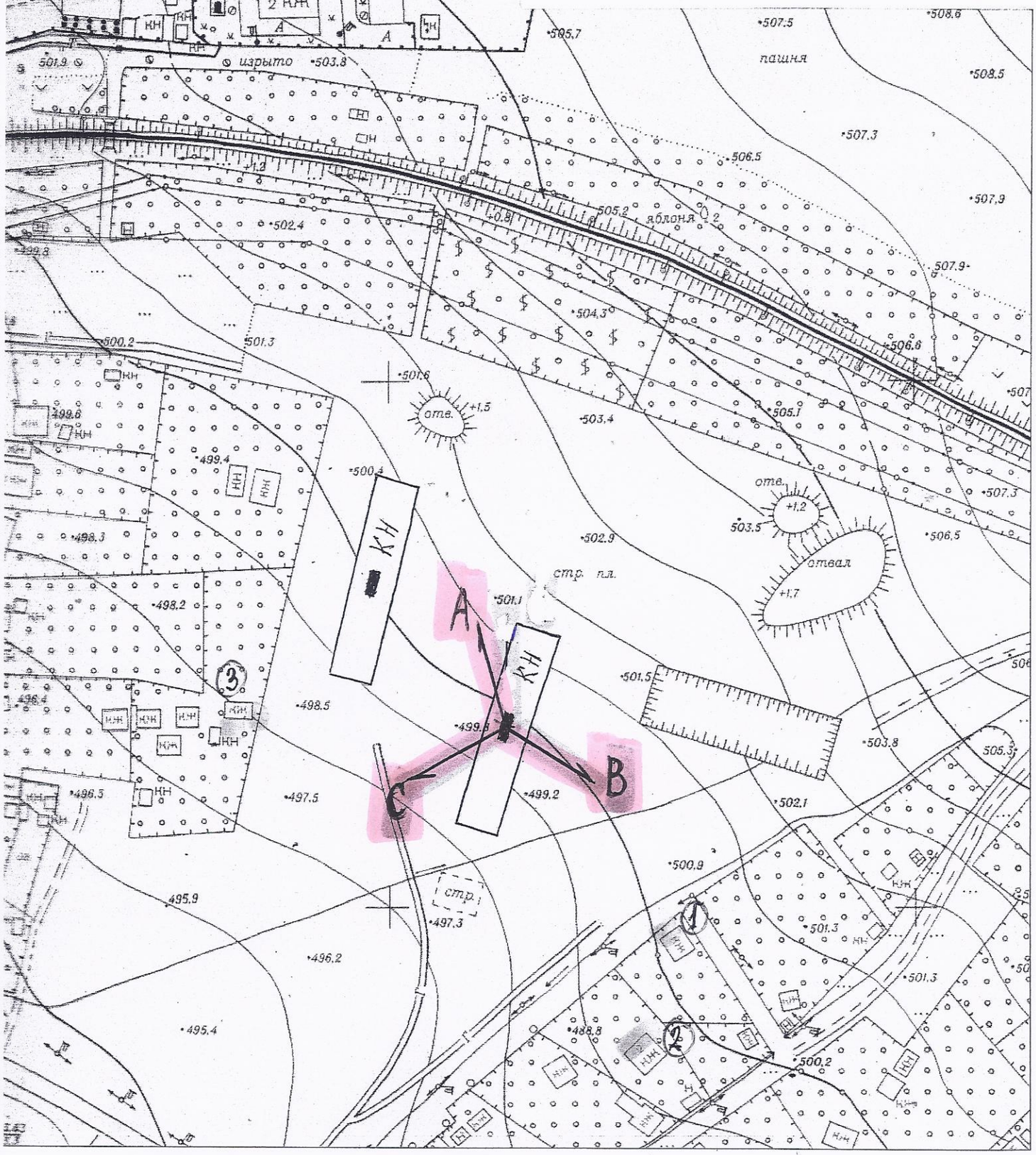
შპს „მაგთიკომი“

საბაზო რადიოსადგური

„ალექსეევკა“

მასშტაბი

1 : 2 000



გაზომვის შედეგები					ემვ ინტენსივობა მკვტ/სმ^2	
რიგითი N	გაზომვის ადგილი	წყაროდან დაცილება მ	ემვ ზონაში ყოფნის დროს სთ	სიმაღლე იატაკიდან მ	გაზომვის შედეგები	დასაშვები ნორმა
1	შენობის გვერდით, შელტერებთან	35	24	0,5;1;1.8	0,11	10
2	ფეხბურთის მოედანზე	50	24	0,5;1;1.8	0,37	10
3	ფეხბურთის მოედნის ბოლოს, ღობესთან	120	24	0,5;1;1.8	0,06	10
4	საერთო საცხოვრებლის წინ	80	24	0,5;1;1.8	0,04	10
5	მემორიალურ ძეგლთან	100	24	0,5;1;1.8	0,06	10
6	მსუბუქი გადახურვის ქვეშ	120	24	0,5;1;1.8	0,03	10
7	სამხედრო ნაწილის ტერიტორიაზე ცენტრალურ შესასვლელთან	90	24	0,5;1;1.8	0,04	10
8	სამხედრო ნაწილის ღობის გასწვრივ მდებარე სახლთან	70	24	0,5;1;1.8	0,03	10

გაზომვა ჩაატარა კობა მირესაშვილი