

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი ცოფურაშვილი

ელექტროენერგეტიკის ობიექტებზე სამრეწველო სიხშირის  
ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: “ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, გიორგი ცოფურაშვილი

თბილისი

2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ცოფურაშვილი გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტროენერგეტიკის ობიექტებზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2018

ხელმძღვანელი ----- პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

**ავტორი:** გიორგი ცოფურაშვილი

**თემის დასახელება:** ელექტროენერგეტიკის ობიექტებზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევა

**ფაკულტეტი :** ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

**აკადემიური ხარისხი:** აკადემიური დოქტორი

**სხდომა ჩატარდა:** ივლისი, 2018

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

ენერგეტიკის მძლავრმა განვითარებამ, რომელსაც თან ახლავს მძლავრი ახალი ელექტროსადგურების გაშვება და ელექტროგადამცემი ხაზების სიგრძის არსებითი ზრდა და ამასთანავე ელექტრული ენერჯის ინტენსიურმა გამოყენებამ საზოგადოება მიიყვანა იმასთან, რომ მე-20 საუკუნის უკანასკნელ ათწლეულში ჩამოყალიბდა ადამიანებით დასახლებული გარემოს გაჭუჭყიანების ახალი მნიშვნელოვანი ხელოვნური ფაქტორი – სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი.

ამჟამად ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ აღიარებულია, რომ ხელოვნური წარმოშობის ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის ერთერთ ყველაზე უფრო საშიშ და მნიშვნელოვან ფაქტორს, რომელიც ხასიათდება საგანგებოდ აქტიური ბიოლოგიური მოქმედებით. ელექტრომაგნიტური ველი, როგორც გარეშე ფაქტორი, შეიძლება განხილულ იქნას ორი პოზიციიდან: ბიოლოგიური ზიანი და სოციალური სარგებლობა. ეს ორი პოზიცია ერთმანეთთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული, რადგან არა მარტო ძალიან მცირდება ბიოლოგიურად დასუსტებული ადამიანის შრომის ნაყოფიერება, არამედ ზოგიერთ შემთხვევაში ადამიანები შრომისუუნარონიც ხდებიან. აქედან გამომდინარე ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების პრობლემამ შეიძინა სახელმწიფო მნიშვნელობა და თანამედროვე პირობებში განვითარებულ ქვეყნებში უფრო და უფრო იზრდება ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისაგან დაცვის მასშტაბები.

ამასთანავე ელექტროენერგეტიკული ობიექტების სიახლოვეს ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების რეალური დონის შეფასება მათი ელექტრული შეერთებებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების სირთულის გათვალისწინებით, ასევე ელექტრული ქსელის საკვლევი უბნის სქემურ-რეჟიმული თავისებურებებიდან გამომდინარე დღემდე რჩება რთულ სამეცნიერო ტექნიკურ პრობლემად, რომელიც მოითხოვს ყოველმხრივ შესწავლას.

სამწუხაროდ საქართველოში დღემდე არ არის დამუშავებული ელექტრო-მაგნიტური თავსებადობისა და შესაბამისად ელექტროენერჯის ხარისხის კონცეფცია. ამით აიხსნება ელექტროენერგეტიკულ ობიექტებზე ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევის საკითხის აქტუალურობა.

ნაშრომის პირველ თავში მოყვანილია ლიტერატურული ანალიზის შედეგები. ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ მოქმედი საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზი მომიჯნავე სივრცეში ქმნის სამრეწველო სიხშირის ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს, დაშორება, რომელზეც ვრცელდება ეს ველები აღწევს რამდენიმე ათეულ მეტრს. საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ელექტრომაგნიტური ველი იწვევს: თავის ტკივილს, დაღლილობას, უძილობას, სისუსტეს, გადახრებს ჰიპოტონიის მიმართ, ტკივილებს გულის არეში, იშემიას, მიდრეკილებას ინსულტისა და ინფარქტის მიმართ.



ამავე თავში მოყვანილია ზოგიერთი საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებისა და ელექტროტრანსპორტის მაგნიტური გამოსხივების სიდიდეები; სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ აღძრული დენების სიმკვრივების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობების საერთაშორისო დროებითი რეკომენდაციები; სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები; ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშების არსებული მეთოდები.

ნაშრომის მეორე თავში განხილულია სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაანგარიშებისა და გაზომვის მეთოდები. ამ თავში განსაკუთრებით დიდი ადგილი აქვს დათმობილი სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობის უნივერსალურ საზომ ხელსაწოს „BE-METP“-ს, რომლის დანიშნულებაა სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დამაბულობის და მაგნიტური ველის ინდუქციის გაზომვა იმ პერსონალის სამუშაო ადგილებზე, რომლებიც პროფესიულად დაკავშირებულნი არიან სამრეწველო სიხშირის ცვლადი ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემისა და განაწილების სისტემების, რკინიგზის ტრანსპორტის, სამედიცინო ტექნიკისა, საცხოვრებელი და საოფისე სათავსოების სპეციალური მოწყობილობების მომსახურებასა და ექსპლუატაციასთან.

ნაშრომის მესამე თავში წარმოდგენილია ელექტრულ ქსელებში პერსონალზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების შეფასების მეთოდები.

ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების მრავალფაქტორიანობა გარემოს ეკოლოგიაზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მოითხოვს ამ ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასების პრობლემის კომპლექსურ გადაწყვეტას.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, 2003 წლამდე ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმებით რეგლამენტირებული იყო ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა ელექტრული ველის დამაბულობის გავლენის ზონაში და მთლიანად იყო იგნორირებული მაგნიტური ველის გავლენის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობა. სიტუაცია კარდინალურად შეიცვალა ახალი ნორმატიული დოკუმენტების შემოღების შემდეგ, რომელებშიც გამოყენებულია ერთიანი მიდგომა, რომელიც ზღუდავს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობას ელექტრული ან მაგნიტური ველის მომატებული დონის არსებობის დროს.

ამავე თავში მოყვანილია სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დღედამური დოზის განსაზღვრის ალგორითმის ბლოკ-სქემები.

ნაშრომის მეოთხე თავი ეძღვნება დოქტორატის მიერ ჩატარებულ კვლევის შედეგებს. ნუცუბიძის 110/10/6 კვ ქვესადგურში, ავჭალის რაიონში ელექტროსადენის ქვეშ ასევე 500 კვ ძაბვის ხაზზე მამკოდაში ხაზების მინიმალური და მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში.

ჩატარებული კვლევებიდან ჩანს, რომ ელექტრული ველის დამაბულობა დამოკიდებულია ძაბვაზე, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობა კი დატვირთვის რეჟიმზე. ელექტრული ველის დამაბულობაზე გავლენას ახდენს ამინდის ფაქტორი, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობაზე გაზომვის შედეგებმა ვერ გამოავლინა რაიმე მნიშვნელოვანი გავლენა.

ამავე თავში განხილულია ასევე სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მავნე ზემოქმედების პროფილაქტიკის საკითხები.

## Summary

By powerful energy development, with new powerful electric stations and increased length of voltage lines, also intensive application of electric energy, in the last ten years of twenty century, the society became under great influence of artificial, polluted environment, like a electromagnetic field of industrial frequency.

Nowadays international health organization confesses, that artificial electromagnetic field is very dangerous for human's body and has active biological action on it. Electromagnetic field, like a external factor may be reviewed from two positions: biological harm and social benefit. These two positions are densely connected to each other, because not only reduces productivity of human, but in any case they become incapables. They can not work under the field. That's why the problem of electromagnetic security became one of the most important in many modern developed countries and day after day increase the scale of defense from the electromagnetic radiation.

To be appreciated clearly levels of electric and magnetic field's tensions, nowadays stay one of the most difficult, scientific and technical problem, that needs to be studied vividly near the electric objects, because in many cases they have difficult building constructions and complex electric connections. Also because of peculiarity of survey area of electric network, it is difficult to value real levels of electric and magnetic fields.

Unfortunately in Georgia there is not processed the conception of electromagnetic compatibility and quality of electric energy. That is why the question of state of electromagnetic compatibility in electric objects is actual.

In the first part of work are represented results of literary analysis. From literary analysis is stated, that voltage lines create electric and magnetic fields of industrial frequency in the adjoining environment. The distance of spreading is several ten meters. Electric field created by lines in many times causes: headache, tiredness, weakness, hypotonia, panes in heart area, ischemia and inclinations to infarction and cerebro-vascular accident.

In this chapter are also represented: quantities of magnetic field created by some domestic devices and electric transport, also temporary international recommendation of limited significance of current's solidity aroused by electric and magnetic fields of industrial frequency, magnetic field's limited permissible significance of tensity level of industrial frequency, existing methods to calculate electric and magnetic fields.

In the second chapter is reviewed tension measuring and methods of calculation of electric and magnetic fields on industrial frequency. In this chapter especial part belongs to universal multi meter "BE-METP", that measures magnetic field's inductance and electric field on industrial frequency at places where special staff works and are connected to sources of electric energy, transmission, distribution systems, railway, medical technics, service and exploitation of special devices of dwelling and office.

In the third part of work are represented estimation methods of electric and magnetic fields and their influence on personnel.

It needs problem to be decided complexly to value quantity of electric and magnetic fields, that have diverse influences on ecology and human health.

Before 2003 by electromagnetic compatibility norms, being under the influence of electric field was regulated and completely ignored magnetic field. The situation was radically changed after new normative documents, that limit duration of being under electric and also magnetic fields.

In this chapter is also shown the algorithmic block-scheme to determine doze during 24 hours of electric and magnetic radiation.

In forth chapter of work is reviewed results of researches fulfilled by doctoral student. Researches were progressing under regimes of maximal and minimal loads on Nutsbidze power substation (100/10/6), also under the power line in Avchala and along the high voltage line (500kV) out of Tbilisi in Mamkoda.

In work are shown that electric field's tension is depended on voltage and tension of magnetic field is depended on regime of load. Weather factor has influence on electric field but has not it on magnetic field.

In the chapter are also discussed prophylactic issues to avoid harmful influences of electric and magnetic fields.

## შინაარსი

შესავალი.....	15
<b>თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა.....</b>	<b>22</b>
1.1. მოქმედი ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური გავლენა მომიჯნავე ობიექტებზე.....	22
1.2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით გამოწვეული პროფესიული დაავადებები.....	26
1.3. ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშების ზოგადი მეთოდები.....	34
1.4. ელექტრული გავლენები.....	37
1.5. მაგნიტური გავლენა.....	40
1.6. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების ადამიანზე გავლენის პრობლემები.....	42
<b>თავი 2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაანგარიშებისა და გაზომვის მეთოდები.....</b>	<b>56</b>
2.1. ზოგადი ცნობები.....	56
2.2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშება.....	58
2.3. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობის უნივერსალური საზომი “BE-METP”.....	61
2.4. “BE-METP” ხელსაწყოს მეტროლოგიური და ტექნიკური მახასიათებლები.....	63
2.5. საზომი ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი.....	65
2.6. გაზომვის შედეგების მართვისა და ინდიკაციის ბლოკი “MTM-ТЕРМИНАЛ”.....	68
2.7. ხელსაწყოს მომზადება სამუშაოდ. გასინჯვა და ტესტირება.....	72
2.8. პირდაპირი გაზომვების ჩატარების მეთოდიკა.....	73
2.9. 50 ჰც სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გაზომვის რეჟიმი.....	76

<b>თავი 3. ელექტრულ ქსელებში პერსონალზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების შეფასების მეთოდები.....</b>	<b>78</b>
3.1. ზოგადი ცნობები.....	78
3.2. ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების ინსტრუმენტალური შეფასების ალგორითმი.....	83
3.3. ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების ინსტრუმენტალური შეფასების ალგორითმი.....	87
<b>თავი 4. ექსპერიმენტული კვლევა.....</b>	<b>94</b>
4.1. ექსპერიმენტული კვლევები ნუცუბიძის ქვესადგურში.....	94
4.2. ექსპერიმენტული კვლევები ავჭალაში.....	99
4.3. ექსპერიმენტული კვლევები მამკოდაში.....	101
4.4. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეზე გავლენის ძირითადი ფაქტორების გამოკვლევა.....	107
4.5. ამინდის ფაქტორების გავლენა მოქმედი ელექტროდანადგარის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეზე.....	109
4.6. ელექტრული ქსელების რეჟიმული პარამეტრების გავლენა ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეებზე.....	111
4.7. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მაკნე ზემოქმედების პროფილაქტიკა.....	112
<b>დასკვნები.....</b>	<b>119</b>
<b>ლიტერატურა.....</b>	<b>120</b>
<b>დანართი.....</b>	<b>123</b>

## ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1.1.** სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ აღძრული დენების სიმკვრივების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობების საერთაშორისო დროებითი რეკომენდაციები.....33
- ცხრილი 1.2.** ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების ელექტრული ველის დაძაბულობების მახასიათებელი დონეები.....44
- ცხრილი 1.3.** სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.....48
- ცხრილი 1.4.** ზოგიერთი საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებისა და ელექტრო ტრანსპორტის მაგნიტური გამოსხივების სიდიდეები .....51
- ცხრილი 1.5.** გენერაციის რეჟიმიდან გამომდინარე 50 ჰც სიხშირის იმპულსური მაგნიტური ველის ზემოქმედების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.....52
- ცხრილი 1.6.** ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების წყაროების მაგნიტური ველის დაძაბულობის მახასიათებელი დონეები.....53
- ცხრილი 2.1.** "50 Гц" მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები.....63
- ცხრილი 2.2.** „AT-004" მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები.....64
- ცხრილი 2.3.** "50 Гц" და „AT-004" მოდიფიკაციის საზომი ხელსაწყო ტექნიკური მახასიათებლები .....65
- ცხრილი 2.4.** მთავარი მენიუს სტრუქტურის ბლოკ-სქემა.....71
- ცხრილი 3.1.**  $H = f(T_{\text{ж}})$  ფუნქციის პარამეტრები.....89
- ცხრილი 3.2.** ფუნქციები, რომლებიც აღწერენ მაგნიტური ველის დაძაბულობის ქვეშ ყოფნის ხანგრძლივობის მრუდს.....90

**ცხრილი4.1.** გაზომვის მონაცემები ნუცუბიძის ქვესადგურის შესასვლელში.....95

**ცხრილი4.2.** გაზომვის მონაცემები ნუცუბიძის ქვესადგურის მოსასვენებელ, სამორიგო და მართვის ოთახებში.....97

**ცხრილი4.3.** გაზომვის შედეგები ლიბანის ქუჩაზე.....99

**ცხრილი4.4.** გაზომვის შედეგები მაქსიმალური ჩამოკიდების ისრიდან დაშორებით მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში. ....101

**ცხრილი4.5.** გაზომვის შედეგები მაქსიმალური ჩამოკიდების ისრიდან დაშორებით მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში.....102



## ნახაზების ნუსხა

<b>ნახ.1.1.</b> მაგნიტური და ელექტრული ველების დაძაბულობების გაზომვის შედეგები: მრუდი ა- 7,5კა სტატორის დენი მქონე ჰიდროგენერატორიდან; მრუდი ბ-500კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზიდან.....	22
<b>ნახ.1.2.</b> საჰაერო ხაზის სიახლოვეს სივრცეში ელექტრული (E) და მაგნიტური (H) ველის დაძაბულობისა გრაფიკული გამოსახულება.....	23
<b>ნახ.1.3.</b> გავლენის მქონე სამფაზა საჰაერო ხაზისა და გავლენის ზონაში მყოფი ობიექტის ურთიერთგანლაგება.....	24
<b>ნახ.1.4.</b> ატომის ფორმის ცვლილება მაგნიტური ველის გავლენით.....	25
<b>ნახ.1.5.</b> ელექტრომაგნიტური ველის გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე.....	27
<b>ნახ.1.6.</b> ადამიანის ნორმალური ბიოველი. ადამიანს გააჩნია ელექტრომაგნიტური ველისაგან დაცვა.....	29
<b>ნახ.1.7.</b> ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ახლოს მცხოვრები ადამიანის ბიოველი.....	29
<b>ნახ.1.8.</b> ველების დაძაბულობის გაზომვის საშუალებების ტიპური ბლოკ-სქემა.....	36
<b>ნახ.2.1.</b> მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი სამკომპონენტიანი ხელსაწყო BE-METP-ის საერთო ხედი.....	62
<b>ნახ.2.2.</b> BE-METP ხელსაწყო ფუნქციონალური სქემა.....	66
<b>ნახ.2.3.</b> ბლოკი“МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის კლავიატურა.....	69
<b>ნახ.2.4.</b> ბლოკი“МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის ეკრანი.....	70
<b>ნახ.2.5.</b> ბლოკი“ МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის მიერ საზომის ჩართვის პროცედურის შეტყობინება.....	73
<b>ნახ.2.6.</b> ბლოკი“МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის საზომის ჩართვის დილაკი.....	73
<b>ნახ.2.7.</b> ბლოკი“МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის მიერ საზომის ჩართვის შეტყობინება.....	73
<b>ნახ.2.8.</b> ბლოკი“МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის ეკრანზე მიმდინარე ან საშუალო მნიშვნელობის არჩევა.....	76
<b>ნახ.2.9.</b> გაზომვის შედეგების ფუნქციის ჩართვა.....	76
<b>ნახ.2.10.</b> გაზომვის ხანგრძლივობის არჩევა.....	76
<b>ნახ.2.11.</b> პუნქტი "ЭМП 50 Гц" მთავარ მენიუში.....	76
<b>ნახ.2.12.</b> "ЭМП 50 Гц" რეჟიმში შესვლა.....	77
<b>ნახ.2.13.</b> მთავარ მენიუში შეიძლება ქვეპუნქტი «Нормы»-ს შერჩევა.....	77
<b>ნახ.2.14.</b> გაფართოებული განუზღვრელობის მნიშვნელობის ასახვა.....	77

<b>ნახ.2.15.</b> პუნქტი “Производственные условия” –ს არჩევა.....	77
<b>ნახ.2.16.</b> საკონტროლო ზონაში დასაშვები ყოფნის ხანგრძლივობის ასახვა.....	77
<b>ნახ.3.1.</b> ელექტრული ველის ზღვრულად დასაშვები დონისა და მასში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობის დამოკიდებულების მრუდი.....	79
<b>ნახ.3.2.</b> მაგნიტურ ველის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობის ინტერპოლაციის ადამიანის მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდი.....	82
<b>ნახ.3.3.</b> სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დღეღამური დოზის განსაზღვრის ალგორითმის ბლოკ-სქემა.....	86
<b>ნახ.3.4.</b> ოთხი პოლინომინალური ფუნქციისაგან შედგენილი მაგნიტური ველის დაძაბულობის მასში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდი.....	89
<b>ნახ.3.5.</b> სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დღეღამური დოზის განსაზღვრის ალგორითმის ბლოკ-სქემა.....	93
<b>ნახ.4.1.</b> ნუცუბიდის 110/10/6 კვ ქვესადგურის საერთო ხედი.....	95
<b>ნახ.4.2.</b> ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების გაზომვის პროცესი ნუცუბიდის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურში.....	96
<b>ნახ.4.3.</b> ნუცუბიდის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურის ხაზის დაცვის ზონები.....	98
<b>ნახ.4.4.</b> ლიბანის ქუჩის ხედი.....	100
<b>ნახ.4.5.</b> მამკოდის დასახლების ხედი.....	105
<b>ნახ. 4.6.</b> დოქტორანტი გ.ცოფურაშვილი 500 კვ ძაბვის ცენტრალური ხაზის ქვეშ ელექტრომაგნიტური დაძაბულობების გაზომვის პროცესში...106	
<b>ნახ.4.7.</b> 500 კვ ძაბვის ხაზის გეგმა მამკოდაში.....	106
<b>ნახ.4.8.</b> ელექტრული ველის დაძაბულობის განაწილება ხაზის ცენტრიდან დამოკიდებულობის მიხედვით სხვადასხვა ტენიანობის დროს.....	110

## შესავალი

**სამუშაოს აქტუალობა.** თანამედროვე ელექტროენერგეტიკული სისტემები ხასიათდებიან ენერგეტიკული სიმძლავრეების მაღალი კონცენტრაციით, როგორცაა ელექტროენერჯის წარმოების ობიექტები, ელექტრო ქვესადგურები და ა.შ. ყოველივე ამან გამოიწვია ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემების განხილვის საჭიროება, რომელიც მოითხოვს შეიქმნას ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და ელექტრული ქსელის მოწყობილობების ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭირო პირობები.

ელექტრომაგნიტური თავსებადობა ეს არის ელექტრული მოწყობილობის უნარი დამაკმაყოფილებლად იფუნქციონიროს გარემოს მხრიდან ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების პირობებში, ასევე თავის მხრივ არ გამოიწვიოს დაუშვებელი ზემოქმედება ამ გარემოზე, რომელიც მოიცავს სხვა ელექტრომოწყობილობებს.

ამჟამად ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემა ეკოლოგიის, ენერგეტიკული უსაფრთხოებისა და ენერგორესურსების დაზოგვის პრობლემებთან ერთად მიეკუთვნება ერთერთ მნიშვნელოვან პრობლემათა რიცხვს. სხვადასხვა შეფასებების მიხედვით ევროპაში მრეწველობასა და ყოფაცხოვრებაში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის არადამაკმაყოფილებელი დონით განპირობებული ყოველწლიური ეკონომიური ზარალი შეადგენს 100 დან 500 მლრდ ევრომდე.

სამრეწველო ინფრასტრუქტურები, მათ რიცხვში ელექტროენერგეტიკის ობიექტები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ გარემომცველ გარემოზე. ასე, რომ დიდი რაოდენობის სხვადასხვა ენერგობიექტების არსებობა წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროებს, რაც იწვევს ელექტრომაგნიტური გარემოების გაუარესებას. ამ დროს ელექტრომაგნიტური ველების ინტენსივობა მრავალჯერ აღემატება დედამიწის ბუნებრივი ელექტრული და მაგნიტური ველების ინტენსივობას. ეს კი უპირველესად ნეგატიურ გავლენას ახდენს

ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ასევე ამწვავებს ენერგეტიკაში ტექნიკური სტრუქტურების ენერგეტიკული თავსებადობის პრობლემას, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს ელექტროენერგეტიკული სისტემების ფუნქციონირების საიმედოობაზე.

ამასთანავე ელექტროენერგეტიკული ობიექტების სიახლოვეს, ელექტრული შეერთებებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების სირთულის გათვალისწინებით, ასევე ელექტრული ქსელის საკვლევი უბნის სქემურ-რეჟიმული თავისებურებებიდან გამომდინარე ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების რეალური დონის შეფასება დღემდე რჩება რთულ სამეცნიერო-ტექნიკურ პრობლემად, რომელიც მოითხოვს ყოველმხრივ შესწავლას.

სამრეწველო სიხშირის (50 ჰც) ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს რადიოსიხშირული სპექტრის ზედაბალი სიხშირის დიაპაზონის ნაწილს, რომელიც ყველაზე უფრო გავრცელებულია როგორც საწარმოო, ისე საყოფაცხოვრებო პირობებში.

ენერგეტიკის მძლავრმა განვითარებამ, რომელსაც თან ახლავს მძლავრი ახალი ელექტროსადგურების გაშვება და ელექტროგადამცემი ხაზების სიგრძის არსებითი გაზრდა და ამასთანავე ელექტრული ენერჯის ინტენსიურმა გამოყენებამ საზოგადოება მიიყვანა იმასთან, რომ მე-20-ე საუკუნის უკანასკნელ ათწლეულში ჩამოყალიბდა ადამიანებით დასახლებული გარემოს გაჭუჭყიანების ახალი მნიშვნელოვანი ხელოვნური ფაქტორი – სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი.

საკითხი მეტად გლობალური და აქტუალურია და მოითხოვს მრავალმხრივ დაწვრილებით შესწავლას.

ამჟამად ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ აღიარებულია, რომ ხელოვნული წარმოშობის ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის ერთერთ ყველაზე უფრო საშიშ და მნიშვნელოვან ფაქტორს, რომელიც ხასიათდება საგანგებოდ აქტიური ბიოლოგიური მოქმედებით. ელექტრომაგნიტური ველი, როგორც გარეშე

ფაქტორი, შეიძლება განხილული იქნეს ორი პოზიციიდან: ბიოლოგიური ზიანი და სოციალური სარგებლობა. ეს ორი პოზიცია ერთმანეთთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული, რადგან არა მარტო ძალიან მცირდება ბიოლოგიურად დასუსტებული ადამიანის შრომის ნაყოფიერება, არამედ ზოგიერთ შემთხვევაში ადამიანები შრომისუუნარონიც ხდებიან. აქედან გამომდინარე ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების პრობლემამ შეიძინა სახელმწიფო მნიშვნელობა და თანამედროვე პირობებში განვითარებულ ქვეყნებში უფრო და უფრო იზრდება ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისაგან დაცვის მასშტაბები.

ადამიანის მოქმედების შედეგად შექმნილ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ძირითად წყაროებს წარმოადგენენ: ცვლადი დენის საწარმოო და საყოფაცხოვრებო ელექტრომოწყობილობების სხვადასხვა ტიპები, პირველ რიგში ქვესადგურები და მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი საჰაერო ხაზები, ძალური კაბელები, ელექტროგაყვანილობა, ღია გამანაწილებელი მოწყობილობები, სამრეწველო სიხშირის (50 ჰც) მაღალი ძაბვის დანადგარები, რადგან 50 ჰც სიხშირეს შეესაბამება 6000 კმ ტალღის სიგრძე და ადამიანი მის ზემოქმედებას ექვემდებარება ახლო ზონაში. ასევე გამოსხივების წყაროს წარმოადგენენ: შემაერთებული სალტები, ჩამრთველი საკომუტაციო აპარატები, დაცვისა და ავტომატიკის მოწყობილობები, საზომი ხელსაწყოები, გამანაწილებელი ფარები, საყოფაცხოვრებო ელექტრომოწყობილობები: ტელევიზორები, მაცივრები, ელექტრული სანათები, მიკროტალღური ღუმელები, კომპიუტერები, მობილური ტელეფონები და სხვა. ყველა ჩამოთვლილი ელექტრომოწყობილობა გარემომცველ გარემოში ქმნის სხვადასხვა დონის ელექტრომაგნიტური ველს, რომელთა ინტენსივობა მით მეტია, რაც მეტია მათში გამავალი დენი, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ელექტრომოწყობილობის სიმძლავრეზე. [1] აქედან გამომდინარე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის ჰიგიენური

შეფასება ხორციელდება სამრეწველო სიხშირის ცალკე ელექტრული და ცალკე მაგნიტური ველების მიხედვით.

სადისერტაციო ნაშრომში ჩვენ განვიხილავთ სამრეწველო ინფრასტრუქტურებს, მათ შორის ელექტროენერგეტიკის ობიექტებს, რომლებიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ გარემომცველ გარემოზე. ასე მაგალითად, მრავალი სხვადასხვა სახის ენერგობიექტის არსებობას, რომლებიც წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს, მივყავართ ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის გაუარესებასთან. ამასთანავე ამჟამად ელექტრომაგნიტური ველის ინტენსივობა მრავალჯერ აღემატება დედამიწის ბუნებრივი ელექტრული და მაგნიტური ველების დონეს.

უპირველესად ეს მდგომარეობა ნეგატიურ გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე [2–5], ასევე ამწვავებს ენერგეტიკაში ტექნიკური სტრუქტურების ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემას, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს ელექტროენერგეტიკული სისტემების ფუნქციონირების საიმედოობაზე, ამ სისტემებში თანამედროვე მიკროპროცესორული მართვის საშუალებების მუდმივ დანერგვასთან დაკავშირებით. გარდა ამისა ბევრად განსაზღვრავს რადიო, ტელემაუწყებლობის და კავშირგაბმულობის ხარისხს. [6,7].

ამასთან დაკავშირებით ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პოზიციიდან გაჩნდა ელექტრომაგნიტური გავლენის რთული ამოცანის გადაწყვეტის აუცილებლობა, რომელიც მოითხოვს ისეთი ელექტრომაგნიტური გარემოს შექმნას, როდესაც რეალურ ელექტრულ ქსელში ელექტრომოწყობილობები და ხელსაწყოები ნორმალურად იფუნქციონირებენ და არ შეიტანენ დამახინჯებებს. თავის მხრივ პრობლემა დაკავშირებულია წარმოებაში და ყოფა-ცხოვრებაში ელექტროენერგეტიკული და ელექტროტექნიკური დანადგარების მიერ შექმნილი დაბალსიხშირული ელექტრული და მაგნიტური ველების ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიურ გავლენასთან ანუ როგორც მას

უწოდებენ - ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემა, რომელიც ფართოდ განიხილება წამყვან საერთაშორისო ელექტროტექნიკურ და სამედიცინო ორგანიზაციებში [6,7] რეალური საფრთხის კონკრეტიზაციისა და ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისაგან პერსონალისა და მოსახლეობის დაცვის შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტების შემუშავების მიზნით [3].

აქედან გამომდინარე ელექტრულ ქსელებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის საკითხები დღემდე ინარჩუნებენ თავიანთ აქტუალობას.

უნდა აღინიშნოს, რომ მოქმედ ელექტროდანადგარებზე ელექტრომაგნიტური გავლენის პრობლემების შესწავლას მიძღვნილი აქვს მრავალი სამეცნიერო ნაშრომი [2-10].

ამასთანავე ელექტროენერგეტიკული ობიექტების სიახლოვეს ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების რეალური დონის შეფასება მათი ელექტრული შეერთებებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების სირთულის გათვალისწინებით, ასევე ელექტრული ქსელის საკვლევი უბნის სქემურ-რეჟიმული თავისებურებებიდან გამომდინარე დღემდე რჩება რთულ სამეცნიერო-ტექნიკურ პრობლემად, რომელიც მოითხოვს ყოველმხრივ შესწავლას.

სამწუხაროდ საქართველოში დღემდე არ არის დამუშავებული ელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და შესაბამისად ელექტროენერჯის ხარისხის კონცეფცია. ამით ბევრად აიხსნება ელექტროენერგეტიკულ ობიექტებზე ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევის საკითხის აქტუალობა.

**სადისერტაციო სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს** საქართველოს ენერგოსისტემის ენერგეტიკულ ობიექტებსა და მათ სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური თავსებადობის, კერძოდ, სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების დონის გამოკვლევა და მიღებული შედეგების ნორმატიული დოკუმენტებით დადგენილი მნიშვნელობებთან შესაბამისობის შეფასება.

**კვლევის ამოცანები.** დასახული მიზნის მისაღწევად სადისერტაციო ნაშრომში დასახული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. მოქმედი ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური ველის გაანგარიშების არსებული მეთოდების ანალიზი;
2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გაზომვის ცნობილი ინსტრუმენტალური მეთოდების ანალიზი;
3. ელექტრომაგნიტური გარემოების შეფასებისათვის ელექტრომაგნიტური ველების გაზომვის არსებული საშუალებების შესაძლო გამოყენების გამოკვლევა;
4. ელექტრომაგნიტური ველის დონეზე ელექტროდანადგარების რეჟიმული პარამეტრებისა და ამინდის ფაქტორების გამოკვლევა;
5. ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის პოზიციიდან გამომდინარე სამუშაოს წარმოების უსაფრთხო პირობების უზრუნველსაყოფად მოქმედი ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური გავლენის პრობლემების ყოველმხრივი შესწავლა

**კვლევის ობიექტი.** სს „თელასი“-ს კუთვნილი ნუცუბიდის 110/10/6 ქვესადგური, 110, 6, 10 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები და საქართველოს ენერგოსისტემის კუთვნილი 500 კვ ძაბვის ხაზები.

**კვლევის მეთოდები.** დასახული ამოცანის გადაწყვეტისათვის გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური ველის თეორიის მეთოდები ელექტროტექნიკის ფუნდამენტალურ კანონებთან ერთად, მოდელირების თეორიის მეთოდები. შემოთავაზებული მეთოდების ეფექტურობის შემოწმება ჩატარებული იქნა ელექტრომაგნიტური გარემოების ცალკეული მახასიათებლების პირდაპირი გაზომვის დახმარებითა და გამოთვლითი ექსპერიმენტის შედეგად.

სამეცნიერო დებულებების, თეორიული დასკვნების, დისერტაციის ძირითადი შედეგებისა და რეკომენდაციების დასაბუთება და ნამდვილობა დამტკიცებულია საქართველოს ენერგოსისტემის ელექტრულ ქსელებსა და



საწარმოების გამანაწილებელ მოწყობილობებში ფართომასშტაბიანი ექსპერიმენტული გამოკვლევებით.

**სამეცნიერო სიახლე.** საქართველოს მასშტაბით პირველად იქნა ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევები ელექტრომაგნიტური ველის პარამეტრების დონის შესახებ და მათი შესაბამისობის საკითხი დადგენილ ნორმატიულ დოკუმენტებთან.

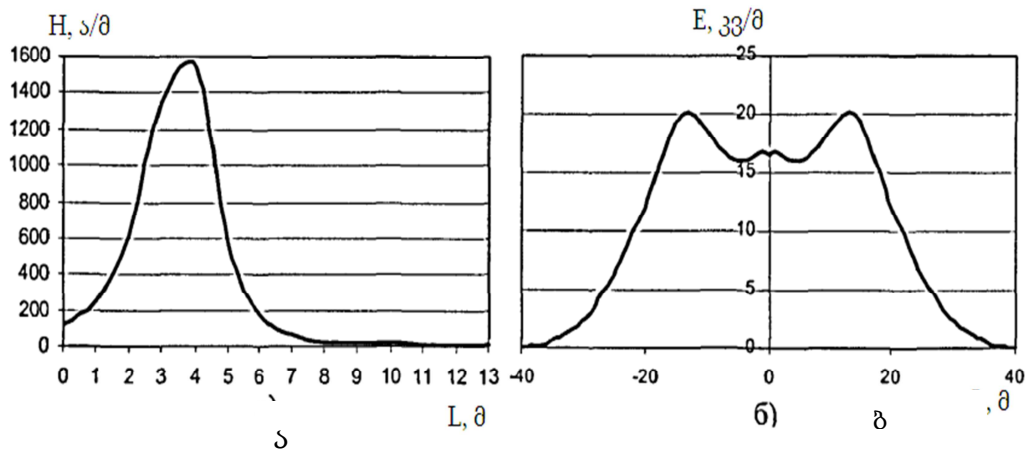
**სამუშაოს რეალიზაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა ქ. ქუთაისში მე-4 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2016 წელს და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე და მესამე კოლოქვიუმებზე.

**სამუშაოს აპრობაცია.** სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა ქ. ქუთაისში მე-4 საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ 2016 წელს და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე და მესამე კოლოქვიუმებზე.

# თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

## 1.1. მოქმედი ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური გავლენა მომიჯნავე ობიექტებზე

ცნობილია [2], რომ ექსტრემალურად მძლავრი ელექტრომაგნიტური ველები იქმნებიან ქვესადგურებში და უშუალოდ მძლავრი ელექტრომოწყობილობების: საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების, გენერატორების, ტრანსფორმატორების, ელექტრული ძრავების უშუალო სიახლოვეს. ელექტრომაგნიტური ველის წყაროების რიცხვს მიეკუთვნებიან ასევე ტელე და რადიომაუწყებლების გადამცემები, რომლებიც გამოსხივებენ მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ენერგიას; ელექტრული ტრანსპორტის საკონტაქტო ქსელი; ელექტრული სადგურებისა და ქვესადგურების ძალური მოწყობილობები; 0,4-500 კვ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები და სხვა.

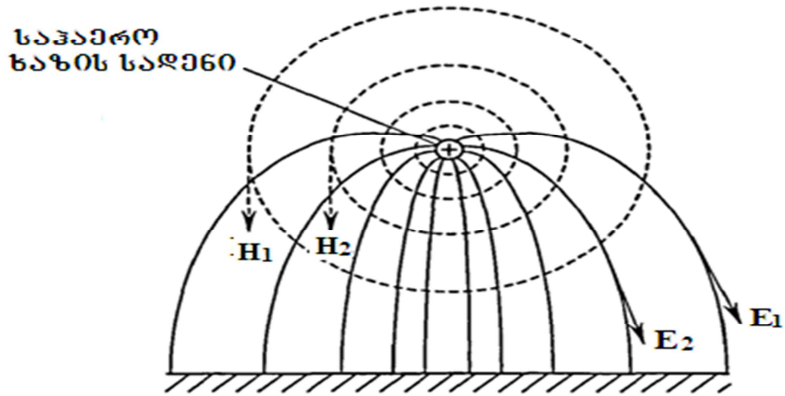


ნახ.1.1. მაგნიტური და ელექტრული ველების დაძაბულობების გაზომვის შედეგები: მრუდი ა- 7,5 კა სტატორის დენი მქონე ჰიდროგენერატორიდან; მრუდი ბ - 500 კვ საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზიდან.

სამრეწველო სიხშირის მაღალი დონის ძაბვისა და დენის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობის გაზომვის შედეგები (ნახ.1.1) მოწმობენ ელექტრული და

მაგნიტური ველების დაძაბულობების მაღალი დონის არსებობაზე, რომლებსაც შეუძლიათ ნეგატიური გავლენა იქონიონ ტექნიკური საშუალებების მუშაობასა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. აქედან გამომდინარე ელექტრულ ქსელებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის საკითხები დღემდე ინარჩუნებენ თავიანთ აქტუალობას.

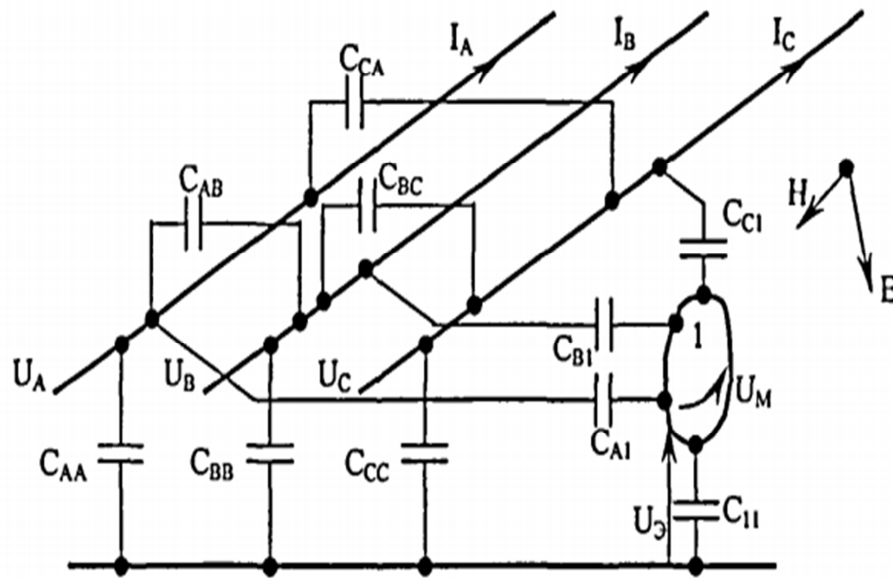
ზოგად შემთხვევაში ნებისმიერი ელექტრომოწყობილობა გარემომცველ სივრცეში ქმნის გაუწონასწორებელ მაგნიტურ და ელექტრულ ველებს (ნახ.1.2.). როგორც ნაშრომში [11] არის აღნიშნული ელექტრული და მაგნიტური ველები ხასიათდებიან გაუწონასწორებლობით, რაც გამოწვეულია ელექტროდანადგარის სხვადასხვა ფაზის სამი სადენის მიმართ დაკვირვების წერტილის არასიმეტრიულობით.



ნახ.1.2. საკაერო ხაზის სიახლოვეს სივრცეში ელექტრული (E) და მაგნიტური (H) ველის დაძაბულობისა გრაფიკული გამოსახულება

სახელდობრ ელექტრული და მაგნიტური ველების გაუწონასწორებლობით არის განპირობებული მაღალი ძაბვისა და დიდი დენების მქონე ელექტრომოწყობილობების გავლენა მომიჯნავე მოწყობილობებზე, ელექტრული ქსელის ელემენტებსა და ცოცხალ ორგანიზმებზე. ამიტომ თუ მოქმედი სამფაზა ელექტროდანადგარის

სიახლოვეს განლაგებულია გამტარი ობიექტი (ნახ.1.3), მაშინ ელექტრული და მაგნიტური ველების გავლენით მასში აღიძვრებიან ინდუქცირებული ძაბვები და დენები. ელექტროდანადგარი, რომელშიც მოქმედებს ცვლადი ძაბვა და გადის ცვლადი დენი ითვლება გავლენის მქონედ, ხოლო ობიექტი, რომელშიც ინდუქცირდება (აღიძვრება) დენები და ძაბვები- გავლენის ზონაში მყოფად.

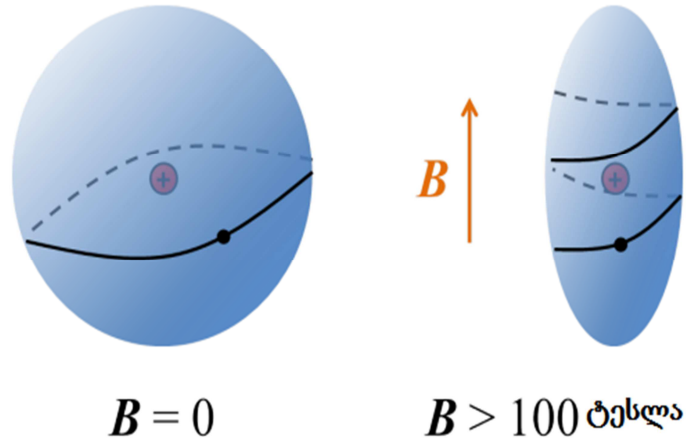


ნახ.1.3. გავლენის მქონე სამფაზა საჰაერო ხაზისა და გავლენის ზონაში მყოფი ობიექტის ურთიერთგანლაგება.

ადამიანის ორგანიზმი ყოველდღიურ ცხოვრებაში ყოველთვის იმყოფება ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების ქვეშ. როგორც ცნობილია ორგანიზმი შედგება მოლეკულებისგან, ეს უკანასკნელი კი ატომებისაგან, რომლებთაც დაახლოვებით ასეთი ფორმა აქვთ. ცენტრში მდებარეობს ბირთვი, ხოლო მის გარშემო ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონები.

როდესაც მაგნიტური ველი ატომს განსჭოლავს ის ძალით შეკუმშავს მას ამ ველის პერპენდიკულარულად. კუმშვის ძალა იზრდება მაგნიტური ველის ზრდასთან ერთად. ატომი ადამიანის ორგანიზმში

უხეში სფეროს ფორმიდან მიიღებს “სიგარის” ფორმას, როგორც ეს ნახ.1.4-ზე არის ნაჩვენები და ბოლოს – ნემსის ფორმას.



ნახ.1.4. ატომის ფორმის ცვლილება მაგნიტური ველის გავლენით

მოლეკულებს, რომელთაგანაც ადამიანის სხეული შედგება, აქვთ უნარი შეიკავონ ერთმანეთი, როდესაც მის ატომებს აქვთ ნორმალური ფორმა. უიმისოდ კი მოლეკულა დაიწყებს დაშლას, რამაც შეიძლება ორგანიზმში ფატალური შედეგები გამოიწვიოს.

გავლენის ზონაში მყოფი ობიექტის კონფიგურაციიდან გამომდინარე, მასში ინდუქცირებული დენებისა და ძაბვების ანალიზის დასმის ამოცანა შეიძლება იყოს სხვადასხვა.

ასეთი ამოცანის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს მოქმედი ელექტრომოწყობილობის ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის შეფასება. ადამიანის ორგანიზმში აღძრული ძაბვებისა და დენების ანალიზის დიდი სირთულის გამო, გავლენის მქონე ელექტრომოწყობილობის ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების შეფასება ხორციელდება ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების სიდიდით [12,13]. ველების ანალიზი კი შეიძლება მოხდეს როგორც გაანგარიშების მეთოდებით, ასევე პირდაპირი გაზომვების გზით [14].

## 1.2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით გამოწვეული პროფესიული დაავადებები

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის შესახებ პირველი გამოკვლევები ჩატარებული იქნა საბჭოთა მეცნიერების მიერ გასული საუკუნის 60-იანი წლების შუა ხანებში. იმ პირების ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესწავლის დროს, რომლებიც 220,330,500 კვ ძაბვის ქვესადგურებისა და საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების მომსახურების დროს ექვემდებარებოდნენ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებას. ამ გამოკვლევების შედეგებმა აჩვენა, რომ ის პირები, რომლებიც დიდი ხნის განმავლობაში იმყოფებოდნენ ელექტრომაგნიტურ ველში ყველაზე ხშირად უჩიოდნენ სისუსტეს, გაღიზიანებას, სწრაფ დაღლას, მახსოვრობის დაქვეითებას და უძილობას.

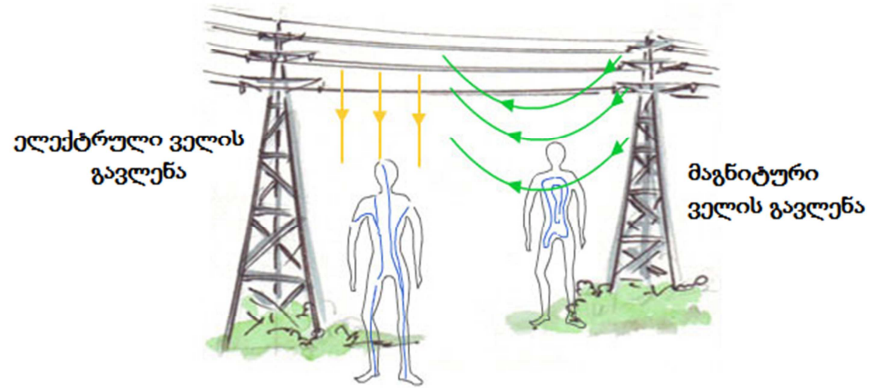
ამჟამად არსებობს მრავალი პრობლემა, რომლებიც დაკავშირებულია საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ხანგრძლივ ზემოქმედებასთან ნერვულ, გულ-სისხლძარღვთა, იმუნურ და სასქესო სისტემაზე.

მოქმედი საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზი მომიჯნავე სივრცეში ქმნის სამრეწველო სიხშირის ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს, დაშორება, რომელზეც ვრცელდება ეს ველები აღწევს რამდენიმე ათეულ მეტრს [15].

ელექტრომაგნიტური ტალღების ერთერთ ძლიერ აღმძვრელს წარმოადგენს სამრეწველო სიხშირის დენები, რადგანაც ელექტრული ველის დაძაბულობამ უშუალოდ საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის ქვეშ ნიადაგზე შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე ათას ვოლტს მეტრზე, ხოლო ხაზიდან 100 მ –ით დაშორებისას დაძაბულობა მკვეთრად ეცემა რამდენიმე ათეულ ვოლტამდე მეტრზე.

500კვ ქვესადგურის მომსახურე პერსონალს აღენიშნებოდათ ნევროლოგიური ხასიათის ჩივილები: თავის ტკივილი, დაღლილობა, უძილობა, სისუსტე, ასევე ჩივილები გულ-სისხლძარღვთა და კუჭ-

ნაწლავის მოქმედების სისტემების დარღვევაზე, აღენიშნებოდათ სენსომოტორული რეაქციების დროის გაზრდა, მახსოვრობის დაქვეითება.



ნახ.1.5. ელექტრომაგნიტური ველის გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე

ხანმოკლე დასახივებას (წუთებში) გააჩნია უნარი ნეგატიური რეაქცია გამოიწვიოს მხოლოდ ჰიპერმგრძობიარე ადამიანებში ან ალერგიული ხასიათის ავადმყოფებში. მაგალითად კარგად არის ცნობილი გასული საუკუნის 90–იან წლებში ინგლისელი მეცნიერის შრომები, რომლებიც გვიჩვენებენ, რომ მთელ რიგ ალერგიულ ადამიანებს საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მოქმედებით განუვითარდათ ეპილეფსიური ხასიათის რეაქციები.

ხანგრძლივი დასახივება (თვეები და წლები) იწვევს: სისუსტეს, გაღიზიანებას, სწრაფ დაღლას, მახსოვრობის დაქვეითებას, უძილობას.

ელექტრული ველის ბიოლოგიური ზემოქმედების გამოკვლევებმა აჩვენა რომ საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ელექტრული ველის 1 კვ/მ დამაბულობის დროს არასასურველ გავლენას ახდენს ნერვულ სისტემაზე, რასაც თავის მხრივ მივყავართ ენდოკრინოლოგიური აპარატისა და ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის დარღვევამდე, არღვევს ასევე ფიზიოლოგიურ ფუნქციებს, გულის შეკუმშვის რიტმს, სისხლის წნევის დონეს, ტვინის აქტივობას; იწვევს მახსოვრობის პრობლემებს, გაგების სირთულეს, უძილობას, დეპრესიას, მუდმივ თავის ტკივილებს, პარეზებს,

წონასწორობის დაკარგვას, სივრცეში დეზორიენტაციას, თავბრუს ხვევას და სხვა.

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი გულსისხლძარღვთა სისტემაზე იწვევს: გადახრებს ჰიპოტონიის მიმართ, ტკივილებს გულის არეში, იშემიას, მიდრეკილებას ინსულტისა და ინფარქტის მიმართ.

საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის გავლენას ძალზედ ექვემდებარება სასქესო (რეპროდუქციული) სისტემა (იმპოტენცია, შემცირებული სქესობრივი ლტოლვა, უნაყოფობა).

ამასთანავე ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მიმართ უფრო მგრძობიარეა ქალის ორგანიზმი, ამიტომ იგი საშიშია ორსული ქალებისათვის.

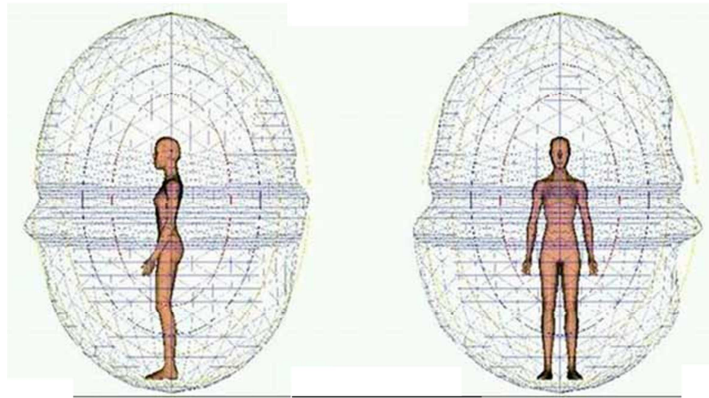
რაც შეეხება ელექტროკოსებსა და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სხვა მუშაკებს, სიტუაცია კიდევ უფრო უარესია. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის პერსონალს აღნიშნებოდათ მხედველობის ფუნქციის დარღვევა, ფერთა შეგრძნების ცვლილება, მხედველობითი ველების შევიწროება მწვანე, წითელი და განსაკუთრებით ლურჯი ფერების დროს, თვალის ბადურას სისხლძარღვების ცვლილება. პროფესიონალებზე, რომლებსაც დღეში 8 საათიანი კონტაქტი აქვთ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროებთან ჩატარებული იქნა კვლევები. ზოგიერთ მათგანზე დაფიქსირებული იქნა სქესობრივი დაუძლურება, დეპრესიისადმი და გალიზიანებისადმი ტენდენცია. აღნიშნებოდათ სისხლში ლიმფოციტების შემცირება.

ნახ.1.6–ზე მოყვანილია ადამიანის ნორმალური ბიოველი. ბიოველი ეს არის მისი ელექტრომაგნიტური ველი, ანუ ჩვენი ორგანიზმის თითოეული უჯრედის გამოსხივების ერთობლიობა. არსებითად დედამიწაზე არსებულ ყველა ცოცხალ ორგანიზმს გააჩნია ბიოველი. ადამიანის ბიოველი ფორმირებული იქნა დედამიწის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით და რადგანაც დღევანდელი ელექტრომაგნიტური



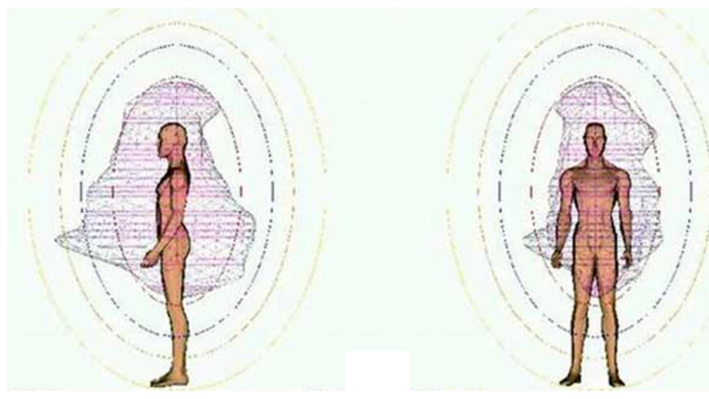
ფონი ათეულათასობით აღემატება ბუნებრივს, ამიტომ ადამიანის ველს არ შეუძლია წინააღმდეგობა გაუწიოს ასეთ ზეწოლას.

თუ ჩვენს ელექტრომაგნიტურ ველზე ზემოქმედებას დაიწყებენ გამოსხივების სხვა უფრო მძლავრი წყაროები, ვიდრე ჩვენი სხეულის გამოსხივებაა, მაშინ ორგანიზმში დაიწყება ქაოსი, რაც იწვევს ჯანმრთელობის კარდინალურ გაუარესებას (ნახ.1.7).



**ნახ.1.6. ადამიანის ნორმალური ბიოველი. ადამიანს გააჩნია ელექტრომაგნიტური ველისაგან დაცვა**

ენერგეტიკული თვალსაზრისით ბიოველი ასრულებს დაცვის ფუნქციას, რომელსაც აურას უწოდებენ, რომელიც არის პირველი დამცავი ბარიერი.



**ნახ.1.7. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ახლოს მცხოვრები ადამიანის ბიოველი.**

არ უნდა დაგვავიწყდეს იმის შესახებ, რომ ელექტრომაგნიტური ველის შემადგენლობაში შედის ნეგატიური ინფორმაციული მდგენელი, ე.წ. ტორსული ველი.

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ელექტრომაგნიტურ გამობსივებას აქვს ტორსული (ინფორმაციული) კომპონენტი. საფრანგეთის, რუსეთის, უკრაინისა და შვეიცარიის სპეციალისტების გამოკვლევების თანახმად სწორედ ტორსული ველი, არა ელექტრომაგნიტური, წარმოადგენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიური გავლენის ძირითად ფაქტორს. რადგანაც სახელდობრ ტორსული ველი გადასცემს ადამიანს მთელ ნეგატიურ ინფორმაციას, რომელიც იწყება თავის ტკივილით, გაღიზიანებით, უძილობით და სხვა.

დასავლეთის მეცნიერების გამოკვლევები დარწმუნებით ამტკიცებენ, რომ ადამიანის ყოფნა ტორსული ველების მოქმედების ზონაში იწვევს ფსიქონერგეტიკული დატვირთვის მკვეთრ ზრდას, რომელსაც თან ახლავს შემდგომი განვითარება.

ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით ხელოვნური ტორსული ზემოქმედების ჯამური აქტივობა, რომელიც წარმოადგენს ნებისმიერი ელექტრომაგნიტური ველის (საოჯახო ელექტროქსელი, საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზები, ტელევიზორები, მობილური ტელეფონები და სხვა) მილიონჯერ აღემატება დედამიწის ბუნებრივი გეომაგნიტური ველის დონეს.

სანიტარული წესებისა და ნორმების [17]–ის მიხედვით საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის სანიტარულ–დაცვითი ზონის ფარგლებში აკრძალულია:

1. საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობებისა და სათავსოების განთავსება;
2. ყველა სახის ავტომობილების სადგომებისათვისა და გაჩერებებისათვის მოედნების მოწყობა;
3. ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების საწყობების მოწყობა;

4. მანქანა-მექანიზმების რემონტის შესრულება და საწვავთან ოპერაციების წარმოება.

რა ხდება რეალურად? [18] ნაშრომში მოყვანილია ფაქტები, რომ მოცემული საკითხის ერთერთი ყველაზე უფრო მასშტაბური შესწავლა მოხდა ინგლისსა და უელსში 1962 წლიდან 1995 წლამდე. განხილულ იქნა 15 წლამდე ბავშვების 29 ათასზე მეტი სამედიცინო ბარათი და აღმოჩნდა, რომ ბავშვებში, რომლებიც ცხოვრობდნენ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზებიდან 200 მეტრამდე დაშორებით ლეიკემიით დაავადების რისკი შეადგენდა 70 %-ს, ხოლო რომლებიც ცხოვრობდნენ 200 მეტრიდან 600 მეტრამდე დაშორებით-20 %-ს. სტატისტიკურმა მონაცემებმა აჩვენა, რომ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზი არსებით ნეგატიურ გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ოქსფორდის უნივერსიტეტის მკვლევართა ჯგუფის ხელმძღვანელი ჯერალდ დრეიპერი ამბობს: „ჩვენი გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ ბავშვთა ლეიკემიის 400 შემთხვევიდან დაახლოებით 5 დაკავშირებულია საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზებთან, რაც შეადგენს შემთხვევათა დაახლოებით 1 %-ს.

ნაშრომში [18] ასევე მოყვანილია, რომ მათ გააანალიზეს უშუალოდ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ახლოს (300 მ-ზე ნაკლები) მცხოვრებ პირთა კიბოთი დაავადების სიხშირე. აღმოჩნდა, რომ 400 ათას კაციან ჯგუფში შემჩნეული იქნა 142 ბავშვი სხვადასხვა ავთვისებიანი დაავადებებით და 548 ზრდასრული ადამიანი ტვინის სიმსივნით ან ლეიკოზით.

ასევე ჩატარებული იქნა გამოკვლევები საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ქვესადგურის 542 მუშაკზე. ანალიზმა საშუალება მოგვცა გამოგვევლინა ისეთი პათოლოგიები, როგორცაა:

1. დამახინჯებულ ბავშვთა დაბადების რიცხვის ზრდა, რომელთა მამა მუშაობდა ელექტროსადგურში;
2. მუშა მამაკაცთა განაყოფიერების ფუნქციის შემცირება;

### 3. ვაჟების დაბადების შემცირება.

გამოკვლევულ იქნა ასევე 18 წლამდე ახალგაზრდების ჯგუფი, რომლებიც ცხოვრობდნენ ქვესადგურიდან, ტრანსფორმატორებიდან, მეტროდან, რკინიგზის ელექტროხაზებიდან და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებიდან 150 მეტრის დაშორებით. მათში ორჯერ უფრო ხშირად გვხვდებოდა ნერვული სისტემის აშლილობა და ლეიკოზი.

დანიაში ამავე პერიოდში გამოკვლევული იქნა 16 წლის ასაკამდე 1707 ბავშვი. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ახლოს ცხოვრების გამო ზოგიერთ მათგანს განუვითარდა ტვინის სიმსივნე და ლეიკემია.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედების მექანიზმის თანამედროვე წარმოდგენის მიხედვით ადამიანის ორგანიზმისათვის ძირითად საფრთხეს წარმოადგენს ალგუნებად სტრუქტურებზე (ნერვული სისტემა, კუნთოვანი ქსოვილი) აღძრული ელექტრული დენის გავლენა. პარამეტრს, რომელიც განსაზღვრავს ზემოქმედების ხარისხს წარმოადგენს ადამიანის სხეულში აღძრული გრიგალური დენის სიმკვრივე. ამ დროს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველებისათვის დამახასიათებელია ადამიანის ორგანიზმში სუსტი შეღწევა, ხოლო მაგნიტური ველებისათვის ორგანიზმი პრაქტიკულად გამჭირვალეა.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველისათვის აღძრული დენის სიმკვრივე შეიძლება გაანგარიშებული იქნეს ფორმულით:

$$J = K f E$$

სადაც  $K$ –არის კოეფიციენტი, რომელიც სხვადასხვა ქსოვილისათვის სხვადასხვაა;  $f$  – სიხშირეა;  $E$  -ელექტრული ველის დამაბულობა.

მაგნიტური ველისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$J = \pi R \sigma f B$$

სადაც  $R$ – ბიოობიექტის რადიუსია;  $\sigma$ – ქსოვილის ელექტროგამტარობა;  
 $B$ – მაგნიტური ინდუქცია.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ აღძრული დენების სიმკვრივეზე ბიოეფექტების დამოკიდებულება უდევს საფუძვლად ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის დავალებით დამუშავებულ სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ აღძრული დენების სიმკვრივეების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობების საერთაშორისო დროებით რეკომენდაციებს, რომელიც წარმოდგენილია ცხრილი 1.1–ში

ცხრილი 1.1. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მიერ აღძრული დენების სიმკვრივეების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობების საერთაშორისო დროებითი რეკომენდაციები.

დენის სიმკვრივე, მა/მ <sup>2</sup>	ზემოქმედების ეფექტი
1–10	ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო მინიმალური ეფექტები
10–100	მხედველობითი და ნერვული სისტემის მიერ გამოხატული ეფექტები
100–1000	აღზნებადი სტრუქტურების სტიმულაცია. შესაძლებელია ადამიანის ჯანმრთელობაზე არასასურველი გავლენები
>1000	შესაძლებელია გულის პარკუჭის ფიბრილიაცია (მწვავე დაზიანებები).

დადგენილია, რომ ელექტროზეინკლებს, კავშირგაბმულობის მუშაკებსა და დამხმარე მუშებს, რომლებიც ემსახურებიან ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებსა და საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზებს, უფრო ხშირად, ვიდრე იგივე ასაკის პირების ჯგუფებს, აღენიშნებათ ნევრული სინდრომები და ვეგეტაციური დისფუნქციები. შემჩნევის სიხშირე და დარღვევების მონაცემების გამოხატულების ხარისხი მკაფიოდ

მოწმობენ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის ხანგრძლივობაზე პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებას. თვით 10–17 კვ/მ დაძაბულობის ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედების ზონაში ხანმოკლე ყოფნაც კი იწვევს მომუშავეთა გუნება–განწყობილების გაუარესებას, რომელსაც თან ერწყმის მათი ცენტრალური ნერვული სისტემის გაღიზიანება.

### 1.3 .ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშების ზოგადი მეთოდები

ნაშრომებში [19–23] წარმოდგენილია ველების გაანგარიშების მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია მოცემული წერტილის მიმართ ლაპლასისა და პუასონის განტოლებების ანალიტიკურ გადაწყვეტაზე.

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (1.1)$$

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_a} \quad (1.2)$$

სადაც:

$\varepsilon_a$ - გარემოს აბსოლუტური დიელექტრიკული შეღწევადობაა , ფ/მ;

$\rho$ - მუხტის მოცულობითი სიმკვრივე, კლ/მ<sup>3</sup>

$\varphi$ - მოცემული წერტილის პოტენციალი, ვ.

ზოგად შემთხვევაში ელექტრული ველის დაძაბულობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$E = -\nabla\varphi \quad (1.3)$$

ანალიზური მეთოდების გამოყენება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა სასაზღვრო პირობები შეიძლება აღწერილ იქნას კოორდინატთა რომელიმე სისტემაში. სასაზღვრო პირობების ქვეშ იგულისხმება პირობების ერთობლიობა, რომლებიც აღწერენ საძიებელი ფუნქციის ქცევას საანგარიშო არეს გაყოფის საზღვარზე. როგორც ნაშრომში [24] არის აღწერილი, ანალიზის მეთოდით ამოცანის გადაწყვეტა მოითხოვს მკაცრ ინდივიდუალურ მიდგომას, რაც არ იძლევა მისი უნიფიცირების

საშუალებას. გარდა ამისა საანგარიშო არეში მრუდწირული საზღვრების არსებობის დროს ანალიზური გადაწყვეტა საერთოდ შეუძლებელი ხდება. ამ შემთხვევაში რეკომენდირებულია გაანგარიშების მიახლოებითი ან რიცხვითი მეთოდების გამოყენება [20,24].

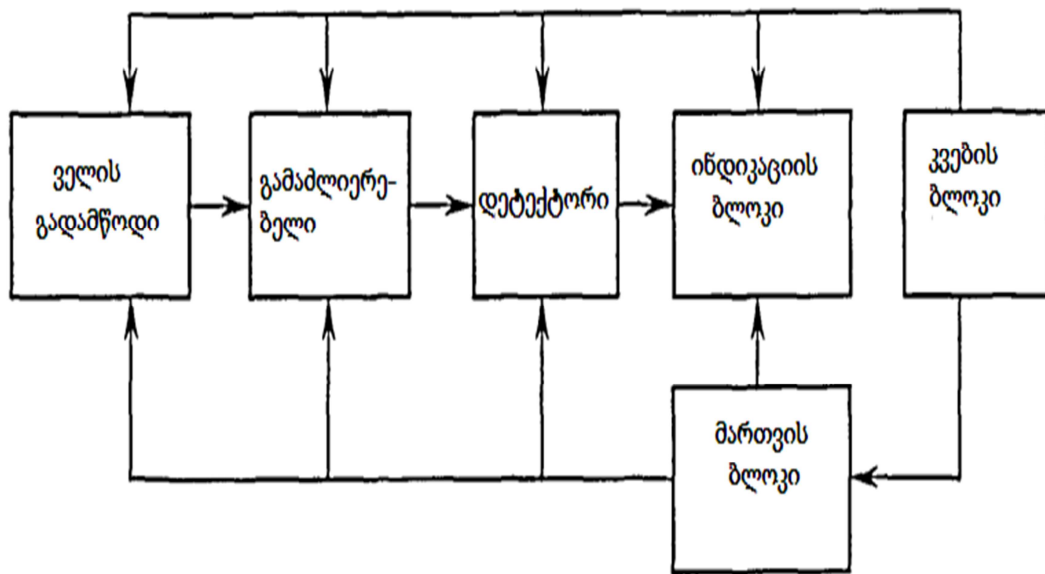
ნაშრომებში [24–27] მოყვანილია ელექტრული და მაგნიტური ველების დონის შეფასების მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია (1.1) და (1.2) განტოლებების რიცხვითი მეთოდებით გადაწყვეტაზე. მოცემული მეთოდები საშუალებას იძლევიან მხედველობაში მივიღოთ რთული ფორმის სასაზღვრო პირობები და ანალიზური მეთოდიდან განსხვავებით არიან უფრო უნივერსალური და შესაძლებელია მათი რეალიზაცია ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებზე.

პრინციპში თანამედროვე გამომთვლელი ტექნიკა საშუალებას იძლევა ელექტრული და მაგნიტური ველების ანალიზის მარტივი ამოცანები გადაწყვეტილ იქნას რიცხვითი მეთოდებით. სამწუხაროდ, ელექტრული ქსელების რთული წრედებისათვის სასაზღვრო პირობების მრავალსახეობის გამო, ისეთი საანგარიშო მეთოდები, რომლებიც იძლევიან მოქმედი ელექტროდანადგარის სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის ნამდვილი შეფასების შესაძლებლობას, პრაქტიკულად არ არსებობენ.

ელექტრომაგნიტური გავლენების შეფასებისას დასმული ამოცანების მრავალსახეობა, რომლებიც განპირობებულია გავლენის მქონე ობიექტების ტიპებისა და კონფიგურაციების, მატერიალური გარემოს ელექტროფიზიკური მახასიათებლებისა და სხვადასხვაობით, არ იძლევიან ელექტროენერგეტიკული სისტემების რთული სქემებისათვის ელექტრომაგნიტური ველის გაანგარიშების ერთიანი ეფექტური რიცხვითი მეთოდის დამუშავების შესაძლებლობას. ამიტომ ელექტრომაგნიტური გარემოს ცალკეული მაჩვენებლების პირდაპირი გაზომვის მეთოდებს თავისი სიმარტივისა და უტყუარობის გამო დღეისათვის არ დაუკარგავთ თავიანთი აქტუალობა.

ელექტრული და მაგნიტური ველების დონეების გაზომვის ცნობილი მეთოდების [28] უმეტესობა გვთავაზობს სპეციალიზირებულ საინფორმაციო-საზომ უზრუნველყოფას. (ნახ.1.8)

გასაზომი ველის ხასიათიდან გამომდინარე გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის გადამწოდები. უნივერსალურ საზომ სისტემებს გააჩნიათ რამდენიმე გადამწოდი. ელექტრული და მაგნიტური ველების მახასიათებლების პირდაპირი გაზომვები წარმოადგენენ მოქმედი ელექტროენერგეტიკული სისტემების ელექტრომაგნიტური გარემოების შეფასების ყველაზე უფრო ეფექტურ და უტყუარ მეთოდს.



ნახ.1.8. ველების დაძაბულობის გაზომვის საშუალებების ტიპური ბლოკ-სქემა.

ზოგად შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური გავლენის ახლო ზონაში (ინდუქციის ზონაში) ანალიზის დროს [20], საჭიროა გავლენის ქვეშ მყოფ ობიექტზე გათვალისწინებული იქნეს, ინდუქცირებული:

- ძაბვისა და დენის ელექტროსტატიკური მდგენელი ( $U_e, I_e$ );
- ძაბვისა და დენის ელექტრომაგნიტური მდგენელი ( $U_a, I_a$ )



#### 1.4. ელექტრული გავლენები

ნახ.1.3-ის შესაბამისად ინდუქცირებული ძაბვის ელექტროსტატიკური მდგენელი  $U_0$  განპირობებულია სადენების ელექტრული პოტენციალებით. ამიტომ მისი სიდიდე დამოკიდებულია მოქმედი ელექტროდნადგარის მუშა ძაბვით, გეომეტრიული ზომებით, მისი ცალკეული ნაწილებისა და გავლენის ქვეშ მყოფი ობიექტის ურთიერთგანლაგებით და განისაზღვრება სისტემის ტევადური კავშირებით.

ნაწილობრივი ტევადობის განსაზღვრის ამოცანა, რომელიც დაიყვანება საერთო სისტემაში შემავალი ცალკეული სადენების მუხტებსა და პოტენციალებს შორის დამოკიდებულების პოვნამდე, წყდება წრფივი განტოლებების დახმარებით, რომლებიც შედგენილია სადენების განსახილველი სისტემისათვის მაქსველის პირველი ჯგუფის ფორმულების მიხედვით. [19,20,23]

$$\begin{cases} \varphi_1 = q_1 \cdot \alpha_{11} + \sum_{j=2}^{N+1} \alpha_{1j} \cdot q_j \\ \varphi_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N q_j \cdot \alpha_{ij} + q_1 \cdot \alpha_{i1} \end{cases} \quad (1.4)$$

სადაც  $\alpha_{11}, \alpha_{1j}, \alpha_{i1}, \alpha_{ij}$  - პოტენციალური კოეფიციენტებია, 1/ფ;

$q_1$  და  $q_i$  - სადენების მუხტებია, კლ;

$N$  - გავლენის მქონე სადენთა რიცხვია, (A,B,C).

ზოგადი შემთხვევისათვის (1.4) სისტემა შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$[\varphi] = [\alpha][q] \quad (1.5)$$

სადაც  $[\varphi]$  - სადენების პოტენციალების მატრიცაა;

$[\alpha]$  - პოტენციალური კოეფიციენტების კვადრატული მატრიცაა;

$[q]$  - სადენებზე მუხტების სვეტის მატრიცაა.

მუხტების მიმართ (1.4) სისტემის ამოხსნითა და გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ მაქსველის მესამე ჯგუფის განტოლებებს.

$$\begin{cases} q_1 = \varphi_1 \cdot C_{11} + \sum_{j=2}^{N+1} U_{1j} \cdot C_{1j} \\ q_i = \varphi_i \cdot C_{ij} + \sum_{j=1, j \neq i}^N U_{ij} \cdot C_{ij} \end{cases} \quad (1.6)$$

სადაც  $C_{11}, C_{1j}, C_{ii}, C_{ij}$  -ნაწილობრივი ტევადობებია, ფ.

იმ შემთხვევაში, როცა გამტარი ობიექტი იზოლირებულია მიწიდან, მაშინ მასზე მუხტი (1.6) სისტემაში შეიძლება მივიღოთ ნულის ტოლად ( $q_i=0$ ). ამ შემთხვევაში ძაბვის ელექტროსტატიკური მდგენელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$U_j = \frac{\sum_{i=2}^{N+1} C_{i1} \cdot U_i}{\sum_{i=1}^{N+1} C_{i1}} \quad (1.7)$$

ხოლო ტევადური დენი ანუ ობიექტი 1-ში გამავალი წანაცვლების დენი განისაზღვრება როგორც:

$$I_j = -j\omega \cdot \frac{\sum_{i=2}^{N+1} C_{i1} \cdot U_i}{\sum_{i=1}^{N+1} C_{i1}} \quad (1.8)$$

სადაც  $\omega$  - გავლენის ძაბვის კუთხური სიხშირეა, რად/წმ.

ნაშრომებში [19,20,23, 29] ნაჩვენებია მარტივი ფორმის გავლენის მქონე და გავლენის ქვეშ მყოფი ობიექტების ტევადური კოეფიციენტების განსაზღვრის ხერხები. მაგალითად, სამფაზა საჰაერო ხაზის გამორთულ საჰაერო ხაზზე გავლენის შემთხვევისათვის (1.7) გამოსახულებას აქვს სახე:

$$U_j = \frac{\sum_{i=2}^{N+1} \frac{U_i}{\ln \frac{4 \cdot h_i \cdot h_1 \cdot [(h_i - h_1)^2 + D_{ii}^2]}{R_i \cdot R_1 \cdot [(h_i + h_1)^2 + D_{ii}^2]}}}{\frac{1}{\ln \frac{2 \cdot h_1}{R_1}} + \sum_{i=2}^{N+1} \frac{1}{\ln \frac{4 \cdot h_i \cdot h_1 \cdot [(h_i - h_1)^2 + D_{ii}^2]}{R_i \cdot R_1 \cdot [(h_i + h_1)^2 + D_{ii}^2]}}} \quad (1.9)$$

სადაც  $h_1, h_i$  - არის დაშორება სადენის ცენტრიდან დედამიწის ზედაპირამდე, მ;

l- საჰაერო ხაზის სადენების პარალელური მიახლოების სიგრძეა, მ;

$R_1, R_i$ -შესაბამისი სადენების რადიუსებია, მ;

$D_{ij}$ - დაშორება  $i$ -ურ ფაზურ სადენსა და გავლენის ქვეშ მყოფ სადენს შორის, მ.

ნებისმიერი ფორმის სადენების სისტემისათვის ტევადური კოეფიციენტების ზუსტი განსაზღვრა ცალკეული სადენების ზედაპირებზე მოცემული მუდმივი პოტენციალების დროს მოითხოვს ლაპლასის განტოლებების ინტეგრირებას. ამასთანავე ანალიზურ ფორმაში ასეთი გადაწყვეტა შეიძლება მივიღოთ მხოლოდ მარტივი ურთიერთგანლაგებისა და ფორმის სადენების ძალიან შეზღუდული წრისათვის. უმეტეს შემთხვევაში ტევადური კოეფიციენტების რიცხვითი ან მიახლოებითი განსაზღვრისათვის გამოიყენებენ საშუალო პოტენციალების მეთოდს [20], რომელიც დაფუძნებულია გავლენის ქვეშ მყოფი გამტარის ზედაპირზე ინდუქციურებული მუხტების თანაბარი განაწილების შეგნებულად არასწორ წარმოდგენაზე.

თუ ნახ.1.3-ზე წარმოდგენილი ობიექტი 1 არის ცოცხალი ორგანიზმი, მაშინ მასზე ინდუქციურებული ძაბვის ელექტროსტატიკური მდგენელისა და თანმხლები ტევადური დენების შეფასებისათვის (1.7) და (1.8) გამოსახულებების გამოყენება გაძნელებულია. ეს განპირობებულია პირველ რიგში ორგანიზმის ინდივიდუალური თავისებურებებით (ფიზიკური ზომებით, მიწამდე დაშორებით, საფარის მდგომარეობითა და სხვა).

ამიტომ ელექტრული ველის გავლენის ზონაში მყოფ ბიოლოგიურ ობიექტებზე ელექტრული გავლენის ანალიზისათვის უმჯობესია გამოყენებულ იქნეს ცოცხალ ორგანიზმში გამავალი ტევადური დენის დამოკიდებულება მისი ზედაპირის გასწვრივ ელექტრული ველის დამაბულობის მოდულის საშუალო მნიშვნელობაზე [12]. ელექტრულ ველში მყოფი გამტარი ობიექტის გავლით წანაცვლების დენის საშუალო სიდიდე ჩანაცვლების სქემაში რეზისტორული კავშირების არ არსებობის დროს განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_j = -j \cdot \frac{\omega \cdot \epsilon_a \cdot S \cdot E_{სააშ.}}{2} \quad (1.10)$$

სადაც  $S$ -არის ობიექტი 1-ის ზედაპირის ფართობი, მ<sup>2</sup>;

$E_{სააშ.}$ -ობიექტი 1-ის ზედაპირის გასწვრივ ელექტრული ველის დამაბულობის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა, კვ/მ.

გამოვიყენებთ რა (1.10) გამოსახულებას და ვიცით რა ცოცხალი ორგანიზმისათვის უსაფრთხო დენის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ ელექტრული ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა  $E$ . თავის მხრივ ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდე განისაზღვრება გავლენის მქონე ელექტროდანადგარის პარამეტრებით.

### 1.5. მაგნიტური გავლენა

ელექტრომაგნიტური მდგენელი ანუ გრძივი ემპ  $U_a$  ობიექტზე ინდუქცირდება მოქმედი ელექტროდანადგარების დენგამტარ ნაწილებთან ელექტრომაგნიტური კავშირის შედეგად და განისაზღვრება გამოსახულებით [23,30]:

$$U_M = -j \cdot \omega \cdot \sum_{i=2}^{N+1} M_{i1} \cdot I_i \quad (1.11)$$

სადაც  $I_i$  – გავლენის მქონე ელექტროდანადგარის ფაზურ სადენში გამავალი დენია, ა;

$M_{i1}$ -ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტია გავლენის მქონე ელექტროდანადგარსა და გავლენის ქვეშ მყოფ ობიექტს შორის, ჰნ;

$\omega$ - ელექტროდანადგარში გამავალი დენის კუთხური სიხშირეა, რად/წმ.

სიდიდე  $U_a$  დამოკიდებულია მოქმედი ელექტროდანადგარის დენზე, მის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, მისი ცალკეული ნაწილებისა და

გავლენის ქვეშ მყოფი ობიექტის განლაგებაზე და განისაზღვრება სისტემის ინდუქციური კავშირებით.

ნაშრომებში [19–21,23,30] განხილულია ბრტყელპარალელური ველისათვის ურთიერთინდუქციურობის კოეფიციენტების განსაზღვრის ხერხები იმ შემთხვევისათვის, როცა ერთი ან რამდენიმე საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი გავლენას ახდენს ერთ გამორთულ საჰაერო ხაზზე. სამწუხაროდ, სამგანზომილებიანი ველისათვის რთული კონფიგურაციის გავლენის ობიექტების არსებობის დროს ურთიერთინდუქციურობის კოეფიციენტის გაანგარიშების უნივერსალური მეთოდი პრაქტიკულად არ არსებობს.

მაგნიტური გავლენის კერძო შემთხვევას წარმოადგენს მოქმედი ელექტროდანადგარის მაგნიტური ველის გავლენა ბიოლოგიურ ობიექტზე. გარეშე მაგნიტური ველის გავლენით ხდება დამაგნიტება, რომლის მექანიზმი განისაზღვრება ბიოლოგიური სისტემის ბუნებით, რომელშიც არსებული ნივთიერება ჩვეულებრივ არის დიამაგნიტური და პარამაგნიტური [31]. როგორც ნაშრომში [12] არის აღნიშნული, ბიოლოგიური სისტემების უმრავლესობას აქვს მნიშვნელოვანი არე, რომლებსაც გააჩნიათ ელექტროლიტური თვისებები. ამიტომ ამ არეებში ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკები მაგნიტური ველის გავლენით ასრულებენ ბრუნვით მოძრაობებს, ანუ წარმოშობენ გრიგალურ დენებს  $I_a$ , რომლებიც ცვლიან ბიოლოგიური სისტემის მდგომარეობას. ინდუქცირებული გრიგალური დენების სიმკვრივე შეიძლება იყოს სხვადასხვა დამოკიდებული მაგნიტური ველის დამაბულობასა და ორგანიზმის ინდივიდუალურ თავისებურებაზე.

პრაქტიკაში ბიოლოგიურ ობიექტებზე მაგნიტური გავლენის შესწავლა და სხეულში დაინდუქცირებული გრიგალური დენების სიდიდის შეფასება ხორციელდება გავლენის მქონე ელექტროდანადგარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის მიხედვით [12].

## 1.6. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების ადამიანზე გავლენის პრობლემები

მაღალი ძაბვისა და დიდი დენების მოქმედი ელექტროდანადგარები გარემომცველ სივრცეში ქმნიან ელექტრულ და მაგნიტურ ველებს, რომელთა უარყოფითი ზემოქმედება გამოისახება გავლენის ზონაში ობიექტებში წანაცვლებისა და ინდუქცირებული დენების სახით.

ამჟამად დაგროვილია მონაცემების საკმაო რაოდენობა ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის არახელსაყრელი გავლენის შესახებ. ცნობილია ნაშრომები და მონოგრაფიები [3,12], რომლებშიც წარმოდგენილია ისეთი კვლევის შედეგები, რომლებშიც გამოვლენილია ადამიანის ორგანიზმის სიცოცხლისათვის საჭირო სხვადასხვა სისტემაზე, სახელდობრ; ნერვულ, იმუნურ, ენდოკრინულ, სასქესო და სხვა სისტემებზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის უარყოფითი გავლენის გამოვლენის შედეგები.

ამ დროს ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის თვალსაზრისით ყველაზე უფრო მეტი საფრთხის ქვეშ იმყოფებიან ის ადამიანები, რომლებიც მუშაობენ მოქმედი ელექტროდანადგარების მაღალი დონის ელექტრომაგნიტური ველის ზონებში [32] და ასევე მათ სიახლოვეს მცხოვრები ადამიანები. დღეისათვის ამ პრობლემას არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა. ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებით უწყვეტად ფართოვდება წარმოებაში მძლავრი ელექტროტექნიკური და ელექტრონული მოწყობილობების გამოყენება, ექსპლუატაციაში შედის ახალი მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზები, ახალციხეში ექსპლუატაციაში შევიდა მძლავრი 500 მვტ სიმძლავრის მუდმივი დენის ჩანართი, რითაც ხორციელდება ელექტროენერჯის მიწოდება თურქეთის რესპუბლიკაში, მოქმედებაში არის შესული გარდაბნის ახალი 230 მვტ სიმძლავრის თბოელექტროსადგური და სხვა.

მაღალი და ზემოდალი ძაბვების ელექტრულ ქსელებში პერსონალზე ელექტრული ველის ზემოქმედების დონიდან გამომდინარე გამოყოფენ სამ ზონას [33]:

**პირველი ზონა**– ძაბვის ქვეშე მყოფი დენგამტარი ნაწილების უშუალო სიახლოვეს, სადაც ელექტრული ველის დამაბულობა რამდენიმე რიგით აღემატება დაცვის საშუალებების გარეშე ადამიანისათვის ელექტრული ველის დამაბულობის გავლენის დასაშვებ სიდიდეს. ამ ზონის რადიუსი ტოლია ძაბვის ქვეშე მყოფი დენგამტარი ნაწილების ჩამამიწებელ კონსტრუქციებთან მიახლოების მინიმალურად დასაშვები მანძილისა;

**მეორე ზონა** –ძაბვის ქვეშე მყოფი დენგამტარი ნაწილებიდან გარკვეულ დაშორებაზე, რომელიც მეტია მინიმალურად დასაშვებზე, მაგრამ ამასთანავე ამ დროს ელექტრული ველის დამაბულობა აღემატება 25 კვ/მ–ს. ეს პერსონალს არ აძლევს საშუალებას ზონის შიგნით იმყოფებოდეს სპეციალური დაცვის საშუალებების გარეშე;

**მესამე ზონა**– პერსონალი ელექტრული ველის დამაბულობის ზონაში დაცვის საშუალებების გარეშე შეიძლება იმყოფებოდეს გარკვეული დროის (სთ) განმავლობაში. ეს დრო განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (1.12)$$

სადაც E –არის ელექტრული ველის დამაბულობა ადამიანის მდებარეობის ადგილზე და იცვლება 5–დან 20 კვ/მ –მდე ფარგლებში (როცა E =20÷25 კვ/მ –ს , მაშინ ადამიანის ყოფნა ელექტრული ველის დამაბულობის ზონაში უნდა შეიზღუდოს 10 წუთამდე).

ელექტრული ველის დამაბულობის ზონაში ადამიანის ყოფნის დასაშვები დრო შეიძლება რეალიზებული იყოს ერთჯერადად მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში, დანარჩენი სამუშაო დროის განმავლობაში საჭიროა გამოყენებული იქნას დამცავი საშუალებანი, ან უნდა იმყოფებოდეს 5 კვ/მ–მდე დამაბულობის ზონაში.

პრაქტიკაში (1.12) გამოსახულების გამოყენების შესაძლებლობის ანალიზი მოწმობს იმას, რომ იმ შემთხვევაშიც კი, როცა პერსონალს გააჩნია ელექტრული ველის დამაბულობის საზომი ხელსაწყო ან ტერიტორიის მიხედვით დამაბულობის განაწილების რუკა, T სიდიდის განსაზღვრა მაინც ძნელია. ეს განპირობებულია ელექტრული ველის დამაბულობის მუდმივი კონტროლისა და ველის ზონაში ყოფნის დროის პერიოდული გაანგარიშების საჭიროებით, რაც ამცირებს შრომის ნაყოფიერებას.

ექსპერიმენტული მონაცემები, გვიჩვენებს, რომ ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდე სხვადასხვა ძაბვის კლასის ელექტროდანადგარებში იცვლება ფართო საზღვრებში. ცხრილი 1.2-ში ნაჩვენებია ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების ელექტრული ველის დამაბულობების მახასიათებელი დონეები.

ცხრილი 1.2-დან ჩანს, რომ ელექტრული ველის დამაბულობის უსაფრთხო სიდიდიდან – 5 კვ/მ-დან მომატება შეინიშნება 110 კვ და ზემოთ ძაბვის ელექტროდანადგარებში, ზოგიერთ შემთხვევაში აღინიშნება ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობაზე (25 კვ/მ) გადაჭარბება.

**ცხრილი 1.2. ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების ელექტრული ველის დამაბულობების მახასიათებელი დონეები.**

ელექტრული ველის დამაბულობის წყარო	ელექტრული ველის დამაბულობა E, კვ/მ
სხ 6÷35 კვ	0,01÷0,5
სხ 110 კვ	1÷5
სხ 220 კვ	5÷8
სხ 500 კვ	10÷20
500 კვ ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობა	10÷50

ამასთანავე მნიშვნელოვანია ამინდის ფაქტორების მნიშვნელოვანი გავლენა ელექტრომაგნიტური ველის დონეზე. ასე მაგალითად, ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობა 2,2 –ჯერ იზრდება სველი



თოვლის პირობებში. ამინდის პირობებისაგან განსხვავებით ელექტროსისტემის რეჟიმის გავლენა ნაკლებად მნიშვნელოვანია, რადგანაც ელექტრული ველის დამაბულობა წრფივად არის დამოკიდებული ელექტროდანადგარის ძაბვის დონეზე, ხოლო ისინი ნორმალურ რეჟიმებში იცვლებიან უმნიშვნელოდ (10÷15 %).

გასული საუკუნის 70–იანი წლების დასაწყისისათვის მიაჩნდათ, რომ:

1. სამრეწველო სიხშირის საჰაერო ხაზების, კაბელების, ელექტროგაყვანილობის, ელექტროდანადგარების დენების მაგნიტური ველები ადამიანის ორგანიზმზე ვერ ახდენენ უარყოფით ზემოქმედებას;

2. 300 კვ-ზე დაბალი ძაბვის საჰაერო ხაზები, კაბელები, ელექტროდანადგარების ელექტროგაყვანილობა ნორმატიული დოკუმენტებით რეგლამენტირებული მოთხოვნების დაცვის დროს ადამიანის ორგანიზმში ვერ ახდენენ შეუქცევად ცვლილებებს.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ადამიანისათვის შედარებით უსაფრთხოდ მიჩნეული იყო ისეთი მაგნიტური ველი, რომლის დამაბულობა გეომაგნიტური ველის დამაბულობის რიგის, ანუ არაუმეტეს 0,15-0,2 კა/მ-ის (180-250 მკტლ) ტოლია. მაგნიტური ველის უფრო დიდი დამაბულობის დროს გამოვლინებას იწყებს რეაქცია ორგანიზმის დონეზე.

70-იანი წლების ბოლოს ცოცხალ ორგანიზმზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის უარყოფითი გავლენის მიმართ გაკეთებული იქნა მნიშვნელოვანი დამატება: სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველების ხანგრძლივმა ზემოქმედებამ შეიძლება ხელი შეუწყოს სისხლისა და ტვინის ონკოლოგიურ დაავადებებს.

ამ აღმოჩენას მნიშვნელოვნად ხელი შეუწყო ეპიდემიოლოგიურმა გამოკვლევებმა. ეპიდემიოლოგიური გამოკვლევები წარმოადგენს ადამიანის ორგანიზმზე ხანგრძლივი ზემოქმედების სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველების მავნელობისა და საფრთხის გამოვლენის ერთერთ მეთოდს.

ეპიდემიოლოგიური გამოკვლევების მეთოდთა მდგომარეობს იმ პირების ჯგუფების შედარებაში, რომელთაც გააჩნიათ ერთნაირი დაავადება (სისხლისა და თავის ტვინის ონკოლოგიური ავადმყოფობა) და ექვემდებარებოდნენ სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველის ზემოქმედებას ან ცხოვრობდნენ განსაზღვრულ ტერიტორიაზე (საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ახლოს) ან პროფესიულად დაკავშირებულნი იყვნენ სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველის ზემოქმედებასთან, ასევე ქალები - ვიდეო დისპლური ტერმინალების ოპერატორები, ჯანმრთელი ადამიანების ჯგუფებთან ავადმყოფებთან, რომლებიც არ ექვემდებარებოდნენ სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ზემოქმედებას.

ამასთანავე განვითარებულ ქვეყნებში აშშ-ში, კანადაში, გერმანიაში, საფრანგეთში, შვედეთში 70-იანი წლების ბოლოს სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ადამიანის ორგანიზმზე საშიშ და მავნე ზემოქმედების თვალსაზრისით მოხდა მნიშვნელოვანი ცვლილებები.

ამ ქვეყნებში ჩატარებულმა ეპიდემიოლოგიურმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ განსაზღვრულ პირობებში სისხლისა და ტვინის ონკოლოგიური დაავადების ალბათობა მნიშვნელოვნად მეტია იმ პირებში, რომლებიც ხანგრძლივად იმყოფებიან სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველის ზემოქმედების ქვეშ. სახელდობრ, შვედეთში ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ 15 წლამდე ბავშვებში, რომლებიც ცხოვრობდნენ საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის ახლოს 200 ნტლ მაგნიტური ინდუქციის დროს ლეიკემიით დაავადება 2,7 -ჯერ უფრო ხშირი იყო ვიდრე ბავშვების იმ საკონტროლო ჯგუფში, რომლებიც ცხოვრობდნენ ამ საჰაერო ხაზიდან მოშორებით და 3,8-ჯერ მეტი, რომლებიც ცხოვრობდნენ 300 ნტლ მაგნიტური ინდუქციის ზონაში.

სამრეწველო სიხშირის სუსტი მაგნიტური ველის ხანგრძლივი ზემოქმედების დროს ონკოლოგიურ ცვლილების ალბათობის ზრდას

მოწმობს ციტოლოგების კვლევები უჯრედის დონეზე და ბიოლოგების მიერ ცხოველებზე ჩატარებული ექსპერიმენტები.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის უარყოფითი ზემოქმედების შესახებ წარმოდგენის ცვლილებასთან ერთად იცვლება სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ველთან პროფესიულად დაკავშირებული პერსონალისა და მოსახლეობის სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის მარეგლამენტირებელი ზემოქმედების ნორმატიული დოკუმენტები.

იმისგან დამოკიდებულებით, ვინ ამუშავებს ნორმატიულ დოკუმენტებს, ისინი ატარებენ აუცილებელ ან სარეკომენდაციო ხასიათს. სახელმწიფო ნორმატივები, როგორც წესი, ატარებენ აუცილებელ ხასიათს, ხოლო საზოგადოებრივი ორგანიზაციებისა და გაერთიანებული პროფესიონალების დოკუმენტების აბსოლუტურ უმეტესობას აქვს სარეკომენდაციო ხასიათი. მაგრამ თანდათანობით სარეკომენდაციო პარამეტრები შეიძლება გადავიდეს აუცილებელის თანრიგში, როგორც ეს მოხდა სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების ნორმირებულ მნიშვნელობებთან დოკუმენტში TCO-9. ამ დოკუმენტის მოდიფიკაციებში TCO-92,95,99 შემავალი პარამეტრები მთელ რიგ ქვეყნებში შევიდნენ სახელმწიფო ნორმატივებში და მათი მოთხოვნების შესრულება აუცილებელია.

ნორმატიული დოკუმენტების დამუშავების დროს ყოველთვის არსებობს წინააღმდეგობა მომხმარებლისა და პროდუქციის მწარმოებლის ინტერესებს შორის. ამ დროს მთავარ როლის თამაშს იწყებს ეკონომიკური საკითხები.

ვისი ინტერესი იქნება უფრო სრულად ასახული დოკუმენტში განისაზღვრება დოკუმენტის დამამუშავებელი და დამამტკიცებელი კომისიის შემადგენლობითა და მათი ობიექტურობით. ამასთანავე, როგორც წესი, პროდუქციის მწარმოებლის მხარე უფრო წარმომადგენლობითია და სახელმწიფო მის ინტერესებს უფრო ხშირად უჭერს მხარს.

1999 წლის 1 იანვრამდე რუსეთის სანიტარულმა ზედამხედველობამ ნორმირება გაუკეთა მხოლოდ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ელექტრულ მდგენელს, გამომდინარე იმ პრინციპიდან, რომ განსაზღვრული დონის ზემოთ მხოლოდ ელექტრული ველი იწვევს ადამიანის ორგანიზმში შეუქცევად ცვლილებებს, ხოლო მაგნიტური ველის ზემოქმედება შეიძლება უგულვებელყოფილი.

ამჟამად სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების გავლენის ზონაში ადამიანის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად სანიტარული ნორმით [14] რეგლამენტირებულია მოქმედი ელექტროდანადგარების სიახლოვეს წარმოშობილი ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების დონეები. ამ დოკუმენტის მიხედვით სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები დონეები დადგენილია პერსონალის მაგნიტური ველის დამაბულობის ზონაში ყოფნის დროისა და ზემოქმედების პირობების მიხედვით, კერძოდ, საერთო- როცა მთელი სხეული იმყოფება ზონაში და ლოკალური- როცა ზონაში იმყოფება მხოლოდ კიდურები.

ცხრილი 1.3-ში წარმოდგენილია სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური წესებითა და ნორმატივებით [14] „ელექტრომაგნიტური ველი საწარმოო პირობებში“ დადგენილი სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.

**ცხრილი 1. 3. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.**

ზონაში ყოფნის დრო, სთ	მაგნიტური ველის დამაბულობის [ა/მ] და ინდუქციის [მკტლ/მ] ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, ა/მ	ლოკალური ზემოქმედებისას
	საერთო ზემოქმედებისას	ლოკალური ზემოქმედებისას
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

ისევე, როგორც ელექტრული ველის შემთხვევაში მაგნიტური ველის დამაბულობის ზონაში ადამიანის ყოფნის დასაშვები დრო შეიძლება რეალიზებული იყოს ერთჯერადად ან ნაწილ-ნაწილ მთელი სამუშაო დროის განმავლობაში.

დღეისათვის არავისთვის საიდუმლოებას არ წარმოადგენს ის, რომ ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მაგნიტური ველი უფრო საშიში აღმოჩნდა, ვიდრე ელექტრული ველი. სამწუხაროდ, ცხრილი 1.3-ში წარმოდგენილი რუსეთსა და უკრაინაში მოქმედი სანიტარული ნორმებითა და წესებით მაგნიტურ ველის ზონაში ადამიანის ყოფნის ნორმირება დიდი ხანი არ არის რაც შემოდებული იქნა და ამიტომ პრაქტიკულად არ არსებობს ინფორმაცია მოცემული ნორმის გამოყენების ეფექტურობის შესახებ.

გამოჩნდა ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემის ცალკეული ასპექტების პირველ რიგში განხილვის საჭიროება, რომელიც მოითხოვს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის სამუშაოს წარმოების უსაფრთხო პირობების – ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობისა და რეალურ ელექტრულ ქსელში ელექტრომოწყობილობების ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველყოფას.

ითვალისწინებს რა ამ საკითხების პრიორიტეტს საერთაშორისო ელექტროტექნიკურ კომისიაში არსებობს ტექნიკური კომიტეტი # 77 „საერთო ელექტრულ ქსელებთან მიერთებული ელექტრომოწყობილობების ელექტრომაგნიტური თავსებადობა“, ხოლო მაღალი ძაბვის დიდი ელექტრული სისტემების საერთაშორისო საბჭოში (CIGRE), რომელიც წარმოადგენს არასამთავრობო და არაკომერციულ საერთაშორისო ორგანიზაციას, აერთიანებს ელექტროენერგეტიკული სისტემების დარგის მეცნიერებსა და სპეციალისტებს და წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკაში ერთერთ ყველაზე უფრო ავტორიტეტულ და მნიშვნელოვან საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ ასოციაციას და შექმნილია სპეციალური მუშა ჯგუფი # 5 „არასიმეტრია, არასინუსოიდურობა და ძაბვის რხევები“

ადამიანის ელექტრომაგნიტური ველის გამოსხივებისაგან დაცვის მიზნით საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 17 დეკემბრის #340 დადგენილებით „ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციისას უსაფრთხოების ტექნიკის წესების დამტკიცების შესახებ“ (მუხლი 2, პუნქტი 28) შემოღებულია საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზების დაცვის ზონები: ა) 1 კვ-მდე – 2 მ; ბ) 1-20 კვ – 10 მ; გ) 35 კვ – 15 მ; დ) 110 კვ – 20 მ; ე) 220 კვ – 25 მ ვ) 330 – 500 კვ – 30 მ.

საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2002 წლის 17 სექტემბრის ბრძანება №259/ნ „ელექტროსტატიკური, სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და სხვადასხვა სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ზემოქმედების ზონაში მომუშავე-მომსახურე პერსონალის შრომის პირობების სანიტარიული წესებისა და ნორმების დამტკიცების შესახებ“ რომელიც გაუქმებული იქნა 2007 წელს, ეხებოდა მხოლოდ ელექტრული ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენის შესახებ, რომელიც, როგორც მეცნიერული კვლევები ადასტურებენ, უფრო საშიშია ვიდრე ელექტრული ველის დამაბულობა, საერთოდ ნახსენებიც კი არ არის.

მოსახლეობის მასიური ეპიდემიოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე, რომლებიც ცხოვრობენ საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველების დასხივების პირობებში, როგორც უსაფრთხო ან ხანგრძლივი დასხივების პირობებისათვის „ნორმალური“ დონე, რომელიც არ იწვევს ონკოლოგიურ დაავადებებს, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შვედი და ამერიკელი სპეციალისტების მიერ რეკომენდირებულია 0,2–0,3 მკტლ. [1]. ცხრილი 1.2 –ში კი მოყვანილია ის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომელსაც იყენებენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის რესპუბლიკები და მათ შორის საქართველოც.

ცხრილი 1.4–ში შედარებისათვის მოყვანილია შვედი მეცნიერების მიერ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ინტენსივობის

დონე ზოგიერთი საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებისა და ელექტროტრანსპორტისათვის რეალური მაგნიტური გამოსხივების სიდიდეები და მათი გადაჭარბების მნიშვნელობები ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებულ მაგნიტური გამოსხივების უსაფრთხო მნიშვნელობასთან.

**ცხრილი 1.4. ზოგიერთი საყოფაცხოვრებო ხელსაწყოებისა და ელექტროტრანსპორტის მაგნიტური გამოსხივების სიდიდეები.**

#	ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყარო	გამოსხივების სიდიდე, მკტლ	გამოსხივების გადაჭარბების სიდიდე, ჯერ
1	კომპიუტერი დაშორებით 30 სმ	50	250
2	ელექტროუთო, დაშორებით 20 სმ	0,2	0
3	მაცივარი no frost სისტემით 1 მ დაშორებით	0,2	0
4	სარეცხი მანქანა	0,5–1,0	2.5–5
5	ელექტროჩაიდანის დაშორებით 20 სმ	0,6	3
6	ელექტროლუმენი 20–30 სმ დაშორებით	1–3	5–15
7	მიკროტალღური ღუმელი 30 სმ დაშორებით	8	40
8	ელმავალში	10–20	50–100
9	მეტროში (ვაგონში)	40	200
10	მეტროში პლატფორმაზე	50–100	250–500
11	მტვერსასრუტი	100	500
12	ყავის მადუღარა	10	50
13	მიკროტალღური ღუმელი	8–100	40–500
14	ელექტროსაპარსი და ფენი	150	750

ცხრილი 1.5-ში მოცემულია 50 ჰც სიხშირის იმპულსური მაგნიტური ველების ზემოქმედების პირობებისათვის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ამპლიტუდური მნიშვნელობის ზღვრულად დასაშვები დონეები დიფერენცირებულია სამუშაო ცვლაში ზემოქმედების საერთო ხანგრძლივობისა და იმპულსური რეჟიმების გენერაციის მახასიათებლებიდან გამომდინარე, სადაც განხილულია სამი რეჟიმი:

რეჟიმი I- იმპულსის  $\tau_{ფყ} \geq 0,02$  წმ, ხოლო  $t_{ა} \leq 2$  წმ.

რეჟიმი II - იმპულსის  $60$  წმ  $\geq \tau_{ფყ} \geq 1$  წმ,  $t_{ა} > 2$  წმ.

რეჟიმი III-იმპულსის  $0,02$  წმ  $\leq \tau_{ფყ} < 1$  წმ,  $t_{ა} > 2$  წმ.

სადაც  $\tau_{ფყ}$ -არის იმპულსის ხანგრძლივობა, წმ;  $t_{ა}$ -არის იმპულსებს შორის პაუზის ხანგრძლივობა.

**ცხრილი 1.5. გენერაციის რეჟიმიდან გამომდინარე 50 ჰც სიხშირის იმპულსური მაგნიტური ველის ზემოქმედების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები.**

T, სთ	H <sub>ზღვრ.დას.</sub> , მკტლ		
	რეჟიმი I	რეჟიმი II	რეჟიმი III
≤ 1,0	7500	10000	12500
≤ 1,5	6250	9375	11875
≤ 2,0	6125	8625	11125
≤ 2,5	5625	8125	10625
≤ 3,0	5000	7500	10000
≤ 3,5	4500	7000	9500
≤ 4,0	4000	6500	9000
≤ 4,5	3625	6125	8625
≤ 5,0	3125	5625	8125
≤ 5,5	2875	5375	7875
≤ 6,0	2500	5000	7500
≤ 6,5	2250	4750	7250
≤ 7,0	2000	4500	7000
≤ 7,5	1875	4375	6875
≤ 8,0	1750	4250	6750

საერთაშორისო რეკომენდაციების თანახმად დღეღამეში 2 სთ-მდე დასხივების დროისათვის სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის უსაფრთხო დონეა 50 მკტლ. ხოლო დასხივების დღეღამური დონე შეადგენს 1 მკტლ-ს.



მეცნიერების მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები [33] მოწმობენ სხვადასხვა ძაბვის კლასის ელექტრომოწყობილობების მაგნიტური ველის დამაბულობების დონეებში მნიშვნელოვანი განსხვავებების არსებობაზე.

ცხრილი 1.6–ში მოცემულია ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების წყაროების მაგნიტური ველის დამაბულობის მახასიათებელი დონეები.

ცხრილი 1.6–ში მოცემული მონაცემების სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები დონეებთან შეპირისპირების დროს ჩანს, რომ მახასიათებელი მნიშვნელობები ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს (80 ა/მ, ცხრილი 1.2) აღემატება მხოლოდ 500 კვ ძაბვის კლასის ელექტროდანადგარებში. ასეთ ელექტროდანადგარებში ნორმების შესაბამისად საჭიროა შეზღუდული იქნეს პერსონალის ყოფნის დრო. ასეთ ადგილებში დამცავი პიჯაკების გამოყენება შეუძლებელია, რადგან მაგნიტური ველი პრაქტიკულად არ ეკრანირდება [7].

**ცხრილი 1.6. ელექტროენერჯის გადამცემი სისტემების წყაროების მაგნიტური ველის დამაბულობის მახასიათებელი დონეები.**

მაგნიტური ველის დამაბულობის წყარო	მაგნიტური ველის დამაბულობა, ა/მ
სხ 6÷35 კვ	0,1÷2
სხ 110 კვ	0,1÷20
სხ 220 კვ	5÷50
სხ 500 კვ	10÷100
500 კვ ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობა	10÷100

როგორც ნაშრომში [33] არის აღნიშნული, ელექტრული ველისაგან განსხვავებით, მაგნიტური ველის დონეზე არსებით გავლენას ახდენს ელექტრული სისტემის რეჟიმული პარამეტრები. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ელექტროდანადგარის დატვირთვის დენსა და მაგნიტური

ველის დაძაბულობას შორის არის სწორხაზობრივი დამოკიდებულება. ელექტროდანადგარის ექსპლუატაციის პროცესში დენები შეიძლება იცვლებოდნენ ფართო საზღვრებში. კვლევებით ნაჩვენებია, რომ ამინდის ფაქტორი მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონეზე არსებით გავლენას ვერ ახდენს [33].

ზემოთქმულიდან გამომდინარე როგორც საქართველოს, ასევე საზღვარგარეთის მეცნიერ-ენერგეტიკოსების წინაშე ბიოელექტროთავსებადობის პრობლემების ჩარჩოებში მწვავედ დგას საკითხი პერსონალზე მოქმედი ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური გავლენის უტყუარი შეფასების საჭიროების შესახებ, შემდგომში ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო საწარმოო პირობების დამუშავებითა და რეალურ ელექტრულ ქსელში ელექტრომოწყობილობების ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველყოფით.

ელექტრომაგნიტური გავლენის პრობლემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ენერგოსისტემის ელექტრულ ქსელებში ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეების შეფასება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ამოცანას.

ამ დროს მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების ანალიზი მოწმობს იმას, რომ საკმაო სიზუსტით ელექტრული და მაგნიტური ველების სიდიდეების განსაზღვრა ანგარიშის გზით რეალურ ელექტრულ ქსელებში საკმაოდ რთულია და ზოგიერთ შემთხვევაში შეუძლებელიც კი. ეს აიხსნება რეალური საანგარიშო სისტემის კონფიგურაციის აღწერის სირთულითა და ამინდის ფაქტორების აღრიცხვის მეთოდების პრაქტიკული უქონლობით. ამიტომ სტანდარტის [14] მოთხოვნების თანახმად ელექტრომაგნიტური ველის დონის პირდაპირი გაზომვების მეთოდისა გაზომილი სიდიდეების ელექტროდანადგარის მაქსიმალური დენებისა და ძაბვების რეჟიმთან შემდგომი გადაანგარიშებით მიღებულია ელექტრომაგნიტური გარემოების ანალიზის ძირითად მეთოდად. გამონაკლისს წარმოადგენს ის ვარიანტი,

როცა ელექტროდანადგარის პროექტირების სტადიაზე საჭიროა შეფასებული იქნას მისი გავლენა ბიოლოგიურ ობიექტებზე. ამ შემთხვევაში ნორმატიული დოკუმენტები [14] უშვებენ ელექტრული და მაგნიტური ველების დონეების განსაზღვრას ანგარიშის გზით ისეთი მეთოდოლოგიით, რომლებიც უზრუნველყოფენ შედეგების მიღებას არაუმეტეს 10 % ცდომილებით.

## თავი 2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაანგარიშებისა და გაზომვის მეთოდები

### 2.1. ზოგადი ცნობები

როგორც წინა თავში აღნიშნეთ ელექტრომაგნიტური გამოსხივება წარმოადგენს მნიშვნელოვან საფრთხეს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის. მეცნიერების მიერ დანამდვილებით დადგენილია უშუალო კავშირის არსებობა ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებასა და ადამიანის ავადმყოფობას შორის.

ამასთან დაკავშირებით მსოფლის ქვეყნების უმრავლესობა ისწრაფვის თავისი მოქალაქეების ჯანმრთელობის დაცვისაკენ, სანიტარულ ნორმებში დაადგინეს ადამიანის მიერ მიღებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მაქსიმალური დასაშვები დონე.

მამასადამე, საოფისე და საწარმოო შენობებში, რომლებშიც განთავსებულია სხვადასხვა ხელსაწყოების დიდი რაოდენობა, რომლებიც წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს, ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გაზომვა უბრალოდ საჭიროა. იმისათვის, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გაზომვა მოხდეს ხარისხიანად და დროულად საჭიროა შესაბამისი ხელსაწყოები.

ქსელებში მომიჯნავე მოწყობილობებსა და ადამიანებზე [2] ელექტრომაგნიტური ველის გავლენის პრობლემები გამოკვლეული იქნა საზღვარგარეთის ქვეყნებში.

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, ელექტრომაგნიტური ველის ანალიზი შეიძლება ჩატარებული იქნას როგორც საანგარიშო, ასევე პირდაპირი გაზომვის მეთოდებით. ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით [14] ელექტროენერგეტიკის მოქმედ ობიექტებზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ანალიზი საჭიროა ჩატარებული იქნას გაზომვის

მეთოდებით. მაშინ როცა პროექტირების სტადიაში მყოფ ობიექტებზე გამართლებულია საანგარიშო მეთოდების გამოყენება. ეს განპირობებულია იმით, რომ მოქმედი ელექტრული ქსელების რთული სქემების ელექტრომაგნიტური ველის გაანგარიშებისათვის მოითხოვება საწყისი მონაცემების დიდი რაოდენობა, მათ რიცხვში ობიექტების ურთიერთგანლაგება, სასაზღვრო პირობები, მატერიალური საშუალებების ელექტროფიზიკური მახასიათებლები და სხვა. შედეგად ამოცანის დასმა იმდენად შრომატევადია, რომ წარმოიშვება პირდაპირი გაზომვის მეთოდის გამოყენების საჭიროება.

ჩვენს ქვეყანაში საქართველოს მთავრობის 2014 წლის 18 ივნისის #409 დადგენილების „საქართველოს ტერიტორიაზე სამშენებლო სფეროს მარეგულირებელი ტექნიკური რეგლამენტის აღიარებისა და სამოქმედოდ დაშვების შესახებ“ მუხლი1-ის თანახმად „პროდუქციის უსაფრთხოებისა და თავისუფალი მიმოქცევის კოდექსის 59-ე მუხლის, 103 მუხლის პირველი ნაწილისა და „ნორმატიული აქტების შესახებ „ საქართველოს კანონის მე-2 მუხლის პირველი პუნქტის შესაბამისად, სამშენებლო სფეროს ტექნიკური რეგულირების მიზნით, შესაბამისი ტექნიკური რეგლამენტების მიღებამდე აღიარებული და საქართველოს ტერიტორიაზე დროებით სამოქმედოდ დაშვებული იქნეს ყოფილი საბჭოთა კავშირის 1992 წლამდე მოქმედი და შემდგომ პერიოდში მოდიფიცირებული სამშენებლო ნორმები და წესები, ტექნიკური რეგლამენტების სხვა დოკუმენტები და მათი ის ნაწილები, რომელთა ალტერნატივა არ არსებობს საქართველოში მიღებული ტექნიკური რეგლამენტების ნორმატიული აქტების სახით და რომლებიც არ ეწინააღმდეგება საქართველოს მოქმედ კანონმდებლობას ან იმ საერთაშორისო ხელშეკრულებებს, რომელთა მონაწილეც არის საქართველო. ამასთან, სამედიცინო მომსახურების მიმწოდებელი დაწესებულებების მშენებლობის შემთხვევაში, აღნიშნული ნორმები და წესები გამოიყენება კონკრეტული სამედიცინო ობიექტისა და განსახორციელებელი სამედიცინო სერვისების სპეციფიკის

გათვალისწინებით. საქართველოში ამჟამად გამოყენებული ნორმატიული დოკუმენტი [14] გვისახავს, რომ სინუსოიდის ეფექტური მნიშვნელობა გავზომოთ და გავიანგარიშოთ იმ ელიფსის დიდი ნახევარღერძის ტოლი ამპლიტუდით, რომელიც აღიწერება მოცემულ წერტილში ელექტრული ან მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის ბოლოთი.

## 2.2. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშება

ელექტრომაგნიტური ველის გაანგარიშების ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ პროექტირების სტადიაზე გაანგარიშების გზით განისაზღვროს ის სამუშაო ადგილები, რომლებზეც ველის დაძაბულობები გადააჭარბებს დასაშვებ ნორმებს და გათვალისწინებული უნდა იქნეს პერსონალის დაცვის შესაბამისი ზომები და საშუალებები [14].

ზოგადი სახით ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშება დაიყვანება (1.1) ან (1.2) განტოლებების ამოხსნამდე მოცემული სასაზღვრო პირობების დროს. ამოხსნა შეიძლება უკვე ვაწარმოოთ ანალიზური ან რიცხვითი მეთოდებით.

ცნობილი ანალიზური მეთოდების შინაარსი გადმოცემულია ნაშრომებში [19,23]. მათი გამოყენება შესაძლებელია იმ შემთხვევებში, როცა გამტარების ფორმა შეიძლება აღიწეროს კოორდინატთა რომელიმე სისტემაში. პრაქტიკაში წარმოიშობა რთული ფორმის გამტარების სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური ველის გაანგარიშების საჭიროება. გარდა ამისა გამტარების რაოდენობა შეიძლება იყოს ძალიან დიდი. ამ მიზეზით პრაქტიკული კონსტრუქციების გაანგარიშების დროს გამოიყენება უფრო ეფექტური მეთოდები [24], რომლებიც ბევრად უფრო თავისუფალია ამ ხარვეზებისაგან, რადგანაც საშუალებას იძლევა ადვილად გავითვალისწინოთ ყველა ტიპის [19,23] სასაზღვრო პირობები და

ავტომატიზირებული გავხადოთ გაანგარიშების პროცედურა გამოსაყენებლად.

ამჟამად ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშების პრაქტიკაში ყველაზე უფრო გავრცელება ჰპოვა შემდეგმა რიცხვითმა მეთოდებმა [24]: ბადეების ანუ კიდურა სხვაობის მეთოდმა (MKP) [20,21]; კიდურა ელემენტების მეთოდმა (MKЭ) [23,24], ინტეგრალური განტოლებების მეთოდმა (МИУ) [23]. არსებობს ასევე ცნობები ვარიაციული (MB) და ეკვივალენტური მუხტების (MЭЗ) [24] მეთოდების გამოყენების შესახებ. პირველი სამი მეთოდი წარმოადგენს საკმაოდ უნივერსალურს რაც იძლევა მათი ეგმ-ზე გამოყენების საშუალებას.

კიდურა სხვაობის მეთოდი ერთნაირად წარმატებით შეიძლება გამოყენებული იქნეს ბრტყელი, ბრტყელმერიდიანული და სამგანზომილებიანი; უცვლელი და დროში ცვალებადი ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშებისათვის ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გარემოში [24].

როგორც ნაშრომში [20] არის აღნიშნული კიდურა სხვაობის მეთოდის უარყოფით მხარეს შეიძლება მივაკუთვნოთ:

- სწორხაზოვანი ბადის დახმარებით მრუდხაზოვანი უბნების საზღვრების აღწერის დროს განსაზღვრული სიძნელეები;
- ღია არეებისათვის დამატებითი სასაზღვრო პირობების შემოტანის საჭიროება, რასაც მივყავართ დამატებით ცდომილებებთან;
- გაანგარიშების შედეგად ცნობილია პოტენციალები მხოლოდ ბადის კვანძებში.

ნაშრომში [24] აღწერილია ვარიაციული მეთოდები, რომლებიც მოითხოვენ თითოეული ამოცანის მიმართ ინდივიდუალურ მიდგომას და შეიძლება გამოყენებული იქნას იმ პირთა მიერ, რომლებსაც გავლილი აქვთ სპეციალური მომზადება.

კიდურა ელემენტების მეთოდი [23,24] წარმოადგენს კიდურა სხვაობის მეთოდისა და ვარიაციული მეთოდების სინთეზს. მისი ძირითადი უპირატესობას კიდურა სხვაობის მეთოდთან შედარებით წარმოადგენს მრუდწირული ელემენტების გამოყენების გზით რთული საზღვრების საკმაოდ ზუსტი აღწერის შესაძლებლობა. ისევე როგორც კიდურა სხვაობის მეთოდი, კიდურა ელემენტების მეთოდიც გამოიყენება მხოლოდ დახურული საანგარიშო არეებისათვის. კიდურა ელემენტების მეთოდი ერთნაირად წარმატებით გამოიყენება ბრტყელი, ბრტყელმერიდიანული და სამგანზომილებიანი; უცვლელი და დროში ცვალებადი ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშებისათვის ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გარემოში.

ინტეგრალური განტოლების მეთოდი [24] წარმოადგენს ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშების მეთოდს, რომელიც უმთავრესად გამოიყენება ორგანზომილებიანი ამოცანის ამოსახსნელად. არსებობს ინტეგრალური განტოლების მეთოდის ორი ვარიანტი, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ველის წყაროს დავალების ხერხით [23]. ორივე ვარიანტი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტრული და მაგნიტური ველების ეგმ-ზე გასაანგარიშებლად ბრტყელპარალელურ და სამგანზომილებიან ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან გარემოში.

კიდურა სხვაობის, კიდურა ელემენტების მეთოდები და ინტეგრალური განტოლების მეთოდის ორივე ვარიანტი რეალიზებულია ველების გაანგარიშების სხვადასხვა პროგრამებში. როგორც ნაშრომში [24] არის აღნიშნული, რაც რთულია მეთოდი, მით უფრო მეტ სამანქანო რესურს მოითხოვს იგი.

ელექტრომაგნიტური ველების გაანგარიშების მეთოდების ყოველმხრივმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მოცემული სიზუსტით წარმატებული გაანგარიშება შეიძლება მიღებული იქნეს მხოლოდ უტყუარი საწყისი მონაცემების გამოყენების დროს, რომლებიც მოიცავს საანგარიშო არეს როგორც გეომეტრიულ ასევე ელექტროფიზიკურ პარამეტრებს.



## 2.3. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობის უნივერსალური საზომი BE-METP

თანამედროვე მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი სამკომპონენტო ხელსაწყო BE-METP-ის საერთო ხედი წარმოდგენილია ნახ.2.1-ზე. იგი შედგება ელექტრული და მაგნიტური ველების პარამეტრების საზომი ორი მოდიფიკაციის საზომისაგან "50Гц", "AT-004" და მათი რადიორხებით მართვის ბლოკისაგან „НТМ-ТЕРМИНАЛ“.

ამ ხელსაწყოს დანიშნულებაა ვაწარმოთ სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობის გაზომვები იმ პერსონალის სამუშაო ადგილებზე, რომლებიც პროფესიულად დაკავშირებულნი არიან სამრეწველო სიხშირის ცვლადი ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემისა და განაწილების სისტემების, რკინიგზის ტრანსპორტის, სამედიცინო ტექნიკისა და საცხოვრებელი და საოფისე სათავსოების სპეციალური მოწყობილობების მომსახურებასა და ექსპლუატაციასთან.

„50 Гц“ მოდიფიკაციის საზომი გაზომვის შედეგების ამსახველი მოწყობილობის შეკითხვის მიხედვით ასრულებს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დაძაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის გაზომვას და გაზომვის შედეგების გადაცემას რადიორხებით მართვის ბლოკზე „НТМ-ТЕРМИНАЛ“-ზე.

“AT-004“ მოდიფიკაციის საზომი გაზომვის შედეგების ამსახველი მოწყობილობის შეკითხვის მიხედვით ასრულებს 53ც-400 კჰც სიხშირის დიაპაზონის ელექტრული ველის დაძაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის გაზომვას და გაზომვის შედეგების გადაცემას რადიორხებით მართვის ბლოკზე „НТМ-ТЕРМИНАЛ“-ზე.

გოსტ 12.1.00284, ჰიგიენური ნორმატივების 2.1.8/2.2.4.2262-07, სანიტარული- ეპიდემიოლოგიური წესებისა და ნორმების 2.2.4.3359-16; 2.1.3. 2576-10; 2.1.2.2645-10 და სხვათა თანახმად აღნიშნული საზომი

ხელსაწყო ასევე შეიძლება გამოყენებული იქნეს ღია ტერიტორიების კომპლექსური სანიტარულ-ჰიგიენური გამოკვლევების დროს.

საზომი ხელსაწყო ფუნქციონირებს ჩაშენებული სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფის მართვით, რაც წარმოადგენს მის განუყოფელ ნაწილს. პროგრამული უზრუნველყოფა ახორციელებს გაზომილი ინფორმაციის შეკრებას, დამუშავებასა და წარმოდგენას. მის მიერ რეალიზებული დამუშავების მეთოდები უზრუნველყოფენ უშუალოდ საზომი საშუალებიდან ზემოთ ჩამოთვლილი ნორმატიული დოკუმენტებში ნორმირებული სიდიდეების მიღებას. გარდა ამისა ხორციელდება იმ პარამეტრების იდენტიფიკაცია, რომელიც ახასიათებს საზომი საშუალების ტიპს.



ნახ.2.1. მრავალფუნქციური უნივერსალური საზომი სამკომპონენტო ხელსაწყო BE-METP-ის საერთო ხედი

აღნიშნული ხელსაწყო სერტიფიცირებულია და სერტიფიკატი მოქმედებს 2020 წლის 6 თებერვლამდე (დანართი). იგი დარეგისტრირებულია რუსეთის ფედერაციის საზომი საშუალებების უზრუნველყოფის ერთიან საინფორმაციო ფონდში ნომრით № 59851-15.

ხელსაწყოს მუშა ტემპერატურის დიაპაზონია  $-20^{\circ}\text{C} \div +55^{\circ}\text{C}$ , ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა 90%-მდე.

#### 2.4. BE-METP ხელსაწყოს მეტროლოგიური და ტექნიკური მახასიათებლები

"50 ГИ" მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილი 2. 1-ში

ცხრილი 2.1. "50 ГИ" მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები

სიხშირეთა დიაპაზონი	48 ჰც ÷ 52 ჰც
ელექტრული ველის დამაბულობის საშუალო-კვადრატული მნიშვნელობის გაზომვის დიაპაზონი	50 ვ/მ ÷ 50 კვ/მ
მაგნიტური ველის დამაბულობის (მაგნიტური ინდუქციის) საშუალოკვადრატული მნიშვნელობის გაზომვის დიაპაზონი	800 მა/მ ÷ 4 კა/მ (1 მკტლ ÷ 5 მტლ)
<b>დამაბულობების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობების გაზომვის დასაშვები ფარდობითი ცდომილების ზღვრები</b>	
ელექტრული ველის	± 15 %
მაგნიტური ველის (მაგნიტური ინდუქციის)	± 15 %

„AT-004“ მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილი 2.2-ში.

ცხრილი 2.2. “AT-004“ მოდიფიკაციის საზომის მეტროლოგიური მახასიათებლები

სიხშირეთა დიაპაზონი 5 ჰც–დან 400 კჰც–მდე			
ქვედია– პაზონის №	სიხშირეთა დიაპაზონი	საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა	
		ელექტრული ველის დაძაბულობა	მაგნიტური ველის დაძაბულობა (მაგნიტური ინდუქცია)
1	5 ჰც ÷ 2 კჰც ( 45 ჰც ÷ 55 ჰც ჩათვლით)	5 ვ/მ ÷ 1000 ვ/მ	80 მა/მ ÷ 8 ა/მ (100 ნტლ ÷ 10 მკტლ)
2	2 კჰც ÷ 400 კჰც	0,5 ვ/მ ÷ 40 ვ/მ	4 მა/მ ÷ 400 მა/მ (5 ნტლ ÷ 500 ნტლ)
3	45 ჰც ÷ 55 ჰც	5 ვ/მ ÷ 1000 ვ/მ	80 მა/მ ÷ 8 ა/მ (100 ნტლ ÷ 10 მკტლ)
4	5 ჰც ÷ 2 კჰც ( 45 ჰც ÷ 55 ჰც გამოკლებით)	5 ვ/მ ÷ 1000 ვ/მ	80 მა/მ ÷ 8 ა/მ (100 ნტლ ÷ 10 მკტლ)
გაზომვის ცდომილება		± 15 %	± 15 %

ორივე მოდიფიკაციის საზომი ხელსაწყოს ტექნიკური მახასიათებლები ერთნაირია და წარმოდგენილია ცხრილი 2.3–ში.

**ცხრილი 2.3. "50 ПЦ" და "AT-004" მოდიფიკაციის საზომი ხელსაწყოს ტექნიკური მახასიათებლები**

კვების ძაბვა (მუდმივი დენი) (აკუმულატორის ბატარეა)	3,6÷4,6 ვ
მოხმარებული სიმძლავრე, არა უმეტეს	0,3 ვტ
აკუმულატორით უწყვეტი მუშაობის დრო	8 საათი
ხელსაწყო მასა	300 გ
გაბარიტული ზომები	500 X D100 მმ
მუშაობის ხანგრძლივობა არა უმეტეს	5 წელი

**2.5. საზომი ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი**

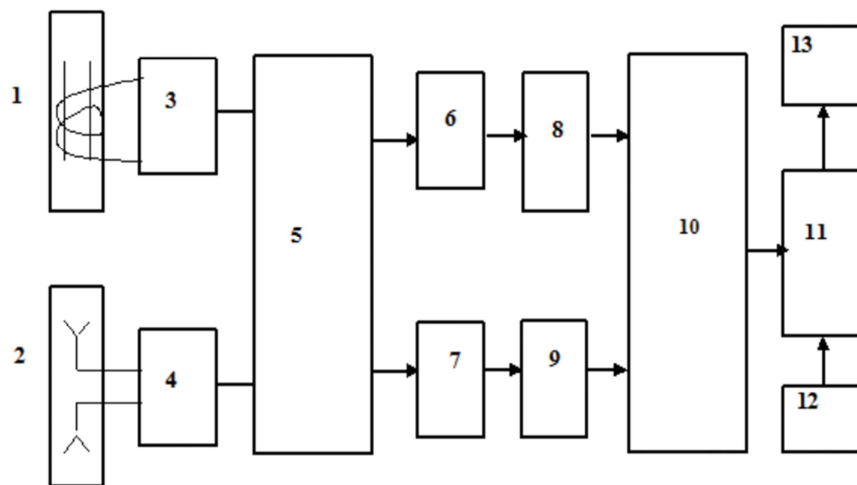
საზომი ხელსაწყოს მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს სამკომპონენტოანი გადამწოდის (ანტენის) დახმარებით გასაზომი ცვლადი ელექტრული ან მაგნიტური ველის ელექტრული ძაბვის რხევებად გარდაქმნაში, სიხშირულ ფილტრაციაში, ამ რხევების გაძლიერებასა, ციფრულ კოდში გადაყვანასა და სიგნალების ანალიზში. ინდიკაციისათვის გამოიყენება ინფორმაციის ასახვის ნებისმიერი მოწყობილობა, რომელსაც გააჩნია უსადენო კავშირის არხი და იძლევა საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფის დაყენების საშუალებას. აღნიშნულ საზომ ხელსაწყოში ამ ფუნქციას ასრულებს მართვის ბლოკი „HTM-ТЕРМИНАЛ“-ი.

საზომი ხელსაწყოს შემადგენლობაში შედიან: ფილტრები, რომლებიც ყოფენ სიგნალებს სიხშირული არხების მიხედვით, ოპერაციული გამაძლიერებლების, სიგნალების საშუალოკვადრატული მნიშვნელობების დეტექტირების, პროცესორული დამუშავებისა და შედეგების კოდირების, მართვისა და ინფორმაციის ასახვის

მოწყობილობასთან დასაკავშირებლად რადიო არხის მიმღებ-გადამცემი ბლოკები.

საზომი ხელსაწყო ფუნქციონალური ბლოკ-სქემა წარმოდგენილია ნახ.2.2-ზე. მისი ძირითადი ნაწილებია:

1. ელექტრომაგნიტური ველის გადამწოდი. იგი წარმოადგენს კონსტრუქციას, რომელიც აერთიანებს ელექტრული და მაგნიტური ველების სამკომპონენტო გადამწოდებს;
2. ელექტრული და მაგნიტური ველების რეგისტრაციების წინასწარი გამაძლიერებელი არხები, რომლებიც წარმოადგენენ ფართოზოლიან ოპერაციულ მაძლიერებლებს სიხშირული მახასიათებლების კორექციის წრედებით;
3. ელექტრული და მაგნიტური ველების რეგისტრაციის მაღალი და დაბალი სიხშირის არხების ზოლური ფილტრები, რომლებიც წარმოადგენენ აქტიურ RC- ფილტრებს გაძლიერების რეგულირებადი კოეფიციენტებით (ეს უკანასკნელნი გამოიყენებიან ხელსაწყოთა დაკალიბრების დროს);



ნახ.2.2.BE-METP ხელსაწყო ფუნქციონალური სქემა.

1-სამკომპონენტოანი გადამწოდი- ელექტრომაგნიტური ველის მაგნიტური კომპონენტების საზომი;

2. სამკომპონენტოანი გადამწოდი- ელექტრომაგნიტური ველის ელექტრული კომპონენტების საზომი;

3. ველის მაგნიტური კომპონენტების წინასწარი გამაძლიერებელი;

4. ველის ელექტრული კომპონენტების წინასწარი გამაძლიერებელი;

5. მუშაობის რეჟიმების გადამრთველი (E თუ B);

6. ველის კომპონენტის მაღალი სიხშირის აქტიური ზოლური ფილტრი;

7. ველის კომპონენტის დაბალი სიხშირის აქტიური ზოლური ფილტრი;

8. მაღალი სიხშირის დეტექტირების არხი;

9. დაბალი სიხშირის დეტექტირების არხი;

10. ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნელი;

11. პროცესორი;

12. პროცესორის მართვის ბლოკი;

13. მიმღებ-გადამცემი ბლოკი, რომელიც უზრუნველყოფს საზომსა და გაზომვის შედეგების ასახვის მოწყობილობას შორის ინფორმაციის უსადენო გაცვლას.

4. რეგისტრაციის თითოეული გამჭოლი არხის სიხშირული მახასიათებლის საბოლოო ფორმირება სიგნალების დეტექტირებისათვის ხორციელდება ოპერაციული გამაძლიერებლების სიხშირულად - დამოკიდებული უკუკავშირის წრედებით;

ანალოგიურ-ციფრულ გარდამქმნელად გამოყენებულია INTEL-ის ფირმის MCS-51 ოჯახის 8 შესასვლელის მქონე მიკროკონტროლერის მულტიპლექსირებული ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნელი. იგი მოიცავს 4096 ელემენტოანი მიმდევრობით-პარალელურ რეზისტორულ მატრიცას, კომპარატორს, შერჩევისა და შენახვის კონდენსატორს, მიმდევრობითი მიახლოვების რეგისტრს, მართვის ტრიგერს, შედარების რეგისტრსა და ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნების 8 რეგისტრს.

საზომის ცენტრალურ პროცესორად გამოყენებულია მაღალინტეგრირებული 8 ბიტანი მიკროკონტროლერი, რომელიც დაფუძნებულია MCS-51 არქიტექტურაზე. საზომში ეს პროცესორი გამოიყენება ველის გაზომვის რეჟიმის დასადგენად. მზომელის მიერ შეიძლება დაყენებული იქნეს ველის გაზომვის უწყვეტი რეჟიმი და სრული ვექტორის გაზომვის რეჟიმი, რომელიც მოიცავს ველის სამი კომპონენტის გაზომვასა და შემდგომში ველის ვექტორის აბსოლუტური სიდიდის გამოთვლას.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ საზომსა და გაზომვის შედეგების ასახვის მოწყობილობას შორის ინფორმაციის გაცვლა ხორციელდება კავშირის უსადენო არხით. რისთვისაც საზომ ხელსაწყოს გააჩნია ჩაშენებული Bluetooth მოდული კომპანია Bluegiga-ს მიერ დამუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფა iWRAR4, რომლის კლასია 2 ხოლო მოქმედების რადიუსი პირდაპირი ხილვადობის ზონაში 30 მ.

## **2.6. გაზომვის შედეგების მართვისა და ინდიკაციის ბლოკი**

### **„НТМ-ТЕРМИНАЛ“**

ბლოკი „НТМ-ТЕРМИНАЛ“-ის დანიშნულებაა რადიო არხების საშუალებით გარემოს პარამეტრების სხვადასხვა მზომი ხელსაწყოების მართვა საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობების სათავსოებში, საწარმოებსა და ღია ტერიტორიებზე და სხვა. ერთდროულად ის ასრულებს გაზომვის შედეგების ინდიკატორის ფუნქციას. მისი მოქმედების რადიუსი პირდაპირი ხილვადობის ზონაში შეადგენს 20–30 მ-ს.

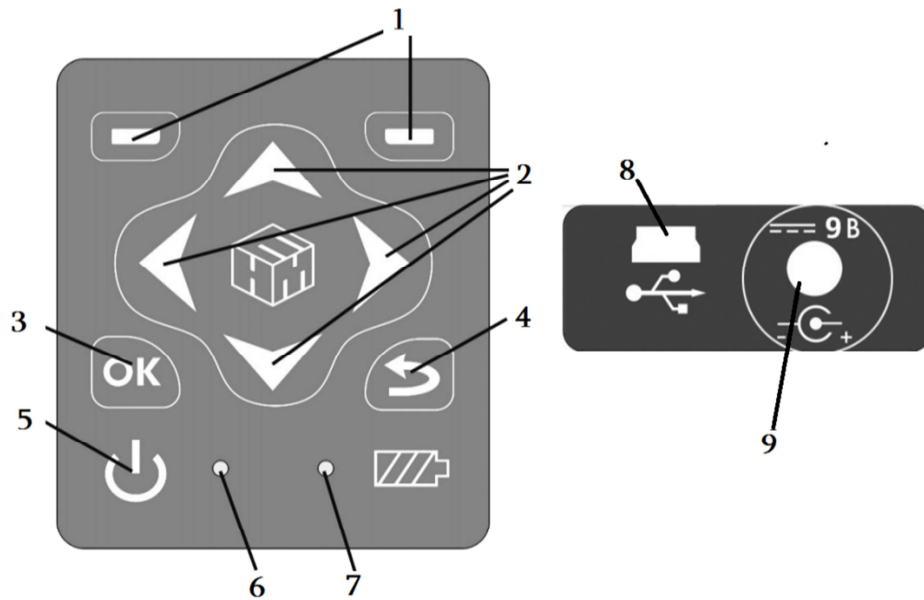
ხელსაწყოს ინსტრუქციის თანახმად ბლოკის ექსპლუატაციის პროცესში ოპერაციების ჩასატარებლად დაიშვებიან საშუალო ან უმაღლესი განათლების პირები, რომლებსაც დაწვრილებით შესწავლილი აქვთ ხელსაწყო სახელმძღვანელო, გავლილი აქვთ ინსტრუქტაჟი






უსაფრთხოების ტექნიკაში და აქვთ შესაბამისი დაშვება ელექტროდანადგარებზე სამუშაოდ, საშიში ფიზიკური ფაქტორების გაზომვის გამოცდილება და იციან კომპიუტერთან მუშაობა.

წარმოდგენილი მოთხოვნებიდან გამომდინარე საჭიროდ ჩავთვალეთ ამ ბლოკის თითოეული ღილაკის დანიშნულების განხილვა.

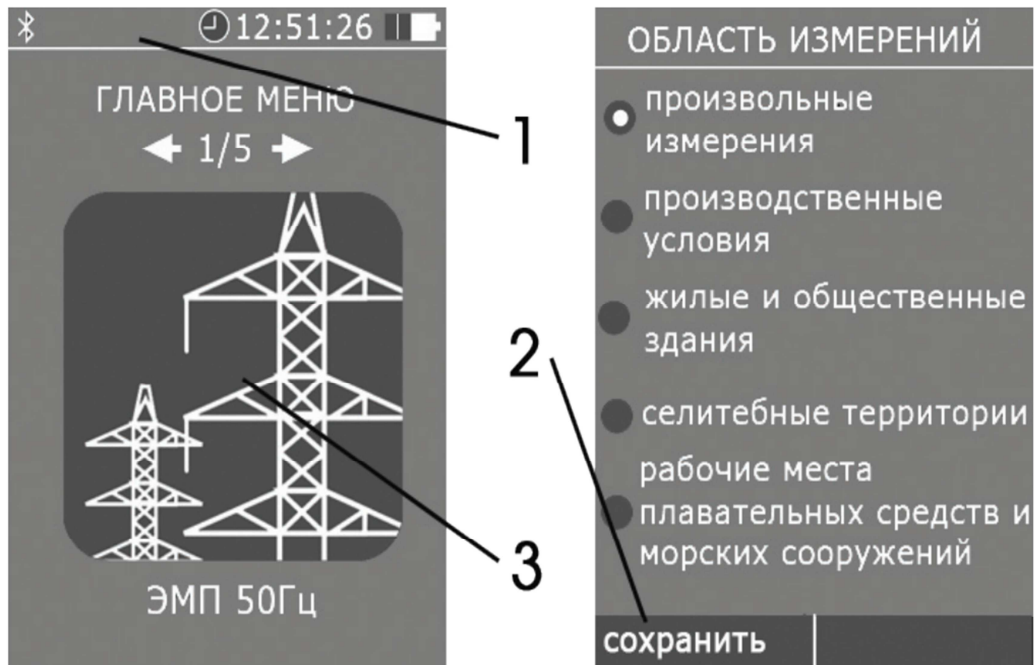
ნახ.2.3-ზე წარმოდგენილია ბლოკის კლავიატურა, რომელიც განლაგებულია მის წინა მხარეზე.



ნახ.2.3. ბლოკი „HTM-ТЕРМИНАЛ“-ის კლავიატურა.

1. კონტექსტური ღილაკი კონტექსტური მენიუს მართვისათვის;
2. ნავიგაციური ღილაკები ერთი პუნქტიდან მეორეზე გადასვლისათვის, სხვადასხვა პარამეტრების ცვლილება;
3. არჩევანის დადასტურება (მარკირება  );
4. მენიუს წინა პუნქტში დაბრუნება (მარკირება  );
5. ბლოკის ჩართვა / გამორთვა (ღილაკი  )
6. ხელსაწყოს ჩართვის მაჩვენებელი შუქდიოდი;
7. აკუმულატორის დამუხტვის მაჩვენებელი შუქდიოდი (მუდმივი ნათება-მიმდინარეობს დამუხტვა, ციმციმი-შეფერხება დამუხტვის პროცესში);

- 8 mini-USB-ს ბუდე პერსონალურ კომპიუტერთან მისაერთებლად;
  - 9 ბუდე აკუმულატორის ბატარეების დასამუხტავად.
- . ბლოკის ეკრანი, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.2.4-ზე დაყოფილია შემადგენელ ნაწილებად, სახელდობრ:
- 1 ზედა საინფორმაციო სტრიქონი;
  - 2 ქვედა სტრიქონი-კონტექსტური მენიუ;
  - 3 ეკრანის პანელი (მენიუს დაყოფის ჩვენებით) ზედა და ქვედა სტრიქონებს შორის



ნახ.2.4. ბლოკი „HTM-ТЕРМИНАЛ“-ის ეკრანი

ზედა საინფორმაციო სტრიქონის დასაწყისში გამოანათებს ნიშანი, რომელიც შეგვახსენებს ამ ბლოკის რადიოარხით საზომთან დაკავშირების შესაძლებლობას. თუ ასეთი კავშირი დამყარებულია, მაშინ ნიშანი იღებს მწვანე ფერს. თუ ბლოკი mini-USB კაბელით შეერთებულია პერსონალურ კომპიუტერთან , მაშინ გამოჩნდება ნიშანი USB. თუ კავშირი პერსონალურ კომპიუტერთან გააქტიურებულია , მაშინ ეს ნიშანი იღებს მწვანე ფერს.

ამავე სტრიქონში ანათებს მიმდინარე დრო და ინდიცირდება კვების ბლოკის აკუმულატორის განმუხტვის ხარისხი.

ბლოკის მთავარ მენიუს აქვს მრავალდონიანი სტრუქტურა. მთავარი მენიუს სტრუქტურის ბლოკ-სქემა მოცემულია ცხრილი 2.4-ში.

**ცხრილი 2.4. მთავარი მენიუს სტრუქტურის ბლოკ-სქემა**

ЭМП 50 Гц  50 ჰც სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი	გაზომვა	„50 ჰც“ მოდიფიკაციის ელექტრომაგნიტური ველის საზომთან ჩართვა და გაზომვები დადგენილი პარამეტრების შესაბამისად
	ნორმები	მოქმედი სანიტარულ-ჰიგიენური და სხვა ნორმების დათვალიერება
	გაზომვის პარამეტრების არჩევა	მიმდინარე და საშუალო მნიშვნელობების ასახვა
		გაზომვის შედეგების ჩაწერის ფუნქციის ჩართვა/ამორ-თვა
		გაზომვის ხანგრძლივობა (1-30 წთ)
	გაზომვის არე ( განსაზღვრავს გაზომვების რაოდენობასა და სიმაღლეს)	თავისუფალი გაზომვები
საწარმოო პირობები		
საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობები		
დასახლებული ტერიტორიები		
	მცურავი საშუალებები და საზღვაო ნაგებობები	
მახსოვრობა	ადრე ჩაწერილი შედეგების გადახედვა/ გაუქმება	
ЭМП 5 Гц-400 КГц  „5ჰც-400 კჰც“ სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი	გაზომვა	„5 ჰც- 400 კჰც“ მოდიფიკაციის ელექტრომაგნიტური ველის საზომთან ჩართვა და გაზომვები დადგენილი პარამეტრების შესაბამისად
	ნორმები	მოქმედი სანიტარულ-ჰიგიენური და სხვა ნორმების დათვალიერება
	გაზომვის არე ( განსაზღვრავს გაზომვების რაოდენობა და სიმაღლეს)	თავისუფალი გაზომვები
		ეგმ-ის ოპერატორების სამუშაო ადგილი
მახსოვრობა	ადრე ჩაწერილი შედეგების გადახედვა/ გაუქმება	
настройки ачыობა	თარიღი	მიმდინარე თარიღის დაყენება
	დრო	მიმდინარე დროის დაყენება
	სიკაშკაშე	ეკრანის სიკაშკაშის დაყენება
связь с ПК კავშირი პერსონალურ კომპიუტერთან	ამ რეჟიმში ხდება მონაცემთა გაცვლა პერსონალურ კომპიუტერთან	
подключения ჩართვა	ამ რეჟიმში ტესტირდება კავშირი ანტენებთან	

## 2.7. ხელსაწყოთა მომზადება სამუშაოდ. გასინჯვა და ტესტირება

სამუშაოს დაწყების წინ ამოვიღოთ ხელსაწყო შეფუთვიდან და ვაწარმოოთ გარეგანი დათვალიერება. გარეგანი დათვალიერებისას მოწმდება (ნახ.2.1):

- საზომის კომპლექტი;
- მართვისა და აწყობის ორგანოების დამაგრება;
- მართვის ორგანოების ფიქსაცია;
- საფარების მდგომარეობა.

უნდა დავრწმუნდეთ, რომ საზომს არ გააჩნია ხილული დაზიანებები, რომლებიც გავლენას მოახდენს გაზომვის სიზუსტეზე.

**გასინჯვა.** პირველ რიგში დავრწმუნდეთ, რომ გარემოს კლიმატური პირობები შეესაბამება ექსპლუატაციის სამუშაო პირობებს. კერძოდ, ხელსაწყო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონია  $-20^{\circ}\text{C} \div +55^{\circ}\text{C}$ , ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა 90%-მდე.

საზომების გასინჯვისა და ტესტირების პროცედურის ჩასატარებლად საჭიროა ბლოკის მთავარ მენიუში ავირჩიოთ პუნქტი „подключения“ ხოლო შემდეგ ავირჩიოთ საჭირო საზომი და თითო დავაჭიროთ მარცხენა კონტექსტურ ღილაკს „Тест“. ამ დროს ბლოკი ასრულებს საზომის ჩართვის პროცედურას და ეკრანზე გამოჩნდება შეტყობინება <Соединение ждите> (ნახ.2.5). წარმატებული შეერთების შემდეგ ავტომატურად გაემგება ტესტირების რეჟიმი. ტესტირების პროცედურის წარმატებით დასრულების შემდეგ ეკრანზე გამოჩნდება შეტყობინება <Test Ok>, წინააღმდეგ შემთხვევაში <Test No>.

თუ ბლოკის კავშირი საზომთან არ დამყარდა, მაშინ ეკრანზე გამოჩნდება შეტყობინება < Соединение не установлено нажмите Ok> კავშირის დამყარების შემთხვევაში „Ok“ ღილაკზე თითის დაჭერით ხორციელდება მენიუში გადასვლა გაზომვის სახეობის ასარჩევად.

თუ ტერმინალისა და საზომის შეერთების პროცესიდან 20 წმ-ის განმავლობაში ტერმინალი არ მიიღებს პასუხს გამოძახებული საზომიდან, მაშინ ეკრანზე გამოჩნდება შეტყობინება < Связь не установлено нажмите Ok>.



ნახ.2.5.

ნახ.2.6.

ნახ.2.7.

ნახ.2.5. ბლოკი “МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის მიერ საზომის ჩართვის პროცედურის შეტყობინება

ნახ.2.6. ბლოკი “МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის საზომის ჩართვის ღილაკი

ნახ.2.7. ბლოკი “МТМ-ТЕРМИНАЛ”-ის მიერ საზომის ჩართვის შეტყობინება

გამოძახებული საზომიდან პასუხის გაუცემლობის მიზეზებია:

- ჩართული არ არის საზომის კვება;
- საზომის აკუმულატორის ბატარეის დაბალი მუხტი;
- საზომი არ არის ტერმინალის მხედველობის არეში
- რადიოსიგნალების მაღალი დაბრკოლებები.

## 2.8. პირდაპირი გაზომვების ჩატარების მეთოდოლოგია

საზომის ჩართვა/გამორთვისათვის საჭიროა არანაკლებ 3 წამის განმავლობაში დავაჭიროთ თითო ღილაკს (ნახ.2.6). ჩართვის დროს უნდა აინთოს შუქდიოდი, რომელიც მოწმობს საზომის სამუშაოდ მზადყოფნას. ეკრანზე გამოჩნდება თარიღი, მიმდინარე დრო და ძირითადი ინფორმაცია

ბლოკზე (საქარხნო ნომერი, გამოშვების წელი და პროგრამული უზრუნველყოფის ვერსიის ნომერი) (ნახ.2.7).

**ყურადღება!** თუ საზომის ჩართვიდან 10 წმ-ის განმავლობაში გაზომვის შედეგების ამსახველ მოწყობილობასთან დამყარებული არ იქნა კავშირი, მაშინ საზომი ავტომატურად გაითიშება.

ქვედა სტრიქონში (კონტექსტურ მენიუში ) შემოგვთავაზებთ გადასვლას <Далее> შემდგომ საინფორმაციო ფანჯარასთან.

კონტექსტური მენიუს მარჯვენა ღილაკზე თითის დაჭერის შემდეგ გამოჩნდება ტიპისა და გასაზომი ელექტრომაგნიტური ველის სიხშირის დიაპაზონის არჩევის მენიუ.



ტერმინალის პროგრამული უზრუნველყოფა გამოიყენება სამუშაო ადგილზე ელექტრომაგნიტური ველის დონის მონიტორინგისა და შრომის პირობების დიაგნოსტიკის შემდგომი ამოცანების გადაწყვეტისათვის:

- საზომში საჭირო ბრძანებების გადაცემა, გაზომვის შედეგების მიღება და ტერმინალის მახსოვრობაში მათი შენახვა.
- გაზომვის მონაცემების დამუშავება მონიტორინგის, დიაგნოსტიკის და შრომის პირობების დასაშვები პროგნოზის შედეგების გაცემით;
- ნორმატიული ინფორმაციის ასახვა გაზომვის შედეგების ზღვრულ მნიშვნელობებთან შესაპირისპირებლად;
- მონიტორინგისა და დიაგნოსტიკის სისტემების კონფიგურირება;
- მონაცემების ექსპორტი და იმპორტი, მონაცემთა ბაზის პერსონალურ კომპიუტერში შენახვა.





პროგრამაში გათვალისწინებულია მთავარი მენიუს შემდეგი პუნქტები:

- 1 "ЭМП 50 Гц"- სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების ნორმების კონტროლისათვის;

- 2 . "ЭМП 5 Гц – 400 кГц"- გამომთვლელი ტექნიკის გამომყენებლის სამუშაო ადგილზე ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების ნორმების კონტროლისათვის;
- 3 "Настройки"- მოცემულია თარიღი, დრო და ეკრანის სიკაშკაშე;
- 4 "Связь с ПК"- რადიოარხით ან USB კაბელის დახმარებით კომპიუტერთან კავშირის დამყარება;
- 5 "Подключения" – ცნობების დათვალიერება იმ საზომის შესახებ, რომელთანაც დაკავშირებულია ტერმინალი.

მენიუს დასახელება ნაჩვენებია მთავარი მენიუს სტრიქონში შესაბამისი ფანჯრის ქვეშ. მთავარი მენიუს ფანჯრების გადართვა ხდება ღილაკებით  ან  ხელსაწყოს წინა პანელზე.

გარდა ამისა, არის ასევე კონტექსტური (ქვედა სტრიქონში) მენიუ, რომელიც შეიცავს ისეთ ბრძანებებს, რომლებიც სხვა მენიუმში არ არის. კონტექსტური მენიუს პუნქტების შესრულება რეალიზდება კონტექსტური მენიუს მართვის ღილაკებზე თითის დაჭერით (ნახ.3).

 და  ღილაკების დახმარებით შეირჩევა სამუშაოს საჭირო სახეობა (მაგალითად ЭМП 50 Гц და დავაჭიროთ ღილაკს . მენიუს თითოეული ქვეპუნქტიდან  ღილაკზე თითის დაჭერით შეიძლება დავბრუნდეთ მთავარ მენიუმში.

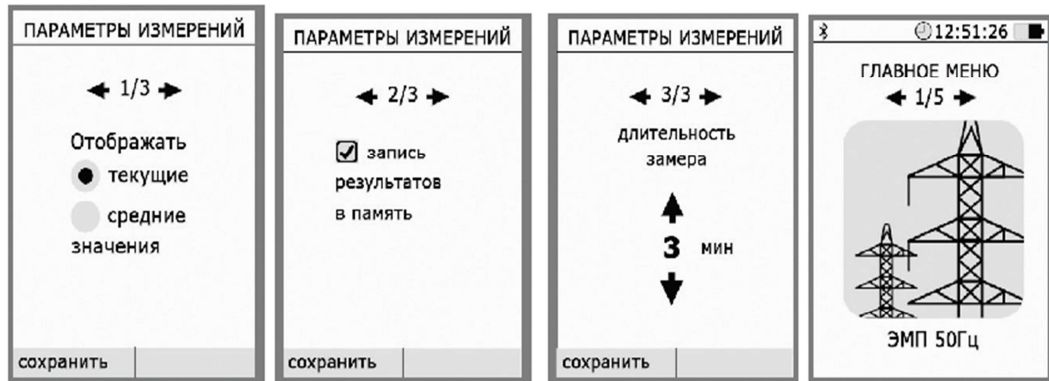
სამუშაოს დაწყების წინ საჭიროა ავირჩიოთ მოთხოვნილი <Параметры измерений> და <Область измерений>.

მენიუმში «Параметры измерений» შემოთავაზებულია:

1. რომელი მნიშვნელობები ავირჩიოთ ეკრანზე მიმდინარე ("текущие") თუ საშუალო ("средние") (ნახ.2.8). ელექტრომაგნიტური ველის საშუალო მნიშვნელობის ასახვის შერჩევის შემთხვევაში ბლოკის ეკრანზე დამატებით აისახება გაფართოებული განუზღვრელობის მნიშვნელობა  $U_p$ . გაფართოებული განუზღვრელობის  $U_p$  შეფასება ხდება გოსტ 54500-2011-ის შესაბამისად.



2. ჩავრთოთ ან გამოვრთოთ გაზომვის შედეგების ჩაწერის ფუნქცია (ნახ.2.9). თუ ფუნქცია ჩართულია, მაშინ გაზომვის დაწყების წინ მენიუში "Измерения" პუნქტის არჩევის შემდეგ შემოთავაზებულია საკონტროლო ზონის ნომერი. ამ საკონტროლო ზონის არჩევისა და ამ ინფორმაციის შენახვის შემდეგ ხორციელდება გაზომვებზე გადასვლა.
3. გაზომვის ხანგრძლივობის არჩევა 1 დან 30 წუთამდე ბიჯით 1 წთ (ნახ.2.10). გაზომვის ხანგრძლივობა განსაზღვრავს მეხსიერებაში გაზომვის შედეგების ჩაწერის პერიოდულობას.



ნახ.2.8

ნახ.2.9

ნახ.2.10

ნახ.2.11

ნახ.2.8. ბლოკი "МТМ-ТЕРМИНАЛ"–ის ეკრანზე მიმდინარე ან საშუალო მნიშვნელობის არჩევა

ნახ.2.9. გაზომვის შედეგების ფუნქციის ჩართვა

ნახ.2.10. გაზომვის ხანგრძლივობის არჩევა

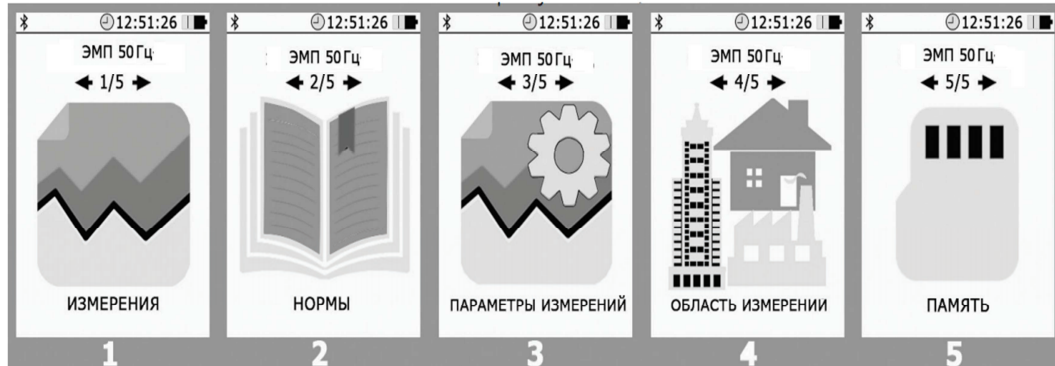
ნახ.2.11. პუნქტი "ЭМП 50 Гц" მთავარ მენიუში

## 2.9. 50 ჰც სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გაზომვის რეჟიმი

ტერმინალის საზომთან წარმატებით დაკავშირების შემდეგ ეკრანზე გამოისახება გაზომვის შედეგები, რომლებიც შეესაბამებიათ გაზომვის მოცემულ პარამეტრებს დადგენილ არეში. მაგალითად, თუ გაზომვა წარმოებს საწარმოო პირობების კონტროლისათვის, მაშინ სამრეწველო სიხშირის ელექტრული E (ვ/მ) და მაგნიტური B (მკტლ) ველების დაძაბულობების სიდიდეებთან ერთად განისაზღვრება ამ ველებში ყოფნის



დასაშვები დროის ხანგრძლივობები  $t_E$  და  $t_B$  СанПиН 2.2.4.3359-16 -ის თანახმად.



ნახ.2.12

ნახ.2.13

ნახ.2.14

ნახ.2.15

ნახ.2.16

ნახ.2.12. "ЭМП 50 Гц" რეჟიმში შესვლა

ნახ.2.13. მთავარ მენიუში შეიძლება ქვეპუნქტი «Нормы»-ს შერჩევა

ნახ.2.14. გაფართოებული განუზღვრელობის მნიშვნელობის ასახვა

ნახ.2.15. პუნქტი "Производственные условия" –ს არჩევა

ნახ.2.16. საკონტროლო ზონაში დასაშვები ყოფნის ხანგრძლივობის ასახვა

პუნქტი "ЭМП 50 Гц" მთავარ მენიუში (ნახ.2.11)



ღილაკზე თითის დაჭერის შემდეგ შევდივართ ამ რეჟიმში (ნახ.2.12).

გაზომვის დროს ეკრანზე აისახება სამრეწველო სიხშირის ელექტრული  $E$  (ვ/მ) და მაგნიტური  $B$  (მკტლ) ველების დამაბულობების სიდიდეები.

ამავე მთავარ მენიუში შეიძლება ავირჩიოთ ქვეპუნქტი «Нормы» (ნახ.2.13), რომელიც შეიცავს საცნობარო მასალებს სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის დონის ნორმების შესახებ.

თუ მენიუში «Параметры измерений» (ნახ.2.14) ნაჩვენებია "отображать средние значения ЭМП", მაშინ ცხრილში დამატებით აისახება გაფართოებული განუზღვრელობის მნიშვნელობა  $U_p$ .

თუ მენიუში «Область измерений» (ნახ.2.15) არჩეულია პუნქტი "производственные условия", მაშინ ეკრანზე აისახება საკონტროლო ზონაში დასაშვები ყოფნის ხანგრძლივობა ( $t_E$  და  $t_B$  საათებში) (ნახ.2.16)

## თავი 3. ელექტრულ ქსელებში პერსონალზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების შეფასების მეთოდები

### 3.1. ზოგადი ცნობები

მრეწველობის მხრივ განვითარებული და განვითარებადი სახელმწიფოების ეკოლოგიაში გარემოს ელექტრომაგნიტური დაბინძურების პრობლემა გახდა ერთერთი მადომინირებელი. გარემოს ქრონიკული ელექტრომაგნიტური დაბინძურების ძირითად ფაქტორებად აქ გამოდიან იმ მაღალი ძაბვის ელექტროენერგეტიკული ობიექტების (ელექტროგადაცემი ხაზები, ენერგოსისტემების სადგურები და ქვესადგურები) დაბალი სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველები, რომლებიც განლაგებულია უშუალოდ ქალაქის ტერიტორიაზე ან მათ სიახლოვეს ან გადაკვეთენ დასახლებულ პუნქტებს.

ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების მრავალფაქტორიანობა გარემოს ეკოლოგიაზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მოითხოვს ამ ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასების პრობლემის კომპლექსურ გადაწყვეტას.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში 2003 წლამდე, ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმებით [32] რეგლამენტირებული იყო ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა ელექტრული ველის დამაბულობის გავლენის ზონაში და მთლიანად იყო იგნორირებული მაგნიტური ველის გავლენის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობა. სიტუაცია კარდინალურად შეიცვალა ახალი ნორმატიული დოკუმენტების [14] შემოღების შემდეგ, რომელშიც გამოყენებულია ერთიანი მიდგომა, რომელიც ზღუდავს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობას ელექტრული ან მაგნიტური ველის მომატებული დონის არსებობის დროს.

ამ ნორმების თანახმად ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ცალკე ელექტრული და ცალკე მაგნიტური ველებისათვის.

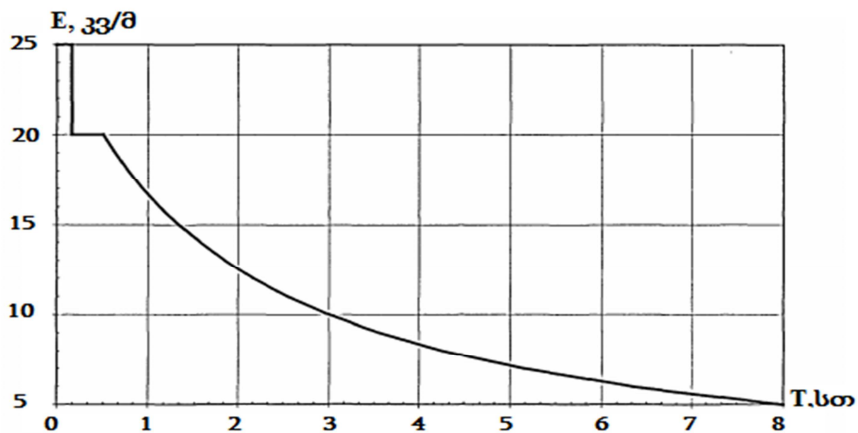
ელექტრული ველის დამაბულობისათვის ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა, ანუ ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობა განისაზღვრება შემდეგნაირად[14]:

- სამუშაო ადგილზე 5 კვ/მ-მდე ელექტრული ველის დამაბულობის დროს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა შეზღუდული არ არის;
- 5 კვ/მ-დან 20 კვ/მ-მდე ჩათვლით ელექტრული ველის დამაბულობის ზონაში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა გამოითვლება ფორმულით:

$$T_{ელ} = \frac{50}{E} - 2 \quad (3.1)$$

სადაც E- ელექტრული ველის დამაბულობაა ადამიანის ყოფნის ადგილზე.

- 20 კვ/მ-დან 25 კვ/მ-მდე ჩათვლით დიაპაზონში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა შეადგენს 10 წთ-ს.
- 25 კვ/მ-ზე ზემოთ ელექტრული ველის დამაბულობის დროს დაცვის საშუალებების გამოყენების გარეშე ადამიანის ყოფნა დაუშვებელია.



ნახ.3.1. ელექტრული ველის ზღვრულად დასაშვები დონისა და მასში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობის დამოკიდებულების მრუდი.

ელექტრულ ველში ადამიანის ყოფნის დასაშვები ხანგრძლივობა შეიძლება რეალიზებული იყოს ერთჯერადად ან ნაწილ-ნაწილ მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში. დანარჩენ დროს მას შეუძლია იყოს ელექტრული ველის გავლენის ზონის გარეთ ან გამოიყენოს დაცვის საშუალებები [35].

ნახ.3.1-ზე მოყვანილი ზღვრულად დასაშვები მრუდის ან (3.1) გამოსახულების გამოყენებასთან დაკავშირებულ ძირითად პრობლემას

წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკულ ობიექტებსა და მიმდებარე ტერიტორიაზე, სადაც ველების დროებით სივრცით განაწილებას უმეტეს შემთხვევაში აქვს რთული და ზოგჯერ არასტაციონარული ხასიათი, ელექტრომაგნიტური გარემოების ცვალებადობა. ამ დროს პერსონალი, რომელიც გადაადგილდება სხვადასხვა დამაბულობების ზონებში, ელექტრული ველის მხრიდან ექვემდებარება სხვადასხვა დონის ზემოქმედებას.

ასეთ სიტუაციებში ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმები [14] განსაზღვრავენ ელექტრული ველის სხვადასხვა დამაბულობის ზონებში ყოფნის დაყვანილ დროს  $T_{დაყვ}$ , რომელიც ეკვივალენტურია ელექტრული ველის დამაბულობის ნორმირებული დაბალი საზღვრის, 5 კვ/მ ზონაში ყოფნის ბიოლოგიური ეფექტისა.  $T_{დაყვ}$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$T_{დაყვ} = 8 \left( \frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right) \quad (3.2)$$

სადაც  $t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$  –  $E_1, E_2, \dots, E_n$  დამაბულობის მქონე საკონტროლო ზონებში ყოფნის ხანგრძლივობაა, სთ;  $T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$  – შესაბამისი საკონტროლო ზონებისათვის ადამიანის ყოფნის დასაშვები დროს ხანგრძლივობაა.

$T_{დაყვ}$  დროს სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 8 საათს. საკონტროლო ზონების რაოდენობა განისაზღვრება სამუშაო ადგილზე ელექტრული ველის დამაბულობის დონის ვარდნით. ამ დროს საკონტროლო ზონების ელექტრული ველის დამაბულობის დონეებს შორის განსხვავება დადგენილია 1 კვ/მ.

(3.2) გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მისი პრაქტიკული გამოყენებისათვის საჭიროა შესრულდეს შემდეგი მოქმედებები:

- შესაბამისი საკონტროლო ზონის ელექტრომაგნიტური გარემოების იდენტიფიკაციისათვის ელექტრული ველის დამაბულობის დონის მუდმივი კონტროლი;
- საკონტროლო ზონებში ადამიანის ყოფნის რეალური დროის  $t_{E1}, t_{E2}, \dots, t_{En}$  გაზომვა;

- (3.1) ფორმულით შესაბამის საკონტროლო ზონებში ყოფნის დასაშვები  $T_{E1}, T_{E2}, \dots, T_{En}$  დროების გამოთვლა;

-  $T_{დაყვ}$ . დროის პერიოდული განსაზღვრა და მისი შედარება  $T_{5_{კვ/8}} = 8$  სთ.

ამჟამად, საქართველოს ელექტრულ ქსელებში პრაქტიკულად არ არსებობს ხელსაწყოები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ავტომატურად განსაზღვრონ  $T_{დაყვ}$ . ამიტომ (3.1) და (3.2) გამოსახულებების გამოთვლა ეკისრება პერსონალს.

ელექტრულ ველში ყოფნის დროის ხანგრძლივობასთან ერთად ელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმებით (3.2) რეგლამენტირებულია ადამიანის მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობაც.

ამ ნორმატიული დოკუმენტით მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობა განისაზღვრება ნახ.3.2-ზე წარმოდგენილი გრაფიკული დამოკიდებულებით. სამწუხაროდ, ამ დროს (3.1)-ს ანალოგიური არავითარი მათემატიკური ფუნქცია შემოთავაზებული არ არის. შედეგად მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობის შეფასების კორექტულობა მნიშვნელოვნად არის შემცირებული.

[14]-ის მიხედვით საერთო ზემოქმედების დროს მაგნიტური ველის დაძაბულობის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

- სამუშაო ადგილზე 80 ა/მ-მდე მაგნიტური ველის დაძაბულობის დროს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა შეზღუდული არ არის;

- 80 ა/მ-დან 1600 ა/მ-მდე მაგნიტური ველის დაძაბულობის დიაპაზონში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა  $T_a$  განისაზღვრება ნახ.3.2-ზე წარმოდგენილი ინტერპოლაციის მრუდით;

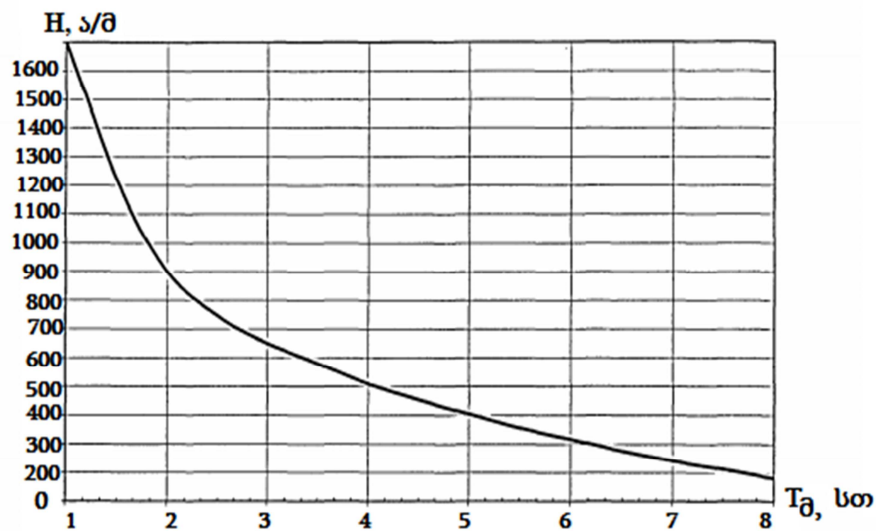
- 1600 ა/მ-ზე ზევით მაგნიტური ველის დაძაბულობის დროს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა  $T_a$  შეადგენს 1 სთ-ს; მაგნიტურ ველში ადამიანის ყოფნის დასაშვები ხანგრძლივობა შეიძლება რეალიზებული იყოს ერთჯერადად ან ნაწილ-ნაწილ მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში.

ამასთან ერთად ნორმატიულ დოკუმენტში [14] მოცემულია პუნქტი, რომელიც ეწინააღმდეგება სხვა დებულებებს:

- საჭიროების შემთხვევაში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა მაგნიტური ველის სხვადასხვა დამაბულობების (ინდუქციის) ზონებში ამ ზონებში სამუშაოს შესრულების საერთო დრო არ უნდა ემატებოდეს მაქსიმალური დამაბულობის ზონისათვის ზღვრულად დასაშვებს.

აქედან გამომდინარეობს, რომ თუ პერსონალი მინიმალურ დროში მოხვდა მაგალითად 1600ა/მ დამაბულობის მქონე მაგნიტურ ველში, მას არ შეუძლია შეასრულოს სამუშაო ერთ საათზე მეტ ხანს უკვე მინიმალური (ფაქტიურად ნულის ტოლი) დამაბულობის ზონაში.

ცხადია, რომ მოცემული საწინააღმდეგო აზრის პუნქტი წარმოადგენს რეალური ექსპლუატაციის პირობებში მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები დონის ნორმის გამოყენების სუსტი პრაქტიკული დამუშავების შედეგს.



ნახ.3.2. მაგნიტურ ველის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობის ინტერპოლაციის ადამიანის მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ახალი ნორმის [14], რომელიც ადგენს ზღვრულად დასაშვები ნორმის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებას, ცხად ხარვეზს

წარმოადგენს ერთდროულად მომატებული დონის ელექტრული და მაგნიტური ველების გავლენის ზონაში შერეული ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების არსებობისას სამუშაოს შესრულების ხანგრძლივობის დადგენის შეუძლებლობა.

ამრიგად ნაჩვენებია, რომ ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობა ინარჩუნებს თავის აქტუალობას ელექტროენერგეტიკის ობიექტების მიმდინარე ექსპლუატაციის სამუშაოების წარმოების უსაფრთხო პირობების უზრუნველყოფისათვის და მოითხოვს ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების რაოდენობრივი დონეების უტყუარ შეფასებას.

### 3.2. ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების ინსტრუმენტალური შეფასების ალგორითმი

საქართველოს ტერიტორიაზე მოქმედი ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმების ყოველმხრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ველში ყოფნის ხანგრძლივობის განსაზღვრის არსებული მეთოდები შეიძლება გამოყენებული იქნენ ელექტრული ველის პერსონალზე ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასებისათვის. ასე მაგალითად, ნაშრომში [8] შემოთავაზებულია სპეციალური სიდიდის – დაბალსიხშირული ელექტრული ველის დღეღამური დოზის  $D_j$  –ს შემოტანა, რომელიც რაოდენობრივად ახასიათებს ეკვივალენტურ დროს [წმ], რომელიც შეესაბამება 5კვ/მ დაძაბულობის ელექტრული ველში ყოფნის ხანგრძლივობას. (3.1) გამოსახულების ანალოგიურად ელექტრული ველის დოზის განსაზღვრისათვის ვწერთ გამოსახულებას:

$$D_j = 8 \times \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{T_i}, \text{ წმ} \quad (3.3)$$

სადაც  $i$  – მიმდინარე დროის ინტერვალის ნომერია;

$t_i$  – დროის ერთეულოვანი ინტერვალის ხანგრძლივობაა;

$N$  – სამუშაო ცვლის დროის დაყოფის ინტერვალების რაოდენობა;

$T_i$  – (1.12) გამოსახულების თანახმად ელექტრულ ველში ყოფნის ხანგრძლივობა.

თუ დროის ერთეულოვან ხანგრძლივობად მივიღებთ  $t_i=1$  წმ, მაშინ მთელი სამუშაო ცვლის განმავლობაში, რომელიც ტოლია 8 საათის (28800 წმ) (3.2) გამოსახულებას გარდავქმნით (3.3) გამოსახულებისა და ნახ.3.1.–ზე მოცემული მრუდის გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$D'_g = \sum_{i=1}^{28800} \frac{8E_i}{50-2E_i}, \text{ წმ}; (5 < E_i \leq 20) \text{ კვ/მ} \quad (3.4)$$

$$D''_g = \sum_{i=1}^{28800} 48, \text{ წმ}; (20 < E_i \leq 25) \text{ კვ/მ} \quad (3.5)$$

$$D_g = D'_g + D''_g \quad (3.6)$$

სადაც:

$E_i$  – დაკვირვების  $t_i$  ერთეულოვანი დროის ინტერვალში ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდეა;

$D'_g$  – ელექტრული ველის ჯამური დოზის მდგენელია, რომელიც განპირობებულია 5 კვ/მ–დან 20 კვ/მ–მდე ჩათვლით ინტერვალში მდებარე ელექტრული ველის დამაბულობით;

$D''_g$  – ელექტრული ველის ჯამური დოზის მდგენელია, რომელიც განპირობებულია 20 კვ/მ–დან 25 კვ/მ–მდე ჩათვლით ინტერვალში მდებარე ელექტრული ველის დამაბულობით (ამ დროს ველში ყოფნის მაქსიმალური ხანგრძლივობა შეზღუდულია და ტოლია 10 წთ–ს).

$D_g$  – სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დაგროვილი დოზის სიდიდეა.

იმ შემთხვევაში, როცა ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდე არ აღემატება 5 კვ/მ–ს დოზის გაანგარიშება არ ხდება.

რამდენადაც ელექტრული ველის დღეღამური მაქსიმალური დოზა  $D_{\text{მაქს}} = 28800$  წმ, ამიტომ 8 საათიანი სამუშაო დღის განმავლობაში ელექტრული ველის მომატებული დამაბულობის პირობებში ყოფნა მანამ იქნება უსაფრთხო, სანამ სრულდება პირობა  $D_g < D_{\text{მაქს}}$ .



(3.4)–(3.6) გამოსახულებების საფუძველზე დამუშავებულია ადამიანის ორგანიზმზე ელექტრული ველის ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასების ალგორითმი (ნახ.3.3), რომელიც წყვეტს შემდეგ ძირითად ამოცანებს:

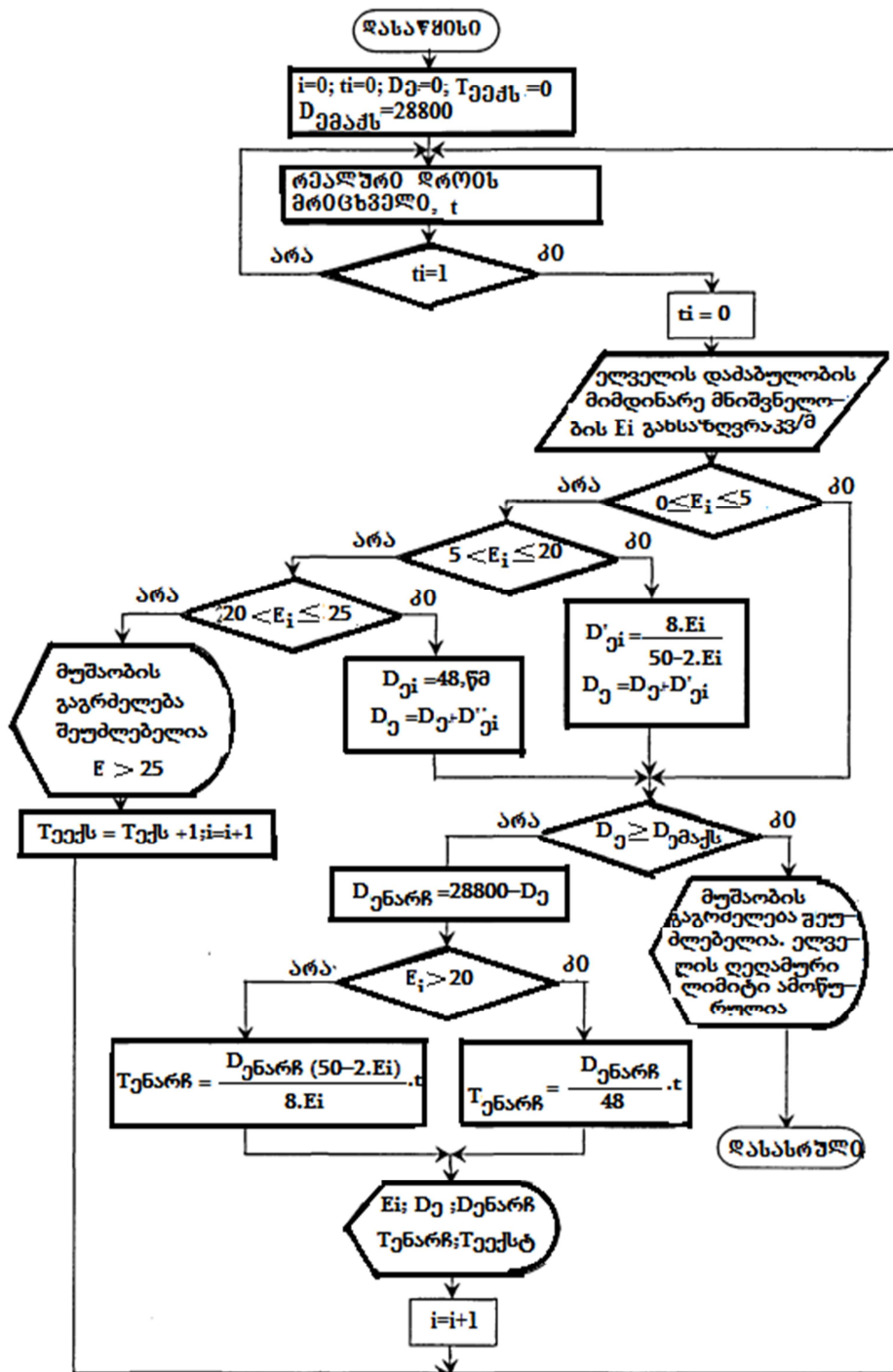
- პერიოდულად განსაზღვრავს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დაძაბულობის რეალურ მნიშვნელობას  $E_i$ -ს  $t_i = 1$  წმ დისკრეტული დროის ინტერვალით.

(3.4)–(3.6) გამოსახულებების თანახმად ანგარიშობს ელექტრული ველის დოზას  $D_j$  -ს;

- ინფორმაციას აწვდის პერსონალს  $D_j$  სიდიდის ზღვრულად დასაშვები დღელამური მნიშვნელობის  $D_{j\text{მაქს}} = 28800$ -ზე გადაჭარბების შესახებ;

- გამოიანგარიშებს ელექტრულ ველში პერსონალის ყოფნის ხანგრძლივობისა და  $T_{\text{დარჩ}}$  და დოზის  $D_{\text{დარჩ}}$  დარჩენილი ნაშთის (ლიმიტის) რაოდენობას ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმდინარე მნიშვნელობის  $E_i$ -ს ზონაში.

პერსონალის  $E > 25$  კვ/მ ელექტრული ველის დაძაბულობის ზონაში მოხვედრის დროს გამოდის გაფრთხილება და წარმოებს ელექტრული ველის ექსტრემალური დონის ზემოქმედების დროის  $T_{\text{ექსტრ}}$  ათვლა. მოცემულმა სიდიდემ ვერ ჰპოვა პირდაპირი გამოყენება, რადგანაც მას არ გააჩნია ინფორმაცია ელექტრული ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების შესახებ. ამასთანავე იგი შეიძლება იყოს სასარგებლო მსგავს ზონებში პერსონალის მოხვედრის თავიდან ასაცილებლად ღონისძიების დასამუშავებლად.



ნახ.3.3. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დედამური დოზის განსაზღვრის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

### 3.3. ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების ინსტრუმენტალური შეფასების ალგორითმი

მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები დონის მოქმედი ნორმების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ადამიანზე მაგნიტური ველის ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დღეღამური დოზის გამოთვლის მეთოდი ელექტრული ველისათვის დამუშავებული (3.4)–(3.6) გამოსახულებების ანალოგიურად.

ამ მეთოდის პრაქტიკული რეალიზაცია მოითხოვს ისეთი მათემატიკური მოდელის შექმნას, რომელიც საკმაო სიზუსტით ასახავს ნახ.3.2–ზე წარმოდგენილ არაწრფივ დამოკიდებულებას.

ერთ ერთ შესაძლო მიდგომად მიგვაჩნია ამ მრუდის აპროქსიმაცია შემდეგი არაწრფივი დამოკიდებულებით:

$$H = A + \frac{B}{T_{\sigma} + C} \quad (3.7)$$

სადაც:  $A$ ,  $B$  0 და  $(-1)$  ხარისხის პოლინომის კოეფიციენტებია;

$C$ –დამატებითი კოეფიციენტი;

თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ ფაქტს, რომ ნახ.3.2–ზე მოყვანილი მახასიათებლისათვის დაძაბულობა  $H$ –ის კონკრეტული მნიშვნელობის დროს ცდომილებას შეიცავს მხოლოდ  $T_{\sigma}$  –ის მნიშვნელობები, ამიტომ მრუდის აპროქსიმაციისათვის საკმარის ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს უმცირესი კვადრატების მეთოდი [3]. ამ დროს უფრო ზუსტად ითვლება ის მრუდი, რომლის ორთოგონალური დაშორების კვადრატების ჯამის პროექციას აქვს შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა.

პოლინომების კოეფიციენტების გაანგარიშების მეთოდიკის შესაბამისად, (3.7) გამოსახულებაში  $A$ ,  $B$  და  $C$  კოეფიციენტების საძებნი მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემიდან:

$$\begin{cases} A \cdot N + B \cdot \sum_{i=1}^N (T_i + C)^{-1} = \sum_{i=1}^N H_i \\ A \cdot \sum_{i=1}^N (T_i + C)^{-1} + B \sum_{i=1}^N (T_i + C)^{-2} = \sum_{i=1}^N [H_i \cdot (T_i + C)^{-1}] \\ A \cdot \sum_{i=1}^N (T_i + C)^{-2} + B \sum_{i=1}^N (T_i + C)^{-3} = \sum_{i=1}^N [H_i \cdot (T_i + C)^{-2}] \end{cases} \quad (3.8)$$

სადაც:

$H_i$  – მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობაა, რომელიც ნახ (4.2)–ის თანახმად შეესაბამება მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობას  $T_i$ -ს;

$N$  – წერტილების რაოდენობაა, რომლებიც ქმნიან ნახ.3.2–ზე მოყვანილ მრუდს.

(3.8) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა სამი უცნობი ცვლადის მიმართ წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ამოცანას, რადგანაც  $C$  ცვლადის ხარისხი დამოკიდებულია  $N$  წერტილების რაოდენობაზე.

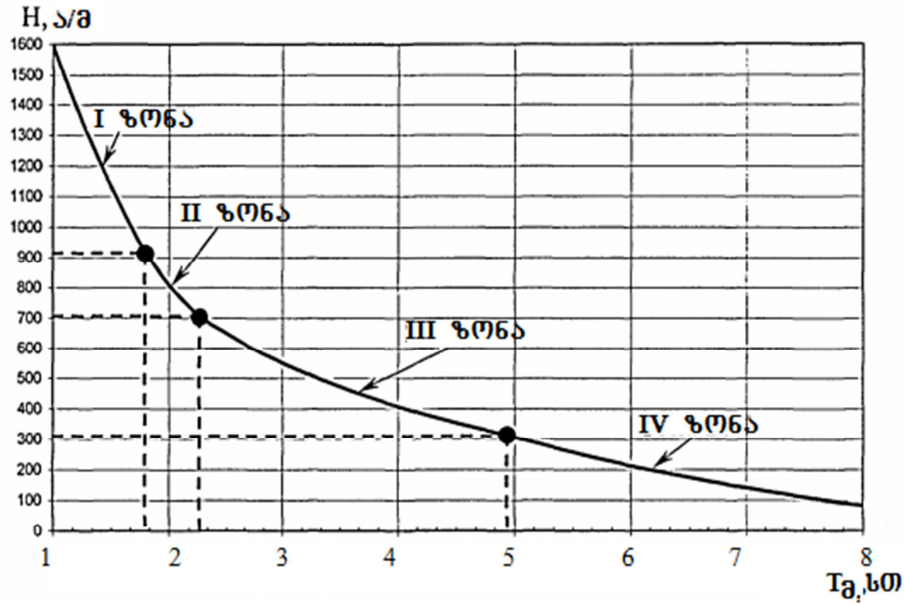
(3.8) განტოლებათა სისტემის პირველი და მეორე განტოლებებიდან გამოვსახოთ  $A$  და  $B$  ცვლადები.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (H_i) \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)^2} - \sum_{i=1}^N \left( \frac{H_i}{T_i + C} \right) \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)}}{N \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)^2} - \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)}}, \frac{A}{M} \quad (9.a)$$

$$B = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{(T_i + C)^2} - \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)} \cdot \sum_{i=1}^N (H_i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)^2} - \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{(T_i + C)}}, \frac{A}{M} \cdot \varphi \quad (9.b)$$

(9.a) და (9.b) განტოლებებში  $C$  სიდიდის მიმდევრობითი შერჩევით შეიძლება მიღწეული იქნას ნახ.2–ზე მოცემული მრუდის აპროქსიმაციის მინიმალური ცდომილება.

აპროქსიმაციის სიზუსტის ამაღლებისათვის მაგნიტური ველის დაძაბულობის მასში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდი დაყოფილი იქნა ოთხ ზონად (ნახ.3.4), რომელთაგან თითოეული აღიწერება შესაბამისი განტოლებებით ცხრილი 3.1-ში მოყვანილი პარამეტრებით.



ნახ.3.4. ოთხი პოლინომინალური ფუნქციისაგან შედგენილი მაგნიტური ველის დაძაბულობის მასში ყოფნის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდი.

ცხრილი 3.1.  $H = f(T_a)$  ფუნქციის პარამეტრები

ზონა	ფილიუმის დიაპაზონი $T_a$ , სთ	A, $\frac{ა}{მ}$	B, $\frac{ა}{მ} \cdot \text{სთ}$	C, სთ	$H=f(T)$
I	$1 \leq T_a \leq 1,803$	-1290,2	7503,5	1,6	$H = \frac{7503,5}{T_a + 1,6} - 1290,2$
II	$1,803 < T_a \leq 2,249$	-135,7	1894,5	1,6	$H = \frac{1894,5}{T_a + 1,6} - 135,7$
III	$2,249 < T_a \leq 4,931$	-250,3	3684,9	1,6	$H = \frac{3684,9}{T_a + 1,6} - 250,3$
IV	$4,931 < T_a \leq 8$	-406,9	4707,9	1,6	$H = \frac{4707,9}{T_a + 1,6} - 406,9$

გარდავქმნით რა ცხრილი 3.1-ში წარმოდგენილ ფუნქციებს  $T_a$  -ის მიმართ მივიღებთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის ქვეშ ყოფნის ხანგრძლივობის გამოსახულებას.

ცხრილი 3.2. ფუნქციები, რომლებიც აღწერენ მაგნიტური ველის დაძაბულობის ქვეშ ყოფნის ხანგრძლივობის მრუდს.

ზონა	ცვლილების დიაპაზონი, H, ა/მ	ფუნქცია $T_a=f(H), სმ$	შარდობითი ცვლილების მაქსიმალური მნიშვნელობა $\varepsilon_{T_a}, \%$
I	$915 \leq H \leq 1600$	$T_a = 1.6 \cdot \frac{3399 - H}{1290 + H}$	0,87
II	$707 \leq H < 915$	$T_a = 1.6 \cdot \frac{1894 - H}{136 + H}$	1,18
III	$314 \leq H < 707$	$T_a = 1.6 \cdot \frac{2053 - H}{250 + H}$	1,49
IV	$80 \leq H < 314$	$T_a = 1.6 \cdot \frac{2536 - H}{407 + H}$	0,86

მაგნიტურ ველში ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობის სიდიდე, რომელიც განსაზღვრულია არაწრფივი მათემატიკური მოდელით (ცხრილი 3.2) 1,49 %-ით აღემატება დასაშვები ნორმებით დადგენილ მაქსიმუმს. ამასთან დაკავშირებით შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ დამუშავებული არაწრფივი მოდელი საშუალებას იძლევა საკმარისი ინჟინრული სიზუსტით გავიანგარიშოთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის ზონაში პერსონალის ყოფნის ხანგრძლივობა.

ადამიანზე მაგნიტური ველის გავლენის რაოდენობრივი შეფასებისათვის (3.3) გამოსახულების ანალოგიურად შემოვიტანოთ დაბალსიხშირული მაგნიტური ველის დღეღამური დოზის სიდიდე  $D_a$  [წმ], რომელიც ახასიათებს 80ა/მ დაძაბულობის მაგნიტურ ველში ადამიანის ყოფნის ეკვივალენტურ დროს:

$$D_{\partial} = 8 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{T_{M i}}, \text{ წმ} \quad (3.10)$$

სადაც:

$i$  – არის მიმდინარე დროის ინტერვალის ნომერი;

$t_i$  – დროის ერთეულოვანი ინტერვალის ხანგრძლივობა;

$N$  – სამუშაო ცვლის დროის დაყოფილი ინტერვალების რაოდენობა;

$T_{\partial i}$  – ცხრილი 3.2-ის საფუძველზე მიღებული მოდელის თანახმად დროის ხანგრძლივობაა.

თუ მივიღებთ, რომ დროის ერთეულოვანი ინტერვალი  $t_i = 1$  წმ, მაშინ მთელი 8 საათიანი სამუშაო ცვლის განმავლობაში დროის ხანგრძლივობა იქნება 28800 წთ. (3.10) გამოსახულებაში ჩავსვათ ცხრილი 3.2-ის გამოსახულებები და მივიღებთ:

$$D'_{\partial} = \sum_{i=1}^{28800} 8, \text{ წმ}; (H_i > 1600) \text{ ა/მ} \quad (3.11)$$

$$D^I_{\partial} = \sum_{i=1}^{28800} \frac{5 \cdot (1290 + H_i)}{3399 - H_i}, \text{ წმ}; (1600 \geq H_i \geq 915) \text{ ა/მ} \quad (3.12)$$

$$D^{II}_{\partial} = \sum_{i=1}^{28800} \frac{5 \cdot 136 + H_i}{1894 - H_i}, \text{ წმ}; (915 > H_i \geq 707) \text{ ა/მ} \quad (3.13)$$

$$D^{III}_{\partial} = \sum_{i=1}^{28800} \frac{5 \cdot (250 + H_i)}{2053 - H_i}, \text{ წმ}; (707 > H_i \geq 314) \text{ ა/მ} \quad (3.14)$$

$$D^{IV}_{\partial} = \sum_{i=1}^{28800} \frac{5 \cdot (407 + H_i)}{2536 - H_i}, \text{ წმ}; (314 > H_i \geq 80) \text{ ა/მ} \quad (3.15)$$

$$D_{\partial} = D'_{\partial} + D^I_{\partial} + D^{II}_{\partial} + D^{III}_{\partial} + D^{IV}_{\partial}, \text{ წმ} \quad (3.16)$$

სადაც:

$H_i$  –  $t_i$  ერთეულოვანი დროის ინტერვალში მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდეა;

$D'_{ai}$  – მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჯამური დოზის მდგენელია, რომელიც განპირობებულია  $H_i > 1600$  ა/მ ინტერვალში მდებარე დაძაბულობის დონით;

$D^I_a, D^{II}_a, D^{III}_a, D^{IV}_a$  - მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჯამური დოზის მდგენელებია, რომლებიც განპირობებულია ნახ.3.4–ზე შესაბამისად I,II,III, IV ზონებში მდებარე დაძაბულობების დონეებით.

$D_a$  – სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაგროვილი დოზის სიდიდეა.

იმ შემთხვევაში, როცა მაგნიტური ველის დაძაბულობის სიდიდე არ აღემატება 80 ა/სთ, მაშინ დოზის ანგარიში შეჩერებულია.

მიუხედავად იმისა, რომ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელშიც ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა მოქმედი ნორმებით შეზღუდული არ არის, მაინც  $H_i > 1600$  ა/მ დიაპაზონში ადამიანის ყოფნის მაქსიმალური ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს  $T_a = 1$  სთ–ს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მაგნიტური ველის მაქსიმალური დღელამური დოზა  $D_{ააჰს}=28800$ წმ–ს 8 საათიანი სამუშაო ცვლის განმავლობაში. აქედან გამომდინარე მაგნიტური ველის მომატებული დაძაბულობის პირობებში სამუშაოს შესრულება შეიძლება ჩაითვალოს უსაფრთხოდ, თუ შესრულებულია პირობა  $D_a < D_{ააჰს}$ .

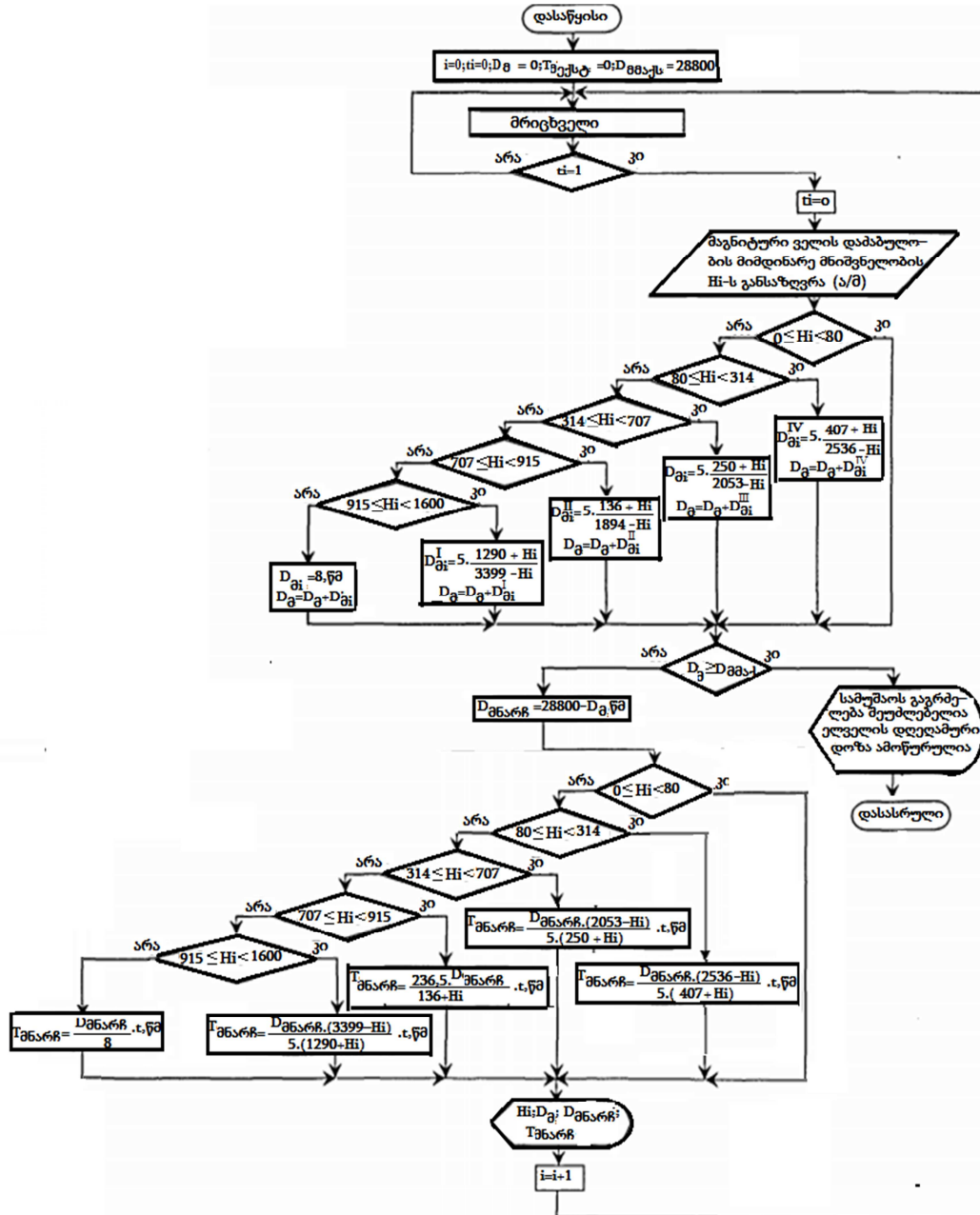
(3.11)–(3.16) გამოსახულებების საფუძველზე დამუშავებულია ადამიანის ორგანიზმზე მაგნიტური ველის რაოდენობრივი ზემოქმედების აღრიცხვის ალგორითმი, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.3.5–ზე.

აღნიშნული ალგორითმით შეიძლება შესრულდეს შემდეგი ამოცანები:

- სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის რეალური მნიშვნელობის  $H_i$  განსაზღვრა ( ორ გაზომვას შორის დროის ინტერვალი  $t_i$  შეადგენს 1 წმ–ს);
- (3.11)–(3.16) გამოსახულებების საფუძველზე  $D_a$  დოზის გაანგარიშება;



- პერსონალის ინფორმირება  $D_0$  დოზის ზღვრულად დასაშვები დღეღამური მნიშვნელობის  $D_{\text{მაკს}} = 28800$  წმ-ს გადაჭარბების შესახებ;
- მაგნიტური ველის დამაბულობის მიმდინარე მნიშვნელობის  $H_i$  დროს პერსონალის მაგნიტურ ველში ყოფნის ხანგრძლივობის-  $T_i$ -სა და დოზის  $D_{\text{მნარ}}$  ნარჩენის (ლიმიტის) გამოთვლა.



ნახ.3.5. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დღეღამური დოზის განსაზღვრის ალგორითმის ბლოკ-სქემა

## თავი 4. ექსპერიმენტული კვლევა

მოსახლეობის მასიური ეპიდემიოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე, რომლებიც ცხოვრობენ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველების დასხივების პირობებში, როგორც უსაფრთხო ან ხანგრძლივი დასხივების პირობებისათვის „ნორმალური“ დონე, რომელიც არ იწვევს ონკოლოგიურ დაავადებებს, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად შვედი და ამერიკელი სპეციალისტების მიერ რეკომენდირებულია 0,2–0,3 მკტლ. აღნიშნული რეკომენდაციები უკვე ფართოდ არის გავრცელებული და შესაძლებელია მოძიებულ იქნას მრავალი ინტერნეტ წყაროდან.

სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტული გამოკვლევები ნუცუბიდის 110/10/6კვ ქვესადგურში, ავჭალაში შემთხვევით შერჩეულ დასახლებულ პუნქტში და მამკოდაში 500 კვ ხაზების გასწვრივ.

### 4.1. ექსპერიმენტული კვლევები ნუცუბიდის ქვესადგურში

ნახ.4.1–ზე წარმოდგენილია ნუცუბიდის ქვესადგურის საერთო ხედი.

ნახ.4.2–ზე წარმოდგენილია ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაზომვის პროცესი ამ ქვესადგურში.

ნუცუბიდის ქვესადგურში პირველად ელექტრული ველის დამაბულობა და მაგნიტური ველების ინდუქცია გაზომილი იქნა ქვესადგურის შესასვლელში, 6კვ ძაბვის ხაზის ქვეშ. ამ დროს ხაზში გამავალი დენი შეადგენდა 165 ამპერს. გაზომვის მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილი 4.1–ში.

**ცხრილი 4.1. გაზომვის მონაცემები ნუცუბიძის ქვესადგურის შესასვლელში**

#	დაშორება ხაზის ცენტრიდან მ.	ველი	
		მაგნიტური ინდუქცია მკტლ	ელექტრული დამაბულობა კვ/მ
1	0	1,8	0,137
2	3	1,2	0,070
3	5	0,9	0,053
4	7	0,6	0,040
5	9	0,4	0,027
6	11	0,3	0,020
7	13	0,23	0,016



**ნახ.4.1. ნუცუბიძის 110/10/6 კვ ქვესადგურის საერთო ხედი.**

როგორც ცხრილი 4.1– დან ჩანს, ხაზიდან დაშორებით როგორც მაგნიტური ველის ინდუქცია, ისე ელექტრული ველების დამაბულობა მცირდება და კიდურა ხაზიდან 13 მეტრის დაშორებით მაგნიტური ველის ინდუქცია აღწევს 0,23მკტლ-ს -ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ დადგენილი და დასაშვებ (0,2–03 მკტლ) ნორმას, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობა, რომელიც სანიტარული ნორმებითა და წესებით

შეადგენს 20 კვ/მ, ყველგან დასაშვებ ფარგლებშია. აღსანიშნავია, რომ ერთი და იგივე სიმძლავრის პირობებში, რაც უფრო დაბალია ძაბვა მით უფრო ნაკლებია ელექტრული ველის დამაბულობა და მით მეტია მაგნიტური ველის ინდუქცია.



ნახ.4.2. ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაზომვის პროცესი ნუკლებიძის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურში.

ელექტრული ველის დამაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის მიწიდან დაშორების მიხედვით დამოკიდებულების დასადგენად გაზომვები ჩატარებული იქნა 110კვ ძაბვის ხაზის ქვეშ. მიწიდან 1,8მ მ სიმაღლეზე მაგნიტური ველის ინდუქციემ შეადგინა 0,22 მკტლ, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობამ 1,2კვ/მ. 5 მ სიმაღლეზე მაგნიტური და ელექტრული ველები შესაბამისად იყო 1,05 მკტლ და 2,7 კვ/მ.

ელექტრული ველის დამაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის ხაზის დატვირთვაზე დამოკიდებულების მიზნით, გაზომვები

ჩავატარეთ ნკვ I სექციის ქვეშ, როცა დატვირთვა იყო 105 ა, მაშინ მაგნიტური ველის ინდუქციამ შეადგინა 4,5მკტლ, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობამ 0,341 კვ/მ.

6 კვ II სექციის ქვეშ, როცა დატვირთვა იყო 210ა, მაშინ მაგნიტური ველის ინდუქციამ შეადგინა 16 მკტლ, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობამ 0,337 კვ/მ.

10კვ I სექციის ქვეშ, როცა დატვირთვა იყო 70ა, მაშინ მაგნიტური ველის ინდუქციამ შეადგინა 1,6 მკტლ, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობამ 0,169 კვ/მ/.

10 კვ II სექციის ქვეშ, როცა დატვირთვა იყო 71 ა, მაშინ მაგნიტური ველის ინდუქციამ შეადგინა 1,65 მკტლ, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობამ 0,165 კვ/მ/.

როგორც ჩატარებული გაზომვების შედეგებიდან ჩანს დატვირთვის გაზრდით მაგნიტური ველის ინდუქცია იზრდება, რადგან იზრდება ხაზში გამავალი დენის სიდიდე, ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობა დამოკიდებულია ძაბვაზე და თითქმის უცვლელი რჩება.

ჩვენს მიერ ასევე ჩატარებული იქნა გაზომვები ნუცუბიდის ქვესადგურის მორიგე პერსონალის მოსასვენებელ, სამორიგეო და მართვის ოთახებში . გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილი 4.2–ში.

**ცხრილი 4.2. გაზომვის მონაცემები ნუცუბიდის ქვესადგურის მოსასვენებელ, სამორიგეო და მართვის ოთახებში**

#	ოთახის დასახელება	ველის დამაბულობა	
		მაგნიტური, ა/მ/მკტლ	ელექტრული, კვ/მ
1	სამორიგეო	0,12/0,15	0,21
2	მართვის	0,4/0,5	0,25
3	მოსასვენებელი	0,19/0,24	0,2

როგორც ცხრილი 4.2–დან ჩანს მოსასვენებელ და სამორიგეო ოთახებში როგორც მაგნიტური ასევე ელექტრული ველის სიდიდეები



ნორმის ფარგლებშია, ხოლო მართვის ოთახში მაგნიტური ველის ინდუქცია ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ დადგენილ დასაშვებ ნორმაზე ორჯერ მეტია, ელექტრული ველის დამაბულობა კი ნორმის ფარგლებშია.

ნახ.4.3–ზე წარმოდგენილია ნუცუბიძის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურის დაცვის ზონები.



ნახ.4.3. ნუცუბიძის 110/10/6 კვ ძაბვის ქვესადგურის ხაზის დაცვის ზონები  
 4.2. ექსპერიმენტული კვლევები ავჭალაში.

საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნუცუბიძის ქვესადგურში ელექტრული ველის დამაბულობა მთელ ტერიტორიაზე ნორმის ფარგლებშია, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობა ზოგიერთ ადგილზე აღემატება დასაშვებ ნორმას. აღნიშნული მონაცემები მუდმივად იცვლება, რაც დამოკიდებულია ხაზის დატვირთვაზე.

#### 4.2. ექსპერიმენტული კვლევები ავჭალაში

ექსპერიმენტული გაზომვები ჩატარდა ასევე დასახლებულ პუნქტში, სადაც მახვის გადამცემი ხაზი გადის საცხოვრებელ ბინებთან ახლოს. კერძოდ, ავჭალაში ლიბანის ქუჩაზე #5. ნახ.4.4–ზე მოყვანილია ლიბანის ქუჩის ის მონაკვეთი სადაც გაზომვები იქნა ჩატარებული, ხოლო ცხრილი 4.3. –ში მოყვანილია გაზომვების შედეგები.

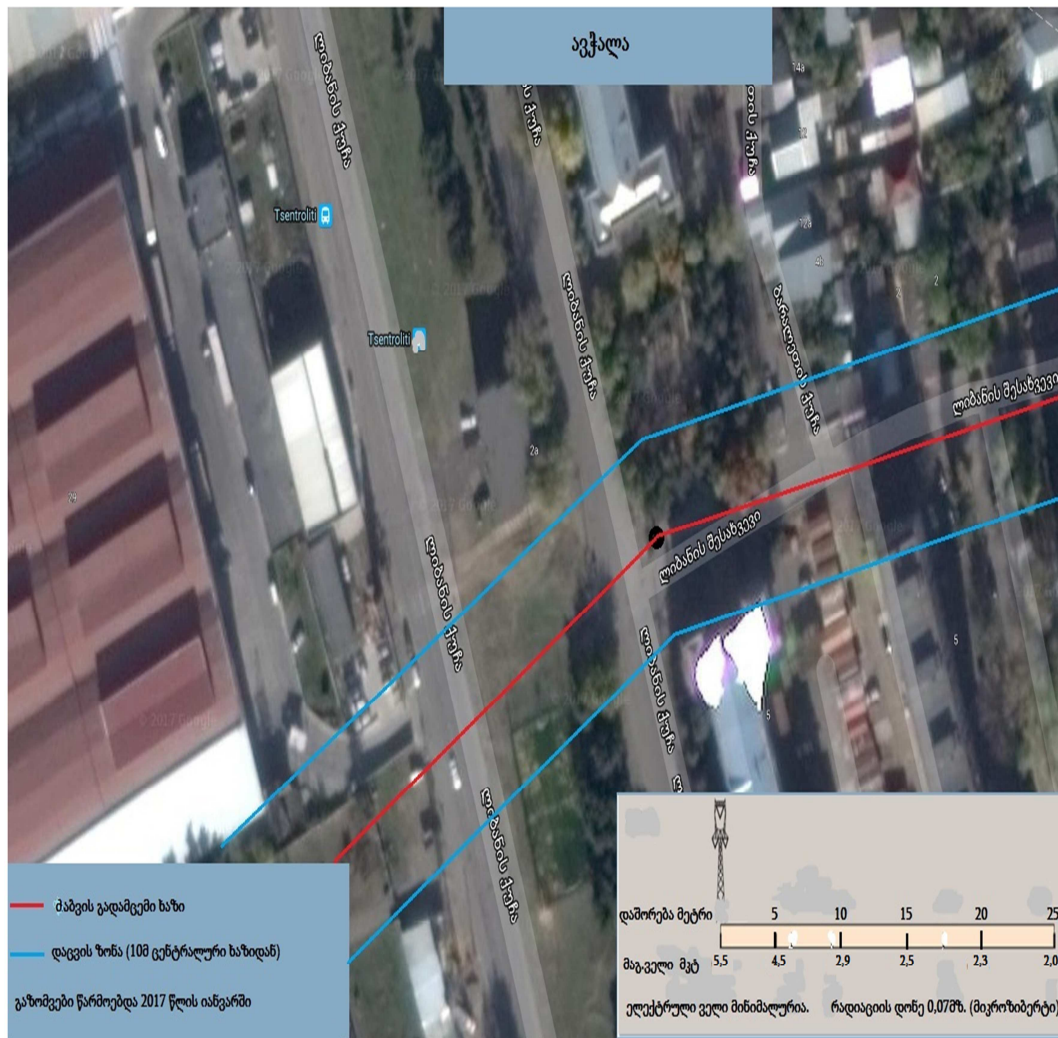
როგორც წარმოდგენილი ცხრილი 4.3.–დან ჩანს, ელექტრული და მაგნიტური ველის დამაბულობების სიდიდეები მიწიდან 1,8 მ სიმაღლეზე ქვეყანაში მოქმედი სანიტარული ნორმების ფარგლებშია.

**ცხრილი 4.3. გაზომვის შედეგები ლიბანის ქუჩაზე**

#	დაშორება ხაზის ცენტრიდან მ.	ველის დამაბულობა	
		მაგნიტური მკტლ	ელექტრული კვ/მ
1	0	0,55	0,024
2	2	0,48	0,022
3	5	0,45	0,0065
4	8	0,36	0,002
5	10	0,29	0,0007
6	13	0,26	0,0006
7	20	0,23	0,0006
8	25	0,2	0,0006

როგორც ცხრილი 4.3-დან ჩანს, ხაზის მოშორებით როგორც მაგნიტური, ისე ელექტრული ველების დამაბულობები მცირდება და 13

მეტრის დამორებით მაგნიტური ველის ინდუქცია აღწევს 0,29მკტლ-ს - ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ დადგენილი და დასაშვებ (0,2–0,3 მკტლ) ნორმას. ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობა უნმიშვნელოა. აღნიშნულ ტერიტორიაზე კვლევები წარმოებდა სხვადასხვა დროს. აღნიშნული მონაცემები აღებულია იანვრის თვეში, ხოლო ზაფხულის პერიოდში მაგნიტური ველის ინდუქცია არ აღემატებოდა 0,3მკტლ-ს. აქედან გამომდინარე მაგნიტური ველით დასხივების არეალის ფართობი აღნიშნულ ტერიტორიაზე სეზონურად იცვლება.



ნახ.4.4. ლიბანის ქუჩის ხედი



### 4.3. ექსპერიმენტული კვლევები მამკოდაში

ჩვენს მიერ ექსპერიმენტული გამოკვლევები ჩატარებული იქნა ასევე 500 კვ ძაბვის ხაზის გასწვრივ მამკოდაში (ნახ.4.5 და 4.6). ნახ.4.7–ზე წარმოდგენილია 500 კვ ძაბვის ხაზის გეგმა მამკოდაში.

ცხრილი 4.4–ში წარმოდგენილია გაზომვის შედეგები მაქსიმალური ჩამოკიდების ისრიდან დაშორებით მინიმალური, ხოლო ცხრილი 4.5–ში მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმებში.

**ცხრილი 4.4. გაზომვის შედეგები მაქსიმალური ჩამოკიდების ისრიდან დაშორებით მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში.**

დაშორება ხაზის ცენტრიდან, მეტრი	მაგნიტური ველის დამაბულობა, ა/მ/მკტლ	ელექტრული ველის დამაბულობა, კვ/მ
0	2.08\2.60	14.600
1	2.09\2.62	14.500
2	2.1\ 2.64	14.600
3	2.14\2.68	14.800
4	2.16\2.71	14.750
5	2.18\2.73	14,100
6	2.2\2.75	13.200
7	2.23\2.79	12.650
8	2.28\2.85	10,580
9	1.75\2.2	8.890
10	1.4\1.75	7,100
11	1.08\1.35	6.480
12	0.88\1.1	5.450
13	0.74\0.93	5.010
14	0.68\0.89	4.960
15	0.68\0.85	4,500
16	0.63\0.79	3.390

17	0.60\0.76	2.890
18	0.56\0.71	2.150
19	0.54\0.68	1.250
20	0.52\0.65	0,700
21	0.49\0.62	0.680
22	0.47\0.59	0.640
23	0.45\0.57	0.610
24	0.43\0.54	0.580
25	0.41\0.52	0.550
26	0.39\0.49	0.410
27	0.36\0.45	0.360
28	0.32\0.41	0.310
29	0.31\0.39	0.270
30	0.28\0.36	0.220
31	0.28\0.35	0.180
32	0.25\0.32	0.150
33	0.24\0.30	0.110
34	0.21\0.27	0.090
35	0.19\0.24	0.070
36	0.18\0.23	0,057
37	0.16\0.21	0,042
38	0.16\0.20	0.025
39	0.16\0.20	0.018
40	0.15\0.19	0.009

**ცხრილი 4.5. გაზომვის შედეგები მაქსიმალური ჩამოკიდების ისრიდან დაშორებით მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში.**

დაშორება ხაზის ცენტრიდან, მეტრი	მაგნიტური ველის დაძაბულობა, ა/მ /მკტლ	ელექტრული ველის დაძაბულობა, კვ/მ
0	2,76\3.46	15,100

1	2,79\3.49	15,150
2	2,83\3.54	15,300
3	2,89\3.62	15,325
4	3,0\3.76	15.230
5	3,03\3.79	14,680
6	3,05\3.82	13,980
7	3,12\3.90	12,750
8	3,16\3.95	11,490
9	3,15\3.94	9,650
10	2,31\2.89	7,950
11	2,04\2.56	6,850
12	1,64\2.05	5,990
13	1,46\1.83	5,350
14	1,17\1.47	5,020
15	0,96\1.2	4.690
16	0,90\1.13	3,820
17	0,82\1.03	3,090
18	0,78\0.98	2,560
19	0,76\0.95	1.820
20	0,72\0.91	1,120
21	0,68\0.86	0,730
22	0,63\0.79	0,690
23	0,55\0.69	0,640
24	0,48\0.61	0,590
25	0,47\0.59	0,560
26	0,43\0.54	0,450
27	0,40\0.51	0,380
28	0,36\0.45	0,320
29	0,33\0.42	0,280
30	0,32\0.41	0,230
31	0,30\0.38	0,200

32	0,24\0.31	0,170
33	0,23\0.29	0,140
34	0,21\0.27	0.100
35	0,20\0.26	0,080
36	0,19\0.24	0,065
37	0,17\0.22	0,048
38	0,16\0.20	0,030
39	0,16\0.20	0,026
40	0,160.20	0,015

უნდა აღინიშნოს რომ აღნიშნული მონაცემები მუდმივად განიცდიან ცვლილებს და თითქმის არასოდეს ემთხვევა ერთმანეთს, რაც განპირობებულია სხვადასხვა ფაქტორებით. (ამინდი, დატვირთვა და ა.შ). აღნიშნულ უბანზე ელექტრული ველის მაქსიმალური დაძაბულობა დაფიქსირდა 22კვ/მ, წვიმის დროს.

ცხრილი 4.4 და ცხრილი 4.5–ის მონაცემების ურთიერთშედარებიდან ჩანს, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია ძაბვაზე, ხოლო მაგნიტური ველის დაძაბულობა დამოკიდებულია დატვირთვის რეჟიმზე. მაგრამ როგორც მინიმალური, ასევე მაქსიმალური დატვირთვის დროს ელექტრული ველის დაძაბულობის დანე საკმაოდ მაღალია და ბევრად აღემატება 5კვ/მ-ს. მაგნიტური ველის დაძაბულობების დონეები დასაშვებ ფარგლებშია მოქმედი ნორმებით, მაგრამ ახალი რეკომენდაციებით (0,2-0,3მკტლ) საკმაოდ მაღალია. უნდა აღინიშნოს, რომ აღნიშნული ადგილი ნაწილობრივ დასახლებულია.

როგორც სანიტარულ–ნორმატიული დოკუმენტები მოითხოვს, ადამიანის ყოფნა ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების ქვეშ შესაძლებელია მთელი დღეღამის განმავლობაში ერთჯერადად ან ნაწილ-ნაწილ.

სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში ჩემს მიერ ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტული კვლევები სხვადასხვა ადგილზე და ასევე სხვადასხვა მანძილზე, ელექტრომაგნიტური ველის შესასწავლად.

თითოეულ ობიექტზე სამუშაოები მოითხოვდა საკმაოდ დიდ დროს, შესაბამისად ექსპერიმენტის მონაწილეებს ხშირად გვიწევდა საკმაოდ მაღალი სიდიდის ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების ქვეშ მონაცემების აღება და ჩაწერა. დროთა განმავლობაში ველების გავლენა საკმაოდ საგრძნობი იყო, კერძოდ ყრუ თავის ტკივილი და დაღლილობა.

ელექტრომაგნიტური ველში მონაცემების აღებისას, მუშაობის დროის შემცირების მიზნით გადავწყვიტე ხელსაწყოდან მიღებული მონაცემები ჩამეწერა ხმოვანი სიგნალის საშუალებით (ნახ.4.6), ქალაქში ჩაწერის ნაცვლად. აღნიშნული მეთოდი საკმაოდ წარმატებული გამოდგა, რადგან შეამცირა ექსპერიმენტის დრო და რაც მთავარია მაღალი სიდიდის ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების დრო მინიმუმ 3-ჯერ შემცირდა. ხმოვანი სიგნალი შემდრომში დამუშავდა და მოხდა მისი ვიზუალური ასახვა ქალაქში.

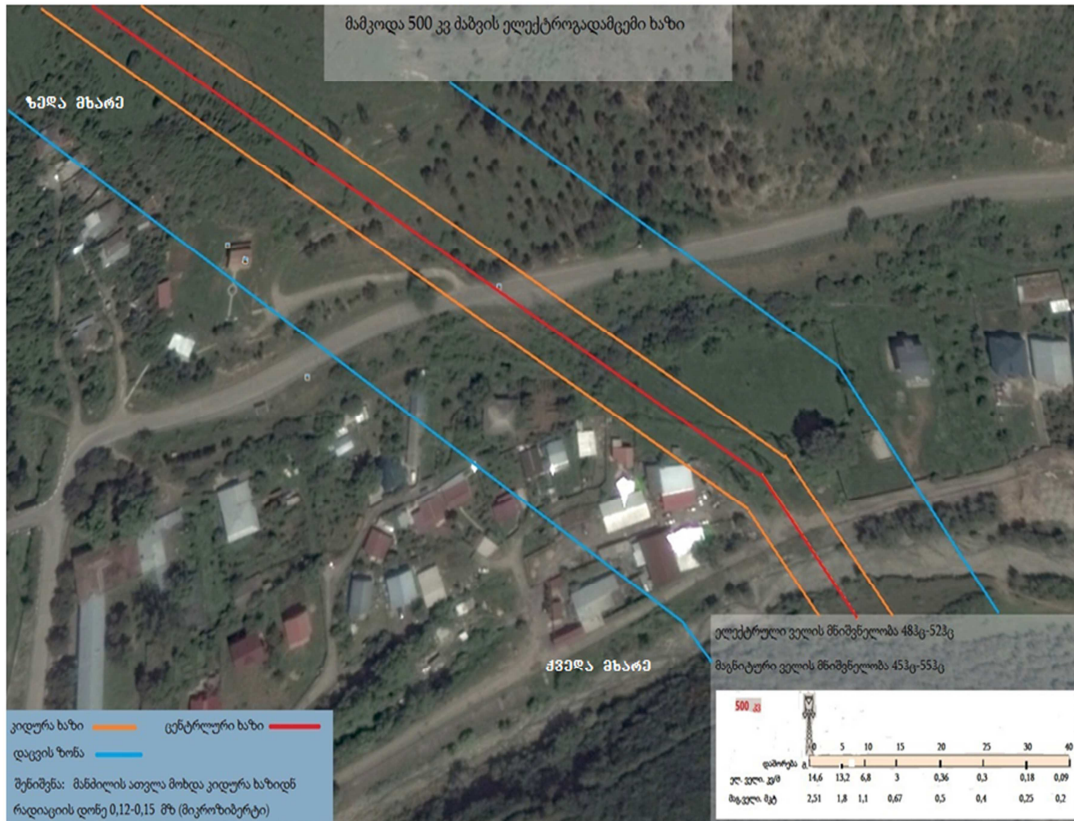


ნახ.4.5.. მამკოდის დასახლების ხედი

როგორც ცხრილი 7–დან ჩანს მამკოდის დასახლების ქვედა ნაწილში 500 კვ ძაბვის ხაზის დაცვის ზონის (30 მ) გარეთ როგორც მაგნიტური, ასევე ელექტრული დამაბულობების მნიშვნელობები დასაშვებ ფარგლებშია.



ნახ.4.6.დოქტორანტი გ.ცოფურაშვილი 500 კვ ძაბვის ცენტრალური ხაზის ქვეშ ელექტრომაგნიტური დამაბულობების გაზომვის პროცესში.



ნახ.4.7. 500 კვ ძაბვის ხაზის გეგმა მამკოდაში.

#### 4.4. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეზე გავლენის ძირითადი ფაქტორების გამოკვლევა

ელექტროენერგეტიკული ობიექტების სიახლოვეს მათი ელექტრული შეერთებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების სირთულის გათვალისწინებით ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების რეალური დონის შეფასება ჯერჯერობით რჩება რთულ პრობლემად.

ელექტრომაგნიტური გავლენების მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა აჩვენა რომ ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების მაქსიმალური დონეებს უნდა ველოდოთ:

- 1 სადენების ჰორიზონტალური განლაგების ერთჯაჭვა საჰაერო ხაზის კიდურა სადენების ქვეშ;
- 2 ორჯაჭვა ხაზის სადენების კასრისებური განლაგების დროს ღერძის გასწვრივ;
- 3 უშუალოდ საჰაერო ხაზის სიახლოვეს განლაგებული შენობა-ნაგებობების ახლოს;
- 4 გამანაწილებელი მოწყობილობების შენობებში ელექტრული სადგურების გენერატორული ძაბვის სალტეების სიახლოვეს;
- 5 ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში ჩამოშვებული შლეიფების ქვეშ, რომლებიც სისტემის სალტეებს აერთებენ ამომრთველებთან, განმამხოლოებლებთან, დენისა და ძაბვის ტრანსფორმატორებთან;
- 6 ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში მაღალი ძაბვის ერთფაზა მძლავრი ტრანსფორმატორების სიახლოვეს.

ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების ინსტრუმენტალური ანალიზი ჩატარებული უნდა იქნას [14]-სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად, რომლის მიხედვით რეგლამენტირებულია მიწის ზედაპირიდან გაზომვის წერტილის სიმაღლე, რომელიც შეადგენს 1,8 მ-ს ანუ ადამიანის საშუალო სიმაღლეს. მოცემული მოთხოვნების შესაბამისად ასევე, უნდა განხორციელდეს გაზომილი დონეების

გადაანგარიშება გამოსაკვლევი ელექტროდანადგარის მაქსიმალურ რეჟიმთან, ქვემოთ მოცემული გამოსახულებების თანახმად:

$$E_{მაქს} = E_{გაზ} \frac{U_{მაქს}}{U_{გაზ}} \quad (4.1)$$

$$H_{მაქს} = H_{გაზ} \frac{I_{მაქს}}{I_{გაზ}} \quad (4.2)$$

სადაც  $E_{მაქს}$ ,  $H_{მაქს}$  – ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების მაქსიმალური მნიშვნელობებია, რომლებიც შეესაბამებიან ელექტროდანადგარის მაქსიმალური სიმძლავრით მუშაობის რეჟიმს;

$E_{გაზ}$ ,  $H_{გაზ}$  – ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების გაზომილი მნიშვნელობებია;

$U_{მაქს}$ ,  $I_{მაქს}$  – ელექტროდანადგარის ძბვისა და დენის მაქსიმალური მნიშვნელობებია;

$U_{გაზ}$ ,  $I_{გაზ}$  – ელექტროდანადგარის დენისა და ძბვის მნიშვნელობებია გაზომვის მომენტში.

ელექტრომაგნიტური გარემოების მახასიათებლებზე რეჟიმული პარამეტრებისა და ამინდის ფაქტორების გავლენის შეფასებისათვის ჩატარებული იქნა ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების გაზომვები 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზის ქვეშ მამკოდის ტერიტორიაზე.

ერთჯაჭვა 500 კვ ძბვის ხაზში ელექტრული ველის დაძაბულობის მაქსიმალური დონე შეინიშნება კიდურა სადენების ქვეშ, ანუ ცენტრალური სადენიდან 12 მეტრის დაშორებით. ამ დროს ველის უდიდესი გავლენის ზონა სადენის ჩამოკიდების გამო მდებარეობს მალის შუაში, ხოლო ყველაზე მცირე – საყრდენებთან, სადაც სადენის ჩამოკიდება ყველაზე უფრო მაგარია. გარდა ამისა გავლენას ახდენს თვით საყრდენის მაეკრანირებელი მოქმედება. ამიტომ უფრო დაბალი ძბვისა და კავშირგაბმულობის ხაზები, საფეხმავლო ბილიკები განთავსებული უნდა იქნეს საყრდენებთან ახლოს.



ელექტრული ველისაგან განსხვავებით, 500 კვ ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის მაქსიმალური დონე შეინიშნება ცენტრალური სადენის ქვეშ.

#### **4.5. ამინდის ფაქტორების გავლენა მოქმედი ელექტროდანადგარის ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების დონეზე**

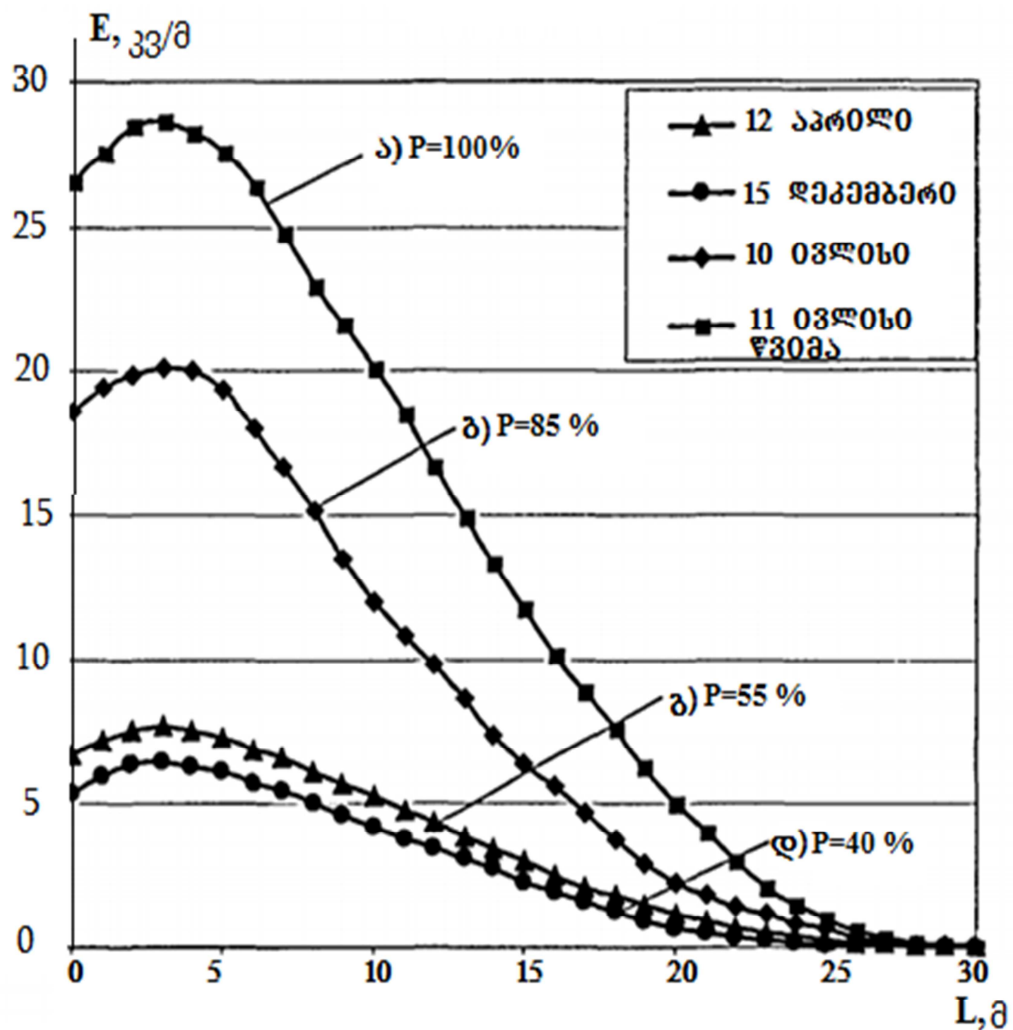
ელექტრული ქსელის საკვლევ უბანზე ელექტრული და მაგნიტური ველების დონეების ექსპერიმენტული კვლევების პროცესში შემჩნეული იქნა, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობის დონეზე არსებით გავლენას ახდენს ამინდის ფაქტორები.

ნახ.4.8 –ზე წარმოდგენილია ელექტრული ველის დაძაბულობის გაზომვის შედეგები ჰაერის სხვადასხვა ტენიანობის პირობებში. გაზომვის შედეგები მოწმობენ ზამთრისა და ზაფხულის პერიოდში მიღებული ელექტრული ველის დაძაბულობების დონის მნიშვნელოვან განსხვავებაზე. ამ დროს დაძაბულობების მაქსიმალურად დაფიქსირებული დონეები (ნახ.4.8, მრუდი ა) საშუალოდ 3,9-ჯერ განსხვავდება მინიმალური მნიშვნელობისგან ნახ.4.8, მრუდი დ). ზამთარში დაძაბულობის დაბალი დონეები აიხსნება ჰაერის დაბალი ტენიანობით და დედამიწის გაყინული ზედა ფენით, რომლის გამტარობა ზამთრის პერიოდში მნიშვნელოვნად მცირდება. მეორე მხრივ ზაფხულის პერიოდში ელექტრული ველის დაძაბულობის დონე მნიშვნელოვნად იზრდება გრუნტის გაღვობისა და მისი გამტარობის გამო, ასევე ჰაერის მაღალი ტენიანობით. ზაფხულის პერიოდში აღსანიშნავია ასევე ელექტრული ველის დაძაბულობის გაზრდა 1,4-ჯერ წვიმის მოსვლის შემდეგ (ნახ.4.8.ა)

ამგვარად ამინდის პირობები გავლენას ახდენს სანიტარულ-დაცვითი ზონების ზომებზე, რომლებიც ხაზის ღერძიდან გადაადგილდებიან მნიშვნელოვანი დაშორებით. ასე მაგალითად, თუ

ზამთრის პერიოდში ჰაერის 40% ტენიანობის დროს 500 კვ ხაზისათვის შეადგენდა 30 მეტრს ხაზის ცენტრიდან, ზაფხულის პერიოდში 100 % ტენიანობის ანუ წვიმის დროს შეადგენდა 36 მეტრს, ანუ დაცვის ზონის სიგანე გაიზარდა 12 მეტრით.

მაგნიტური ველის დამაბულობაზე გაზომვის შედეგებმა ვერ გამოავლინა რაიმე მნიშვნელოვანი გავლენა, რადგანაც ჰაერის ტენიანობისა და გრუნტის მდგომარეობა ვერ ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას მაგნიტური ველის განაწილების სურათზე.



ნახ.4.8.ელექტრული ველის დამაბულობის განაწილება ხაზის ცენტრიდან დამოკიდებულობის მიხედვით სხვადასხვა ტენიანობის დროს

#### 4.6. ელექტრული ქსელების რეჟიმული პარამეტრების გავლენა ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების დონეებზე

ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების კვლევების დროს, არსებული მოთხოვნების თანახმად [14] ელექტრომაგნიტური გარემოებების შეფასების დროს (4.1) და (4.2) გამოსახულებების გამოყენებით საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს ელექტროდინამიკური მუშაობის რეჟიმები.

უნდა არინიშნოს, რომ საჰაერო ხაზის მუშაობის რეჟიმები ძაბვის მიხედვით იცვლება უმნიშვნელო საზღვრებში, რომელიც განსაზღვრულია ელექტროენერჯის ხარისხის სტანდარტით [36] და შემოსაზღვრულია ძაბვის კლასისაგან დამოკიდებულებით  $5\pm 10\%$  სიდიდით. ამ დროს ნორმებით შეიძლება ჩატარდეს ელექტრული ველის გაზომვები მაქსიმალური  $20\%$  დასაშვები ცდომილებით. ამგვარად ელექტრომაგნიტური გარემოებების შეფასებისას პრინციპული მნიშვნელობა არა აქვს ძაბვის მიხედვით რეჟიმების გათვალისწინებას. და სინამდვილეში: (4.1) გამოსახულების მიხედვით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები არ იძლევიან ელექტრული ველის მაქსიმალური მნიშვნელობის გაზრდას  $2\pm 5\%$ -ზე მეტად.

მეორე მხრივ ხაზის მუშაობის რეჟიმები დენის მიხედვით იცვლება ფართო საზღვრებში საჰაერო ხაზის დატვირთვის გრაფიკის მიხედვით. ამ დროს მაქსიმალური დენები საჰაერო ხაზში განისაზღვრება მისი გამტარუნარიანობით.

(4.2) გამოსახულების მიხედვით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები მოწმობენ, რომ მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალური დონეები რამდენჯერმე აღემატებიან გაზომილ სიდიდეებს.

#### 4.7. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების მავნე ზემოქმედების პროფილაქტიკა

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანზე მავნე გავლენის გამორიცხვის საკითხების გადაწყვეტისათვის გამოიყენება ჰიგიენურ პრაქტიკაში მიღებული სამი ძირითადი პრინციპი: დაცვა დროის მიხედვით, დაცვა დაშორების მიხედვით და დაცვა კოლექტიური ან ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენებით. გარდა ამისა გამოიყენება სამრეწველო სიხშირის ელექტროდინამიკის მომსახურე პერსონალის წინასწარი და ყოველწლიური პერიოდული დათვალიერებები სახელმწიფო სანეპიდზედამხედველობისა და ჯანმრთელობის დაცვის სამინისტროს ნორმატივების შესაბამისად, რომლებიც უზრუნველყოფენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე არასასურველი გავლენების პროფილაქტიკას.

დროის მიხედვით დაცვის პრინციპი უპირატესად რეალიზდება შესაბამისი ნორმატიულ-მეთოდური დოკუმენტების მოთხოვნებში, რომლებშიც რეგლამენტირებულია სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის საწარმოო ზემოქმედება. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების პირობებში პერსონალის ყოფნის ხანგრძლივობა შეზღუდულია სამუშაო დღის ხანგრძლივობით და ელექტრომაგნიტური ველის ინტენსივობის გაზრდასთან ერთად მცირდება.

მოსახლეობისათვის სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების არასასურველი გავლენისაგან პროფილაქტიკა უზრუნველყოფილია ტერიტორიის ტიპისაგან (დასახლებული, ხშირად და იშვიათად ადამიანების დასწრების მიხედვით) დამოკიდებულების მიხედვით დიფერენცირებული ზღვრულად დასაშვები დონეებით. გარდა ამისა ხდება ადამიანის დაცვა დაშორებით.

სხვადასხვა კლასის ზემოდალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისათვის დადგენილია სანიტარულ-დაცვითი ზონების მზარდი ზომები.

330 კვ და ზემოთ ძაბვის ხაზებისათვის უნდა გამოიყოს ტერიტორიები დასახლებული პუნქტიდან შორს.

750-1150 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების დაპროექტებისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს მათი დაშორება დასახლებული პუნქტებიდან, როგორც წესი, შესაბამისად არანაკლებ 200-300 მეტრისა. მხოლოდ გამონაკლის შემთხვევებში, როცა ადგილობრივი პირობებით ეს მოთხოვნები ვერ სრულდება, 330, 500, 750 და 1150 კვ ძაბვის ხაზები სოფლის დასახლებული პუნქტების საზღვრებს შეიძლება მიუახლოვდნენ შესაბამისად არაუახლოეს 20, 30, 40 და 55 მეტრით, მაგრამ ამ დროს ელექტრული ველის დამაბულობა ხაზის ქვეშ არ უნდა აღემატებოდეს 5 კვ/მ-ს.

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მიახლოება დასახლებული პუნქტის საზღვრებთან შეთანხმებული უნდა იყოს სანეპიდზედამხედველობის ორგანოებთან.

სანიტარულ-დაცვითი ზონის საზღვრებში აკრძალულია;

- საცხოვრებელი სახლების მშენებლობა და დასასვენებელი ადგილების მოწყობა;
- ავტოტრანსპორტის მომსახურების საწარმოების და ნავთობპროდუქტების საწყობების განთავსება;
- ყველა სახის საწვავი მასალებზე ოპერაციების შესრულება და მათი შენახვა;
- იმ ავტოტრანსპორტის გაჩერება, რომელთა გაბარიტები აღემატება დასაშვებს;
- მანქანებისა და მექანიზმების რემონტი;
- სარწყავი მანქანებით სარწყავი სამუშაოების ჩატარება, რომელთა წყლის ჭავლი შეიძლება შეეხოს საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სადენებს;

- ადამიანისათვის მისაწვდომი დიდი სიგრძის ჩაუმიწებელი სადენების (მაგალითად, ვენახის შპალერზე) განთავსება;
- 500 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ქვეშ სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოებისათვის 18 წლამდე მოზარდების დასაქმება.

დასაშვებია:

. - საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ქვეშ სანიტარულ-დაცვითი ზონის გამოყენება ისეთი სასოფლო სამეურნეო კულტურების მოსაყვანად, რომლებიც არ მოითხოვენ მათი დამუშავებისათვის ადამიანთა ხანგრძლივ ყოფნას.

- 330-500კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის სანიტარულ-დაცვითი ზონის საზღვრებში განლაგებული არსებული საცხოვრებელი სახლებისა და სააგარაკე ნაკვეთების შენახვა და ექსპლუატაცია იმ პირობით, რომ ელექტრული ველის დამაბულობა საცხოვრებელი სახლის შიგნით და ღია ტერიტორიაზე შემცირებული იქნება დასაშვებ დონემდე.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან მოსახლეობის დაცვის ღონისძიებები განისაზღვრება შემდეგი მოთხოვნებით:

1. სანიტარულ-დაცვითი ზონის შექმნა და მისი რეგლამენტირებული მოთხოვნების მკაცრი დაცვით;
2. სანიტარულ-დაცვითი ზონის საზღვრებში სამუშაოების ორგანიზაციის დროს ელექტრული ველის დამაბულობის შემცირებისათვის ტარდება შემდეგი ღონისძიებები:

- მოძრავი მანქანები და მექანიზმები (ავტომობილები, ტრაქტორები და სხვა სასოფლო-სამეურნეო მანქანები) აღჭურვილი უნდა იქნენ მიწასთან საიმედო ელექტრული კონტაქტით;
- ის მანქანები და მექანიზმები, რომელთაც არ გააჩნიათ მეტალის კაბინები, აღჭურვილი უნდა იქნენ კორპუსთან შეერთებული დამცველი ეკრანებით, რომლებიც შესრულებული უნდა იყოს მეტალის ფურცლისაგან ან მეტალის ბადისაგან;

- ადამიანის კონტაქტის სადენთან კონტაქტის დროს ელექტრული მუხტების გამორიცხვის მიზნით სადენებს ამიწებენ, გაჭიმულ სადენებს ამიწებენ რამდენიმე ადგილას და განათავსებენ მათ საჰაერო ხაზის პერპენდიკულარულად;
- სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების შესრულების დროს გაჭიმულ მეტალის ნაკეთობებს (მილსადენები, კავშირგაბმულობის ხაზები და სხვა) ამიწებენ სამუშაო ადგილებზე არანაკლებ ორ წერტილზე სხვადასხვა ადგილებში.
- სანიტარულ-დაცვითი ზონის ფარგლებში შენობები დაცული უნდა იქნეს დამიწებული ეკრანით, სადაც ჭერი საიმედოდ უნდა იქნეს ჩამიწებული არანაკლებ ორ ადგილზე. დამიწების მოწყობის დროს წინააღმდეგობის სიდიდე ნორმირებული არ არის.
- ღია ტერიტორიებზე ელექტრული ველის დამაბულობის შემცირებისათვის საჭიროების მიხედვით აყენებენ გვარლის მაკრანირებელ მოწყობილობებს, ასევე რკინა-ბეტონის მესერს. ამავე მიზნით წარმოებს ხეებისა და ბუჩქების დარგვა.
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის გზებთან გადაკვეთის ადგილებში აყენებენ ტრანსპორტის გაჩერების ამკრძალავ ნიშნებს და საჭიროების შემთხვევაში ზღუდავენ სატრანსპორტო საშუალებების გაბარიტებს.
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს სამუშაოების მომზადებისა და ჩატარების დროს სამუშაოს პასუხისმგებელი მუშაკები ვალდებული არიან ჩაატარონ ინსტრუქტაჟი და გააკონტროლონ ელექტრული ველის დამაბულობისაგან დაცვისა და უსაფრთხოების ტექნიკის მოთხოვნების დაცვის ღონისძიებების შესრულება.
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს დასახლებულ პუნქტებში ელექტრული ქსელების დაწესებულებები მუნიციპალურ ორგანოებთან ერთად მოსახლეობას შორის ატარებენ განმარტებით სამუშაოებს საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანთა ყოფნისა და სამუშაოების დროს უსაფრთხოების წესების პროპაგანდის

შესახებ, ასევე აყენებენ გამაფრთხილებელ ნიშნებს მომატებული საფრთხის ადგილებში.

ამავე დროს სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველისათვის შესაბამისი ნორმატიულ-მეთოდური დოკუმენტის არ არსებობასთან დაკავშირებით, რომელიც არასაწარმოო პირობებში მოახდენდა მათ რეგლამენტირებას, მოსახლეობის დაცვა საკითხის არასაკმარისად შესწავლის გამო გათვალისწინებული არ არის.

სამრეწველო სიხშირის ინტენსიური ელექტრომაგნიტური ველის არახელსაყრელი ზემოქმედების პროფილაქტიკა ჩვენს ქვეყანაში ხორციელდება ჰიგიენური რეგლამენტირების გზით. მუშაკთა შესაბამისი კონტიგენტის ჯანმრთელობისა და მუშაუნარიანობის შენარჩუნების მიზნით ხორციელდება კომპლექსური სანიტარულ-ჰიგიენური და სამკურნალო-გამაჯანსაღებელი ღონისძიებები.

პროფილაქტიკა უზრუნველყოფილია მხოლოდ საწარმოო ზემოქმედებისათვის და მხოლოდ ელექტრული მდგენელისათვის გოსტ 12.1.002-84 და სნწ # 5802-91 მოთხოვნების შესაბამისად, ასევე ამ საკითხების გადაწყვეტისათვის სპეციალურად დამუშავებული გოსტ 12.4.154-85 „უსაფრთხო მუშაობის სტანდარტების სისტემა. ეკრანირებული მოწყობილობები სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დასაცავად. ზოგადი ტექნიკური მოთხოვნები, ძირითადი პარამეტრები და ზომები“ და გოსტ 12.4.172-87 „უსაფრთხო მუშაობის სტანდარტების სისტემა. ეკრანირებული ინდივიდუალური კომპლექტი სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველებისაგან დასაცავად. საერთო ტექნიკური მოთხოვნები და კონტროლის მეთოდები“.

**დაცვის კოლექტიური საშუალებები** იყოფა სტაციონარულ და მოძრავ (გადასატან) საშუალებებად. სტაციონარული ეკრანები წარმოადგენენ სხვადასხვა სახის მეტალის დამიწებულ კონსტრუქციებს (ფარები, გვარლების სისტემა, ბადეები და სხვა), რომლებიც განთავსებულია



სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის მოქმედების ზონაში პერსონალის სამუშაო ადგილების თავზე.

მოდრავი (გადასატანი) დაცვის საშუალებები ძირითადად წარმოადგენენ მოსახსნელი ეკრანების სხვადასხვა სახეობებს. კოლექტიური დაცვის საშუალებები ამჟამად პოულობენ დიდ გამოყენებას არა მხოლოდ იმ პერსონალის ჯანმრთელობის შენარჩუნების სფეროში, რომლებიც ემსახურებიან მაღალი ძაბვის დანადგარებსა და ექვემდებარებიან სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის ზემოქმედებას, არამედ ასევე გამოიყენება იმ მოსახლეობის დაცვისათვისაც, რომლებიც ცხოვრობენ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს. ამ შემთხვევებში სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დამაბულობის ნორმატიული მნიშვნელობის უზრუნველყოფის მიზნით ყველაზე ხშირად გამოიყენება გვარლის ეკრანები, რომლებიც აგებულია საინჟინრო გაანგარიშების საფუძველზე.

ინდივიდუალური დაცვის ძირითად საშუალებად ამჟამად გამოიყენება ინდივიდუალური მაეკრანირებელი კომპლექტები. არსებობს ასეთი კომპლექტების სხვადასხვა სახეობები სხვადასხვა ეკრანირების ხარისხით არა მხოლოდ სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის არაუმეტეს 60 კვ/მ დამაბულობის ზემოქმედების ზონაში მიწის სამუშაოების შესრულებისათვის, არამედ ძაბვის ქვეშ მყოფი 110-1150 ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის უშუალოდ დენგამტარ ნაწილებთან შეხების სამუშაოების შესრულებისათვის.

ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის არახელსაყრელი გავლენის პროფილაქტიკა ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებით ამჟამად არ ხდება, რადგანაც მიღებულია, რომ თითქოს უმეტეს შემთხვევაში სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების პირობებში სამუშაოების შესრულების დროს მაგნიტური ველის დამაბულობის დონე არ აღმატება ზღვრულად დასაშვებს. იმ შემთხვევებში, როცა მოითხოვება სამუშაო ადგილზე სამრეწველო სიხშირის

მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის შემცირება, ხშირად ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენება შეუძლებელია მაგნიტო-მაგვრანირებელი მასალების სიმძიმის გამო. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის შემცირება ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობამდე უზრუნველყოფილია ძაბვის ქვეშ მყოფ დენგამტარ ნაწილებზე დატვირთვის შემცირებით, მაგნიტური ველის ეკრანირებისათვის სპეციალური მასალების ან აქტიური ეკრანების გამოყენებით.

## დასკვნები

1. ელექტრულ ქსელებში ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის უზრუნველყოფის პრობლემა დღემდე ინარჩუნებს თავის აქტუალობას, რომელიც კიდევ უფრო იზრდება ახალი ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციაში შეყვანასთან, ძველის რეკონსტრუქციასთან და მოდერნიზაციასთან დაკავშირებით;
2. სამუშაოს უსაფრთხოდ წარმოების პირობების უზრუნველყოფისათვის 0,4-500კვ ელექტროდანადგარების მიმდინარე ექსპლუატაციისა და მშენებლობის დროს მოითხოვება სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დონეთა უტყუარი შეფასება.
3. ჩატარებულია ელექტრული ქსელების ბიოელექტრომაგნიტური თავსებადობის ნორმების განზოგადოება, დაბალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის პერსონალზე ზემოქმედების რაოდენობრივი შეფასების გამოყენებისთვის.
4. სტანდარტული მათემატიკური მოდელის საფუძველზე დამუშავებულია ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის მაკვნი ზემოქმედების დოზიმეტრიის ალგორითმი.
5. დამუშავებულია არაწრფივი მათემატიკური მოდელი, რომლის საფუძველზეც შედგენილია ადამიანზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის მაკვნი ზემოქმედების დოზიმეტრიის ალგორითმი.
6. ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაზომვის დროს შემჩნეულია ელექტრული ველის დამაბულობაზე ამინდის ფაქტორების გავლენა, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობაზე რეჟიმული პარამეტრების გავლენა.
7. გაზომვის შედეგები საშუალებას გვაძლევენ ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების მომატებული დონეების ზონებში სამუშაოს უსაფრთხოდ წარმოების უზრუნველყოფისათვის დავამუშაოთ ეფექტური ორგანიზაციული და ტექნიკური ღონისძიებების კომპლექსი.

## ლიტერატურა

1. მუსელიანი თ., ვაშაკიძე ა., ცოფურაშვილი გ. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის წყაროების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე და მისი სამართლებრივი რეგულირების საკითხები. „ენერჯია“ # 2(82), 2017, გვ.17–22.
2. Дьяков А.Ф. Энергетика и окружающая среда. Электричество.-1996.№7. С. 2-6.
3. Григорьев Ю.Г. Биоэлектромагнитная совместимость (проблемы защиты населения от электромагнитного излучения. Электричество.-1997.№3. С. 19-24.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности на электроустановках.-М.: Энергоатомиздат, 1984. 448 с.
5. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Никитин О.А. Электромагнитная обстановка и оценка влияния ее на человека. Электричество.-1997.№5. С. 2-10.
6. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Магнитные поля промышленной частоты: реальна ли опасность?-Энергия,1999.-№6. С.46-50.
7. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. -М.: Энергоатомиздат, 1995.-343 с.
8. Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду (СИГРЭ-76)ю Под ред. Ю.П. Шкарина. -М.:Энергия, 1979.-112 с.
9. Белоголовский А.А., Бурмистров М.М. О методике расчета магнитных полей промышленной частоты, Вестник МЭИ.-1996.№ 2.-С,85-90
10. Кайданов Ф.Г. Моделирование электрических полей для изучения их влияния на человека, -Известия АН СССР, Энергетика и транспорт, 1984.№ 1. С.123-133.
11. Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электрических сетях: Учебное пособие.-Братск, 1999,-220 с.
12. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений. Под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина, Том 4. -М.: АТ, 1999,-304 с.
13. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кужекин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. Под редакцией А.Ф. Дьякова. -М.: Энергоатомиздат, 2003, 768 с.
14. СанПин 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях. -М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. 24 с.
15. <https://gamma7.m-l-m.info/zashhita-ot-elektromagnitnogo-izlucheniya/vliyanie-elektromagnitnogo-izlucheniya-na-cheloveka/vliyanie-lep-na-zdorove/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 7.02.2018 წ.)

16. <http://sun-craft.org/samozashita/vliyanie-elektromagnitnogo-izlucheniya/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 7.02.2018 წ)
17. СанПин 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты.
18. Анисимов В. Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения: В 2 т. — 2-е изд., пере-раб. и доп. — СПб.: Наука, 2008, Т.1. — 481 с.; Т.2. 434 с.
19. Бессонов А.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник. -9-е изд. перераб. и доп. - М.: Гарадрики, 2001, 317 с.
20. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля, изд. 3-е, -М.: Энергия, -1968, 488 с.
21. Бухгольц Г. Расчет электрических и магнитных полей. Пер. с нем. -М.: Иностранная литература. -1961. -712 с.
22. Иоссель Ю.Я. Расчет потенциальных полей в энергетике (справочная книга). -Л.: Энергия, 1978, -315 с.
23. Новгородцев А.Б. Теория электромагнитного поля СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 248 с.
24. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. -М.: Энергоатомиздат, 1983. -163 с.
25. Дмитриев И.А., Килеев А.И. Оценочный расчет магнитных полей промышленной частоты. Проблемы энергетики. 2002. №1-2. С.69-77.
26. Миронов В.Г., Казанцев Ю.А., Кузовкин В.А. Методы расчета потенциальных электромагнитных полей. -М.: изд-во МЭИ. 1994.
27. Белоголовский А.А., Бурмистров М.М. О методике расчета магнитных полей промышленной частоты. Вестник МЭИ. -1996. -№2. -С.85-90.
28. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев Ю.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. -М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. 145 с.
29. მუსელიანი თ., მუსელიანი გ., ცოფურაშვილი გ. ელექტრომაგნიტური ველის ელექტროსტატიკური მდგენელების განსაზღვრა ანალიზური მეთოდით. „ენერჯია“ # 1(81), 2017 წ. გვ. 53-57
30. Ратнер М.П. Индуктивное влияние электрофицированных железных дорог на сети и трубопроводы. -М.: Транспорт, 1966. -164 с.
31. Электротехнический справочник. -Т.3. -Кн.1. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -880 с.
32. მუსელიანი თ., ცოფურაშვილი გ., მთვარელიძევილი გ. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების ადამიანის

ჯანმრთელობაზე გავლენის პრობლემები. მოხსენებათა კრებული. მე-4 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია: ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. ქ. ქუთაისი, 29.10. 2016 წ გვ.29–31.

33. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. -М.: Изд-во стандартов, 1984.

34. Дмитриев И.А.,Килеев А.И. Матухин В.Л. Оценка электромагнитной обстановки в электrorаспределительных системах.Проблемы энергетики.-2001.-№11-12.С.88-86.

35. ცოფურაშვილი გ. ელექტრულ ქსელებში პერსონალზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების შეფასების მეთოდები. “ინტელექტუალი“, № 34 2017 წ.გვ.167–171.

36. ГОСТ 13109–97.Электрическая энергия.Совместимость технических средств электромагнитная.Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

## СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

**RU.C.34.003.A № 57852**

Срок действия до **06 февраля 2020 г.**

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
**Измерители параметров электрического и магнитного полей  
трехкомпонентные "ВЕ-метр"**

ИЗГОТОВИТЕЛЬ  
**Общество с ограниченной ответственностью "НТМ-Защита"  
(ООО "НТМ-Защита"), г. Москва**

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **59851-15**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ  
**МП 33.Д4-13**

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **2 года**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от **06 февраля 2015 г. № 148**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя  
Федерального агентства

С.С.Голубев

18.02.2015 г.



Серия СИ

№ 018926