



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

მარინე გვარამაძე

ელექტრომაგნიტური გარემოს გამოკვლევა მაღალი ძაბვის
დანადგარების სიახლოვეს

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: ენერგეტიკის

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მარინე გვარამაძეს მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ელექტრომაგნიტური გარემოს გამოკვლევა მაღალი ძაბვის დანადგარების სიახლოვეს“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: მარინე გვარამაძე

დასახელება: „ელექტრომაგნიტური გარემოს გამოკვლევა მაღალი ძაბვის დანადგარების სიახლოვეს“

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ენერგეტიკის და ელექტროინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი 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

უკანასკნელ ხანებში მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს უფრო და უფრო დიდი ყურადღება ექცევა მათ ელექტრომაგნიტურ თავსებადობას ადამიანის სიცოცხლესთან დაკავშირებით, რადგან ელექტროენერგეტიკული ობიექტების ექსპლუატაციის დროს წარმოიშვებილ საშიში სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის წყარობს წარმოადგენენ მაღალი ძაბვის ქვესადგურები, მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზები. ამ დროს მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენას ექვემდებარებიან როგორც სპეციალიზირებული პერსონალი, ასევე ხაზების სიახლოვეს მაცხოვრებელი ან მომუშავე ადამიანები.

ქვესადგურებისა და გადაცემის ხაზების მომსახურე პერსონალზე ხანგრძლივად და რეგულარულად გავლენას ახდენს სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი, რომელიც იმ დონეებით სისტემატური ზემოქმედებით, რომლებიც აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, შუძლიათ გამოიწვიონ ნერვული, გულ-სისხლძარღვთა და ენდოკრინოლოგიური სისტემების ფუნქციონალური მდგომარეობის ცვლილება.

ამჟამად, საკმაოდ მწვავედ დგას სხვადასხვა დანიშნულების ელექტროენერგეტიკულ დანადგარებში სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის პარამეტრების გაანგარიშებისა და შესაბამისად მათი ინტენსიურობის შემცირების ღონისძიებების დამუშავების საკითხი.

დისერტაციაში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია ანალიზური მეთოდები. ანალიზური მეთოდის გამოყენება განპირობებულია იმით, რომ იგი სხვა მეთოდებთან შედარებით ნაკლებად შრომატევადია და საკმაო სიზუსტით შეიძლება მისი გამოყენება საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზების მაგნიტური ველის გაანგარიშების დროს.

ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის სხვადასხვა კვლევის განზოგადოებული შედეგები და ლიტერატურული მიმოხილვა. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის პერსონალზე გავლენის თანამედროვე წარმოდგენა; მოკლე ცნობები ადამიანის ორგანიზმში სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან პროცესებზე ელექტრომაგნიტური ველების მედიკო-ბიოლოგიური გამოკვლევების შესახებ; ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენების გაანგარიშების მეთოდიკა, რადგან ადამიანის ორგანიზმში ინდუქცირებული დენები საშუალებას იძლევიან დახასიათდეს ადამიანის ორგანიზმში მაგნიტური ველის ზემოქმედების ინტენსივობა.

ჩატარებული ლიტერატურული ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრული აქტუალობიდან გამომდინარე დასახული იქნა სამუშაოს მიზანი.

ნაშრომის მეორე თავი ეძღვნება სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდების შემუშავებასა და ელექტროდანადგარების, კერძოდ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზს.

ენერგეტიკის განვითარების კვალდაკვალ სულ უფრო იზრდება საჭიროება განვითარდეს და დაიხვეწოს სადგურების და ქვესადგურების მომსახურე პერსონალის შრომის უსაფრთხოება. ამისათვის ერთერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია ელექტრო მაგნიტური სიტუაციის გამოკვლევა და ელექტრული და მაგნიტური ველის დამაბულობების შეფასება ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების და მაღალი ძაბვის ხაზების ქვეშ. ჩატარებული ანალიზიდან გამომდინარე ადამიანის ჯანმრთელობაზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენის მიზნით საჭიროა ძაბვების მიხედვით სანიტარული ნორმების გადახედვა, ასევე მოქმედ ელექტროდანადგარებზე ძაბვის ქვეშ სამუშაოს შესრულება წარმოადგენს გამანაწილებელ ქსელებში ტექნიკური მომსახურების ერთ ერთ თანამედროვე ფორმას. აქედან გამომდინარე საქსელო კომპანიების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ახალი თაობის პერსონალის მომზადება, რომლებიც სახელმწიფო სანეპიდზედახედველობისა და ჯანდაცვის სამინისტროს ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნების შესაბამისად უზრუნველყოფენ არასასურველი გავლენების პროფილაქტიკას ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ნაშრომის მესამე თავში წარმოდგენილია ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული განსაზღვრის მეთოდიკა კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს და ასევე ორჯაჭვა საჰაერო მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემი ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარიშების მეთოდიკა კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ვერტიკალურად განლაგების დროს.

ამავე თავში ასევე მოცემულია ქვესადგურების ტერიტორიაზე ელექტრული ველის დამაბულობის გაანგარიშების მეთოდიკა და მაგნიტური ველების გაანგარიშების მეთოდიკა მაღალი ძაბვის მოსალტვისა ტიპიური ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სიახლოვეს.

ნაშრომის მეოთხე თავში წარმოდგენილია იმ ხელსაწყოს ტექნიკური მახასიათებლები, რომელიც გამოყენებული იქნა ელექტრომაგნიტური ველის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის დონის გასაზომად და ამ დროს გამოყენებული გაზომვის მეთოდები. ჩვენს მიერ სრული დენის კანონის საფუძველზე დამუშავებული ისეთი მათემატიკური მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა პროექტირების სტადიაზე თეორიულად გაანგარიშებული იყოს მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა. ამავე თავში წარმოდგენილია თეორიულად გაანგარიშების მათემატიკური მოდელის ავთენტურობის დასაბუთების საკითხები ექსპერიმენტის გზით მიღებულ მონაცემებთან შედარების გზით. წარმოდგენილია დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურის გამანაწილებელ მოწყობილობებში ჩატარებული

გაზომვების შედეგები. თითოეული გაზომვის პროცესის გვერდით წარმოდგენილია გამზომი ხელსაწყოთა მიერ ასახული მნიშვნელობა.

აღნიშნულ ქვესადგურში ჩატარებული ექსპერიმენტის მონაცემებიდან ჩანს, რომ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის საყრდენთან ახლოს მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა ყველაზე დაბალია, რადგან ხაზი იმყოფება დედამიწის ზედაპირიდან უდიდესი დაშორებით. ხაზის გასწვრივ გადაადგილების დროს ხაზის ჩამოკიდების ისრის ზრდის გამო ხაზი თანდათან უახლოვდება დედამიწას და შესაბამისად იზრდება მაგნიტური ველის დამაბულობა და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს დედამიწის ზედაპირიდან ხაზის მინიმალური დაშორების დროს და შემდეგ ისევ იწყებს შემცირებას. ქვესადგურში სავალი ბილიკის გასწვრივ მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ იცვლება მაგრამ ორჯერ მეტია საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის გასწვრივ შემთხვევასთან შედარებით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზები განთავსებულია ბილიკის ორივე მხარეს და გავლენის შედეგები შეჯამებულია.

220/35/6 ძაბვისა და 125 მვა სიმძლავრის ძალური ტრანსფორმატორის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა აღემატება ნორმატივებით დადგენილ ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობებს.

ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდე მნიშვნელოვნად შემცირდა, მაგრამ გაიზარდა ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობა.

Resume

Recently, the design and operation of high-voltage power plants have received increasing attention to their electromagnetic compatibility with human life, as the main objects of electricity, the operation of which generates dangerous industrial frequency magnetic fields are power lines and various high-performance power lines. It's notable that electromagnetic fields near power lines can be negatively affected on specialized personnel, as well as people living or working near power lines.

The service personnel of substations and transmission lines are long-term and regularly are affected by the industrial frequency electromagnetic field, which with systematic impact levels exceed the maximum allowable values, can cause functional changes in the state of the nervous, cardiovascular and endocrine systems.

Currently, is quite acute the issue of calculating the magnetic field parameters of industrial frequencies in various power plants and, consequently, the development of measures to reduce their intensity in the dissertation are used analytical methods to solve the tasks set. Using of the analytical method is due to the fact that it is less time consuming compared to other methods and can be used with considerable accuracy in the calculation of overhead power lines magnetic field.

In the first part of the dissertation are given the results of the literary review. Generalized results of various studies of the electromagnetic circumstance in the vicinity of high-voltage electrical installations; Modern representation of the industrial frequency electromagnetic field impact on personnel; Brief information on medical-biological examinations of electromagnetic fields on vital processes in the human body; The calculating method of the induced currents in the human body, because the induced currents in the human body allow to characterize the intensity of the impact of the magnetic field in the human body.

Based on the literature analysis, the purpose of the work was set based on the actuality.

The second chapter of the dissertation is devoted to the research of methods for the study of industrial frequency magnetic field stresses and the analysis of human safety problems in the vicinity of electrical installations, in particular the overhead power transmission line.

In the wake of energy development, there is a growing need to develop and improve the safety of staff at stations and substations. One of the most important factors for this is the investigation of the electromagnetic situation and the assessment of electric and magnetic field stresses under open distribution devices and high voltage lines, Also, working on live power plants is one of the modern forms of maintenance in distribution networks. Therefore, the main task of network companies is to train a new generation of staff who, in accordance with the regulations of the Ministry of State Surveillance and Health, ensure the prevention of adverse effects on human health.

The third chapter presents the method of theoretical determination of single-chain high-voltage overhead line magnetic field tension at the horizontal position of the wires at the distance from the plan of the extremity, and the two-chain method of high-voltage overhead line transmission magnetic line at the distance from the plan to the horizontal line.

The same chapter also presents the methodology for calculating the electric field voltage in the substation area and the methodology for calculating the magnetic field in the vicinity of typical open voltage switchgear.

The fourth chapter of the dissertation presents the technical characteristics of the electromagnetic field, a voltage level measuring device, measurement methods, validation of a mathematical model for the theoretical calculation of the magnetic field voltage of a high-voltage overhead power transmission line developed by us and comparison with the results of experimental calculation.

The results of measurements carried out in the distribution equipment of the 220/110 kV substation in Didube are presented. Next to each measurement process is the value reflected by the measuring instrument.

From the data of the experiment conducted in the mentioned substation, it can be seen that the value of the magnetic field tension near the support of the overhead power transmission line is the lowest, because the line is at the greatest distance from the Earth's surface. Due to the increase of the line hanging arrow while moving along the line, the line gradually gets closer to the earth and accordingly the magnetic field strength increases and reaches its maximum value at the minimum distance of the line from the earth's surface and then begins to decrease again. The magnitude of the magnetic field strength along the underpass in the substation varies slightly but is two times higher than in the case along the overhead power line.

The value of the magnetic field tension of 220/35/6 voltage and 125 MV power transformer exceeds the long-term allowable values set by the norms. At a 10 m distance from the power transformer, the magnitude of the magnetic field tension decreased significantly, but the value of the electric field tension increased.

შინაარსი

შესავალი	16
თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	20
1.1. საკითხის მდგომარეობის ანალიზი და კვლევის ამოცანების დასაბუთება	20
1.2. მაღალი ძაბვის ელექტროდინამიკის სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის სხვადასხვა კვლევის შედეგების განზოგადოება	21
1.3. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის პერსონალზე გავლენის თანამედროვე წარმოდგენა	36
1.4. მოკლე ცნობები ადამიანის ორგანიზმში სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან პროცესებზე ელექტრომაგნიტური ველების გავლენის მედიკო-ბიოლოგიური გამოკვლევების შესახებ.....	45
1.5. ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენების გაანგარიშების მეთოდიკა	48
1.6. ინდუქციური დენების გაანგარიშება ადამიანის სხეულში მაგნიტური ველის დამაბულობის ნორმირებული მნიშვნელობის დროს	52
თავი II. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდების შემუშავება	58
2.1. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებიდან გამომდინარე.....	58
2.2. სადგურების და ქვესადგურების მომსახურე პერსონალის შრომის უსაფრთხოება	63
2.3. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდიკის დამუშავება	65
თავი III. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისა და ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარიშება.....	71
3.1. ზოგადი ცნობები	71
3.2. სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის	

დამაბულობის თეორიული გაანგარიშების მეთოდოლოგია კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე.....	72
3.3. სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარიშების მეთოდოლოგია კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე ს	778
3.4. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედება ქვესადგურების პერსონალის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მომსახურების დროს.....	81
3.5. ქვესადგურის ტერიტორიაზე ელექტრული ველის გაანგარიშების მეთოდოლოგია	86
3.6. მაგნიტური ველების გაანგარიშება მაღალი ძაბვის მოსალტვისა და ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სიახლოვეს.....	90
3.7. მაგნიტური ველების გაანგარიშება ტიპური ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სალტეების ქვეშ.....	92
3.8. მაგნიტური ველების გაანგარიშება აპარატის ჩამოსაშვების სიახლოვეს ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში.....	95
თავი 4. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	97
4.1.ექსპერიმენტის დროს გამოყენებული ელმაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობის გასაზომი ხელსაწყო ტექნიკური მახასიათებლები და გაზომვის ჩატარების მეთოდოლოგია.....	97
4.2. გაზომვის მეთოდოლოგია.....	99
4.3.თეორიულად გაანგარიშებული და ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება	1000
4.4.სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის განაწილების გამოკვლევა ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში	102
დასკვნა	109
გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა	111

ცხრილების ნუსხა

88.

ცხრილი 1.1. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის დაცვის ზონები	27
ცხრილი 1.2. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების ელველის დამაბულობის (E) მნიშვნელობები, კვ/მ	28
ცხრილი 1.3. მაღალი ძაბვის ხაზის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების მნიშვნელობები	29
ცხრილი 1.4. დედამიწაზე კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებაზე ელ ველის დამაბულობის მნიშვნელობა (კვ/მ).....	29
ცხრილი 1.5. გაზომვის შედეგები, მაღალი ძაბვის ქვესადგურებსა და საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზზე, კვ/მ	32
ცხრილი 1.6. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები სხვადასხვა ძაბვის კლასის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების შემთხვევაში.....	33
ცხრილი 1.7. ელექტრომაგნიტური ველის მახასიათებლები 330 და 500 კვ ძაბვის შემთხვევაში.....	34
ცხრილი 1.8. სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნის მიხედვით მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები	35
ცხრილი 1.9. სამედიცინო კვლევის შედეგები	39
ცხრილი 1.10. ადამიანის ცაკლეული ორგანოს გამტარობა	51
ცხრილი 1.11. მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის ზემოქმედების მიმართულებები	52

ცხრილი 1.12. ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ვარიანტების ზემოქმედების დროს	56
ცხრილი 1.13. ადამიანის ორგანოებში ინდუქციური დენების სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები 100 მკტლ მაგნიტური ინდუქციის ზემოქმედების დროს	57
ცხრილი 3.1. მაგნიტური ველის დამაბულობის ანგარიშის შედეგები ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს	77
ცხრილი 3.2. მაგნიტური ველის დამაბულობის ანგარიშის შედეგები ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს	81
ცხრილი 3.3. გაანგარიშების საწყისი მონაცემები	88
ცხრილი 3.4. 6-220 კვ ძაბვის ტიპური მოსალტვის გაბარიტები	93
ცხრილი 3.5. დენური დატვირთვების მნიშვნელობები სალტების ქვეშ მაგნიტური ველის დამაბულობების სხვადასხვა მაქსიმალური მნიშვნელობების დროს	94
ცხრილი 3.6. სალტებში გამავალ მუშა დენსა (ა) და მაგნიტური ველის დამაბულობას (ა/მ) შორის კოეფიციენტის მნიშვნელობები სალტების ქვეშ	95
ცხრილი 4.1. ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარების ცხრილი	101
ცხრილი 4.2. 110 კვ ძაბვის ხაზის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები (მკტლ) ხაზის გასწვრივ დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურში	103

ნახაზების ნუსხა

83

ნახ.1.1. ელექტრული ველის დამაბულობის განაწილების სურათი მაღის ქვეშ სწორ რელიეფზე	30
ნახ.1.2. მთაზე ასვლისა ელექტრული ველის დამაბულობის განაწილების სურათი მაღის ქვეშ.....	30
ნახ.1.3. ელექტრული ველის დამაბულობის ცვლილების გრაფიკი 500კვ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებით.....	31
ნახ.1.4. კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებაზე საჰაერო ხაზის მიერ შექმნილი სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაზაბულობის განაწილების გრაფიკი.....	34
ნახ.1.5. ადამიანის სხეულის გეომეტრული ზომები და კოორდინატის ღერძების მიმართულებები	50
ნახ.1.6. ადამიანის სხეულის მოდელი სხვადასხვა ორგანოების გათვალისწინებით	50
ნახ. 1.7. საანგარიშო არეს საზღვრები	51
ნახ.1.8. საანგარიშო არეს სასრულ ელემენტებად დაყოფის ბადე	53
ნახ.1.9. დენის სიმკვრივის განაწილება მაგნიტური ველის ნორმირებული ზემოქმედების დროს	54
ნახ.1.10. ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის მაქსიმალური სიმკვრივის განაწილება, მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულების ზემოქმედების დროს	55
ნახ.2.1. მაგნიტური ველის დამაბულობის განაწილების დამოკიდებულება დენგამტარი ნაწილის ელემენტისაგან 400 ა დენის გავლის დროს	67
ნახ.2.2. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის განაწილების რეალური (1) და კვლევით მიღებული (2) მრუდები	68
ნახ.2.3. გაზომვის მეთოდური ცდომილების დამოკიდებულება გაზომვის ბიჯის სიდიდეზე მაგნიტური ველის დამაბულობის განაწილების სიგრძეზე	70
ნახ.3.1. საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზი საყრდენზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგებით	75

ნახ.3.2. 500 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის ინდუქციის კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს	76
ნახ.3.3. ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაანგარიშების სქემა	79
ნახ.3.4. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები ქვესადგურებში	82
ნახ.3.5. ქვესადგურის გეგმა	87
ნახ.3.6. ელექტრული ველის დაძაბულობის სიმპლავრეზე დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები 110 და 220 კვ ძაბვისათვის სადენის მინიმალური ჩამოკიდების სიმაღლისთვის	89
ნახ.3.7. ელექტრული ველის დაძაბულობის სიმპლავრეზე დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები 110 და 220კვ ძაბვისათვის გზის თავზე	89
ნახ.3.8. 220 კვ ძაბვის სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის განაწილება სალტეებში 500 ა დენის გავლის დროს	93
ნახ.4.1. ელექტრული და მაგნიტური ველის სამკომპონენტური საზომი ВЕ-метр-ი, მოდიფიკაციებით «АТ-004» და «503С» და მართვის ბლოკით «НТМ-Терминал	97
ნახ.4.2. მოწყობილობების სიახლოვეს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოკვლევის სქემა	100
ნახ.4.3.ა. 220 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველი დაძაბულობის გაზომვის შედეგები კიდურა ხაზის ქვეშ	102
ნახ.4.3.ბ. 220 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველი დაძაბულობის გაზომვის შედეგები კიდურა ხაზის გეგმილიდან 10 მ-ს დაშორებით	102
ნახ.4.3.გ. 220 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველი დაძაბულობის გაზომვის შედეგები კიდურა ხაზის გეგმილიდან 20 მ-ს დაშორებით	102
ნახ.4.4. ა. 110 კვ საჰაერო ეგხ-ს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაზომვის პროცესი	104
ნახ.4.4. ბ. გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა	104

ნახ.4.5.ა. მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი სავალი ბილიკის გასწვრივ	105
ნახ.4.5.ბ. გამზომი ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა	105
ნახ.4.6. მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი ძალურ ტრანსფორმატორთან	106
ნახ.4.6. გამზომი ხელსაწყოს მიერ ასახული მნიშვნელობა	106
ნახ.4.7. ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით ჩატარებული გაზომვის შედეგის ასახვა საზომ ხელსაწყოზე	107

შესავალი

თემის აქტუალობა. უკანასკნელ ხანებში მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს ადამიანის სიცოცხლესთან დაკავშირებით უფრო და უფრო დიდი ყურადღება ექცევა მათ ელექტრომაგნიტურ თავსებადობას, რადგან ენერგეტიკულ ობიექტებს, რომელთა ექსპლუატაციის დროს წარმოიშვებიან საშიში სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველები წარმოადგენენ მაღალი ძაბვის ქვესადგურები და სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულების ელექტროგადამცემი ხაზები. ამ დროს მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენას ექვემდებარებიან როგორც სპეციალიზირებული პერსონალი, ასევე ხაზების სიახლოვეს მაცხოვრებელი ან მომუშავე ადამიანები ქვესადგურებისა და გადაცემის ხაზების მომსახურე პერსონალზე ხანგრძლივად და რეგულარულად გავლენას ახდენს სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი, რომელიც იმ დონეებით სისტემატური ზემოქმედებით, რომლებიც აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს, შუძლიათ გამოიწვიონ ნერვული, გულ-სისხლძარღვთა და ენდოკრინოლოგიური სისტემების ფუნქციონალური მდგომარეობის ცვლილება.

აღრე არ იყო მკაფიო შეფასება სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის შესახებ. ამის მთავარი მიზეზი იყო მაგნიტური ველის ზემოქმედების მომენტში ადამიანის მიერ ამ ზემოქმედების შეგრძნების შეუძლებლობა და მისი გამოვლენა მხოლოდ დროის საკმაო ხანგრძლივობის გავლის შემდეგ.

ამჟამად, საკმაოდ მწვავედ დგას სხვადასხვა დანიშნულების ელექტროენერგეტიკულ დანადგარებში სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის პარამეტრების გაანგარიშებისა და შესაბამისად მათი ინტენსიურობის შემცირების ღონისძიებების დამუშავების საკითხი.

ამ პირობებში მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისაგან პერსონალის

დაცვის ძირითად ღონისძიებას წარმოადგენს [1] ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნების დაცვა, რომელიც ეხება სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების ქვეშ ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობას. ამ პირობის დაცვა შესაძლებელია მხოლოდ ელექტროდანადგარების სიახლოვეს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების განაწილების შესახებ ზუსტი მონაცემების არსებობის დროს.

დისერტაციაში დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად გამოყენებულია ანალიზური მეთოდები. ანალიზური მეთოდის გამოყენება განპირობებულია იმით, რომ იგი სხვა მეთოდებთან შედარებით ნაკლებად შრომატევადია და საკმაო სიზუსტით შეიძლება მისი გამოყენება საჭირო ელექტროგადაცემის ხაზების მაგნიტური ველის გაანგარიშების დროს.

აქედან გამომდინარე ჩვენს მიერ ანალიზური მეთოდი არის გამოყენებული კვლევების ჩატარების დროს.

სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების ყველაზე უფრო მიჩნეულ მექანიზმს წარმოადგენს ინდუქციურებული (გრიგალური) დენების აღძვრა. ადამიანის ორგანიზმში ინდუქციურებული დენები საშუალებას იძლევიან დახასიათდეს ადამიანის ორგანიზმში მაგნიტური ველის ზემოქმედების ინტენსივობა.

სადისერტაციო ნაშრომის ლიტერატურული მიმოხილვის ერთ პარაგრაფში მოყვანილია ადამიანის ორგანიზმზე ინდუქციური დენების გავლენის შესახებ ჩატარებული კვლევების შედეგების მიმოხილვა.

ადამიანის ორგანიზმზე ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების კვლევის საკითხები წარმოადგენს აქტუალურ სამეცნიერო ა

მოცანას, რომელსაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

სამუშაოს მიზანი. მაღალი ძაბვის საჭირო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მოსალტვის ქვეშ მაგნიტური ველის დამაბულობის გაანგარიშების

საინჟინრო ანალიზური მეთოდის დამუშავება მომსახურე პერსონალის შრომის პირობების გაუმჯობესების ღონისძიებების დასაბუთების მიზნით.

კვლევის ამოცანები. დასახული მიზნის მისაღწევად სადისერტაციო სამუშაოში გადაწყვეტილი იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. კვლევითი სამუშაოს გარშემო ჩატარებული იქნა ღრმა ლიტერატურული ანალიზი;
2. დამუშავებული იქნა სადენების ჰორიზონტალური განლაგებისას ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის დაზაბულობის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი;
3. დამუშავებული იქნა სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი;
4. თეორიული გაანგარიშებისა და ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები შედარებული იქნა ერთმანეთთან.
5. ექსპერიმენტის საფუძველზე შესწავლილი იქნა ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური ველის დაზაბულობების განაწილების დონეები.

კვლევის ობიექტი. სამრეწველო სიხშირის მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების ელექტრომაგნიტური ველის დაზაბულობების განაწილების არეები.

კვლევისათვის გამოყენებული მეთოდები. კვლევის პროცესში ცვენს მიერ გამოყენებული იქნა ქვემოთ ჩამოთვლილი მეთოდები: ელექტრომაგნიტური ველის თეორია, წრფივი ელექტრული წრედების თეორია; ექსპერიმენტის ჩატარებისა და ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების თეორია.

სამეცნიერო სიახლე. საინჟინრო ანალიზური მეთოდებით დამუშავებულია მაღალი ძაბვის ერთჯაჭვა და ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების

მათემატიკური მოდელი კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე. ექსპერიმენტული გაზომვებითა და თეორიული გაანგარიშების შედეგად მიღებული მონაცემების შედარების გზით დამტკიცებულია მისი გამოყენების შესაძლებლობა, რაც საშუალებას იძლევა უკვე პროექტირების სტადიაზე გაანალიზდეს მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მაგნიტური ველის ინტენსივობა და მისი გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე ამ კონსტრუქციების გარემომცველ გარემოში.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურების ღია გაანაწილებელი მოწყობილობების მოსალტვის ქვეშ მაგნიტური ველის დამაბულობის გაანგარიშების დამუშავებული საინჟინრო ანალიზური მათემატიკური მოდელები საშუალებას იძლევიან უკვე პროექტირების სტადიაზე გაანალიზდეს და გათვალისწინებული იქნეს მაგნიტური ველის ინტენსიურობა ამ კონსტრუქციების გარემომცველ გარემოში და შემოთავაზებული იქნეს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მათში გამავალი დენებით გამოწვეული მაგნიტური ველის ინტენსიურობის შემცირებას გარემომცველ გარემოში.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიაში. ასევე მოხსენებული იქნა ქ. ქუთაისში მეოთხე საერთაშორისო კონფერენციაზე „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“, თბილისში მე-2 საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“ და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე და მესამე კოლოქვიუმებზე.

თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. საკითხის მდგომარეობის ანალიზი და კვლევის ამოცანების დასაბუთება

დაბალი დიაპაზონის ელმაგნიტური გამოსხივება უწყეტად ზრდის თავის ინტენსივობას, რის შედეგადაც იგი წარმოადგენს საცხოვრებელი გარემოს დაბინძურების ერთერთი ძირითადი წყაროს. მკვლევარებისა და მეცნიერების მხრიდან დღემდე არ ეთმობა ღირსეული ყურადღება. რითაც სახელდობრ განპირობებულია ამ სახის გამოსხივების ზემოქმედების მექანიზმის გაუგებრობა.

ელექტრომაგნიტური არაიონიზირებული გამოსხივების ერთერთ ძირითად წყაროს წარმოადგენს მაღალი ძაბვის ელექტროდინამოგარეობები. რომელთა ფართოდ გავრცელების გამო არ შეიძლება გათვალისწინებული არ იქნეს მათ მიერ შექმნილი მავნე ფაქტორები: სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი.

არსებული ნორმატიული დოკუმენტები [1,2] რეგლამენტირებენ სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დასაშვებ დამაბულობას და ნაჩვენებ ველში ადამიანის ყოფნის დასაშვებ დროს. მთავარი დამწევი ქვესადგურების ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებისა და მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების ქვეშ სხვადასხვა წერტილებში აქვთ სხვადასხვა მნიშვნელობები [3,4,5] და გარემოს პარამეტრებზე დამოკიდებულების მიხედვით შეიძლება იცვლებოდნენ მნიშვნელოვან საზღვრებში, რომელთა პროგნოზების შესახებ ათეულობით წლების განმავლობაში დაკავებული იყვნენ მეტროლოგიური სამსახურები და დღემდე მეტროლოგიური პროგნოზები ისე ზუსტი არ არის როგორც გვსურს. ამიტომ მაღალი ძაბვის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის ნეგატიური ზემოქმედების შეფასებისა და შემცირების ამოცანა დღემდე ბოლომდე გადაწყვეტილი არ არის.

**1.2. მაღალი ძაბვის ელექტრული დანადგარების სიახლოვეს
ელმაგნიტური მდგომარეობის სხვადასხვა კვლევის შედეგების
განზოგადოება**

სამეცნიერო ტექნიკური პროგრესის თანამედროვე ეტაპზე შეუძლებელია წარმოვიდგინოთ ენერგეტიკული სისტემა ელექტროგადაცემის სისტემატაშორისი (220, 330, 500 კვ) ხაზების გარეშე. ისინი ქმნიან ცალკეული სისტემების დამაკავშირებელ რგოლებს და ემსახურებიან დიდ მანძილებზე ელექტროენერჯის გადაცემას.

საქართველოში ამჟამად არსებობს 500/330/220/110/35/10/6 კვ მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ქსელი. 500 კვ მაგისტრალური ელექტროგადაცემის ქსელით იგი უკავშირდება რუსეთის ფედერაციასა და ისეთ მსხვილ გენერაციის ობიექტს, როგორცაა „ენგურჰესი“. აღნიშნული მაგისტრალური ელექტროგადაცემის ხაზი მოიცავს ისეთ ელექტროგადაცემის ხაზებს, როგორცაა „იმერეთი“, „ქართლი 1“, „კავკასიონი“, „ქართლი 2“- და 500 კვ ქვესადგურებს: „ზესტაფონი- 500“, „გარდაბანი- 500“, და „ქსანი-500“.

ასევე კომპანია „ენერგოტრანსი“-ს მიერ, რომელიც არის საქართველოს სახელმწიფო ენერგოსისტემის კომპანია აშენებული იქნა ახალი 500 კვ მაგისტრალური ელექტროგადაცემის ხაზი „მესხეთი“- „ვარძია“-„ზეკარი“, რომელიც ზემოთაღნიშნული „ზესტაფონი-500“, „გარდაბანი-500“, და „ახალციხე-500“ ქვესადგურების გავლით საქართველოს ენერგოსტემა და თურქეთი ერთმანეთთან არის დაკავშირებული.

საქართველოს ენერგოსისტემა აზერბაიჯანის ენერგოსისტემასთან დაკავშირებულია „საქართველო -აზერბაიჯანი“-ს 500 კვ-იანი და „გარდაბანი - 330“ 330 კვ-იანი ელექტროგადაცემის ხაზით.

საქართველოს ენერგოსისტემაში ასევე ფუნქციონირებს 220 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზები, რომლითაც იგი, ასევე უკავშირდება რუსეთს, თურქეთსა და სომხეთს.

გარდა ზემოთ აღნიშნული მაღალი ძაბვის ხაზებისა საქართველო ასევე იზოლირებული 110 კვ ხაზით უკავშირდება რუსებსა და სომხეთს.

500-220-110-35 კვ 130 ერთეული ელექტროგადაცემის ხაზების ჯამური სიგრძეა 3221,97 კმ. მათ შორის: 500 კვ- 289 კმ; 220 კვ-1584,41 კმ; 110 კვ- 856,79 კმ; 35 კვ- 491,77 კმ.

500-220-110-35 კვ ძაბვის 92 ერთეული ქვესადგური ჯამური დადგმული სიმძლავრით-10212,6 მვა.მათ შორის: 500 კვ ქვესადგური-4 (ჯამური დადგმული სიმძლავრით 5228,2 მვა); 220 კვ ქვესადგური -17 (დადგმული სიმძლავრით-4396,5 მვა); 110 კვ ქვესადგური -25(დადგმული სიმძლავრით 421,4 მვა); 35 კვ ქვესადგური -46 (დადგმული სიმძლავრით-166,5 მვა).[6].

ელექტროენერგეტიკის დარგის განვითარების ტემპების შესაბამისად ყოველწლიურად იზრდება მაღალი ძაბვის ქვესადგურებისა და ელექტროგადამცემი ხაზების რაოდენობა. რის გამოც შეუძლებელია მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების გარემოში იმ პერსონალზე, რომლებიც ელექტროდანადგარებს უწევენ ექსპლუატაციასა და ატარებენ რემონტს გათვალისწინებული არ იქნეს ელექტრომაგნიტური ველის დაძვრობის მავნე ზემოქმედება.

მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზები და ასევე სხვა მოწყობილობები ხასიათდებიან რამდენიმე სპეციფიკური თავისებურებებით. ეს თავისებურებებია [7]:

- დიდი სიგრძის ელექტროგადაცემის ხაზები;
- მომსახურე პერსონალის შედარებით მცირე რაოდენობა.
- წარმოების კვანძური სტრუქტურა, სადაც კვანძებს წარმოადგენენ

ქვესადგურები, ხოლო მათ აკავშირებს 220 კვ და ზევით ძაბვის საჰაერო ხაზები;

- მაღალი ძაბვის მოწყობილობები და მათი მომსახურე პერსონალი ძირითადად

თავმოყრილია ქვესადგურებში.

- პერსონალი ძირითადად მუშაობს საწარმოო ფართობების ღია პირობებში, რაც აკისრებს განსაზღვრულ შეზღუდვებს ზამთრის პერიოდში მომსახურეობის დროს.
- ელექტრომონტორები ასრულებენ საჭაერო ხაზის ტექნიკური მომსახურეობის სამუშაოებს, ხოლო გამონაკლისის სახით, ხაზის დათვალიერების სამუშაოებს ასრულებს ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალი.
- საყრდენზე ასვლასთან დაკავშირებული ხანმოკლე სამუშაოები სრულდება ორ წელიწადში ერთხელ.

მუშაკები, რომლებიც დაკავებულნი არიან 220 კვ და ზევით ელექტროგადაცემის ხაზების მომსახურეობით, პერსონალის მცირე რიცხვობიდან გამომდინარე სამუშაოს შესასრულებლად პერსონალის შედარებით მცირე რაოდენობიდან გამომდინარე იძულებულნი არიან 6–8 საათის განმავლობაში იმყოფებოდნენ ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედების ზონაში ხოლო ზაფხულში კვირაში ხუთი დღე –8–10 საათის განმავლობაში [8].

საცხოვრებელი გარემოს დაბინძურების ერთერთ წყაროდ ხდება ელექტრომაგნიტური დაბალი სიხშირის არაიონიზირებული გამოსხივება, რომლის ინტენსივობა უწყვეტად იზრდება. მკვლევარებისა და მეცნიერების მხრიდან მან აქამდე ვერ მიიქცია სათანადო ყურადღება.

მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარები არაიონიზირებული გამოსხივების ერთ ერთი ძირითადი წყაროა. მათი ფართოდ გავრცელების გამო არ შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ ის მავნე ფაქტორები, რომალთაც ისინი ქმნიან. ეს მავნე ფაქტორებია სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი.

ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების დადგენილი ზღვრულად დასაშვები დონეების დაცვით განპირობებულია დასახლებული ტერიტორიების ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოება.

დასახლებული ტერიტორიების ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოება რეგულირდება ქვემოთ ჩამოთვლილი დოკუმენტებით, რომლებშიც

მოყვანილია ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობის დონის დასაშვებ მნიშვნელობებს:

- გოსტ 2.1.8.12-17-2005 სანიტარული ნორმები და წესები.

მოსახლეობის დაცვა ცვლადი დენის სამრეწველო სიხშირის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან [9]

- გოსტ 12.2.002-84- „შრომის უსაფრთხოების სტანდარტების სისტემა.სამრეწველო სიხშირის (50 ჰც) ელექტრული ველი. დამაბულობის დასაშვები დონეები და მოთხოვნები სამუშაო ადგილებზე კონტროლის ჩატარებისადმი: [10].

- გოსტი 12.1.045-84 „შრომის უსაფრთხოების სტანდარტების სისტემა. ელექტროსტატიკური ველი.დამაბულობის დასაშვები დონეები და მოთხოვნები სამუშაო ადგილებზე კონტროლის ჩატარებისადმი“ [11];

- □□4109-86 „მეთოდური მითითებები ელექტროგადაცემის მაღალი ძაბვის საჰაერო ხაზების ელექტრომაგნიტური ველის განსაზღვრის შესახებ და ჰიგიენური მოთხოვნები მათი განლაგების მიმართ“ [12];

- □□2.1.8/2.2.4. 2262-07 „50 ჰც სიხშირის მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები დონეები საცხოვრებელ, საზოგადოებრივ შენობებსა და დასახლებულ ტერიტორიებზე“[13].

დასახივების კონკრეტულ სიტუაციებში პროდუქციის ცალკეული სახეობების მიმართ ჰიგიენური ნორმების რეგლამენტირებას დაწვრილებით აკეთებენ სანიტარული-ეპიდემიოლოგიური წესები და ნორმები. ისინი ასევე მოიცავენ სახელმწიფო სტანდარტების შესაბამის ძირითად პუნქტებს. ელექტრომაგნიტური გარემოების კონტროლისა და დაცვითი ღონისძიებების ჩატარებისათვის მათ თან ახლავს მეთოდური მითითებები.

სანიტარულ -ეპიდემიოლოგიური ნორმებისა და წესების, ასევე სახელმწიფო სტანდარტების კონტროლის ჩატარების შესახებ მოთხოვნების ნაწილში ჩაწერილია, რომ ელექტრული ველის დაზაბულობის დონის კონტროლი ხდება ელექტრული ველის დამაბულობის გაზომვით, ხოლო

მაგნიტური ველის დამაბულობის ან მაგნიტური ინდუქციის დონის კონტროლი ხდება მაგნიტური ველი დამაბულობის დონის გაზომვით.

ამასთანავე ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების შესახებ დღეისათვის მოქმედი სახელმწიფო სტანდარტები და ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტაციის ძირითადი ნაწილი გამოცემულია გასულ საუკუნის ბოლოს და დღეისათვის საჭიროებენ გადახედვას, რადგან თანამედროვე საწარმოები ხდებიან უფრო ენერგოტეკვადი და ხდება ტექნიკის ინტენსიური განვითარება, ასევე იზრდება მომხმარებელთა საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოების რაოდენობა.

დღეისათვის გამოყენებული სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური წესები და ნორმები [9], ითვალისწინებს მხოლოდ 330 კვ და ზევით ძაბვის სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მიერ იმ მოსახლეობის ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან დაცვას, რომლებიც ცხოვრობენ ამ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს, ხოლო 220 კვ ძაბვაზე ნაკლები საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის გავლენისაგან დაცვა არ მოითხოვება. ამ შემთხვევაში იგი უნდა აკმაყოფილებდეს ელექტროდანადგარების მოწყობის წესებისა და მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ქსელების დაცვის ზონების მოთხოვნებს.

ტერმინი „მოსახლეობა“ მოიცავს იმ პირებს, რომლებიც სანიტარული ნორმებისა და წესების მიხედვით ცხოვრობენ, მუშაობენ ან დროებით იმყოფებიან საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ახლო ტერიტორიაზე. სახელმწიფო სტანდარტებითა და ნორმატიულ-ტექნიკური დოკუმენტებით რეგლამენტირებულია ელველის დასაშვები დონე და ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა ამ ზონაში. მთავარი დამწვევი ქვესადგურის, ღია გამანაწილებელი მოწყობილობებისა და მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ქვეშ ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობებს აქვთ სხვადასხვა მნიშვნელობები [7,14,15,16]. ისინი დამოკიდებულნი არიან გარემოს მეტროლოგიურ პარამეტრებზე და იცვლებიან დიდ საზღვრებში [7,17]. მაგრამ მეტროლოგიური სამსახურების მონაცემები და პროგნოზები არ თუ

ისე ზუსტია და ამიტომ მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ადამიანის ორგანიზმსა და გარემოზე ზემოქმედებისა და შეფასების ამოცანის შესწავლა მოითხოვს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების გაგრძელებას.

სანიტარული ნორმებისა და წესების დაცვა მოითხოვება:

- შენობებისა და ნაგებობების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს;
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ზონაში ადამიანთა ორგანიზმებზე უსაფრთხოების დროს;
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ექსპლუატაციისას;
- საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს მუშაობის დროს;
- სანიტარული ნორმებისა და წესების მოთხოვნების დაცვაზე პასუხს აგებს შესაბამისი ორგანიზაციის ხელმძღვანელი

სანიტარული ნორმებითა და წესებით დადგენილია ელექტრული ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები:

- საცხოვრებელი შენობაში დადგენილია $-0,5$ კვ/მ;
- საცხოვრებელი სახლების ტერიტორიის ზონაში -1 კვ/მ [9]

სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური ნორმატივების მოთხოვნის მიხედვით, თუ ელექტრული ველის დამაბულობის დონე აღემატება 1 კვ/მ, მაშინ მიღებული უნდა იქნეს ისეთი ზომები, რომლებიც გამორიცხავენ მათ ადამიანზე ზემოქმედებას. აქედან გამომდინარე, სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური წესებისა და ნორმების [9] მოთხოვნები არასრულყოფილია.

მოსახლეობის ელექტროგადაცემის ხაზის ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან დაცვის მიზნით დასახლებული ტერიტორიების ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის, დადგენილია სანიტარულ -დაცვითი ზონები.

ელექტროგადაცემის ხაზის სანიტარულ - დაცვითი ზონა არის ტერიტორია ელექტროგადაცემის ხაზის გასწვრივ ორივე მხარეს, რომელშიც ელექტრული ველის დამაბულობა აღემატება 1 კვ/მ [9].

ცხრილი 1.1-ში მოცემულია მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის დაცვითი ზონა 330 კვ და მეტი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისათვის, ხოლო 330 კვ- ზე ნაკლები ძაბვისათვის სანიტარულ ნორმებსა და წესებში მოცემული არ არის.

ცხრილი 1.1. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის დაცვის ზონები

ძაბვა, კვ	დაცვითი ზონა, მ
330	20,0
500	30,0
750	40,0

როგორც ცხრილი 1.1 -დან ჩანს მაგალითად 750 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის დაცვითი ზონა არის შესაბამისად 40,0 მ, მაგრამ [19]-ს მიხედვით საპროექტო სამუშაოების დროს მოითხოვება დასახლებული ტერიტორიის საზღვრიდან საპროექტო ელექტროგადაცემის ხაზის ღერძამდე 250,0 მ დაშორება. აქედან ჩანს, რომ სხვადასხვა ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნა სხვადასხვაა.

ნაშრომებში [20,21,22,23] მოცემულია ევროპის ქვეყნებში მაღალი ძაბვის საჰაერო ელგადამცემი ხაზების სიახლოვეს ელექტრული ველის დამაბულობის გაანგარიშების შედეგები. ნაშრომი [24]-ს მონაცემებით საჰაერო ელექტროგადამცემ ხაზებში ლენინგრადის ოლქში დედამიწის ზედაპირიდან 1,3 მ სიმაღლეზე ელველის დამაბულობის მნიშვნელობები, ПЗ-1 ხელსაწყოთი დარეგისტრირებული მოყვანილია ცხრილი 1.2-ში.

ცხრილი 1.2. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ელველის დამაბულობის მნიშვნელობები, კვ/მ

საჰაერო ხაზზე გაზომვის ადგილი	საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზის კლასი	
	330 კვ	500 კვ
მაღლის შუაში კიდურა ფაზის ქვეშ	6,2	14,1
1 მ-ის დაშორებით საყრდენიდან	1,05	2,02
კიდურა სადენის დონეზე საჰაერო ხაზის საყრდენზე	30, 5	40,2
მაღლის შუაში	10,1	15,3

ცხრილი 1.3-ში ნაშრომი [25]-ის მიხედვით წარმოდგენილია ელექტრომაგნიტური ველის მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების მნიშვნელობები.

ცხრილი 1.4-ში მოყვანილია ნაშრომი [26]-ის ავტორების მიღებული ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობები 330 და 500 კვ საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზისათვის, რომელიც ჩატარებულია მიერ ИНЕП-50 და ИЭМП-2 ხელსაწყოების დახმარებით დედამიწის ზედაპირიდან 1,5-1,8 მ სიმაღლეზე.

ნაშრომი [26]-ის მიხედვით დედამიწის ზედაპირიდან 1,8 მ სიმაღლეზე მაქსიმალური მნიშვნელობები 330 კვ ელექტროგადამცემის ხაზისათვის შეადგენს 3,6...5,1 კვ/მ, ხოლო 500 კვ ხაზისათვის - 7,7...8.1კვ. ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების გაზომვები გაზომვები ტარდება მხოლოდ საყრდენების სიახლოვეს, ასევე კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე და სადენის უდიდესი ჩამოკიდების ქვეშ, მიუხედავად იმისა, რომ დაგროვებულია დიდი რაოდენობის კვლევის შედეგები და გამოქვეყნებულია პუბლიკაციების სახით.

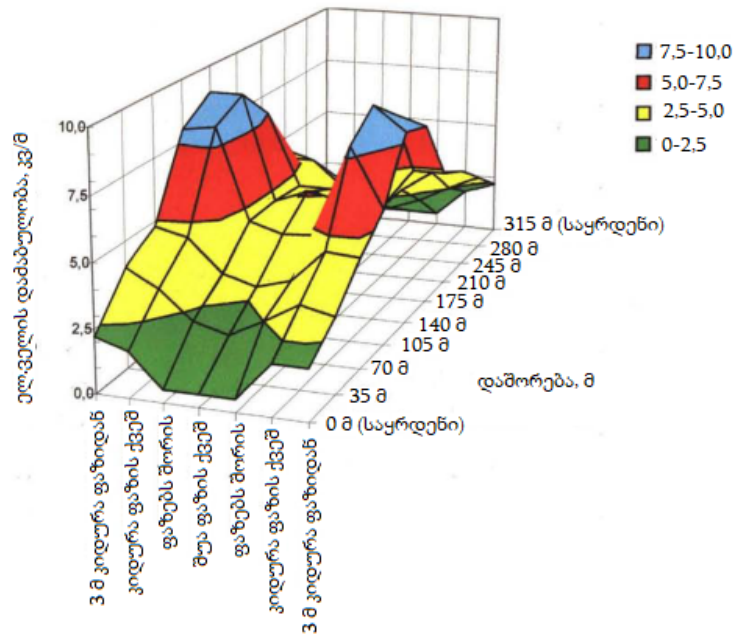
ცხრილი 1.3. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელგადამცემი ხაზის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების მნიშვნელობები

საჰაერო ხაზზე გაზომვის ადგილი	330 კვ		500 კვ	
	E, კვ/მ	H, ა/მ	E, კვ/მ	H, ა/მ
მაღლის შუაში კიდურა ფაზის ქვეშ	6,1	21,2	14,1	23,5
1 მ-ის დაშორებით საყრდენიდან	1,1	9,2	2,0	11,3
კიდურა სადენის დონეზე საჰაერო ხაზის საყრდენზე	30,2	125,3	40,1	145,2
მაღლის შუაში	10,3	100,4	15,2	50,3

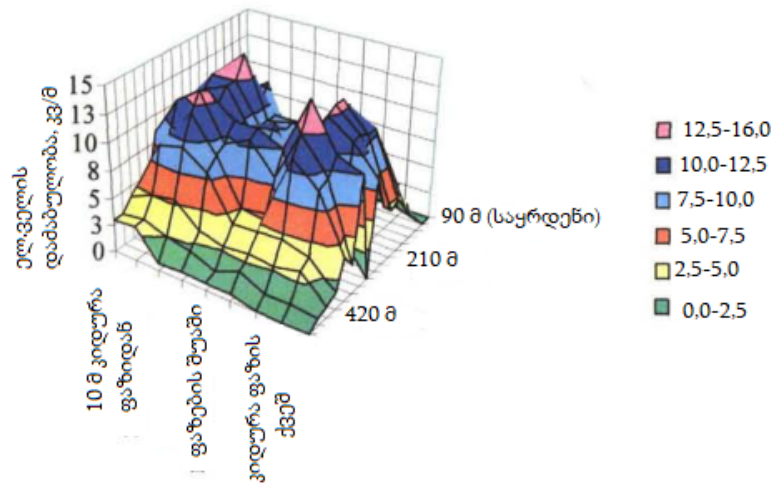
ცხრილი 1.4. დედამიწაზე კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებაზე ელ ველის დამაბულობების მნიშვნელობა (კვ/მ)

დაშორება კიდურა ხაზის პროექციიდან, მ	საჰაერო ელგადამცემის ხაზის ძაბვა, კვ	
	330	500
0,0	3,6÷5,1	7,7÷8,1
10,0	1,4÷3,3	4,1÷4,6
20,0	0,76÷1,25	0,92÷1,52
30,0	0,36÷0,62	0,62÷0,66
40,0	0,16÷0,30	0,26÷0,31
50,0	<0,11	0,11÷0,14
60,0	<0,11	<0,12

ნახ.1.1-ზე და ნახ.1.2-ზე მოცემულია ელველის დამაბულობის დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა რელიეფის დროს [7].

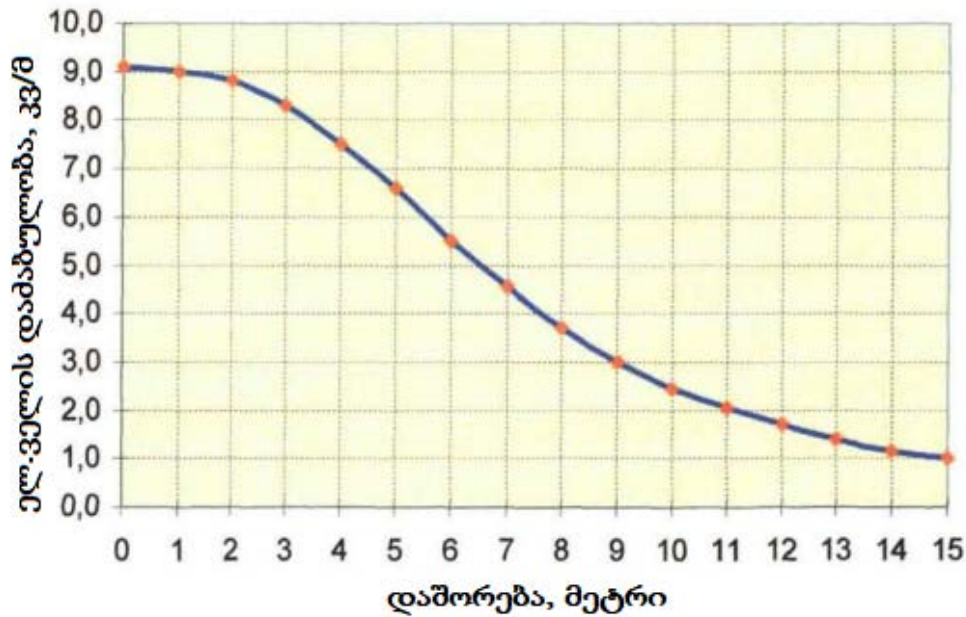


ნახ.1.1. ელველის დაძაბულობის განაწილების სურათი მალის ქვეშ სწორ რელიეფზე



ნახ.1.2. ხაზის მთაზე ასვლისას ელექტრული ველის დაძაბულობის განაწილების სურათი მალის ქვეშ

საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა ხაზის გეგმილიდან ელექტრული ველის დაძაბულობის დონეების ცვლილების შესახებ ნაშრომში [8] მიღებული იქნა მონაცემები, რომლის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.1.3-ზე.



ნახ.1.3. ელექტრული ველის დაძაბულობის ცვლილების გრაფიკი 500 კვ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებით

როგორც ნახ.1.3-დან ჩანს კიდურა ხაზის პროექციიდან 6,5 მ დაშორებით ელექტრული ველის დაძაბულობა აღწევს დასაშვებ 5კვ/მ-ზე. ამასთან დაკავშირებით აქედან გამოდინარე ნაშრომში [27] მოცემულია რეკომენდაცია, რომ საჰაერო ხაზის სახაზო პერსონალი ხაზის დათვალიერების დროს იმყოფებოდნენ არანაკლებ 7 მ-ის დაშორებით კიდურა ხაზის პროექციიდან.

ცხრილი 1.5-ში მოცემულია ნაშრომი [24]-ის მონაცემებით II3-1 ტიპის ხელსაწყოთი გაზომილი დედამიწის ზედაპირიდან 1,8 მ სიმაღლეზე ელვების დაძაბულობის გაზომვის შედეგები სხვადასხვა დონის მაღალი ძაბვის ქვესადგურებსა და საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის ქვეშ.

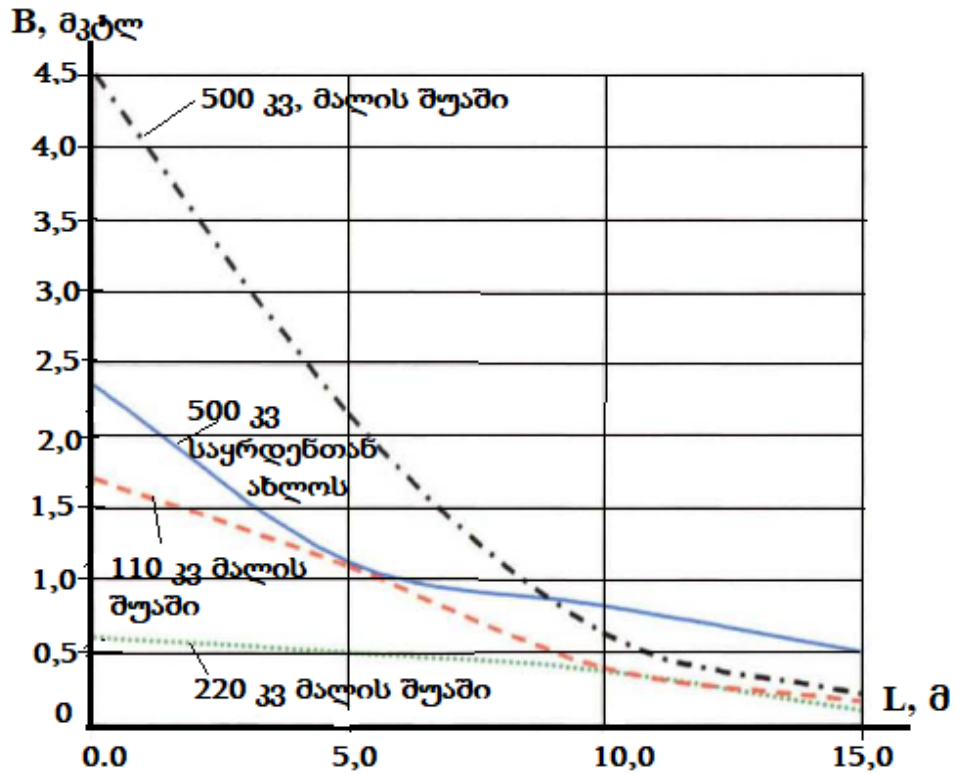
ამ საუკუნის დასაწყისისათვის მიაჩნდათ, რომ ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენას ახდენდა მხოლოდ ელექტრული ველი და შემუშავებული იყო ელექტრული ველის დაძაბულობის ნორმატიული დოკუმენტები, მაგრამ აღმოჩნდა, რომ ელექტრულ ველზე უფრო საშიში აღმოჩნდა მაგნიტური ველი. თუ ელექტრული ველის დაძაბულობის სიდიდე დამოკიდებული იყო მხოლოდ ხაზის ძაბვაზე, და მხედველობასი

არ მიიღებოდა ხაზში გამავალი დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის მაგნიტური ველის დაძაბულობა.

ცხრილი 1.5. გაზომვის შედეგები მაღალი ძაბვის ქვესადგურებსა და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზზე, კვ/მ.

ღია გამანაწილებელ მოწყობილობაში გაზომვის ადგილი	ქვესადგურის კლასი		
	220	330	500
მაღალი ძაბვის ამომრთველოდან 1,5 მ	3,1	7,0	24,2
განმამხოლოებლის ქვეშ	7,2	10,1	25,3
დენის ტრანსფორმატორიდან 1,5 მ	4,1	12,2	22,0
1 მ განმმუხტველიდან 1 მ	4,2	5,1	24,1
მართვის კარადიდან 0,5 მ	3,05	10,2	21,2
გზებზე	2,0	4,1	20,3
ძალური კაბელის არხის თავზე	3,1	6,2	23,2
ძაბვის ტრანსფორმატორიდან 1 მ-ზე	6,1	8,0	20,0
საჰაერო ხაზზე გაზომვის ადგილები			
კიდურა ფაზის ქვეშ მალის შუაში კიდურა ფაზის ქვეშ	4,1	6,2	14,2
1მ დაშორებაზე საჰაერო ხაზის საყრდენიდან	0,6	1,05	2,02
კიდურა სადენის დონეზე საყრდენზე	25,3	30,2	40,3
საყრდენის შუაში	6,2	10,1	15,2

მაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთე-ლობაზე გავლენის შესახებ ჯერ კიდევ გაცხადებული იყო 1996 წელს შვეციაში. რის შემდეგაც დაიწყო კვლევითი სამუშაოები ელექტროუსაფრთხოების ეროვნული საბჭოს მიერ, რომლის შედეგები [28] წარმოდგენილია ნახ.1.4-ზე და ცხრილი 1,6-ში.



ნახ.1.4. კიდურა ხაზის პროექციიდან დაშორებაზე საჰაერო ხაზის მიერ შექმნილი სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის განაწილების გრაფიკი

ცხრილი 1.6. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობები სხვადასხვა ძაბვის კლასის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების შემთხვევაში [25].

საჰაერო ხაზის ძაბვის კლასი, კვ	მაგნიტური ველის დაძაბულობა, ა/მ	მაგნიტური ველის დაძაბულობა, მკტლ
6,0-35,0	0,10-2,0	0,1250-2,50
110,0	0,10-5,0	0,1250-6,250
22,0	1,0-10,0	1,250-12,50

ნაშრომის [25] მონაცემების მიხედვით ელექტრული და მაგნიტური

ველის დაძაბულობების მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრილი 1.7-ში ადამიანის ჯანმრთელობაზე მაგნიტური ველის დაძაბულობის გავლენა გასული საუკუნის 90-იან წლებამდე გამოუკვლეველი იყო და ყოფილ საბჭოთა კავშირში მხოლოს 2008 წელს იქნა მიღებული პირველი ნორმატიული დოკუმენტი [13], რომლის მიხედვითაც დადგენილი იქნა მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომელიც ტერიტორიისა და ზემოქმედების ტიპის მიხედვით მოცემულია ცხრილი 1.8 -ში .

ცხრილი 1.7. ელექტრომაგნიტური ველის მახასიათებლები 330 და 500 კვ ძაბვის შემთხვევაში

საჭაერო ხაზზე გაზომვის ადგილი	330 კვ		500 კვ	
	E, კვ/მ	H, ა/მ	E, კვ/მ	H, ა/მ
მალის შუაში კიდურა ფაზის ქვეშ	6,1	21,1	14,2	23,2
1 მ-ის დაშორებით საყრდენიდან	1,05	9,2	2,1	11,2
კიდურა სადენის დონეზე საჭაერო ხაზის საყრდენზე	30,3	125,4	40,2	145,3
მალის შუაში	10,1	100,2	1,0	50,0

ელექტროგადამცემი ხაზის სიახლოვეს მცხოვრები მოსახლეობის მასიური ეპიდემიოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე ამერიკელი და შვედი მეცნიერები, რომლებმაც დაადგინეს, რომ ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მაგნიტური ველის უსაფრთხო დასხივების სიდიდეთ მიღებულია იქნა 0,2-0,3 მკტლ [29].

ცხრილი 1.8. სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური ნორმატივების მოთხოვნის მოხედვით მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები

# რიგზე	ტერიტორია და ზემოქმედების ტიპი	სამრეწვ. სიხსირის 50 ჰც სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობა, მკტლ (ა/მ)
1	ზოგადსაგანმანათლებლო და სამედიცინო დაწესებულებებში, საცხოვრებელ შენობებში, საბავშვო, სკოლამდელ, სასკოლო დაწესებულებებში	5,0(4,0)
2	საზოგადოებრივ და ადმინისტრაციულ შენობებში, ,საცხოვრებელი სახლების არასაცხოვრებელ სათავსოებში, დასახლებულ ტერიტორიებზე	10,0(8,0)
3	საცხოვრებელი შენობების ზონის გარეთ, დასახლებულ ადგილებში, მათ რიცხვში 1 კვ-ზე მაღალი ძაბვის საჰაერო და საკაბელო ხაზების ზონაში;	20,0(16,0)
4	ადამიანის ეპიზოდური ყოფნის ადგილებში, დაუსახლებელ და ძნელად მისაღწევ ადგილებში	100,0 (80,0)

ცხრილი 1.8-ს მონაცემებიდან ჩანს, რომ რუსეთში მიღებული ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით დადგენილი 50 ჰც სიხსირის მაგნიტური ველის ზღვრულად დასაშვები დონის სიდიდე (5 მკტლ) 25-ჯერ და და მეტჯერ აღემატება ამერიკელი და შვედი შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებულ დონეს, რომელიც არ იწვევს ონკოლოგიურ დაავადებებს.

საბოლოოდ ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაცია ჩატარებული კვლევების შედეგების ანალიზის საფუძველზე მივიდა დასკვნამდე, რომ ელექტრომაგნიტური ველების დამაბულობების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე არასაკმარისადაა გამოკვლეული და დაბალი სიხშირის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ხანგრძლივი ზემოქმედების

ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების შესახებ ჩამოაყალიბა რეკომენდაციები, რომ საჭიროა კვლევების გაგრძელება და ახალი ნაგებობების დაპროექტების დროს ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების დონის ხერხების შემუსავება. [30].

ამგვარად, მკვლევარების მიერ მიღებული ვერ იქნა ელექტრომაგნიტური ველების დამაბულობების განაწილების სრული სურათი მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს. ღია გამანაწილებელი მოწყობილობის ტერიტორიასა და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ქვეშ ელექტრომაგნიტური ველის განაწილების შესახებ სრული და ნამდვილი მონაცემების მისაღებად საჭიროა თანამედროვე ნორმატიული დოკუმენტების [1,10] მოთხოვნის შესაბამისად მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს დამუშავებული იქნას სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობის განაწილების კვლევის მეთოდიკა.

საბოლოოდ ვასკვნიტ, რომ მიუხედავად დიდი რაოდენობით ჩატარებული სამეცნიერო კვლევებისა სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის საკითხი ბოლომდე შესწავლილი არ არის. აქედან გამომდინარე პრობლემა მეტად აქტუალურია და ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობაზე ნეგატიური გავლენის გამოკვლევების მიზნით საჭიროა კვლევების გაგრძელება არა მარტო ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენისდ ზონებში არამედ ქვესადგურების დახურულ და ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში.

1.3. სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის პერსონალზე გავლენის თანამედროვე წარმოდგენა

ამჟამად სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველების ადამიანის ორგანიზმზე ნეგატიური გავლენის პრობლემების შესწავლით

დაკავებულია სხვადასხვა საერთაშორისო ორგანიზაციები, ისეთები როგორცაა: ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაცია (WHO), საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისია (IEC), რადიაციული დაცვის საერთაშორისო ასოციაცია (IRPA/INIRC), არაიონიზებული გამოსხივებისაგან დაცვის საერთაშორისო კომისია (ICNIRP), ელექტროტექნიკის დარგში ნორმირების შესახებ ევროპული კომიტეტი (CENELEC), ევროკავშირის კომისია (CEU) და მთელი რიგი სხვა ორგანიზაციები.

ადამიანზე, რომელიც იმოფება მოქმედი მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის მხრიდან შეიძლება აღმოჩნდეს ამ ველის არასასურველი გავლენა, ნაპერწკლური განმუხტვები, რომლებიც აღიძვრებიან დედამიწიდან იზოლირებული ადამიანის ჩამიწებულ კონსტრუქციებთან შეხების დროს და ცვლად, რომელიც მუდმივად გადის ადამიანის სხეულში, რომელიც სამრეწველო სიხშირის ცვლადი ძაბვის მოქმედების შედეგად აღიძვრება სისტემაში „დენგამტარი ნაწილი–ჰაერი–ადამიანი– მიწა“. იმასთან დაკავშირებით, რომ ადამიანის სხეულს გააჩნია კუნთოვანი ქსოვილი და შინაგანი ორგანოები, რომლებშიც ცირკულირებენ სისხლი ლიმფით, გვაქვს საფუძველი იმისა, რომ ადამიანის სხეული ჩავთვალოთ კარგ გამტარად [31]. ნაშრომში [32]–ში მოყვანილია, რომ არ არსებობს საფუძველი იმისა ვივარაუდოთ, რომ სამრეწველო სიხშირის ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურების ისეთი დონის ელექტრული ველი პირდაპირ ბიოლოგიურ ზემოქმედებას ახდენას ადამიანის ორგანიზმზე. მაგრამ ამასთანავე გვაქვს ზემოქმედებები, რომლებიც იქმნებიან ხანგრძლივად მოქმედი ცვლადი დენებით ინდუქცირებული და განსაკუთრებით მცირე სიმძლავრის ინდუქცირებული დენის იმპულსებით.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის ბიოლოგიურ ობიექტებზე ზემოქმედებასთან დაკავშირებული პუბლიკაციები გამოცნდნენ ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60–იან წლებში. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ პუბლიკაციების დიდი ნაწილი ეძღვნებოდა სამრეწველო სიხშირის

ელექტრული ველის ზემოქმედებას ცხოველებზე და მხოლოდ მცირე ნაწილი ეძღვნებოდა ადამიანის ორგანიზმზე ნეგატიურ გავლენას.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში ძირითადი სამუშაოები ტარდებოდა ლენინგრადის შრომის დაცვისა და შრომის ჰიგიენისა და პროფდაავადების, პოლიტექნიკურ ინსტიტუტებში, კიევის ზოგადი და კომუნალური ჰიგიენის სამეცნიერო კვლევით და სამედიცინო ინსტიტუტებში, მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტში.

ადამიანის ორგანიზმზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის ნეგატიური გავლენის შესახებ კვლევების დასაწყისად შეიძლება მივიჩნიოთ 1953 წელი, როდესაც გამოჩნდა პირველი სიგნალები იმ ადამიანების გუნება-განწყობილების გაუარესების შესახებ, რომლებიც მუშაობდნენ 220 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზზე.

ნაშრომში [33] წარმოდგენილია ადამიანის ორგანიზმზე რთული მოძრავი სტერეოტიპისა და ავტომატიზირებული სამუშაოების შესრულებისას სხვადასხვა ძაბვის ელექტრული ველის ზემოქმედების კვლევის შედეგები. გამოკვლევებში მონაწილეობდა პრაქტიკულად ჯანმრთელი ადამიანების ოთხი ჯგუფი 23–25 წლის ასაკში. 1 ჯგუფი (4 ადამიანი) იყო საკონტროლო, ჯგუფი 2 (7 ადამიანი) ექვემდებარებოდნენ 10 კვ/მ დაძაბულობის ელექტრული ველის ზემოქმედებას, ჯგუფი 3 (8 ადამიანი) – 16 კვ/მ, ჯგუფი 4 (4 ადამიანი 32 და 64 კვ/მ. დასკვნები, რომელთანაც მივიდნენ მედიკოსები ნაჩვენებია ცხრილი 1.9–ში.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ 16,32 და 64 კვ/მ დაძაბულობის ელექტრული ველის მოქმედებისას ორგანიზმში ცვლილება ატარებს ფუნქციონალურ ხასიათს, ველის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ხდება ორგანიზმის ფუნქციის სრული სწრაფი აღდგენა.

ნაშრომში [34] აღწერილმა ლაბორატორიულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ სამრეწველო სიხშირის მაღალი ძაბვის დანადგარების ელექტრული ველი ადამიანის პირობით რეფლექსურ და ვეგეტაციურ ფუნქციებში იწვევს მთელ რიგ ძვრებს, მაგრამ ეს დარღვევები შექცევადია.

ცხრილი 1.9. სამედიცინო კვლევის შედეგები.

E, კვ/მ	ადამიანის სხეულში გამავალი დენის სიდიდე, მკა	ექსპოზიციის დრო, წთ.	ადამიანის ორგანიზმზე მოქმედება
1	2	3	4
10	50	ნაჩვენები არ არის	არ ახდენს გავლენას
16	80	90	არ ახდენს გავლენას
16	80	120	მცირდება მუშაობის სიზუსტე, მოძრაობა ხდენს ნელი, ეკონომიური და ამის შედეგად იზრდება დატვირთვა გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე
32	160	20	არასასურველ გავლენას ახდენს ადამიანზე, რომელიც ასრულებს ავტომატიზირებულ სამუშაოს. უარესდება გუნება-განწყობილება, მცირდება სამუშაოს სიზუსტე, ვლინდება სისხლის არასპეციფიკური ცვლილება
64	320	20	იგივე მოქმედება, რაც 16 კვ/მ

სანკტ-ბერტერბურგის შრომის ჰიგიენისა და პროფდაავადების ინსტიტუტის მიერ ჩატარებული იქნა იმ პერსონალის საწარმოო სამედიცინო გამოკვლევები, რომლებიც ემსახურებოდნენ 220, 330 და 500 კვ ძაბვის ელექტროდანადგარებს. მთლიანად გამოკვლეული იქნა 220 კვ ძაბვის 6 ქვესადგურის 40 წლამდე ასაკის 3 წელზე მეტი ხნის სტაჟით სარემონტო და ოპერატიული პერსონალი ულ 385 ადამიანი. ამ გამოკვლევების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ მუშაკებზე შეინიშნებოდა ნერვული სისტემის ფუნქციონალური დარღვევები გამოხატული ვეგეტაციური დისფუნქციის ფორმით და იშვიათად ნევროსტენიკური სინდრომის სახით. ამასთანავე ეს დარღვევები ხდება უფრო გამოკვეთილი, რაც უფრო მაღალია ელექტრული ველის დამაბულობა. შეინიშნებოდა ცვლილებები სისხლის პერიფერიულ შემადგენლობაში (ერიტროციტების, ჰემოგლობინის, ლეიკოციტების რაოდენობა,). 330 კვ ძაბვის ქვესადგურის

პერსონალის (30 ადამიანი) და 500 კვ ძაბვის პერსონალის (20 ადამიანი) განმეორებითმა გამოკვლევებმა, რომელიც ჩატარებული იქნა 5 წლის შემდეგ აჩვენა, რომ 330 კვ ძაბვის პერსონალს არ ჰქონდა ორგანიზმში დარღვევების, სიხშირე, ხასიათი და ინტენსიურობა არ შეინიშნებოდა, არ იყო პროგრესირების ტენდენცია, ხოლო 500 კვ ძაბვის ქვესადგურის პერსონალში ორჯერ გაიზარდა ჩივილების რაოდენობა და მნიშვნელოვნად გაიზარდა ინტენსიურობა. შრომის დაცვის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის სპეციალისტების მიერ ჩატარებული ფიზიოლოგიური კვლევები საშუალებას იძლევიან შეფასებული იქნეს ნერვული სისტემის, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის, მხედველობითი ანალიზატორის, ხელის ნერვულ-კუნთოვანი აპარატის ყურადღების განაწილების მდგომარეობა და დადგენილი იქნა, რომ 500 კვ ძაბვის ქვესადგურის მომსახურე პერსონალი უფრო ადრე იღლება, ვიდრე 330 კვ ძაბვის ქვესადგურის მომსახურე პერსონალი.

ზოგადი და კომუნალური ჰიგიენის კიევის სამეცნიერო – კვლევით ინსტიტუტში შერჩეული იქნა 34 მოხალისე (17 მამაკაცი და 17 ქალი) 23–47 წლის ასაკის , რომლებიც დაყოფილი იქნა 3 ჯგუფად [35]. დაკვირვებები ტარდებოდა ბუნებრივ პირობებში ანუ უშუალოდ მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის გავლის ადგილებსი. პირველ ჯგუფში მონაწილე პირები (5 მამაკაცი და 5 ქალი) 30 დღის განმავლობაში (გარდა დასვენების დღეებისა) ყოველდღიურად 2 საათის განმავლობაში იმყოფებოდნენ 330 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის მიერ შექმნილი სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის ზემოქმედების ქვეშ, რომლის დამაბულობა დედამიწის ზედაპირიდან 1,7 მ სიმაღლეზე შეადგენდა 5 კვ/მ-ს. მეორე და მესამე ჯგუფის მოხალისეები (თითოეულში 6 მამაკაცი და 6 ქალი) 6 დღის განმავლობაში ყოველდღიურად იმყოფებოდნენ 750 კვ სამრეწველო სიხშირის ელექტროგადაცემის ხაზის მიერ შექმნილ ელექტრულ ველში სამჯერ პერიოდებს შორის 30 წუთიანი შესვენებებით. მეორე ჯგუფი ექვემდებარებოდა 12 კვ/მ დამაბულობის ზემოქმედებას, ხოლო მესამე –15–

16 კვ/მ . დაკვირვების დაწყების წინ ყველა მოხალისე გადიოდა დაწვრილებით სამედიცინო დათვალიერებას ფონური მაჩვენებლის (ფაქტორის ზემოქმედებამდე) სამჯერადი მოხსნით.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ორგანიზმის ფუნქციონალურ მდგომარეობაზე გავლენის მსჯელობისათვის შესწავლილი იქნა შემდეგი მაჩვენებლები: ნერვული სისტემის ფუნქციონალური მდგომარეობა (ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში ნერვული პროცესების მოძრაობა ოპერატიული მახსოვრობის მოცულობისა და ყურადღების კონცენტრაციის მიმართ უნარიანობის გამოკვლევის გზით; თავის ტვინის ქერქის ბიოლოგიური აქტივობის დონე ელექტროენცელოგრაფიის გზით; ვეგეტატიური სფეროს (სხეულის ტემპერატურა და კანის საფარის ტემპერატურის ტოპოგრაფია) მდგომარეობა; მუშაუნარიანობის მაჩვენებლები (ცვლილებები კუნთის ძალების ცვლილებაში და კუნთების მუშაუნარიანობის მაჩვენებლები); ელექტროკარდიოლოგიური მონაცემები; მიმოცვლის პროცესების ზოგიერთი მაჩვენებლები (გლუკოზის, შარდის, ნარჩენი აზოტის, ქოლესტერინის აქტივობა, სისხლის შრატის); ასევე არასპეციფიური უმუნიტეტი.

კვლევების მსვლელობისას დადგენილი იქნა, რომ სისტემატური ხანმოკლე (2 სთ/დღეღამეში) სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის მაქსიმალურად ბიოლოგიურად არაზემოქმედი დამაბულობა შეადგენს 5 კვ/მ. ხანმოკლე ეპიზოდური ზემოქმედების დროს (5–7 დღის განმავლობაში დღეში 3–ჯერ არაუმეტეს 30 წთ დასხივებისას) მინიმალური ბიოლოგიურად აქტიურია 15 კვ/მ, ხოლო მაქსიმალურად უმოქმედოა 12 კვ/მ.

ლეიკემიის წარმოქმნის რისკი იმ პირებისათვის, რომლებიც ცხოვრობენ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ახლოს მკვლევარების ერთი ჯგუფისათვის [36] არსებობს ხოლო მეორე ჯგუფისათვის [37] არ არსებობს. ნაშრომი [38], წარმოდგენილია მოსახლეობის სიკვდილიანობის კვლევები, რომლებიც ცხოვრობენ 500 კვ ქვესადგურის ახლოს. კვლევები

განხორციელებული იქნა რეპროსპექტული კოჰორტული მეთოდით. კოჰორტის შემადგენლობასი შეშული იყო 6992 ადამიანი. კონტროლისათვის გამოყენებული იქნა მოსახლეობის სიკვდილიანობა 34 წლის განმავლობაში. ამ კვლევების მონაცემების მიხედვით დადგენილი ვერ იქნა სიკვდილიანობის მაჩვენებლების გაზრდა იმ მოსახლეობაში, რომლებიც ცხოვრობდნენ 500 კვ ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის ახლოს.

400 და 500 კვ ქვესადგურების პერსონალის (გამოკვლეული იქნა 54 ადამიანი: 29–ოპერატიული პერსონალი და 25 სარემონტო პერსონალი) სამედიცინო გამოკვლევების დროს [40] ნაშრომის მონაცემების მიხედვით დადგენილი იქნა ველის მოქმედების ისეთი ეფექტები, როგორცაა მომატებული დაღლილობა, მომატებული პულსი და სისხლის არტერიული წნევა. ფიზიოლოგიურმა გამოკვლევებმა გამოავლინა თერმორეგულირებადი პროცესების შესუსტება, ელექტრული დენის მოქმედების მიმართ რეზისტენტულობისა და ხელის ნერვულ–კუნთოვანი აპარატის ფუნქციონალური მოძრაობის შემცირება, თავის ტვინის ქერქში ნეიროდანამიური პროცესების შესუსტება. ასევე დადგენილია, რომ ორგანიზმში ფუნქციონალური ცვლილების სიღრმე პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებასია ელექტრული ველის ზემოქმედების პირობებში მუშაობის ხანგრძლივობასთან, ანუ ხდება ველით გამოწვეული ცვლილებების კუმულაცია.

ნაშრომში [39] 500 კვ ძაბვის ქვესადგურის სარემონტო პერსონალს აღენიშნება სხეულის ტემპერატურის ნორმალური მდგომარეობიდან გადახრა. შემთხვევების 58%-ში $36,3-36,9^{\circ}\text{C}$ -დან სამუშაო დღის ბოლოს ტემპერატურამ აიწია 37°C -მდე, 21,5 %-ის შემთხვევაში $-37,4^{\circ}\text{C}$, ხოლო 15,5 %-ია შემთხვევაში ტემპერატურა შემცირდა $36,4^{\circ}\text{C}$ -მდე. ზოგიერთ მუშას აღენიშნებოდა კანის ტემპერატურის ასიმეტრია 1°C -ზე მეტად. გამოკვლეული მუშაკების საშუალო ასაკი იყო 30–35 წელი.

ნაშრომში [40] შეფასებულია 500 კვ ძაბვის მომსახურე პერსონალის სიკვდილიანობა. გამოკვლევის მსვლელობისას გაანალიზებული იქნა

დოკუმენტები 40 წლის მანძილზე. შერჩეული იქნა 1500 ადამიანზე მეტი, რომლებიც ცხოვრობდნენ რუსეთის ოთხ ცენტრალურ ოლქში. მასში შევიდნენ როგორც 500 კვ ძაბვის ენერგობიექტების მომსახურე პერსონალი, ასევე სხვა საწარმოებში დასაქმებული ადამიანები. კვლევის საფუძველზე გაკეთებული იქნა დასკვნა, რომ 500 კვ ძაბვის ობიექტების მომსახურე პერსონალში ლეიკემიით გარდაცვლილთა რაოდენობა ორჯერ უფრო მეტია, ვიდრე საშუალოდ იმ ოლქში სადაც ტარდებოდა გამოკვლევები.

ნაშრომიდან [41] გამომდინარე სხვა თანამედროვე პრობლემა, რომელიც სრულიად უცნობი იყო 15 წლის წინ, არის, როგორც ელექტროინდუსტრიაში დასაქმებული მუშაკების, ასევე მთელი რიგი ქვეყნების მთლიან მოსახლეობაში ფართოდ გავრცელებული თავისებური ფსიქოპათიური აშლილობა, რომელიც განსაზღვრულია, როგორც „მომატებული ელექტრომგრძნობიარობის სინდრომი“ და ჰპოვა ფართო გავრცელება. ამ პათიოლოგიის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სხვადასხვა ელექტრომწიფობილობებთან მუშაობის პროცესში მთელ რიგ პირებს აღიძვრებათ თავის ტკივილები, სისუსტე, ყურადღების გაფანტვ ასევე კანის მგრძნობიარობის მთელი რიგი უჩვეულო დარღვევები. ამ დროს პაციენტები ხშირად იძულებულნი არიან მიმართონ ექიმს , რადგან თვლიან, რომ ეს სიმპტომები ელექტრომაგნიტური ველის მიმართ მომატებული მგრძნობიარობის შედეგია და ხშირად მუშაობის შემდეგი გაგრძელების მიმართ უუნარონი არიან. გარდა ამისა გამოიყიფა ალერგიულ ადამიანთა ჯგუფი, რომელთაც შეიძლება ელექტრული ველის ზემოქმედების მიმართ განუვითარდეთ ჰიპერმგრძნობიარობა. ასეთმა ავადმყოფებმა შეიძლება დაკარგონ ცნობიერება საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის გავლის ქვეშ. ამჟამად მრავალი მკვლევარი თვლის, რომ „მომატებული ჰიპერმგრძნობიარობის“ სინდრომი ფსიქოკომატოზურ რეაქციას თანამედროვე საზოგადოებაში ფართოდ გავრცელებულ შიმშებზე, რომლებიც

დაკავშირებულია ცნობებთან ელექტრომაგნიტური ველის ნეგატიური ზემოქმედების გავლენის შესახებ.

ერთერთი ცნობილი სპეციალისტის ი.გრიგორიევის აზრით, რომელიც „თეზისი იმაზე, რომ მოსახლეობა და ბიოსისტემები არ ექვემდებარებიან ელექტრომაგნიტური ველის გარე წყაროებისაგან საფრთხეს, თუ დონე ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ დონეზე, სწორი არ არის, რადგანაც მოსახლეობისათვის ელექტრომაგნიტური ველის საფრთხის ხარისხი ჯერ კიდევ განსაზღვრული არ არის და ეს პრობლემა მოითხოვს ფართო კვლევით სამუშაოებს“.

ელექტრომაგნიტური ველის ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის კვლევის საქმეში პიონერი W.Adey –ს მოჰყავს მონაცემები [42,43] მასზედ, რომ სხვადასხვა ქსოვილის უჯრედები პროვოცირებენ ძალიან მცირე ელექტრულ სიგნალებს, რომელთა დახმარებით ხორციელდება უჯრედებს შორის ურთიერთქმედება და პირობითი რეფლექსის გამომუშავება ადამიანს შეუძლია 0,0001 დ/მ ინტენსივობის ელექტრომაგნიტური ველის დროსაც [44].

შრომებში [45, 46] საუბარია იმაზე, რომ თანამედროვე სამეცნიერო წარმოდგენით სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველი მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობით, რომელიც აღემატება 0,3–0,4 მკტლ–ს ხანგრძლივი ზემოქმედების პირობებში შესაძლებელია გარემოსათვის წარმოადგენდეს კარცეროგენურ ფაქტორს.

კიდევ ერთი პრობლემა იმ პირებისათვის, რომელთაც აქვთ კონტაქტი სამრეწველო სიხშირის მაგნიტურ ველთან მდგომარეობს ნეიროდეგენერაციული ავადმყოფობისა და ნეიროლოგიური აშლილობის განვითარების შესაძლებლობასთან [47].

ამგვარად, დღეისათვის დადგენილია, რომ ადამიანის ორგანიზმის ყველაზე უფრო მგრძობიარე სისტემები, რომლებიც რეაგირებას ახდენენ სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის ბიოლოგიურ

მოქმედებაზე არიან; ნერვული, იმუნური, ენდოკრინოლოგიური და სასქესო სისტემები.

1.4. მოკლე ცნობები ადამიანის ორგანიზმში სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან პროცესებზე ელექტრომაგნიტური ველების გავლენის მედიკო-ბიოლოგიური გამოკვლევების შესახებ

მაღალი ძაბვის დანადგარების სიახლოვეს მცხოვრები მოსახლეობისა და მაღალი ძაბვის დანადგარების უშუალო სიახლოვეს მომსახურე საექსპლუატაციო პერსონალის ჯანმრთელობის პოტენციური საფრთხე არის თემა, რომელიც პერიოდულად იხილება ინფორმაციის მასობრივ საშუალებებში. მსოფლიო მასშტაბით ტარდებოდა და ტარდება საკმაო რაოდენობის გამოკვლევები სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების გავლენის შესახებ საექსპლუატაციო პერსონალისა და მაღალი ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობებისა და საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ხანგრძლივად მყოფი მოსახლეობის ონკოლოგიური დაავადებების რისკის ამღლების შესახებ [48-53]. ერთიანი აზრი მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრული მნიშვნელობისა და ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების შედეგად ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენების შესახებ არ არსებობს. უფრო მეტიც ზღვრული ძაბვების მოყვანილი მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან არსებითად განსხვავდებიან.

ნაშრომში [48] წარმოდგენილია სხვადასხვა ბიოლოგიური კვლევების შედეგები. ლ. ბერკლეს ლაბორატორიაში ჩატარებული კვლევების თანახმად, უკვე 1ა/მ მაგნიტური ველის დამაბულობის ზემოქმედების დროსაც ადამიანის ჯანმრთელობა ექვემდებარება რისკს. ზოგიერთი ალტერნატიული გამოკვლევების თანახმად 1 კა/მ დამაბულობის მაგნიტური ველიც კი არ იწვებს არსებით ცვლილებებს როგორც ადამიანის ქსოვილის ქიმიურ შედგენილობაში,[49] ასევე

ორგანიზმში ნივთიერებათა მიმოცვლასა და გამომუშავებაში. ლაპარაკობენ იმის შესახებ, რომ მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც გავლენას არ ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე შეადგენს 5 ა/მ.

ევროპაში მოქმედი ნორმატივების თანახმად, რომელიც რუსეთში მიღებული იქნა 2003 წელს სანიტარული წესებისა და ნორმატივების სახით. მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა მთელი სამუშაო დღის განმავლობასი ძემოქმედების დროს შეადგენს 80 ა/მ-ს. ამავე ნორმატიული დოკუმენტის თანახმად ელექტროსტატიკური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში ზემოქმედების დროს შეადგენს 5 კვ/მ-ს, ხოლო ზემოქმედების დროს შეუზღუდავად 1 კვ/მ-ს. ამასთანავე, ელექტრომაგნიტური ველისაგან განსხვავებით ელექტროსტატიკური ველის ადამიანის ორგანიზმზე ზემოქმედების მექანიზმი უფრო სრულად არის შესწავლილი და ნორმატივებიც სრულიად დასაბუთებულია. ამასთან დაკავშირებით წინა წლებში მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს, სახელდობრ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების, ძირითადი ყურადღება ექცეოდა ელექტრული (ელექტროსტატიკური) ველის ანალიზს. მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა ამ დროს ითვლებოდა ნორმირებულზე არსებითად მცირე და პროექტირების დროს არ ითვალისწინებდნენ.

გარდა ამისა მასზედ, რომ მაგნიტური ველის დამაბულობის ნორმატივები ძალიან ამაღლებულია ამბობს ტენდენცია მაგნიტური ველის დასაშვები დამაბულობის თანდათანობით შემცირების ტენდენცია. ასე მაგალითად, 2003 წლამდე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ზემოქმედება რეგულირდებოდა სანიტარული ნორმებით [9], რომლის თანახმად 50 ჰც სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის საერთო ზემოქმედება დასაშვები იყო 3200 ა/მ მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში. ამჟამად ეს ნორმატივი შემცირებულია 80 ა/მ-მდე. გარდა ამისა [50]-ის

თანახმად სამრეწველო ზონის გარეთ მავნე ფაქტორების ზემოქმედების შესახებ დასაშვები ნორმატივები შემცირებული უნდა იქნეს ამ ზონის შიგნით დასაშვები ნორმატივებიდან 10 %-მდე.

ამჟამად ადამიანის ორგანიზმზე მაგნიტური ველის ზემოქმედების მექანიზმად მიჩნეულია ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული გრიგალური დენები. ინდუქციური დენების სიმკვრივის მნიშვნელობა ადამიანის სხეულში დამოკიდებულია შემდეგ პარამეტრებზე: მაგნიტური ველის სიხსირეზე, ორგანოებისა და ქსოვილების გამტარობაზე, მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებაზე. გამომდინარე აქედან მრავალიმა ავტორმა შექმნა ადამიანის სხეულის, მისი ქსოვილებისა და ორგანოების და სხვა სხვადასხვა მოდელი.

ლიტერატურაში [51] მოყვანილია ადამიანის სხეულში ინდუქციური დენებისა და გამოყოფილი ენერჯის გაანგარიშებები ისეთი მაგნიტური ველების ზემოქმედების დროს, რომლის ინდუქცია მოდულით ტოლია საჰაერო ხაზის ქვეშ რემონტის დროს მომუშავე პერსონალზე მოქმედი მაგნიტური ინდუქციისა. ადამიანის სხეული მოდელირებული იყო სფეროს სახით გულის კუნთისა და ტვინის გამტარობების ტოლი გამტარობებით. განიხილებოდა მაგნიტური ველის ზემოქმედება ერთი მიმართულებით. ავტორები კონსტანტირებენ, რომ ინდუქციური დენები და გამოყოფილი ენერჯია ანგარიშის შემთხვევებში არსებითად დამოკიდებულნი არიან იმაზე, თუ რომელ ორგანოზე მოქმედებს მაგნიტური მაგნიტური ველი.

ნაშრომში [52] წარმოდგენილია მსგავსი კვლევის შედეგები, რომელშიც რიცხობრივად და ექსპერიმენტალურად განსაზღვრული იყო ისეთ გარემოში, რომელიც მსგავსი იყო ადამიანის ქსოვილის გამტარობისა. გაზომვები და გაანგარიშებები ტარდებოდა ადამიანის სხეულის ცილინდრულ მოდელზე.

ნაშრომებში [53]-ში მოყვანილი კვლევების ძირითად ხარვეზებს წარმოადგენს ისეთი მოდელის არ არსებობა, რომელიც თავისი ფორმით მსგავსი იყოს ადამიანის სხეულისა და ამ მაგნიტური ველის დამაბულობის

ძალხაზები მიმართული იყოს ვერტიკალურად. ავტორის [54] მიერ გაკეთებული იქნა მცდელობა ადამიანის სხეული წარმოედგინათ ცილინდრებისა და ელიფსოიდების განსაზღვრული რიცხვის სახით მათზე სხვადასხვა მიმართულების მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის ზემოქმედების დროს. აღსანიშნავია, რომ მოდელის ეს ნაწილები ერთმანეთთან დაკავშირებული არ არიან და ამ გაანგარიშების შედეგებს აქვთ შეფასებითი ხასიათი. ამასთანავე ამ სამუშაოში შეინიშნებოდა ინდუქცირებული დენის სიდიდის დამოკიდებულება მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულებაზე.

ნაშრომებში [54,55] წარმოდგენილ კვლევებს აქვთ ბევრი მსგავსება ზემოთ აღწერილ არსებულ ხარვეზებთან. სახელდობრ ან მოცემული მოდელების გეომეტრული პარამეტრები არ შეესაბამებოდა ადამიანის სხეულის რეალურ ფორმას, ან მოდელების ნაწილებს არ აქვთ ერთმანეთთან კავშირი. ხარვეზებს შეიძლება მივაკუთვნოთ ის გარემოება, რომ მოდელზე ზემოქმედ მაგნიტურ ველს, რომელიც აღიძვრება ქვესადგურებში ან გადაცემის ხაზებზე მუშაობის დროს აქვთ წრფივი პოლარიზებული ხასიათი.

წინამდებარე სამუშაოში ინდუქცირებული დენების სიმკვრივის გაანგარიშების მიზნით დამუშავებული იქნა ადამიანის სხეულის უფრო სრულყოფილი მოდელი. გამოკვლეული იქნა ნორმირებული სიდიდის მაგნიტური ველის ზემოქმედება ადამიანის სხეულზე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულების დროს, მათ რიცხვში ძაბვის ქვეშ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების რემონტის დროს.

1.5. ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენების გაანგარიშების

მეთოდოლოგია

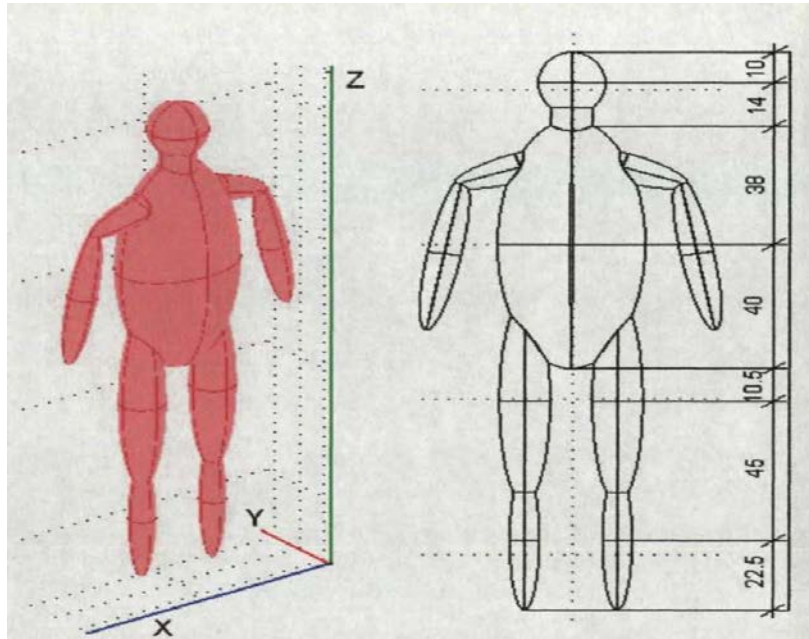
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ამჟამად სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ზემოქმედება ნორმირებულია მხოლოდ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მოდულით მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის

მიმართულების გაუთვალისწინებლად, რომლის ზღვრული ნორმირებული მნიშვნელობა ევროპაში შეადგენს 80 ა/მ. ამასთანავე, თუ სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ადამიანის სხეულზე ზემოქმედების ერთერთი ძირითადი მექანიზმი არის სხეულის შიგნით ინდუქციური დენების აღძვრა, მაშინ სხეულის მიმართ მაგნიტური ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულება განაპირობებს სხეულში ინდუქცირებული დენების სხვადასხვა მნიშვნელობას.

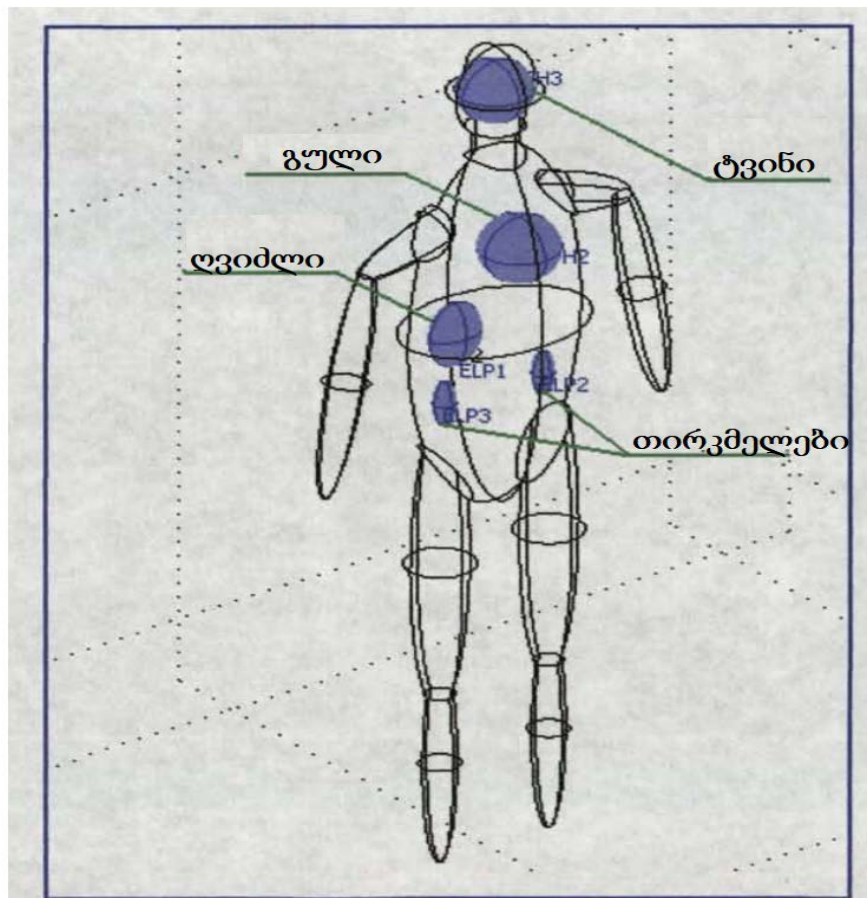
იმისათვის, რომ ვიმსჯელოთ ადამიანის სხეულში ინდუქცირებულ დენებზე მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების ზემოქმედების გავლენის ხარისხზე, წარმოიშვება ადამიანის სხეულის მოდელის დამუშავების საჭიროება. რადგანაც ადამიანის სხეულს ფიზიკური თვალსაზრისით არ აქვს სწორი გეომეტრული ფორმა, ამიტომ სხეულის გეომეტრიის ზუსტი ანალიზური აღწერა და მამასადამე ადამიანის სხეულის შიგნით ინდუქცირებული დენების ანალიზური გაანგარიშება შეუძლებელია. ამიტომ დასმული ამოცანის გადაწყვეტა წარმოებს სასრული ელემენტების რიცხვითი ვექტორული მეთოდის გამოყენებით.

რადგანაც მაგნიტური ველების ზემოქმედების დროს აადამიანის სიმაღლედ მიღებულია 180 სმ, ამიტომ სხეულის საერთო პროპორციები აღებული იქნა ადამიანის სიმაღლიდან. ადამიანის სხეულის გეომეტრული ზომები და მეთოდულაში მიღებული კოორდინატები ნაჩვენებია ნახ.1.5-ზე.

როგორც ნახ.1.5-დან ჩანს ადამიანის სხეული შედგება ცალკეული ელიფსოიდებისა და ცილინდრებისაგან. ამასთანავე სხეულის ყველა ნაწილის ნახევარ ღერძი გარდა ტორსისა X და Y კოორდინატებში ერთნაირია: თავი -8 სმ, კისერი-5 სმ, ხელის ზედა ნაწილი -4,5 სმ, ხელის ქვედა ნაწილი -3 სმ, ფეხის ზედა ნაწილი -6 სმ, ფეხის ქვედა ნაწილი -3,5 სმ, ტორსის ნახევარღერძის ზომა{ 17,5 სმ X ღერძის გასწვრივ და 12,5 სმ Y ღერძის გასწვრივ.



ნახ.1.5. ადამიანის სხეულის გეომეტრული ზომები და კოორდინატის ღერძების მიმართულებები



ნახ.1.6. ადამიანის სხეულის მოდელი სხვადასხვა ორგანოების გათვალისწინებით

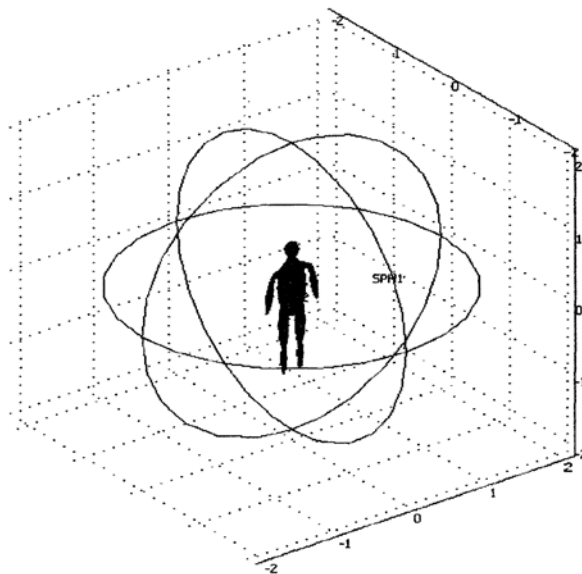
ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილის შერჩეული პროპორციების დროს დამუშავებული იქნა ორი მოდელი. პირველ მოდელში ადამიანის სხეული მოდელირდებოდა მხოლოდ საშუალო გამტარობით, რომელიც [5] ნაშრომის თანახმად შეადგენს 0,04 სი/სმ. ეს გამტარობა ახლოს არის მარილიანი წყლის გამტარობასთან. რადგანაც ადამიანის სხეული შეიცავს 80% წყალს, ამიტომ ადამიანის სხეული მოდელირება, როგორც გამტარი გარემო ასეთი გამტარობით საკმაოდ სამართლიანია.

ნახ.1.6-ზე წარმოდგენილი ადამიანის სხეულის მეორე მოდელი უფრო დეტალურია, რადგან ქსოვილის საშუალო გამტარობის გარდა მასში გათვალისწინებულია ცალკეული ორგანოს გამტარობებიც.

ცხრილი 1.10. ადამიანის ცაკლუელი ორგანოს გამტარობა.

ორგანო	ტვინი	გული	ღვიძლი	თირკმელები
გამტარობა სი/სმ	0,7	0,7	0,1	0,1

ინდუქციურებული დენების გაანგარიშება წარმოებდა მაქსველის ორი ფუნდამენტალური კანონის ელექტრომაგნიტური ინდუქციისა და სრული დენის კანონების საფუძველზე.



ნახ. 1.7. საანგარიშო არეს საზღვრები

მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ტრასაზე მაგნიტური ველის ანალიზური გაანგარიშების დროს სამართლიანია დაშვება იმისა, რომ გათვალისწინებული არ იქნეს ადამიანის სხეულის გავლენა მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობაზე. ამასთან დაკავშირებით შესაძლებელია საჰაერო ხაზის მაგნიტური ველის ზემოქმედება ადამიანის სხეულზე მოდელირებული იქნეს გაანგარიშების ანალიზური მეთოდების დახმარებით. საანგარიშო არეს საზღვრად არჩეული იქნა სფერო დიამეტრით 4 მ (ნახ.1.7), რომელიც ორჯერ და მეტად აღემატება ადამიანის სხეულის ზომებს.

1.6. ინდუქციური დენების გაანგარიშება ადამიანის სხეულში მაგნიტური ველის დამაბულობის ნორმირებული მნიშვნელობის დროს

ადამიანზე მაგნიტური ველის დამაბულობის ზემოქმედების ნორმირებულ მნიშვნელობად აღებულია 80 ა/მ. იმისათვის, რომ ვიმსჯელოთ მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის მიმართულების

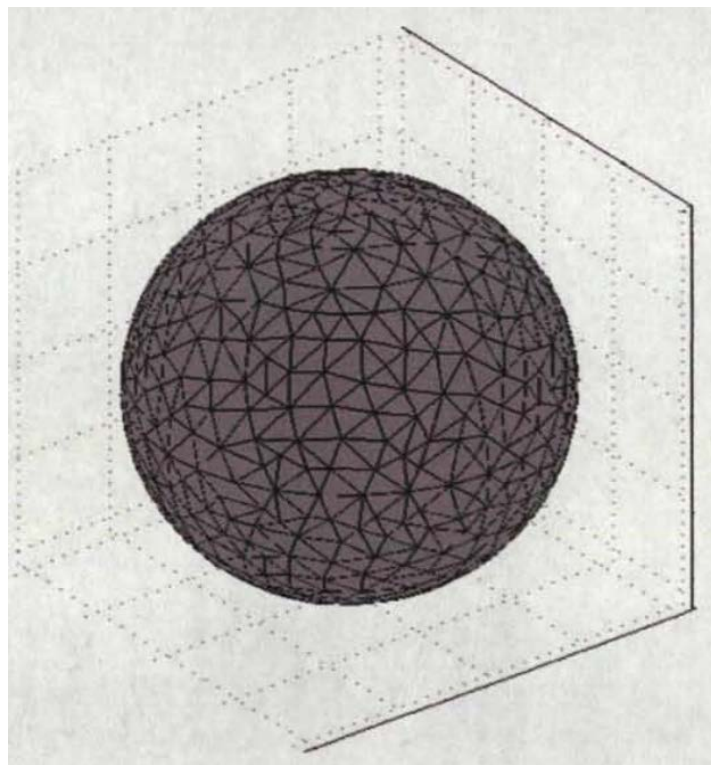
ცხრილი 1.11. მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის ზემოქმედების მიმართულებები

ზემოქმედების ვარიანტის #	მაგნიტური ველის დამაბულობა H, ა/მ მიმართულებების მიხედვით		
	X	Y	Z
1	80	0	0
2	0	0	80
3	0	80	0
4	$\frac{80}{\sqrt{2}}$	0	$\frac{80}{\sqrt{2}}$
5	$\frac{80}{\sqrt{2}}$	$\frac{80}{\sqrt{2}}$	0
6	0	$\frac{80}{\sqrt{2}}$	$\frac{80}{\sqrt{2}}$
7	$\frac{80}{\sqrt{3}}$	$\frac{80}{\sqrt{3}}$	$\frac{80}{\sqrt{3}}$

ადამიანის სხეულზე გავლენის ხარისხზე, ზემოქმედების მიმართულება ადამიანის სხეულის მიმართ იცვლებოდა დისკრეტულად 45° -იანი კუთხის ინტერვალებით.

ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების მიმართულების ზემოქმედების ყველა განხილული ვარიანტი წარმოდგენილია ცხრილი 1.11-ში.

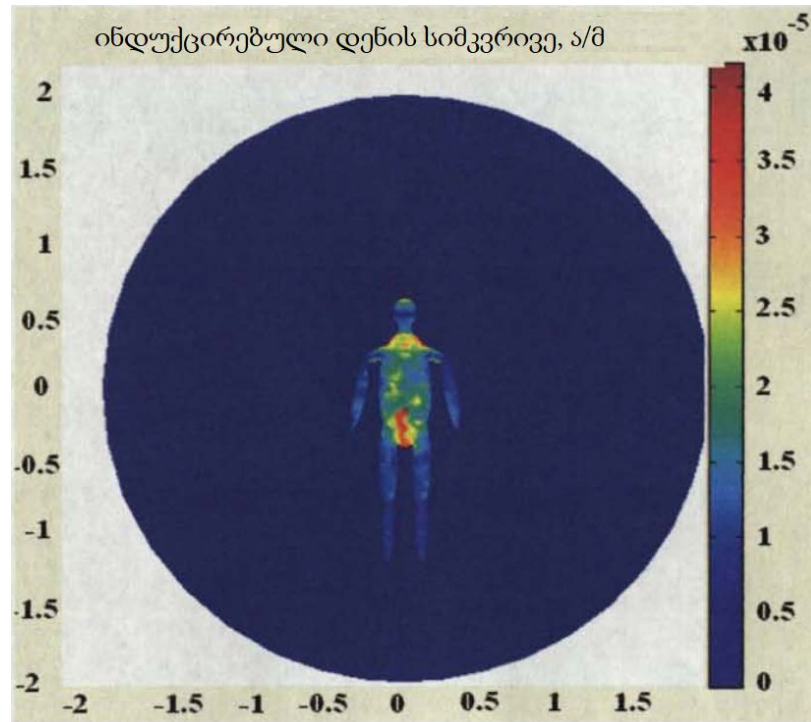
მაგნიტური ველების რიცხვითი გაანგარიშების დროს საანგარიშო არეს შიგნით უწყვეტი სივრცე იყოფა ტეტრაედრების სასრულ რიცხვად. ამასთანავე ტეტრაედრის უმცირესი ზომა მოიცემა ადამიანის სხეულის მოდელის სიგნით, ანუ ცვენთვის საინტერესო არეში. მთელი საანგარიშო სივრცის სასრულ ელემენტებად დაყოფის ბადე მოცემულია ნახ.1.8-ზე.



ნახ.1.8. საანგარიშო არეს სასრულ ელემენტებად დაყოფის ბადე

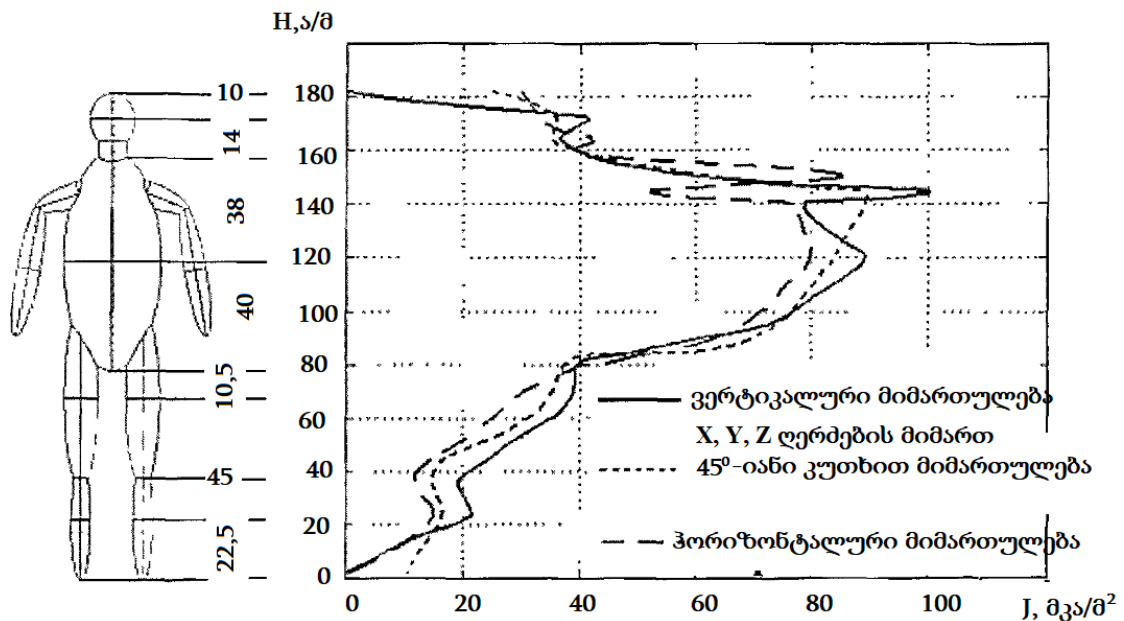
იმისათვის, რომ ვიმსჯელოთ იმაზე, თუ სახელდობრ სხეულის რომელ ნაწილზე შეიმჩნევა ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის დონე, გამოყენებული იქნა პირველი მოდელი, ანუ სხეულის მოდელი გამტარობით, რომელიც ტოლია ქსოვილის საშუალო გამტარობის.

ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის სურათი მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის ნორმირებული მოდულის ერთ ერთი მიმართულებისათვის ნაჩვენებია ნახ.1.9-ზე.



ნახ.1.9.დენის სიმკვრივის განაწილება მაგნიტური ველის ნორმირებული ზემოქმედების დროს

როგორც ნახ.1.9-დან ჩანს სხეულის სხვადასხვა ნაწილში დენის სიმკვრივეს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს. ანალოგიური სიტუაცია შეინიშნება ზემოქმედი მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულების დროს. სამუშაოში ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის მნიშვნელობის შეფასების კრიტერიუმად შერჩეული იყო დენის სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობა ადამიანის სიმაღლეზე და დენის სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობა სხეულის თითოეულ ნაწილზე. ადამიანის სიმაღლეზე ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის გრაფიკი მეორე, მეოთხე და მეშვიდე ვარიანტებისათვის ნაჩვენებია ნახ.1.10-ზე.



ნახ.1.10. ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის მაქსიმალური სიმკვრივის განაწილება, მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულების ზემოქმედების დროს.

როგორც ნახ.1.10-დან ჩანს მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის სხვადასხვა კუთხით ზემოქმედების დროს ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივე სხვადასხვაა. ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები მაგნიტური ველის დაძაბულობის ნორმირებული მნიშვნელობის სხვადასხვა ვარიანტების ზემოქმედების დროს წარმოდგენილია ცხრილი 1.12-ში.

როგორც ცხრილი 1.10-დან ჩანს ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილში ინდუქციური დენების სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები აღიძვრებიან მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის სხვადასხვა მიმართულების დროს. ამასთანავე ვერტიკალური მიმართულების დროს (მეორე ვარიანტი) შედარებით დენის დიდი სიმკვრივეები შეინიშნება სხეულის ყველა ნაწილში. დენის სიმკვრივის აბსოლუტური მაქსიმუმი შეინიშნება მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის მერტიკალური მიმართულების დროს გულმკერდის ღონეზე. ეს შეიძლება აიხსნას იმით,

რომ განსახილველი ადამიანის მოდელის მხრის სარტყელი არის სხეულის ყველაზე ფართო ნაწილი XY სიბრტყეში.

ცხრილი 1.12. ადამიანის სხეულის სხვადასხვა ნაწილში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ვარიანტების ზემოქმედების დროს.

ზემოქმედების ვარიანტი	დენის სიმკვრივე, მკა/მ ²						
	თავი	კისერი	ხელის ზედა ნაწილი	ხელის ქვედა ნაწილი	ტორსი	ფეხის ზედა ნაწილი	ფეხის ქვედა ნაწილი
1	37,5	42,5	26,0	15,7	87,5	35,1	15,6
2	41,3	41,6	23,1	24,1	100,3	39,5	21,4
3	37,5	42,1	23,7	33,8	97,4	39,3	19,1
4	42,1	45,0	11,8	17,5	79,9	40,9	15,2
5	33,5	44,0	19,4	15,3	85,9	38,3	18,7
6	38,9	46,6	17,5	21,1	92,5	39,4	18,7
7	35,7	42,9	19,8	20,7	89,3	37,2	16,4

თუ განვიხილავთ ადამიანის სხეულის მეორე მოდელს (სინაგანი ორგანოების სხვადასხვა გამტარობის გათვალისწინებით) მაშინ შეიმჩნევა პირველი მოდელის ბევრად მსგავსი სიტუაცია. ამ შემთხვევაშიც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება არის ერთერთი განმსაზღვრელი ფაქტორი ადამიანის სხეულში ინდუქცირებული დენის სიმკვრივის განსაზღვრის დროს. ამ მოდელის ზემოქმედების ყველაზე მძიმე ვარიანტი, ისევე როგორც პირველი მოდელის შემთხვევაში არის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის ვერტიკალური მიმართულება. ამასთანავე ინდუქცირებული დენების სიმკვრივის მნიშვნელობები ამ შემთხვევაში უფრო ზუსტია.

ინდუქცირებული დენების სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები ადამიანის ორგანოებში მოყვანილია ცხრილი 1.13-ში.

ცხრილი 1.13 ადამიანის ორგანოებში ინდუქციური დენების სიმკვრივის მაქსიმალური მნიშვნელობები 100 მკტლ მაგნიტური ინდუქციის ზემოქმედების დროს.

ორგანო	ტვინი	გული	ღვიძლი	თირკმელები
დენის მაქსიმალური სიმკვრივე, მკა/მ ²	605	720	131	130

იმისათვის, რომ საბოლოოდ ვიმსჯელოთ იმაზე, მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის ზემოქმედების მიმართულებებიდან რომელია ადამიანისათვის ყველაზე საშიში, საჭიროა ვაწარმოოთ დაწვრილებითი მედიკო-ბიოლოგიური კვლევები იმისათვის, რომ გავიგოთ ადამიანის სხეულის რომელი ნაწილი ან რომელი ორგანოები არიან უფრო ზარალდებიან სხეულში ინდუქცირებული მიკროდენების ზემოქმედებით.

უკვე ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეგვიძლია ვთქვათ როგორც ადამიანის სხეულზე, ასევე ცალკე ორგანოებზე ზემოქმედების ყველაზე მძიმე ვარიანტია მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის ვერტიკალური მიმართულება. ამიტომ სადაც ეს შესაძლებელია უნდა მიეცეს რეკომენდაცია რაიმე ტექნოლოგიური ხერხის გამოყენებას, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი ადამიანის ყოფნა იმ მდგომარეობაში, როცა მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი მის მიმართ მიმართული იქნება ვერტიკალურად.

შედეგები და მათი განსჯა

თავი II. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდების შემუშავება

2.1. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებიდან გამომდინარე

დღეისათვის ელექტროენერჯის გადაცემა ელექტროენერჯის წყაროდან მომხმარებლისკენ ძირითადად ხდება მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების საშუალებით. მოცემული ნაგებობები მიეკუთვნებიან მომატებული საფრთხის ობიექტებს და შესაბამისად, გამოყენებისას ქმნიან პრობლემებს ადამიანის უსაფრთხოებისათვის.

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების გამოყენების დროს უსაფრთხოების პრობლემები შეიძლება დაიყოს ორ კატეგორიად. პირველი კატეგორია ეხება ხაზის სიახლოვეს მაცხოვრებელთა უსაფრთხოებას, ხოლო მეორე ტექნიკური მომსახურებისა და სარემონტო პროფილაქტიკური სამუშაოების პროცესების დროს მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოებას.

ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, 2005 წლამდე [9] ნორმატიული დოკუმენტით რეგლამენტირებული იყო ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის საჰაერო ელექტროგადაცემა ხაზის მიერ შექმნილი ელვების დამაბულობის გავლენის ზონაში. აღნიშნულმა ნორმატიულმა დოკუმენტმა ძალა დაკარგა 2017 წლის 14 დეკემბერს, მაგრამ 2020 წლის 1 თებერვლიდან თავისი მნიშვნელობის გამო ისევ აქტუალური გახდა.

1998 წლიდან არსებობდა ნორმატიული დოკუმენტი [3], რომელიც ადგენდა მოთხოვნებს იმ პერსონალის შრომის პირობების მიმართ,

რომლებიც თავიანთი საქმიანობის პროცესში ექვემდებარებოდნენ 50 ჰც სიხშირის უწყვეტი მაგნიტური ველის ზემოქმედებას, მაგრამ მასში მოცემული არ იყო სამრეწველო სიხშირის საჭაერო ელექტროგადაცემის მაგნიტური ველის გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

სიტუაცია მთლიანად შეიცვალა ახალი ნორმატიული დოკუმენტის [1] შემოღების შემდეგ, რომელიც ზღუდავს ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობას ელექტრომაგნიტური ველის მომატებული დონის არსებობის დროს. ასევე 2008 წელს მიღებული იქნა ჰიგიენური ნორმატივები [13], რომელიც ვრცელდება 220 კვ და მეტი ძაბვის ცვლადი დენის ქსელების მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველებზე და ადგენს მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებს საცხოვრებელი, საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობებსა და დასახლებულ ტერიტორიებზე და არ ვრცელდება იმ მუშაკების შრომის პირობებზე, რომლებიც პროფესიულად დაკავშირებულნი არიან 50 ჰც სიხშირის მაგნიტური ველის წყაროების ექსპლუატაციასა და მომსახურებასთან.

უნდა აღინიშნოს, რომ [13] სანიტარული ნორმების მოქმედება ვრცელდება 220 კვ და მეტ ძაბვაზე. ხოლო მაგნიტური ველის მოქმედება დაკავშირებულია ქსელის მუშაობის რეჟიმზე ანუ გამავალ დენზე. ერთი და იგივე სიმძლავრის გადაცემის შემთხვევაში 110 კვ ძაბვაზე მოითხოვება უფრო მეტი დენი, ვიდრე 220 კვ ძაბვის დროს. აქედან გამომდინარე დასაზუსტებელია ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნები მაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენის მიმართ.

ელექტროგადაცემის ხაზის გასწვრივ მცხოვრებთა უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის ნორმატიული დოკუმენტით [57] მაღალი ძაბვის საჭაერო ელექტროგადაცემის ტრასის გასწვრივ დადგენილია სანიტარულ–დამცავი ზონები, რომელთა საზღვრის გარეთ ელექტრული ველის დამაბულობა არ აღემატება 1 კვ/მ. დამცავი ზონები დგინდება ელექტროგადაცემის მოცემული ხაზის ძაბვაზე პერდაპირი დამოკიდებულებით.

იმ შემთხვევაში, თუ რომელიმე უბანზე ელექტრული ველის დაძაბულობა სანიტარულ-დამცავი ზონის გარეთ აღმოჩნდება შენობის შიგნით ზღვრულად დასაშვებზე 0,5 კვ/მ - ზე მეტი, ხოლო 1 კვ/მ –ზე მეტი საცხოვრებელი შენობების ზონის ტერიტორიაზე, უნდა მიღებული იქნეს ზომები ელექტრომაგნიტური ველის დაძაბულობების დონის შემცირებისათვის. ამისათვის არალითონური სახურავის მქონე შენობების თავზე გაკეთებული უნდა იქნეს პრქატიკულად ნებისმერი ლითონის ბადე, რომელიც დამიწებული უნდა იქნეს არანაკლებ ორ წერტილში. შენობები, რომლებსაც გააჩნიათ ლითონის სახურავები დამიწებული უნდა იქნეს არანაკლებ ორ წერტილში. საბაღე ნაკვეთებში ან ადამიანთა ყოფნის სხვა ადგილებში სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის დაძაბულობა შეიძლება შემცირებული იქნეს დამცავი ეკრანების, მაგალითად, რკინაბეტონის, მეტალის მესერის, გვარლის ეკრანების დაყენების გზით. ან ეკრანის მოვალეობა შეიძლება შეასრულოს არანაკლებ 2 მ სიმაღლის ხეებმა და ბუჩქნარებმა. [56].

მაგრამ სანიტარული ზონების გამოყენების დროსაც კი საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის პრობლემა მთლიანად გადაწყვეტილი არ არის. პირველ რიგში ადგილი აქვს როგორც ქალაქების, ასევე სოფლის დასახლებების ზრდის ფაქტს, რასაც ზოგჯერ მივყავართ დასახლებული პუნქტების მიერ დაცვის ზონებში მდებარე ტერიტორიის შთანთქმამდე. დასახლებული პუნქტების ზრდის გამო ენერგეტიკის ობიექტები და ელექტროგადაცემის ხაზები, მათ რიცხვში მაღალი ძაბვის ხვდებიან ქალაქებისა და დაბების წითელ ხაზებში. ამ დროს დასახლებული პუნქტების ხაზებში გამავალ ქსელში ძაბვის შემცირება შეუძლებელია, რადგან ძაბვის ასეთი შემცირების დროს ბოლო მომხმარებელი ვერ მიიღებს იმ ძაბვას, რომლის გამოც აშენებული იქნა ეს ხაზი. მეორე შემთხვევაში ამა თუ იმ სანიტარული ზონის არსებობის დროსაც კი გამორიცხული არ არის ამ ზონაში ადამიანის შეღწევა. ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია უკანასკნელ ხანებში, რადგან

ფერად მეტალებზე არალეგალურ მონადირეებს არ ეშინიათ მაღალი ძაბვისა და კი, ხოლო სანიტარული ზონის მთელ პერიმეტრზე დაცვის დაყენება არარეალურია. როგორც ვარიანტი სანიტარული ზონის მთელ ტერიტორიაზე საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის ახლოს დაყენებული იქნეს ვიდეომეთვალყურეობის სისტემები, მაგრამ ასეთი ზომები დიდ ხარჯებთან არის დაკავშირებული. ამიტომ მოცემულ მომენტში ეს პრობლემა რჩება ღია და გადაუწყვეტლად [58].

რაც შეეხება მუშა პერსონალის უსაფრთხოებას აქ პრობლემა უფრო მწვავედ დგას. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზებს ესაჭიროებათ მუდმივი პროფილაქტიკური-სარემონტო სამუშაოები.

- საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ქსელებში სარემონტო და პროფილაქტიკური სამუშაოები შეიძლება დავეყოს სამ კატეგორიად:
- სამუშაოები, რომლებიც სრულდება ძაბვის სრული გამორთვით მათი ჩატარების მთელ ხაზში;
 - სამუშაოები, რომლებიც ტარდება ძაბვის ნაწილობრივი გამორთვით, ამ დროს ძაბვა გამორტულია იმ უბანზე სადაც ტარდება სამუშაოები, ხოლო მიმდებარე უბნები რჩება ძაბვის ქვეშ;
 - სამუშაოები, რომლებიც სრულდება ძაბვის გამორთვის გარეშე მათი ჩატარების მთელ ხაზში.

ერთი მხრივ, ყველაზე უსაფრთხო არის პროფილაქტიკურ-სარემონტო სამუშაოები ძაბვის სრული გამორთვის შემთხვევაში. მაგრამ ამ შემთხვევაში იზრდება ელექტროტრამვატიზმის რისკი ძაბვის უკუჩართვის პროცესში. მართალია ასეთი მიდგომის დროს უბედური შემთხვევის ალბათობა მინიმუმამდეა დაყვანილი, მაგრამ ეს ასე მარტივად არ არის. ზოგჯერ სარემონტო ქსელში ძაბვის სრული გამორთვა შეუძლებელია, რადგან შესაძლებელია მან მკვებავ ქსელში ჩართულ მომხმარებლებში გამოიწვიოს სერიოზული ავარია, ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში

შეუძლებელია ნაწილობრივი, ადგილობრივი გამორთვაც კი, რადგან მოხდება ქსელის გათიშვა.

მუდმივი ტექნიკური სრულყოფისა და ტექნოგენურ საშუალებებზე საზოგადოების დამოკიდებულების პროცენტის ზრდის გამო, მოთხოვნილება ძაბვის გამოურთველად სამუშაოების შესასრულებლად ყოველწლიურად იზრდება. ამასთან დაკავშირებით იზრდება პერსონალის (ბრიგადის) მომზადების როლი, რომელთაც ექნებათ უნარი სწრაფად და ხარისხიანად შეასრულონ სამუშაოები ელექტრომომარაგების ქსელებში ძაბვის მოხსნამდე..

აღსანიშნავია, რომ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებზე ძაბვის მოუხსნელად რემონტების ჩატარების დროს საფრთხის მთელ პროცესთან ერთად არის დადებითი მომენტებიც. სახელდობრ, ელექტროტრამვატიზმის შემცირება, რადგანაც სამუშაოების შესრულება ძაბვის ქვეშ გამორიცხავს მთელ რიგ ტრამვასაშიშ ოპერაციებს ისეთებს როგორიცაა:

- საკომუტაციო აპარატების გამორთვისა და ჩართვის ოპერაციების შესრულების შემდეგ მოწყობილობების ფაქტიური მდგომარეობის კონტროლით;
- დენგამტარ ნაწილებზე ძაბვის არ არსებობის შემოწმება;
- გადასატანი დამცავი ჩამიწების დაყენება და მოხსნა (ჩამამიწებელი დანების დაყენება და მოხსნა).

გარდა ამისა მინიმუმამდე დაიყვანება არაიზოლირებულ დენგამტარ ნაწილებამდე დაცვის საშუალებების გარეშე ძაბვის ქვეშ მყოფ დენგამტარ ნაწილებამდე დაუშვებელ დაშორებაზე შეცდომითი მიახლოების ალბათობა, რადგანაც სამუშაო ადგილზე ყველა დენგამტარი ნაწილი იმყოფება ძაბვის ქვეშ.

ძაბვის მოხსნის გარეშე ელექტროდანადგარების ტექნიკური მომსახურეობისა და მიმდინარე რემონტის შესრულების დროს უზრუნველყოფილია მომხმარებლის წინაშე ენერგომომმარაგებელი ორგანიზაციის ხელშეკრულებითი ვალდებულების სრული შესრულება. ეს

კი თანამედროვე საბაზრო ეკონომიკის, ელექტროენერჯის ხარისხისა და საიმედოების მიმართ მომხმარებლების მზარდი გამკაცრებული მოთხოვნების პირობებში ძალზე აქტუალურია.

საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზებზე ძაბვის მოუხსნელად სამუშაოს შესრულების დროს ელექტროტრამვატიზმის შემცირების დონის არსებულ ზომად შეიძლება გახდეს საზღვარგარეთის ქვეყნებში ათვისებული ძაბვის ქვეშ უკვე შესრულებული სარემონტო სამუშაოების ანალიზის მეთოდი. ასეთი ანალიზის დროს საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს, რომ ძაბვის ქვეშ მუშაობის პროცესისას მუშაკები შეიძლება სხეულის ნაწილით ან ინსტრუმენტით შეიძლება შეეხონ ძაბვის ქვეშ მყოფ შიშველ სადენებსა და დეტალებს.

ამგვარად, ჩატარებული ანალიზიდან გამომდინარე ადამიანის ჯანმრთელობაზე სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის გავლენის მიზნით საჭიროა ძაბვების მიხედვით სანიტარული ნორმების გადახედვა, ასევე მოქმედ ელექტროდანადგარებზე ძაბვის ქვეშ სამუშაოს შესრულება წარმოადგენს გამანაწილებელ ქსელებში ტექნიკური მომსახურების ერთ ერთ თანამედროვე ფორმას. აქედან გამომდინარე საქსელო კომპანიების ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ახალი თაობის პერსონალის მომზადება, რომელთაც ექნებათ უნარი დამოუკიდებლად გადაწყვიტონ უწყვეტი ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფის ამოცანები.

2.2. სადგურების და ქვესადგურების მომსახურე პერსონალის შრომის უსაფრთხოება

ენერგეტიკის განვითარების კვალდაკვალ სულ უფრო იზრდება საჭიროება განვითარდეს და დაიხვეწოს სადგურების და ქვესადგურების მომსახურე პერსონალის შრომის უსაფრთხოება. ამისათვის ერთერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია ელექტრო მაგნიტური სიტუაციის გამოკვლევა და ელექტრული და მაგნიტური ველის დამაბულობების

შეფასება ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების და მალლი ძაბვის ხაზების ქვეშ.

მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობასთან მომუშავე პერსონალის შრომის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად და დასახვეწად აუცილებელია შემდეგი ამოცანების დაყენება:

1. მალლი ძაბვის მოწყობილობების სიახლოვეში სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის გავრცელების შეფასების მეთოდების შემუშავება.
2. მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების სიახლოვეს სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველს დაძაბულობის გაზომვის მეთოდების დაზუსტება და ამ გაზომვების დროს გამზომი ხელსაწყოების ცდომილების გათვალისწინება.
3. მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების სიახლოვეს ჩატარებული გაზომვების საშუალებით ელექტრომაგნიტური სიტუაციების ანალიზი.
4. მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების მოქმედების ზონაში სხვადასხვა კატეგორიის პერსონალის ყოფნის ალბათობის განსაზღვრა.
5. მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების მომსახურე პერსონალის ჯანმრთელობის დაზიანების რისკების შეფასება.

ზემოთაღნიშნული ამოცანების გადაჭრა უზრუნველყოფს მალლი ძაბვის ელექტრომოწყობილობების სიახლოვეს მომუშავე პერსონალზე მავნე ზემოქმედების რისკის შემცირებას .

ნებისმიერ სფეროში მომუშავე პერსონალს აქვს უფლება შრომის დაცვაზე, მათ შორის სამუშაო ადგილზეც უნდა მოხდეს ისეთი ფაქტორების აღმოფხვრა რომელმაც შეიზღუდა გაზარდოს რისკი ან გამოიწვიოს საწარმოო ტრამვები. დასაქმებული პირები გაფთხილებული უნდა იყვნენ დამსაქმებლის და/ან სახელმწიფოს მხრიდან სამუშაო ადგილზე არსებული მავნე ზემოქმედების რისკების შესახებ აგრეთვე

აგრეთვე ჯანმრთელობის დაზიანების რისკების შესახებ და აგრეთვე დასაქმებულის დაცვისათვის მიღებული ღონისძიებების შესახებ, რომლებიც უზრუნველყოფს მის დაცვას მავნე და საშიში ფაქტორებისაგან. სწორედ ერთრთი ასეთი ფაქტორია კონკრეტულად სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველი. ასეთი მოწყობილობების ექსპლოატაციისას მოცემული საფრთხის დონის მაქსიმალურად ზუსტი შეფასებისათვის, მათი შეზღუდვების გათვალისწინებით, ადგენენ რუკებს რომლებზეც გამოსახულია მაგნიტური ველის დამაბულობის დონეები.

სისტემა, რომელშიც ენერგობიექტების მაგნიტური ველი ფორმირდება წარმოადგენს გამტარების დიდ რაოდენობას, რომლებიც რთული სახით არის განლაგებული. ასევე რიგი მიწისზედა ობიექტები. მაგნიტური ველის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს გრუნტიც.

2.3. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდის დამუშავება

დღეისათვის სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე ბევრი ორგანიზაცია და მკვლევარი იკვლევს [59,60] თუმცა მათგან ყველაზე აქტიურად ამას ელექტრომაგნიტური უსაფრთხოების ცენტრი ახორციელებს. მათი მეთოდიკა შემდეგში მდგომარეობს:

სამრეწველო ან სამუშო ზონაში სამრეწველო სიხშირეების მაგნიტური ველის დამაბულობის განაწილების საერთო დახასიათებისას უნდა გავითვალისწინოთ რომ შეთავაზებული წყაროს მიხედვით შეიძლება იყოს ერთფენიანი რუკა ან მრავალფენიანი რუკა . ინტენსივობის გაზომვა ხდება ბადის კვანძებში 0,5 დაბ 1,5 მეტრამდე ბიჯებით შენობის ფართობიდან გამომდინარე ან სამუშო ზონიდან გამომდინარე , და შერჩეულ სიმაღლეებზე 0-დან 1,8 მეტრზე. თითოეული გასაზომი კვანძისათვის ხდება გაზომვების წარმოება არანაკლებ სამჯერ.

საბოლოო ანათვლად მიიღება მიღებული ანათვლების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა. გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები მუშავდება პროგრამულად Microsoft Excel -ის გამოყენებით, რაც უზრუნველყოფს სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის რუკის საშუალებას, როგორც შენობებში ასევე სამუშაო ზონებში.

ზემოთ აღწერილი მეთოდიკა უპირველესად გამოიყენება სამეწარმეო სიხშირის მაგნიტური ველების ინტენსივობის შესაფასებლად არასამეწარმეო ზემოქმედების პირობებში. მოცემული მეთოდები არაა გამართლებული ღია განაწილების ელექტრული მოწყობილობების და გადამცემი ხაზების გასწვრივ, რადგან ღია განაწილების მოწყობილობების ფართობმა შეიძლება მიაღწიოს 15 ჰექტარს და უფრო მეტსაც, ხოლო ელექტროგადამცემი ხაზები გადაჭიმულია რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე. შესაბამისად გამოსაკვლევი წერტილების რაოდენობა ძალიან ბევრი იქნება, რაც ფიზიკურად შუძლებელს ხდის გაზომვების წარმოებას.

გამოკვლევებით დგინდება რომ მაგნიტურ ველის დამაბულობა თანაბრად ნაწილდება სივრცეში, მასზე დიდ გავლენას არ ახდენს სივრცეში არსებული მეტალის კონსტრუქციების არსებობა. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანი როლს თამაშობს დენის გადამტანი ელემენტების შეკიდულობის სიმაღლე მათი რაოდენობა და ერთმანეთის მიმართ განლაგება. აგრეთვე მოცემული ტერიტორიის რელიეფი. შესაბამისად ამ შემთხვევაში საჭიროა განსხვავებული გაზომვების მეთოდიკა, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები.

სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დამაბულობის გამოკვლევისას ზემალაღი ძაბვის ელექტრომოწყობილობებიდან შესაბამისი დამაბულობის განაწილების რუკების აწყობისათვის აუცილებელია იმ წერტილების გამოყოფა სადაც უნდა მოხდეს გაზომვების წარმოება.

მაგნიტური ველის დაძაბულობა ნაწილდება კანონით

$$H=I/(2\pi \cdot R) \quad (2.1)$$

სადაც I- დენია რომელიც გადის დენის გადამცემ ელემენტში R- დაშორება დენის გადამცემი ელემენტებიდან გამოსაკვლევ წერტილამდე [61].

დაძაბულობის გადანაწილების მრუდი ნაჩვენებია ნახ.2.1-ზე

ნახ.2.1 -ზე . რაც მეტია გამოსაკვლევ წერტილთა რაოდენობა მით ნაკლებია ცდომილება და მით უფრო ზუსტია თავად მრუდი.ნახაზის განხილვისას ნათელია რომ რაც ნაკლებია დაშორება ელექტრომოწყობილობის დენგამტარი ნაწილებიდან დედამიწის ზედაპირისადმი ან ადამიანის სიმაღლის დონისადმი მით მეტია მაგნიტური ველის დაძაბულობა.

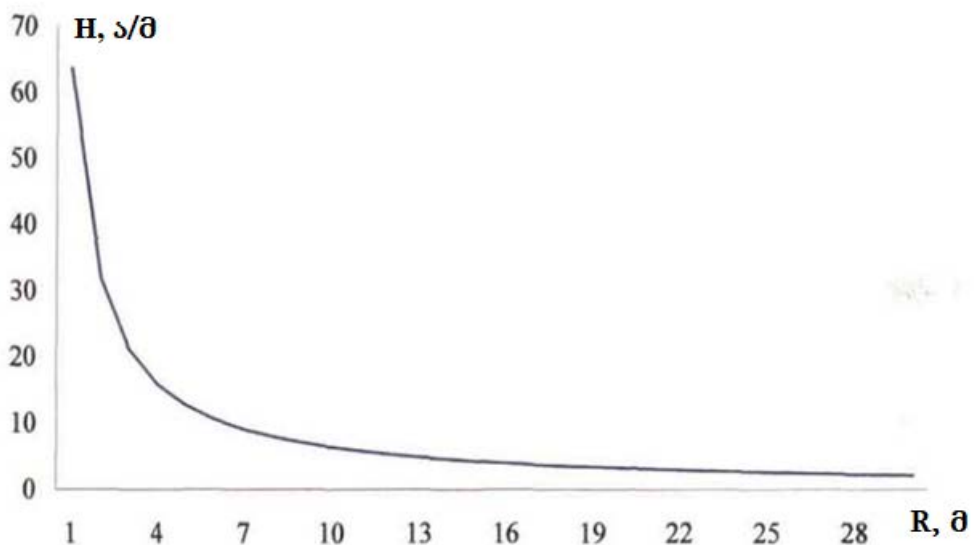
გამოკვლევის ჩატარების პირველ ეტაპზე ირჩევა პირობითი ჭეშმარიტი მნიშვნელობა

$$Y_{\text{კვმ}}=Af(x)$$

ხოლო შემდეგ იზომება ეს მნიშვნელობა.

მიუხედავად იმისა რომ გვაქვს მათემატიკურად გამსაზღვრული გაზომვების სამიზნე გარკვეული შეზღუდვების გამო პირობითად [62]:

$$Y_0=A\text{მf}(x)= A\text{იფ}(x)= Y_{\text{კვმ}}$$



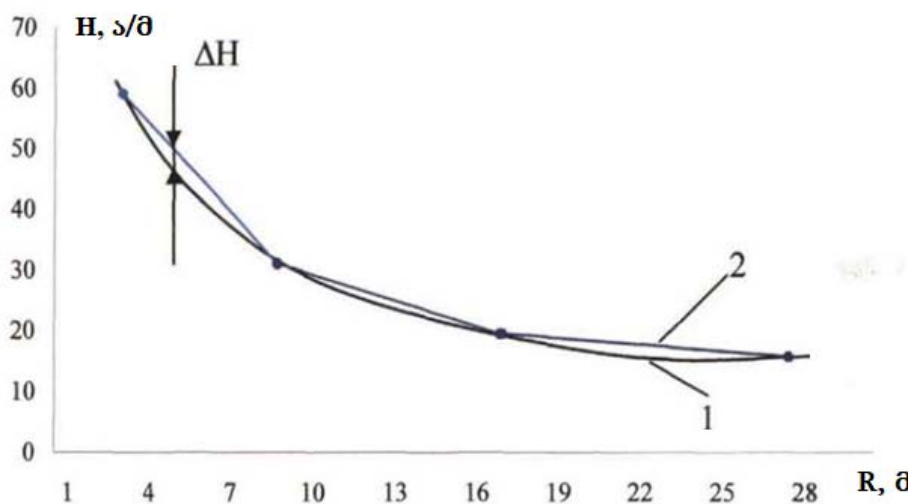
ნახ.2.1. მაგნიტური ველის დაძაბულობის განაწილების დამოკიდებულება დენგამტარი ნაწილის ელემენტისაგან 400 ა დენის გავლის დროს

ვერ გამოიყენება უმეტეს სამუშაო მოდელებში შემდეგი მიზეზების გამო:

- ფიზიკური რეალიზირების მიზეზები
- ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები
- გაზომვის სასურველ სიმარტივე.[62].

ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზების გამო გაზომვის მეთოდების ალგორითმი შეიძლება განსხვავდებოდეს გასაზომი სიდიდის მათემატიკური მნიშვნელობისაგან, რაც ამ მეთოდის ცდომილებას წარმოადგენს [62].

შესაძლებელია მათემატიკურად განვსაზღვროთ მეთოდური ცდომილება, როგორც სხვაობა გასაზომი ერთეულის მოსალოდნელ და პირობით ჭეშმარიტ მნიშვნელობებს შორის [62].



ნახ.2.2. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის განაწილების რეალური (1) და კვლევით მიღებული (2) მრუდები

ნახ.2.2 -ზე წარმოდგენილია მეთოდური ცდომილების მიზეზები. სურათზე ასახულია სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის დაძაბულობის გადანაწილების მრუდები პირველი რეალური და მეორე გამოკვლევის დროს მიღებული მრუდებია.

მრუდების ორი წერტილის შერთნა შეიძლება აღიწეროს ფორმულით

$$H=k \cdot R+b \quad (2.2)$$

სადაც k და b თოთოეული ობიექტისათვის სხვადასხვა კოეფიციენტებია. მათ ამოსახსნელად უნდა შევადგინოთ ტოლობები:

$$\begin{cases} H_1 = k \cdot R_1^2 + b \\ H_2 = k \cdot R_2^2 + b \end{cases} \begin{cases} \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} = k \cdot R_1 + b \\ \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_2} = k \cdot R_2 + b \end{cases} \begin{cases} \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} - \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_2} = k \cdot R_1 - k \cdot R_2 \\ \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} = k \cdot R_1 + b \end{cases} \quad (2.3)$$

$$k = \frac{\frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}{R_1 - R_2} = \frac{\frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot R_2} \right)}{R_1 - R_2} = - \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (2.4)$$

მაშინ კოეფიციენტი b ტოლი იქნება:

$$b = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} - k R_1 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} + \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_2} = \frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) \quad (2.5)$$

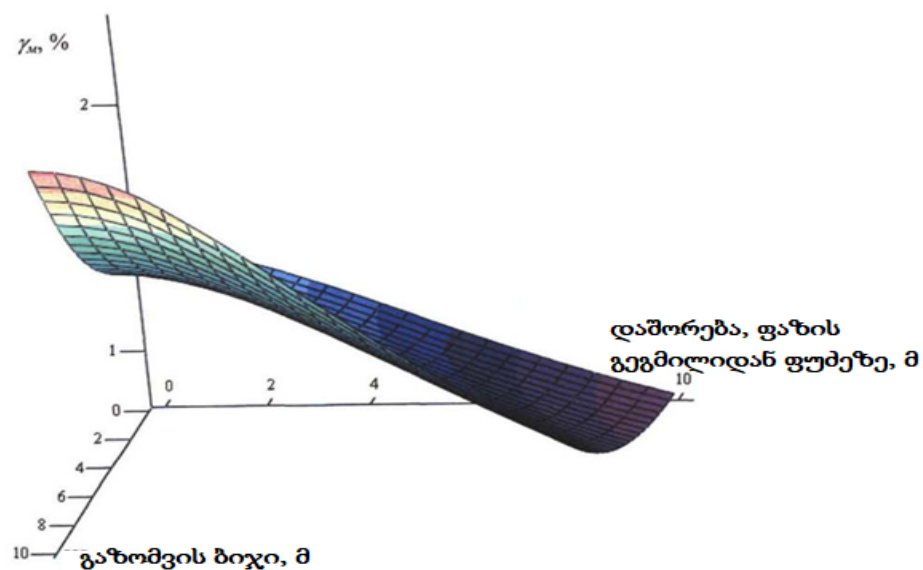
(2.1) გამოსახულება ჩავწერთ ზოგადი სახით:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2} \cdot R + \frac{I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) = \frac{I \cdot (R_1 + R_2 - R)}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (2.6)$$

მაშინ მეთოდური ცდომილება ტოლი იქნება:

$$\begin{aligned} \gamma_{\theta} &= \frac{\Delta H}{H_{\text{რეალ}}} \cdot 100\% = \frac{H - H_{\text{რეალ}}}{H_{\text{რეალ}}} \cdot 100\% = \frac{\frac{I \cdot (R_1 + R_2 - R)}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2}}{\frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R}} \cdot 100\% = \left(\frac{R_1 + R_2 - R}{R_1 \cdot R_2} - \frac{1}{R} \right) \cdot \frac{1}{R} \\ &\cdot 100\% \\ &= \frac{\left((R_1 + R_2 - R) \cdot R - R_1 \cdot R_2 \right) \cdot R}{R_1 \cdot R_2 \cdot R} \cdot 100\% = \frac{(R_1 + R_2 - R) \cdot R - R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot 100\% \quad (2.7) \end{aligned}$$

ელემენტების ტრასის ქვეშ მიიღება ცდომილება, რომელიც დამოკიდებულია გაზომვის ბიჯის სიდიდეზე როგორც ნახ.3 -დან ჩანს ცდომილება იზრდება გაზომვის წერტილებს შორის მანძილის ზრდასთან ერთად, შესაბამისად გრაფიკის გამოყენებით შესაძლებელია ისეთი ბიჯებს შორის დაშორება, რომლის შესაბამისი ცდომილებაც მისაღები იქნება ჩვენთვის. სამუშაო ადგილების ატესტაციისათვის აუცილებელია რომ ცდომილება არ აღემატებოდეს 10%.



ნახ.2.3. გაზომვის მეთოდური ცდომილების დამოკიდებულება გაზომვის ბიჯის სიდიდეზე მაგნიტური ველის დაძაბულობის განაწილების სიგრძეზე

მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოკვლევისას დენის გადამცემი მთლიანი ცდომილება იზომება ფორმულით

$$\gamma = \gamma_{\text{მეთ}} + \gamma_{\text{ინსტ}}$$

სადაც $\gamma_{\text{მეთ}}$ - მეთოდური ცდომილებაა ხოლო $\gamma_{\text{ინსტ}}$ - ინსტრუმენტების ცდომილება, აქედან გამომდინარე მთლიანი ცდომილება ინსტრუმენტალური და მეთოდური ცდომილებების ჯამის ტოლია.

**თავი III. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისა და
ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების
მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარიშება**

3.1. ზოგადი ცნობები

უკვე რამდენიმე ათეული წელია მსოფლიო მასშტაბით მიდის დისკუსია სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენის შესახებ. სხვადასხვა ტექნიკურ ლიტერატურაში მეცნიერებისა და სპეციალისტების მიერ ამ საკითხის შესახებ გამოთქმულია ორი დიამეტრალურად ურთიერთსაწინააღმდეგო თვალსაზრისი. ერთი ავტორების ზარით არსებობს ადამიანზე ზემოქმედების მაგნიტური ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომელიც საკმარისია და მათი გადახედვის საჭიროება არ არსებობს. ამასთან ერთად სხვადასხვა პერიოდულ პუბლიკაციებში შეტყობინებები ონკოლოგიური დაავადებების მომატებული რისკის შესახებ, სახელდობრ მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის- მაგნიტური ველის წყაროს სიახლოვეს ხანგრძლივი დროით ყოფნის განმავლობაში ბავშვების ლეიკემიით დაავადების შესახებ. სხვა ავტორების აზრით არსებული ნორმატივები ძალიან მაღალია ან არასაკმარისია ადამიანის ორგანიზმზე გავლენის ხარისხის შესაფასებლად. ეს წინააღმდეგობები წარმოიშვება ადამიანის ორგანიზმზე მაგნიტური ველის ზემოქმედების კომპლექსური მედიკო-ბიოლოგიური კვლევის არ არსებობის შედეგად.

ამ კვლევების სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ ადამიანი ელექტრული ველის ზემოქმედებისაგან განსხვავებით ვერ შეიგრძნობს მაგნიტური ველის ზემოქმედებას. ამასთან დაკავშირებით ყველა ჩატარებული კვლევები დაიყვანება მაგნიტური ველის ზემოქმედების სავარაუდო მექანიზმის განხილვასთან. ამასთანავე მაგნიტური ველის ადამიანზე ზემოქმედება ატარებს კუმულატიურ ხასიათს, ანუ ადამიანის

ორგანიზმში ცვლილებები ხდება არა მყისიერად, არამედ დროთა განმავლობასი გროვდება და შეიძლება თავი იჩინოს შემდგომ თაობებში[46].

ამგვარად, ცხადია მაგნიტური ველების ზემოქმედების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობების შემცირების ტენდენცია. თუ ადრე გაანგარიშების გარეშე ელექტროენერგეტიკული დანადგარების დიდ ნაწილზე შეიძლებოდა იმის თქმა, რომ მაგნიტური ველის დამაბულობა არ აღმატება ნორმების, დღეისათვის ამის თქმა არ შეიძლება.

სადისერტაციო ნაშრომის ამ თავში მოცემულია ჩვენს მიერ დამუშავებული ის თეორიული მასალა, რომელიც იძლევა საშუალებას საქართველოში საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ძაბვების მიხედვით პროექტირების დროს განსაზღვრული იყოს ის მინიმალური დაშორება საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა ხაზის გეგმილიდან, რომელიც უზრუნველყოფს ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებულ მაგნიტური ველის ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობების (0,2–0,3 მკტლ) დაცვას, რომლებიც უსაფრთხოა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის.

წარმოდგენილ ნაშრომში განვიხილავთ ორი სახის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზს. მაღალი ძაბვის ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზს სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს და მაღალი ძაბვის ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზს სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს.

3.2. სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარიშების მეთოდის კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე

მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის ინდუქციის გაანგარიშებისათვის გამოიყენება ელექტროტექნიკის თეორიულ საფუძვლებიდან კარგად ცნობილი სრული დენის კანონი [64],

რომლის თანახმად მაგნიტური ველის ინდუქცია სწორხაზოვანი სადენისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R} \quad (3.1)$$

სადაც μ – ჰაერის ფარდობითი შეღწევადობაა დატოლია $\mu=1$.; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ/მ– არის ვაკუუმის მაგნიტური შეღწევადობა; I –საჰაერო ხაზში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობაა, ამპერებში; R – არის დაშორება კიღურა გამტარიდან, მეტრებში.

მაგნიტური ველის დაძაბულობასა და ინდუქციას შორის კავშირი გამოისახება ფორმულით:

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{I}{2\pi R} \quad (3.2)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მაგნიტური ველის დაძაბულობის სიდიდე დამოკიდებულია ხაზში გამავალი დენის სიდიდესა და ხაზიდან დაშორებაზე, ხოლო გარემოს თვისებებზე დამოკიდებული არ არის.

სრული დენის კანონით ცალკეული უსასრულო გამტარისათვის კომპლექსურ სახეში მაგნიტური ველის დაძაბულობა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\dot{H} = \frac{I}{2\pi R} \quad (3.3)$$

ზედდების პრინციპის საფუძველზე ვწერთ, რომ:

$$\dot{H} = \frac{I_A}{2\pi R_A} + \frac{I_B}{2\pi R_B} + \frac{I_C}{2\pi R_C} \quad (3.4)$$

სადაც I_A, I_B, I_C - ხაზში გამავალი დენების კომპლექსური მნიშვნელობებია, R_A, R_B, R_C - დაკვირვების წერტილსა და შესაბამის ხაზებს შორის მანძილებია.

ხაზურული დენები ჩავწერთ კომპლექსური მნიშვნელობების სახით.

$$\begin{cases} \dot{I}_A = I_b \\ \dot{I}_B = I_b e^{-j120^\circ} \\ \dot{I}_C = I_b e^{j120^\circ} \end{cases} \quad (3.5)$$

ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ (4) გამოსახულებაში და მივიღებთ:

$$\dot{H} = \frac{I_b}{2\pi R_A} + \frac{I_b e^{-j120^\circ}}{2\pi R_B} + \frac{I_b e^{j120^\circ}}{2\pi R_C} = \frac{I_b}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{e^{-j120^\circ}}{R_B} + \frac{e^{j120^\circ}}{R_C} \right) \quad (3.6)$$

ნახ.3.1-ზე მოცემულია საყრდენზე სადენების ჰორიზონტალური გაბნლაგების დროს საჰაერო ელექტროგაცემის ხაზი 500 კვ ძაბვის შემთხვევაში.

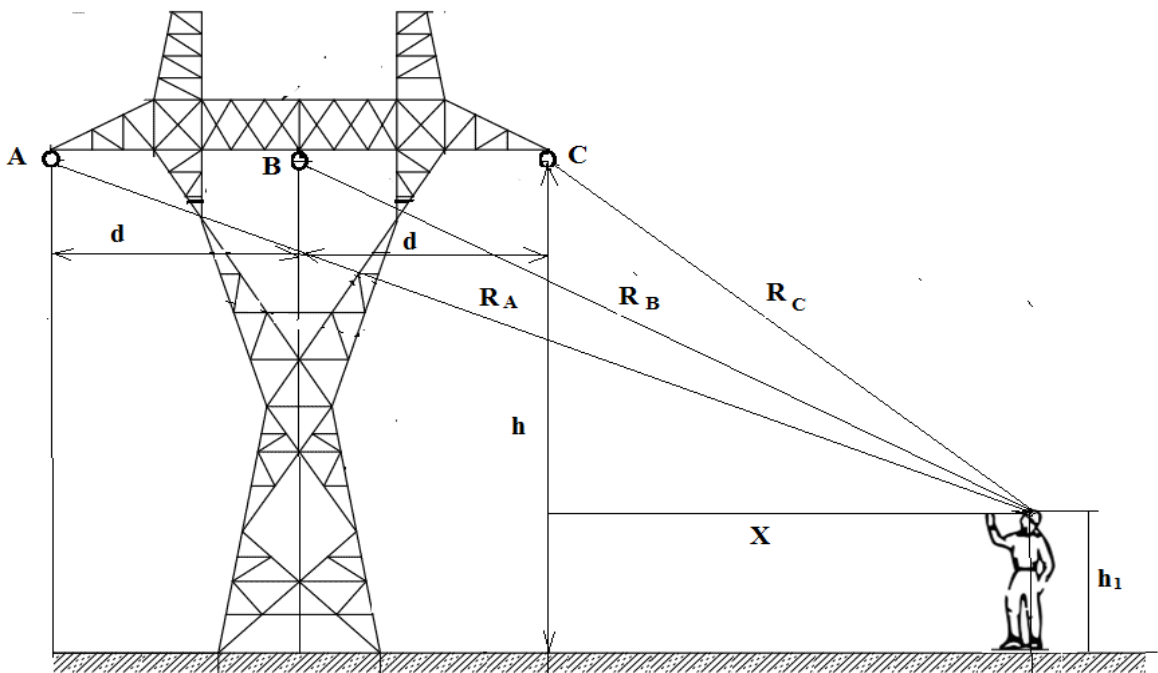
ნახ.3.1-დან ჩანს, რომ ადამიანის დაშორება საჰაერო ელექტროგადაცემის A,B,C ფაზებისათვის შესაბამისად იანგარიშება ფორმულებით:

$$\begin{aligned} R_A &= \sqrt{(X+2d)^2 + (h-h_1)^2} \\ R_B &= \sqrt{(X+d)^2 + (h-h_1)^2} \\ R_C &= \sqrt{X^2 + (h-h_1)^2} \end{aligned} \quad (3.7)$$

(3.7) გამოსახულების შეტანით (3.6) გამოსახულებაში და მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{I_b}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} e^{-j120^\circ} + \frac{1}{R_C} e^{j120^\circ} \right) = \\ &= \frac{I_b}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{(X+2d)^2 + (h-h_1)^2}} + \frac{1}{\sqrt{(X+d)^2 + (h-h_1)^2}} e^{-j120^\circ} + \frac{1}{\sqrt{X^2 + (h-h_1)^2}} e^{j120^\circ} \right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

გამოსახულება (3.8) წარმოადგენს ერთჯაჭვიანი საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის გასაანგარიშებელ ფორმულას სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე.



ნახ.3.1. საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზი საყრდენზე გამტარების ჰორიზონტალური განლაგებით

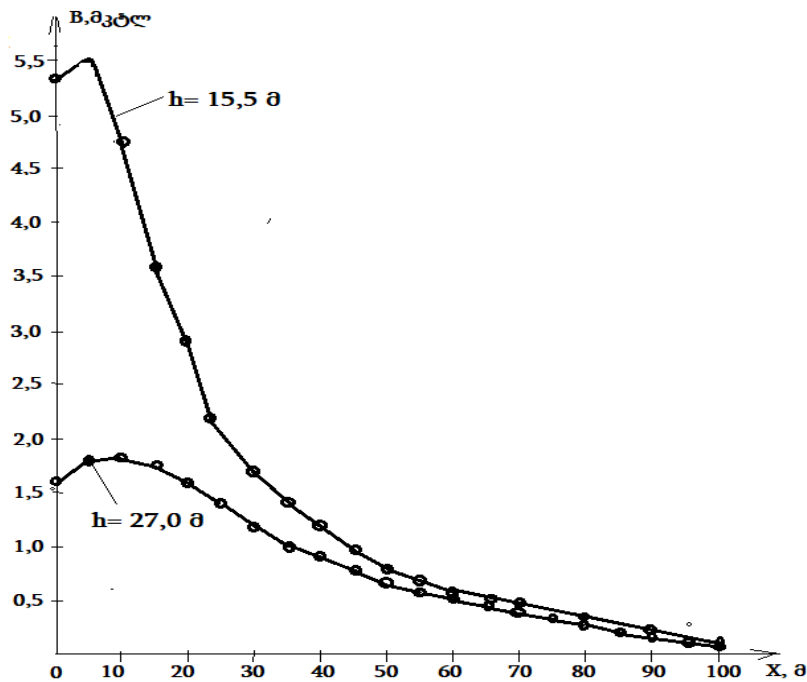
მაგრამ სანიტარულ - ეპიდემიოლოგიურ ნორმატიულ დოკუმენტებში მოცემული გვაქვს დასაშვები მნიშვნელობები როგორც მაგნიტური ველის დაძაბულობისათვის, ასევე მაგნიტური ველის ინდუქციისათვის. ქვემოთ მაგალითის სახით განხილული გვაქვს კონკრეტული ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების ამოცანა. ამ დროს ჩვენ ჯერ (3.8) გამოსახულებით ვანგარიშობთ მაგნიტური ველის დაძაბულობას, ხოლო შემდეგ მიღებული შედეგების მიხედვით ვახდენთ მაგნიტური ველის ინდუქციურობის გაანგარიშებას შემდეგი ფორმულით [65]:

$$B = 1,25 H, \text{ მკტლ} \quad (3.9)$$

მაგალითი. განვსაზღვროთ საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობა და ინდუქციურობა მუშაობის რეალურ რეჟიმში. მაგალითისათვის ავიღეთ P1 ტიპის 500 კვ ძაბვის შუალედური ანძა (P1 ტიპის), რომელზეც სადენები ჰორიზონტალურად არის

განლაგებული. სადენებს შორის კონსტრუქციული დაშორება $d = 12$ მ. სადენის მარკა არის AC-400/51, ამ მარკის სადენის ხანგრძლივად დასაშვები დენი შეადგენს $I_{დას.} = 825$ ამპერს. ანგარიში ვაწარმოეთ ორი შემთხვევისათვის: საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სადენების დედამიწის ზედაპირიდან მაქსიმალური და დასაშვები მინიმალური დაშორების შემთხვევებში [65].

P1 ტიპის საყრდენებზე 500 კვ ძაბვის შემთხვევაში საყრდენების კონსტრუქციული ზომებიდან გამომდინარე სადენების დედამიწის ზედაპირიდან მაქსიმალური დაშორება შეადგენს $h = 27,0$ მ-ს, ხოლო ელექტროდანადგარების მოწყობის [66] ცხრილი 2.5.22-ის მოთხოვნის თანახმად 500 კვ ელექტროგადაცემის ხაზის მინიმალური დაშორება დასახლებულ პუნქტებში დედამიწის ზედაპირიდან დასაშვებია $h = 15,5$ მ. ცხრილი 3.1-სა და ნახ.3.2-ზე წარმოდგენილია მაგნიტური ველის დამაბულობის ანგარიშის მიღებული შედეგები საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის დედამიწის ზედაპირიდან როგორც მაქსიმალური, ასევე მინიმალური დაშორების შემთხვევებში.



ნახ.3.2. მაღალი (500 კვ) ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემი ხაზის სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე მაგნიტური ველის ინდუქციის დამოკიდებულების გრაფიკი

ცხრილი 3.1. მაგნიტური ველის დამაბულობის მიღებული ანგარიშის შედეგები ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს

#	დაშორება კიდურა ხაზის გეგმილიდან X, მ	მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდე H, ა/მ	მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე B, მკტლ	მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდე H, ა/მ	მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე B, მკტლ
		h=27 მ		h=15,5 მ	
1	0	1,23	1,54	4,26	5,33
2	5	1,42	1,80	4,2	5,48
3	10	1,45	1,82	3,61	4,51
4	15	1,41	1,77	2,86	3,58
5	20	1,24	1,56	2,21	2,77
6	25	1,07	1,34	1,77	2,21
7	30	1,00	1,25	1,36	1,71
8	35	0,85	1,06	1,10	1,39
9	40	0,74	0,93	1,00	1,25
10	45	0,62	0,79	0,80	1,01
11	50	0,55	0,70	0,64	0,81
12	55	0,50	0,62	0,55	0,70
13	60	0,44	0,56	0,46	0,58
14	65	0,36	0,46	0,42	0,54
15	70	0,34	0,42	0,37	0,47
16	75	0,31	0,40	0,34	0,43
17	80	0,27	0,34	0,30	0,38
18	85	0,26	0,33	0,27	0,34
19	90	0,23	0,30	0,24	0,31
20	95	0,21	0,26	0,22	0,30
21	100	0,20	0,25	0,21	0,27

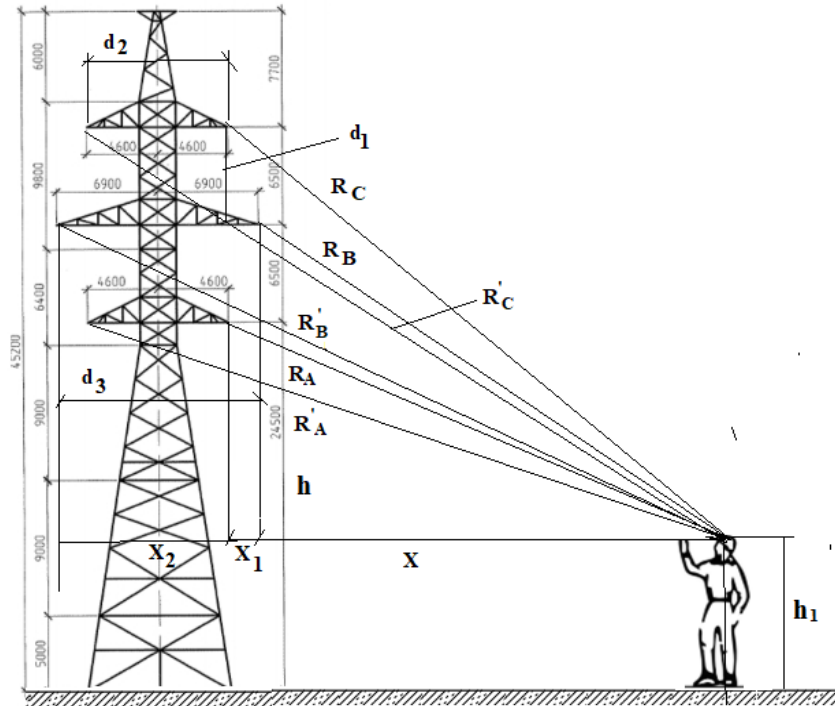
ცხრილი # 3.1-დან და ნახ 3.2-დან ჩანს, რომ ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ დადგენილი და ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებული მაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობები (0,2-0,3 მკტლ) მიიღწევა იმ შემთხვევაში, თუ ადამიანი კიდურა სადენის დედამიწაზე გეგმილიდან დაშორებული იქნება 95 მ მეტ მანძილზე [65].

3.3. სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემი ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის თეორიული გაანგარისების მეთოდის კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე

ამ ქვეთავში მოცემულია ჩვენს მიერ დამუშავებული ის თეორიული მასალა, რომელიც იძლევა საშუალებას საქართველოში ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების ძაბვების მიხედვით პროექტირების დროს განსაზღვრული იყოს ის მინიმალური დაშორება ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა ხაზის გეგმილიდან, რომელიც უზრუნველყოფს ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ დადგენილ ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო მაგნიტური ველის ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობების (0,2-0,3 მკტლ) დაცვას.

განვიხილოთ ნახ.3.3- ზე მოცემული ორჯაჭვა 220 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის დამაბულობა, როცა ორივე ჯაჭვის დატვირთვა ერთნაირია.

ლიტერატურა [64]-დან ცნობილია ცალკეული უსასრულო გამტარისათვის დამაბულობასა და ინდუქციას შორის კავშირი. ეს კავშირი კომპლექსურ სახეში გამოისახება (3.3) გამოსახულებით.



ნახ.3.3. ორჯაჭვა ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის ინდუქციის გაანგარიშების სქემა

ზედღების პრინციპის თანახმად ორჯაჭვა ელექტროგადაცემის ხაზისათვის ვწერთ:

$$\dot{H} = \frac{I_A}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + \frac{I_B}{2\pi} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + \frac{I_C}{2\pi} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) \quad (3.10)$$

სადაც \square_A , \square_B , \square_C - დენების კომპლექსური მნიშვნელობებია, $R_A, R_B, R_C, R'_A, R'_B, R'_C$ - დაკვირვების წერტილსა და შესაბამის ხაზებს შორის მანძილებია.

დავუშვათ ორივე ხაზში დატვირთვა სიმეტრულია, მაშინ დენების კომპლექსური მნიშვნელობებისათვის ვიყენებთ (3.5) გამოსახულებას: ხაზური დენების მნიშვნელობების ამ გამოსახულების (3.10)-ში შეტანით მივიღებთ მაგნიტური ველის დამაბულობის საანგარიშო ფორმულას (66):

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{I_B}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + \frac{I_B e^{-j120^\circ}}{2\pi} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + \frac{I_B e^{j120^\circ}}{2\pi} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) = \\ &= \frac{I_B}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + e^{-j120^\circ} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + e^{j120^\circ} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

სადაც საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზებიდან ადამიანის დაშორება მოცემულ შემთხვევაში იანგარიშება ფორმულებით:

$$\begin{aligned}
 R_A &= \sqrt{(X + X_1)^2 + (h - h_1)^2} ; R_B = \sqrt{X^2 + (h + d_1 - h_1)^2} \\
 ; R_C &= \sqrt{(X + X_2)^2 + (h + 2d_1 - h_1)^2} \\
 R'_A &= \sqrt{(X + X_1 + d_2)^2 + (h - h_1)^2} ; R'_B = \sqrt{(X + d_3)^2 + (h + d_1 - h_1)^2} \\
 R'_C &= \sqrt{(X + X_1 + d_2)^2 + (h + 2d_1 - h_1)^2}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

წინა პარაგრაფის ანალოგიურად მაგალითის სახით კონკრეტული ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების დროს ჩვენ ჯერ (3.12) გამოსახულებით ვანგარიშობთ მაგნიტური ველის დაძაბულობას, ხოლო შემდეგ მიღებული შედეგების მიხედვით ვახდენთ მაგნიტური ველის ინდუქციურობის გაანგარიშებას (3.9) ფორმულით.[66].

მაგალითი. განვსაზღვროთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა მუშაობის რეალური რეჟიმში და ამის შემდეგ მიღებული მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობის მიხედვით გავიანგარიშოთ მაგნიტური ველის ინდუქცია. მაგალითის სახით ავიღეთ Y220-2m+14 ტიპის 220 კვ ძაბვის შუალედური ანძა. ვერტიკალური დაშორება სადენებს შორის $d_1 = 6,5$ მ. მაქსიმალური დაშორება სადენებს შორის $d_3 = 13,8$ მ; მინიმალური დაშორება სადენებს შორის $d_2 = 9,2$ მ; $X_1 = 2,3$ მ; $h = 24,5$ მ; ამ სადენის მარკაა AC-400/51. სპეციალური ცხრილებიდან ავიღეთ ამ მარკის სადენის ხანგრძლივად დასაშვები დენის მნიშვნელობა, რომელიც ტოლია $I_{დას.} = 825$ ა. ანგარიშს ვაწარმოებთ იმ შემთხვევისათვის, როცა აღნიშნულ საყრდენებზე სადენები დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებულია $h = 8,0$ მ სიმაღლეზე. აღნიშნული სიმაღლე აღებული იქნა იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტროდანადგარების მოწყობის წესებში (ΠΥΘ 7) მოცემული ცხრილი 2.5.22-ის მიხედვით დასახლებული პუნქტებისათვის 220 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის სადენების უმცირესი დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან მიღებულია 8,0 მ.[67].

ცხრილი № 3.2-ში. წარმოდგენილია მაგნიტური ველის დაძაბულობის მიღებული ანგარიშის შედეგები.

ცხრილი 3.2. მაგნიტური ველის დაძაბულობის მიღებული ანგარიშის შედეგები ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს

X, მ	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
H, ა/მ	15,46	8,3	3,84	2,0	1,52	0,76	0,58	0,46	0,35	0,26	0,22
B, მკტლ	19,32	10,37	4,8	2,5	1,9	0,95	0,727	0,575	0,44	0,325	0,275
X, მ	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0	
H, ა/მ	0,16	0,14	0,10	0,09	0,065	0,047	0,037	0,019	0,019	0,019	
B, მკტლ	0,20	0,175	0,125	0,11	0,082	0,058	0,046	0,024	0,024	0,024	

ცხრილი # 3.2-დან ჩანს, რომ ორჯაჭვა 220 კვ ელექტროგადაცემი ხაზის შემთხვევაში ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ დადგენილი და ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებული მაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობები (0,2-0,3 მკტლ) მიიღწევა იმ შემთხვევაში, თუ ადამიანი კიდურა სადენის დედამიწაზე გეგმილიდან დაშორებული იქნება 50 მ მეტ მანძილზე [66].

3.4. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედება ქვესადგურების პერსონალის ღია გამანაწილებლო მოწყობილობების მომსახურების დროს

ელექტროენერგეტიკის ერთერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა ელექტროქსელური კომპლექსის ობიექტების უსაფრთხო ექსპლუატაცია. გამომდინარე იქედან, რომ ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურების უმეტესობა მიეკუთვნება 110–500 კვ ძაბვას, ამიტომ

მომსახურე პერსონალზე ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების შეფასება უნდა მოხდეს სწორედ ამ კლასის ძაბვებზე.

ქვესადგურებში სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველის გამოსხივების წყაროებს წარმოადგენენ ძალური ტრანსფორმატორები, მაღალი ძაბვის განმამხოლოებლები, ამომრთველები, მოქნილი და ხისტი სალტეები, საჰაერო ხაზები (ნახ.3.4.).



ნახ.3.4. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები ქვესადგურებში

მაღალი ძაბვის მოწყობილობების ექსპლუატაციის პროცესში ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების შემოვლის დროს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროს წარმოადგენს ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების ტერიტორიაზე ტრანსფორმატორებამდე გამავალი სალტეები.

მაღალი ძაბვის დანადგარების მომსახურე ელექტროტექნიკური პერსონალის სამუშაო ადგილებზე საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორების შეფასება ხდება სახელმწიფოთაშორისო გოსტ 12.0.003–2015. უსაფრთხო

შრომის სტანდარტების სისტემა. საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორები. კლასიფიკაცია [68].

საშიში და მავნე ფაქტორების ფიზიკური ბუნების ერთერთი ძირითადი საწარმოო ფაქტორია სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი. ელექტროდინამიკის მოწყობის წესების [67] თანახმად მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოება უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ელექტრული დენით დაზიანებისაგან დაცვის ღონისძიებების შესრულებითა და ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების დასაშვებ დონემდე შემცირებით. ასევე ელექტრომომარაგების სისტემების ექსპლუატაცია უნდა შეესაბამებოდეს გარემოს დაცვის ნორმატიულ მოთხოვნებს.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანია ქვესადგურებში ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების ინტენსიურობის მაჩვენებლების შეფასება ელექტრომაგნიტური ველის მინიმალური ზემოქმედების თვალსაზრისით ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების ტერიტორიაზე ყველაზე უფრო უსაფრთხო ზონების განსაზღვრისათვის. რაც საშუალებას მოგვცემს შემდგომში მომსახურე პერსონალის მიერ ქვესადგურის ტერიტორიაზე ძაბვის სიდიდის გათვალისწინებით შედგენილი იქნას ყველაზე უფრო უსაფრთხო შემოვლის გზა.

ის ფაქტი, რომ ელექტრომაგნიტური ველი ზიანს აყენებს ადამიანსა და გარემოს დამტკიცებულია ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის, ყველა განვითარებული ქვეყნის ჯანმრთელობის დაცვის სამინისტროებისა და მრავალრიცხოვანი სამეცნიერო გამოკვლევებით. ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის ელექტრომაგნიტური პროექტი შექმნილი იქნა მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედების პოტენციალური შედეგების სამეცნიერო ახსნისათვის [46]. ყველა სიხშირის ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს მსოფლიო მოსახლეობის მთელი ჯგუფისა და გარემოსათვის ყველაზე უფრო გავრცელებულ და სწრაფად

მზარდ ზემოქმედებას. გამოთქმული იქნა შეშფოთება იმისთან დაკავშირებით, რომ 50/60 ჰც სიხშირეებზე მაგნიტური ველების ზემოქმედებამ შეიძლება მიგვიყვანოს ლეიკემიით დაავადების ზრდასა და ჯანმრთელობისათვის სხვა არასასურველ შედეგებამდე. ცოდნაში მნიშვნელოვანი ხარვეზების შევსებისა და ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედების შემზღუდველი საერთაშორისო დონის მისაღები სტანდარტების შემუშავებაში დახმარებისათვის აღნიშნული პროექტი ახალისებს მიზანმიმართულ კვლევებს, რომელთა შედეგები ჩართული იქნება ეკოლოგიური ჯანმრთელობის კრიტერიუმებში და რომლებშიც გაკეთდება ჯანმრთელობისათვის ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების რისკების ოფიციალური შეფასება.

ულტრადბალი სიხშირის ველების შესახებ ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის ანგარიშის თანახმად კვლევის ანალიზმა აჩვენა ელექტრომაგნიტური ველის გავლენა ნერვულმოქმედებაზე, ენდოკრინოლოგიურ სისტემაზე, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებაზე, იმუნოლოგიაზე, ჰემატოლოგიაზე, ონკოლოგიურ დაავადებაზე; ჩატარებული იქნა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის რისკის შეფასება და გამოყოფილი იქნა ელექტრული და მაგნიტური ველების მწვავე და ქრონიკული ბიოლოგიური ეფექტების მოქმედება ადამიანზე.

ნაშრომი [69] ს თანახმად ელექტრომაგნიტური ველი არასასურველ გავლენას ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე და განსაზღვრული პირობების დროს შეიძლება გამოიწვიოს მოსახლეობას შორის პათოლოგიური მდგომარეობის ფორმირება, რომელიც დაექვემდებარება ამ გამოსხივების ქრონიკულ ზემოქმედებას.

ნაშრომში [70] მოყვანილია, რომ ქვესადგურისა და 220,330 და 500 კვ საჰაერო ხაზების მომსახურე პერსონალის გამოკვლევების დროს აღნიშნული იყო ცვლილებები ჯანმრთელობაში. 500 კვ ძაბვის დროს პერსონალს ჰქონდა ნევროლოგიური ხასიათის ჩივილები (დაღლილობა, გაღიზიანება, თავის ტკივილი, მახსოვრობისა და ყურადღების დაქვეითება).

ასევე ჩივილები იყო გულ-სისხლძარღვთა სისტემაზე (ტაქიკარდია, არტერიული ჰიპერტენზია, გულის რიტმისა და სიხშირის შემცირება, მკვეთრად გამოხატული ცვლილებები სისხლში) და კუჭ-ნაწლავის ტრაქტზე.

სამრეწველო სიხშირის 110 და 220 კვ ძაბვის ელექტრომაგნიტური გამოსხივის პირობებში მომუშავეთა პერიოდული სამედიცინო შემოწმების შედეგებში პროფესიული დაავადებები გამოვლენილი ვერ იქნა [71], მაგრამ უდიდეს კუთრ წონას იკავებს სისხლის მიმოქცევის სისტემის ავადმყოფობა, შემდეგ თვალის ტკივილი და საჭმლის მომნელებელი ორგანოების დაავადებები.

ელექტრული ველის ბიოლოგიური ზემოქმედება ვლინდება ელექტრულ ველში ადამიანის ხანგრძლივი ყოფნის დროს. ადამიანის ორგანიზმის რეაქცია ვლინდება შედარებით დიდი პერიოდის (2–3 თვის) გავლის შემდეგ, აქვს გამოხატული კუმულატიური ეფექტი და ძლიერ არის დამოკიდებული ორგანიზმის ინდივიდუალურ თავისებურებებზე მას მიყვავართ ცენტრალური ნერვული სისტემის ფუნქციონალურ ცვლილებამდე, სისხლის შედგენილობისა და სხვა პათოლოგიურ ცვლილებამდე.

სხვადასხვა ნაშრომებში მოყვანილი კვლევები გვიჩვენებს, რომ 500 კვ ძაბვის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების ტერიტორიაზე მაგნიტური ველის დაძაბულობა 2-ჯერ მცირეა ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობაზე. ანალიზმა აჩვენა, რომ ზონის ფართობი, რომელზეც დაძაბულობა აღემატება 5 კვ/მ შეადგენს ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მთელი ტერიტორიის 40 %-ზე ნაკლებს. აღსანიშნავია, რომ ელექტრული ველის დაძაბულობა იზრდება მოწყობილობებს შორის და მცირდება მათთან მიახლოებისას. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ელექტრული ველის ძალხაზები იკვრებიან მოწყობილობების ჩამიწებული კორპუსების გავლით მიწაში. გამომდინარე იქედან, რომ ქვესადგურის ტერიტორიაზე მაგნიტური ველის დაძაბულობას აქვს მცირე მნიშვნელობები, ამიტომ ელექტრომაგნიტური

ველის გავლენის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს ელექტრული ველი დამაბულობის ზემოქმედება [72].

სანიტარულ ნორმებსა და წესებში 2.2.4.3359–16 [1] მოყვანილია სამრეწველო სიხშირის ელვების დამაბულობის დასაშვები მნიშვნელობები.

50 ჰც სიხშირის ელექტრული ველის დამაბულობის დასაშვები ნორმები დადგენილია ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდის მიხედვით და შეადგენს სამუშაო ადგილზე მთელი ცვლის განმავლობაში 5 კვ/მ. თუ ელექტრული ველის დამაბულობა აღემატება 25 კვ/მ, მაშინ საჭიროა ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენება.

სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები დონეები დასახლებული ადგილების პირობებში შეადგენს:

- დასახლებული ადგილებში საცხოვრებელი შენობების გარეთ- 5 კვ/მ;
- დაუსახლებელ ადგილებში-15 კვ/მ.

ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მომსახურე პერსონალის ყოფნის ზონებში ელექტრული ველის დამაბულობა უნდა იყოს სახელმწიფო სტანდარტებით დადგენილი დასაშვები დონის ფარგლებში.

3.5. ქვესადგურის ტერიტორიაზე ელექტრული ველის გაანგარიშების მეთოდика

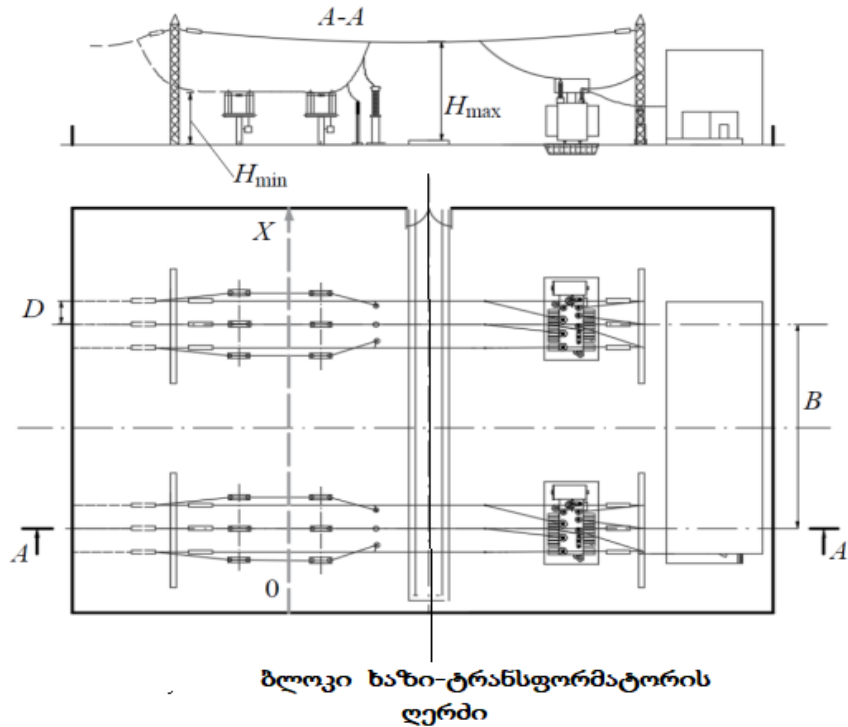
მაღალი ძაბვის დანადგარების მოქმედების ზონაში ადამიანის პოტენციური მიწის მიმართ, ასევე ადამიანში გამავალი დენი განისაზღვრება ელექტრული ველის დამაბულობის ვერტიკალური მდგენელით. ქვესადგურის ტერიტორიაზე ელექტრული ველის დამაბულობის საანგარიშოდ გამოვიყენეთ [73] ნაშრომში მოცემული მეთოდика. გაანგარიშების საწყისი მონაცემებია: ძაბვა ქვესადგურის მაღალ მხარეზე, დაშორება ფაზებს შორის, ბლოკი - ხაზი-ტრანსფორმატორის ღერძებს შორის დაშორება, მოსალტვიდან დედამიწამდე დაშორება, სადენის მარკა.

საანგარიშო წერტილიდან მოსალტვამდე დაშორება განისაზღვრება ფორმულით:

$$h = H - H_{\text{ად}} \quad (3.13)$$

H - არის მოსალტვის ჩამოკიდების სიმაღლე;

$H_{\text{ად}} = 1,8$ მ ადამიანის სიმაღლეა.



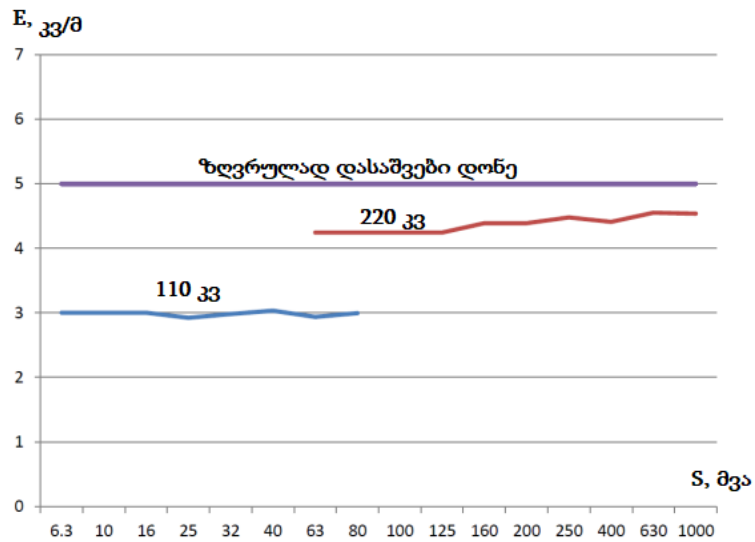
ნახ.3.5. ქვესადგურის გეგმა

კვლევის ობიექტად არჩეულია ექსპლუატაციაში ყველაზე უფრო გავრცელებული 110-220-კვ ძაბვის ორტრანსფორმატორიანი ქვესადგურები, სიმძლავრით 6,3-1000 მვა. ქვესადგურის მოსალტვა შესრულებულია მოქნილი AC მარკის სადენით. ანგარიში შესრულებულია გზის თავზე სადენების მინიმალური ჩამოკიდების სიმაღლის გათვალისწინებით. კოორდინატების დასაწყისი და X ღერძის მიმართულება ნაჩვენებია ქვესადგურის გეგმაზე, რომელიც წარმოდგენილია ნახ.3-ზე, ხოლო საწყისი მონაცემები ცხრილი 3.3-ში.

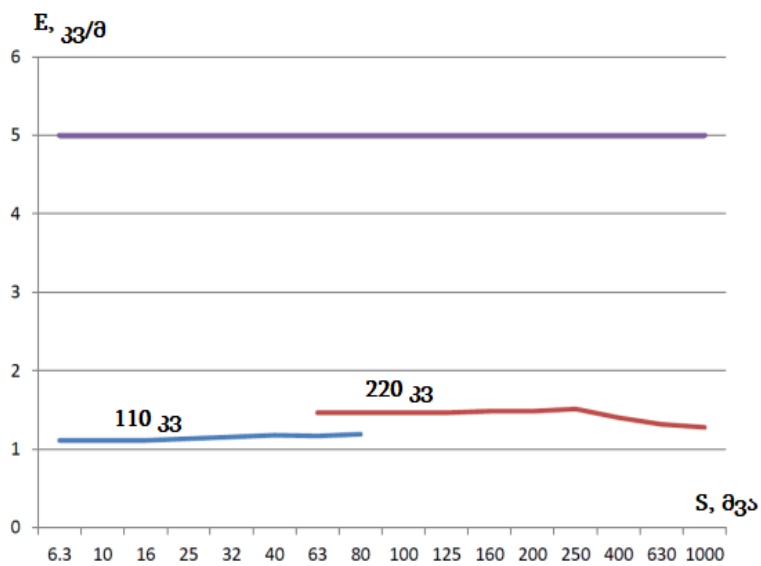
ცხრილი 3.3 გაანგარიშების საწყისი მონაცემები

ძაბვა, კვ	სიმძლავრე მვა,	დაშორება, მეტრი			სიმაღლე, მეტრი		სადენის მარკა
		ბლოკების ღერძებს შორის	ფაზებს შორის D	ბლოკის ღერძიდან მესერამდე	მინიმალური	გზის თავზე	
110	6,3	13	2,5	10	6,0	11,0	AC-70
110	10		2,5	10	6,0	11,0	AC-70
110	16		2,5	10	6,0	11,0	AC-70
110	25	14	2,5	10	6,0	11,0	AC-95
110	32		2,5	10	6,0	11,0	AC-120
110	40		2,5	10	6,0	11,0	AC-150
110	63	16	2,5	10	6,0	11,0	AC-240
110	80		2,5	10	6,0	11,0	AC-300
220	63	23	3,0	10	7,0	14,0	AC-240
220	80		3,0	10	7,0	14,0	AC-240
220	100		3,0	10	7,0	14,0	AC-240
220	125		3,0	10	7,0	14,0	AC-240
220	160	24	3,0	10	7,0	14,0	AC-400
220	200		3,0	10	7,0	14,0	AC-400
220	250		3,0	10	7,0	14,0	AC-2X240
220	400	26	3,0	10	7,0	14,0	AC-2X240
220	630	29	3,0	10	7,0	14,0	AC-2X240
220	1000	30	3,0	10	7,0	14,0	AC-2X240

ელექტრული ველის დაძაბულობის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები 110 და 220 კვ ძაბვის ხაზებისათვის მოყვანილია: ნახ.3.6-ზე სადენის მინიმალური ჩამოკიდების სიმაღლისათვის, ხოლო ნახ.3.7-ზე -გზის თავზე.



ნახ.3.6. ელექტრული ველის დამაბულობის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები 110 და 220 კვ ძაბვისათვის



ნახ.3.7. ელექტრული ველის დამაბულობის სიმძლავრეზე დამოკიდებულების გაანგარიშების შედეგები 110 და 220 კვ ძაბვისათვის გზის თავზე

როგორც ნახ.3.6 და ნახ.3.7-დან ჩანს, 110 და 220 კვ ძაბვის ქვესადგურებში ელექტრული ველის დამაბულობების მნიშვნელობები სტანდარტით განსაზღვრული ნორმის ფარგლებშია, რაც უზრუნველყოფს შრომის უსაფრთხოების პირობებს.

3.6. მაგნიტური ველების გაანგარიშება მაღალი ძაბვის მოსალტვისა და ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სიახლოვეს

მაღალი ძაბვის ქვესადგურებში ელექტრომაგნიტური ველების გაანგარიშების ამოცანა თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის გამოჩენამდე საკმაოდ გამწვანებული იყო. ეს პირველ რიგში დაკავშირებული იყო იმასთან, რომ ასეთი გაანგარიშების ჩატარება ტრადიციული ანალიზური მეთოდებით პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ ადრე ქვესადგურებზე ელექტრული და მაგნიტური ველების გაანგარიშება წარმოებდა ნატურული ექსპერიმენტების საფუძველზე გამოყვანილი ემპირიული ფორმულების გამოყენებით [73].

რადგანაც მაღალი ძაბვის ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა, ისევე როგორც მაღალი ძაბვის საჰაერო ხაზის ტრასების გასწვრივ იყო ადრე მოქმედ ნორმატიულ მნიშვნელობებზე [74] ბევრად ნაკლები, ამიტომ ყურადღება ექცეოდა მხოლოდ ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობას. ამ დროს ხშირად ემპირიული ფორმულებით მიღებული შედეგები არ ემთხვეოდა ელექტრული ველის დამაბულობის რეალურ მნიშვნელობებს. დღეისათვის შეიძლება შეგვხვდეს მაღალი ძაბვის მრავალი გამანაწილებელი მოწყობილობა, რომლებზეც ელექტრული ველის დამაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობა აღემატება იმ მნიშვნელობას რომლის დროსაც (25 კვ/მ) დასაშვებია მუშაობა დაცვის საშუალებების გამოყენების გარეშე [75] იმ პროექტების თანახმად, რომლებშიც არ ჩატარებულა ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების გაანგარიშება. დაცვის საშუალებების გამოიყენება გათვალისწინებული არ არის.

ბუნებრივია, რომ ანალოგიური სიტუაცია შეინიშნება მაგნიტური ველის დამაბულობის მიმართაც. სხვადასხვა კლასის ძაბვის ქვესადგურების ტიპური გადაწყვეტა საშუალებას იძლეოდა შეთავსებული ყოფილიყო 6-10 კვ ძაბვის დახურული გამანაწილებელი მოწყობილობების

შენობა და ქვესადგურის საერთო მართვის პუნქტი, რომელშიც იმყოფება ოპერატიული პერსონალის სათავსო. ამ დროს დახურული გამანაწილებელი მოწყობილობის შემკრებ სალტეეში გამავალი დენები აღემატებიან რამდენიმე კილოამპერს, ხოლო ზოგიერთ სათავსოში სამუშაო ადგილებზე მაგნიტური ველის დაძაბულობა აღემატება ამჟამად დადგენილ ნორმირებულ მნიშვნელობას (80 ა/მ).

ამჟამად სამრეწველო სიხშირის ელექტრული და მაგნიტური ველების რიცხვითი გაანგარიშების ჩატარება საშუალებას იძლევა გათვალისწინებული იქნეს გამანაწილებელი მოწყობილობის პრაქტიკულად ყველა კონსტრუქციული თავისებურებები [73].

გამანაწილებელი მოწყობილობების ძირითადი კონსტრუქციები, რომელთა სიახლოვესაც შეიძლება შეინიშნებოდეს ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების ისეთი მნიშვნელობები, რომლებიც აღემატებიან მოქმედ ნორმატივებს [74] გაანგარიშების ამა თუ იმ მეთოდზე დამოკიდებულების მიხედვით შეიძლება დავყოთ ჯგუფებად. გამანაწილებელი მოწყობილობების სალტეებისა და სალტეების ბოგირების ქვეშ შეიძლება ვაწარმოთ როგორც ადრე გამოთქმული ანალიზური მეთოდით ასევე ორგანზომილებიანი რიცხვითი მეთოდებით. ელექტროგადაცემის საკაბელო ხაზების სიახლოვეს მიზანშეწონილია ანგარიში ვაწარმოთ ორგანზომილებიანი რიცხვითი მეთოდებით. ელექტრული აპარატების (ამომრთველების, განმამხოლოებლების და სხვა) სიახლოვეს ანგარიში უნდა ვაწარმოთ მხოლოდ სამგანზომილებიანი რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით.

ქვემოთ მოყვანილია ზემოთ ჩამოთვლილ კონსტრუქციებზე დენებით ინდუქცირებული მაგნიტური ველის ინტენსიურობის გაანგარიშების მეთოდიკა და შედეგები 220 კვ კონკრეტული ქვესადგურის პროექტირების მაგალითზე. ეს ქვესადგური გასცემს ელექტროენერგიას ხუთი ძაბვის კლასით: 220,110,35,10 და 6 კვ. 220 და 110 კვ ძაბვებზე

გათვალისწინებულია ღია გამანაწილებელი მოწყობილობა ელევგაზურ კომპლექტურ გამანაწილებელ მოწყობილობაზე გადასვლით.

3.7. მაგნიტური ველების გაანგარიშება ტიპური ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სალტეების ქვეშ

პრაქტიკულად ყველა გამანაწილებელი მოწყობილობების ტიპური გადაწყვეტა ითვალისწინებს ფაზების ჰორიზონტალურ განლაგებას. მაგრამ ნორმალურ საექსპლუატაციო რეჟიმში ელექტრული და მაგნიტური ველების კომპენსაციის თვალსაზრისით ეს შემთხვევა ყველაზე უარესია. ამასთანავე ფაზური სადენების ასეთი განლაგება განპირობებულია გამანაწილებელი მოწყობილობების მონტაჟის მოხერხებულობით. სალტეების გაბარიტები მიწასთან ასევე ტიპურია.

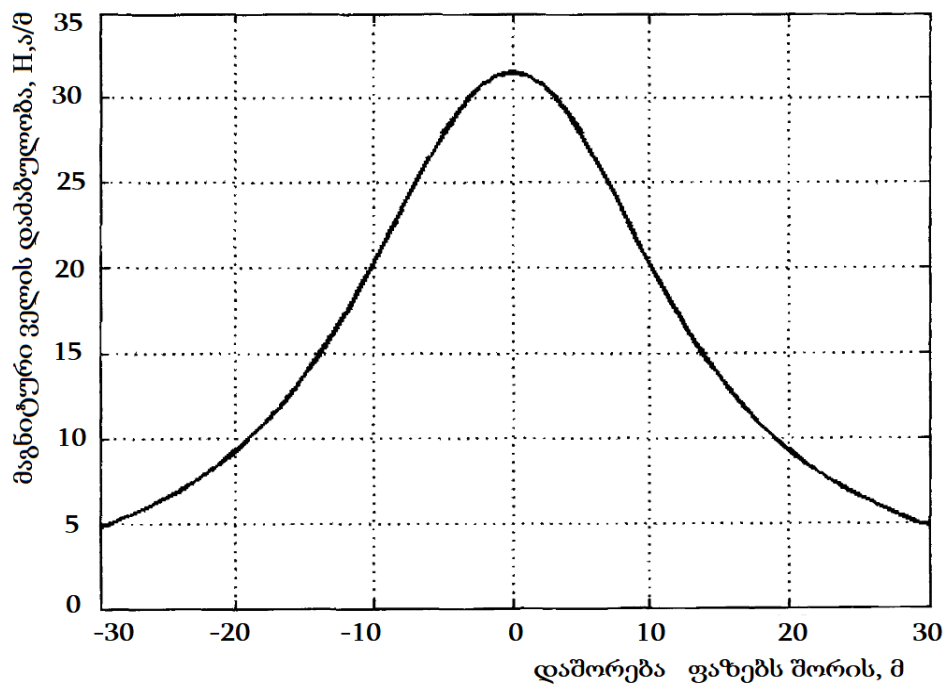
გამომდინარე იქედან, რომ გამანაწილებელი მოწყობილობების სალტეების გაბარიტები უნიფიცირებულია, შეიძლება გავიანგარიშოთ ზღვრული დენური დატვირთვები, რომლის დროსაც მაგნიტური ველის დაძაბულობის ნორმატივები (80 ა/მ მთელი სამუშაო დღის განმავლობაში) გადაჭარბებული არ იქნება. ამასთანავე მთელ მსოფლიოში არის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობის შემცირების ტენდენცია. ამიტომ საკმარისი არ არის შემოვიფარგლოთ მხოლოდ ისეთი დენური დატვირთვებით, რომლის დროსაც სხვადასხვა კლასის ძაბვის სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა არ გადააჭარბებს 80 ა/მ-ს.

ამასთან დაკავშირებით წინამდებარე განყოფილებაში განსაზღვრული იქნა მაგნიტური ველის დაძაბულობის დამოკიდებულება ელემენტების კონსტრუქციებში დენურ დატვირთვაზე დედამიწის ზედაპირიდან ნორმირებულ 1,8 მ სიმაღლეზე. ფაზებს შორის და სალტეებიდან მიწამდე გაბარიტები სხვადასხვა კლასის ძაბვებისათვის მოყვანილია ცხრილი 3.4-ში.

ცხრილი 3.4. 6-220 კვ ძაბვის ტიპური მოსალტვის გაზარიტები

მოსალტვის ძაბვის კლასი, კვ	220	110	35	6-10 (სალტეების ზოგირი
დაშორება მიწამდე, მეტრი	13,6	11,5	6,75	3,4
მოსალტვის ძაბვის კლასი, კვ	220	110	35	6-10 (სალტეების ზოგირი
დაშორება ფაზებს შორის, მეტრი	4	3	1,6	0,7

220 კვ ძაბვის სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის განაწილება სალტეებში 500 ა დენის გავლის დროს ნაჩვენებია ნახ.3.1-ზე.



ნახ.3.8. 220 კვ ძაბვის სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის განაწილება სალტეებში 500 ა დენის გავლის დროს

ნახ.3.8-დან ჩანს, რომ მაგნიტური ველის ინტენსივობის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეინიშნება სალტეების შუა ფაზის ქვეშ. სხვა კლასის ძაბვების სალტეებისათვის ასეთი სურათი არ იქნება. მაგნიტური ველის ინტენსივობის მოქმედი ნორმების დროს ყველა ძაბვის კლასის სალტეების ქვეშ შეიძლება ვაწარმოთ გამორთული მოწყობილობების სარემონტო სამუშაოები ხანგრძლივი დროის განმავლობაში

35-220 კვ ძაბვის სალტეებში მუშა დენების მნიშვნელობას ზღუდავენ 2000 ა-ით, 6-10 კვ სალტეების ბოგირებში გამავალ დენების მნიშვნელობას - 5000 ა-ით. კავშირი სხვადასხვა ნომინალური ძაბვის სალტეების ნომინალურ დატვირთვისა და მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალურ მნიშვნელობას შორის ასახულია ცხრილი 3.5-ში.

ცხრილი 3.5. დენური დატვირთვების მნიშვნელობები სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის დამაბულობების სხვადასხვა მაქსიმალური მნიშვნელობების დროს

მაგნიტური ველის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ა/მ	10	20	30	40	50	60	70	80
სალტეების დენური დატვირთვა 220 კვ ძაბვის დროს, ა/მ	1000	2000	-	-	-	-	-	-
სალტეების დენური დატვირთვა 110 კვ ძაბვის დროს, ა/მ	882	1764	-	-	-	-	-	-
სალტეების დენური დატვირთვა 35 კვ ძაბვის დროს, ა/მ	435	870	1305	1740	2175	-	-	-
სალტეების დენური დატვირთვა 6-10 კვ ძაბვის დროს (სალტეების ბოგირი, ა/მ	112,1	224,3	336,2	448,5	560,6	672,4	784,3	896,2

მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა ისეთ დიელექტრიკში, როგორცაა ჰაერი, წრფივად არის დამოკიდებული დენისაგან:

$$H_{\text{მაქს}} = kI \quad (3.1)$$

სხვადასხვა კლასის ძაბვის სალტებისათვის k კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოცემულია ცხრილი 3.6-ში.

ცხრილი 3.6. სალტებში გამავალ მუშა დენსა (a) და მაგნიტური ველის დაძაბულობას (a/m) შორის კოეფიციენტის მნიშვნელობები სალტების ქვეშ.

მოსალტვის ძაბვის კლასი, კვ	220	110	35	6-10 (სალტების ბოგირი)
კოეფიციენტის მნიშვნელობა	0,01	0,0113	0,023	0,0893

ამგვარად, მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაანგარიშება სალტების ტიპური კონსტრუქციების ქვეშ შეიძლება ვაწარმოოთ ცხრილი 3.6-ში მოყვანილი კოეფიციენტების დახმარებით.

3.8. მაგნიტური ველების გაანგარიშება აპარატის ჩამოსაშვების სიახლოვეს ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში

ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მოსალტვისაგან განსხვავებით აპარატების ჩამოსაშვების კონსტრუქცია უნიფიცირებული არ არის. ეს განპირობებულია იმით, რომ გამანაწილებელი მოწყობილობების მოსალტვასთან ჩართული აპარატების სიმაღლე სხვადასხვაა. სხვადასხვაა ასევე მაგნიტური ნაკადის ჩაკეტვის თვალსაზრისით აპარატების შესრულება. ასე მაგალითად, ტრანსფორმატორებში მაგნიტური ნაკადის დიდი ნაწილი იკვრება მაგნიტოგამტარის გავლით. ისეთ აპარატებს, როგორცაა განმამხოლოებელი დენგამტარი სისტემა აქვთ გარეთ, მაშასადამე აღძრული მაგნიტური ნაკადი იკვრება ჰაერის გავლით.

როგორც ზემოთ იყო ნახსენები. აპარატების ჩამოსაშვების სიახლოვეს მაგნიტური ველის გაანგარიშების ამოცანა მიეკუთვნება გადაუწყვეტელი ამოცანების რიცხვს. ამის მიზეზია მაგნიტური ველის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდების დამუშავების პრაქტიკულად შეუძლებლობა

სისტემაში, რომლის გეომეტრიის აღწერა ანალიზურად მთლიანად შეუძლებელია [73].

თანამედროვე რიცხვითი მეთოდები საშუალებას იძლევიან გადაწყვეტილი იქნას გაანგარიშების ამოცანა აპარატების ჩამოსაშვების სიახლოვეს. ამასთანავე ამ მეთოდის გამოყენების დროსაც კი წარმოიშვებიან საკმაოდ დიდი სიძნელეები. ეს სიძნელეები პირველ რიგში დაკავშირებულია ამ ამოცანის გადაწყვეტის დროს სამგანზომილებიანი ამოცანის დასმასთან. უნდა აღინიშნოს, რომ სადენების რეალური კვეთების დავალებას მივყავართ ცალკეული ელემენტების ძალიან დიდ რაოდენობასთან, რომელზეც ნაწილდება უწვეტი საანგარიშო სივრცე, როგორც კონსტრუქციის ყველაზე პატარა გეომეტრული ზომა (სადენის დიამეტრი), რომელიც ბევრად ნაკლებია მთლიანად საკვლევი ობიექტის ზომებზე.

ამგვარად, მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა მნიშვნელობა აპარატების ჩამოსაშვებთან არსებითად აღემატება მაგნიტური ველის დამაბულობას მოსალტვის სიახლოვეს. ეს საშუალებას გვაძლევს ვილაპარაკოთ იმაზე, რომ რეალური ქვესადგურის პროექტირების დროს საჭიროა გათვალისწინებული იქნეს მაგნიტური ველის ინტენსივობა საექსპლუატაციო მოწყობილობების სიახლოვეს ამ ზონაში პერსონალის ყოფნის დროის შეზღუდვის მიზნით.

თავი 4. ექსპერიმენტული ნაწილი

4.1. ელმაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობის გასაზომი ხელსაწყოს ტექნიკური მახასიათებლები

ექსპერიმენტული კვლევები ელექტრომაგნიტური მონიტორინგის პრობლემების გადასაჭრელად მტკიცედ ინარჩუნებს თავის პოზიციებს. გაანგარიშებისას მიღებული შედეგების შემოწმებისათვის იგი არის საუკეთესო კრიტერიუმი თუ იგი სწორად არის ესრულებული ადეკვატურ პირობებში.

ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების განსაზღვრისათვის ექსპერიმენტული კვლევები ჩვენს მიერ დაგეგმილი იქნა ისე, რომ ექსპერიმენტის პირობები ანალოგიური ყოფილიყო გაანგარიშების დროს მოდელირებულ პირობებთან.

ექსპერიმენტისათვის ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა თანამედროვე ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის სამკომპონენტური საზომი



ნახ.4.1. ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობის თანამედროვე სამკომპონენტური საზომი ხელსაწყო BE-метр-ი თავისი მოდიფიკაციებითა და მართვის ბლოკით. . მოდიფიკაციებით «AT-004» და «503ც» და მართვის ბლოკით

ხელსაწყო [] [] [] [] ამ ხელსაწყოს გააჩნია ორი მოდიფიკაცია « [] 004 » და « 503ც » და შესაბამისი მართვის ბლოკი « [] [] - [] [] [] [] [] [] [] [] ხელსაწყოს გარეგანი სახე წარმოდგენილია ნახ.4.1-ზე. [1].

ეს ხელსაწყო ზომავს ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების საშუალო კვადრატულ მნიშვნელობას. იგი აკმაყოფილებს ამ სფეროს ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებს.

ჩემს მიერ ექსპერიმენტული კვლევისათვის გამოყენებული მაქვს « 503ც » მოდიფიკაციის საზომი, რომლის მეტროლოგიური მახასიათებლები წარმოდგენილია ქვემოთ:

- სიხშირის დიაპაზონის ცვლილება- 48 [] 2 ჰც;
- ელექტრული ველის დამაბულობის გაზომვის ცვლილების დიაპაზონი- 50 ვ/მ-დან [] 50 კვ/მ-მდე;
- მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის ცვლილების დიაპაზონი-1 მკტლ-დან [] 5 მლტლ-მდე.

გაზომვის ფარდობითი ცდომილების ზღვრებია:

- ელექტრული ველის ცდომილება- $\pm 15\%$;
- მაგნიტური ინდუქციის ცდომილება- $\pm 15\%$;

ხელსაწყოს ექსპლუატაციის სამუშაო პირობი:

- დასაშვები გარემოს ტემპერატურა- $-20 [] +55^{\circ}\text{C}$;
ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის დასაშვები მნიშვნელობა 25°C -ზე- 90%-მდე;
- ატმოსფერული წნევის დასაშვები მნიშვნელობა 70-106 კპა (537-800 მმ.ვწყ.სვ)

ტექნიკური მახასიათებლები:

- ხელსაწყოს კვება ხორციელდება აკუმულატორის ბატარეით 3,6-4,6 ვ;
- ხელსაწყოს მოთხოვნილი სიმძლავრე - არაუმეტეს 0,3 ვტ;
- ხელსაწყო უწყვეტად მუშაობს -8 სთ აკუმულატორის დამატებითი დამუხტვის გარეშე.

4.2. გაზომვის მეთოდика

მაგნიტური ველის დამაბულობის პერპენდიკულარული განაწილების განსაზღვრისათვის გაზომვები ტარდება ხაზების ქვეშ და ელექტროგადამცემი ხაზის პროექციის შუაში, აგრეთვე ზღვრული ფაზიდან ყოველ 10 მეტრში. ხოლო დამაბულობის გადანაწილებისათვის 0,5 მეტრში მოწყობილობიდან, მათ შუა ცენტრში და მათგან 5 და 10 მეტრის დაშორებით.

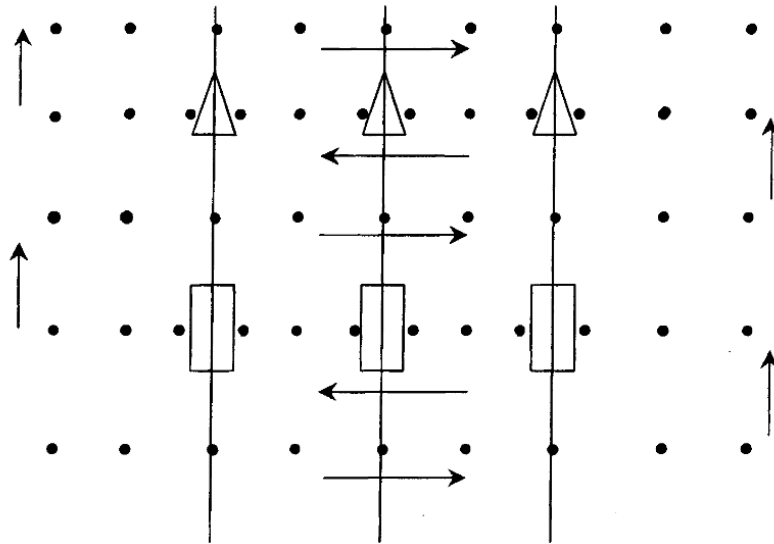
გაზომვების წარმოებამდე პირველ რიგში შევადგინეთ გამოსაკვლევი ტერიტორიის გეგმა, რომელზეც აღვნიშნეთ სივრცეში არსებული მოწყობილობები და დენგადამტანი ელემენტების ტრასები. შემდეგ რუკაზე მოვნიშნეთ მომავალი საზომი წერტილები.

რაც შეეხება მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზებისათვის გაზომვები ჩავატარეთ საყრდენების ქვეშ წერტილებში, საყრდენებს შორის ცენტრებში და ყოველი 5 მეტრის ინტერვალით. გამოკვლევებმა აჩვენა რომ ხაზის გასწვრივ საკმარისია გაზომვების წარმოება ყოველ 10 მეტრის შუალედში.

ღია გამანაწილებელი მოწყობილობის გარშემო მაგნიტური ველის დამაბულობის გამოკვლევისათვის გამოსაკვლევი ტერიტორია დავყავით უჯრედებად. პირველ ეტაპზე დავხაზეთ მოცემულ უჯრედებში მოწყობილობების განლაგების გეგმა და ფიქსირებულ მოწყობილობებს შორის დაშორება. შემდეგ მოვახდინეთ გაზომვების წარმოება მოწყობილობებიდან 0,5 მეტრში, მოწყობილობების ცენტრში და 5 და 10 მეტრში უკანასკნელი მოწყობილობიდან.

გაზომვები ჩავატარეთ შატლის მეთოდით, რომლის სქემაც მოცემულია 4.2. სურათზე.

აქ გაზომვები ჩავატარეთ მიწის დონიდან 1,8 მეტრის სიმაღლეზე.



ნახ.4.2. მოწყობილობების სიახლოვეს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოკვლევის სქემა

4.3. თეორიულად გაანგარიშებული და ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება

ჩვენს მიერ მესამე თავში ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლების გამოყენებით სრული დენის კანონის საფუძველზე მიღებული იქნა ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის გამოსათვლელი ფორმულა სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე (ფორმულა 3.8) ერთჯაჭვა ხაზის შემთხვევაში. მიღებული ფორმულის მართებულობის შეფასებისათვის დიდუბის 220/110 კვ ქვესადგურში ჩატარებული იქნა გაზომვები 220 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზისათვის, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებული იყო 8 მ-ით, ხაზში გამავალი დენი იყო 300 ა, სადენის მარკა AC-240, დაშორება სადენებს შორის 6,5 ა. გაზომვები ტარდებოდა კიდურა სადენის გეგმილიდან დაშორებაზე. ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ.4.3, ა,ბ,გზე და ცხრილი 4.1-ში. აღნიშნული

პარამეტრები ჩასმული იქნა 3.8 გამოსახულებაში და თეორიული გაანგარიშების შედეგები წარმოდგენილია იგივე ცხრილში.

ცხრილი 4.1. ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარების ცხრილი

დაშორება 220 კვ სეგხ-ს კიდურა ხაზის გეგმილიდან, მ	გაზომვის შედეგი, მკტლ	თეორიული გაანგარიშების შედეგი, მკტლ	აბსოლუტური ცდომილება, მკტლ	ფარდობითი ცდომილება, %
0	4,66	5,3	0,64	12,1
5	3,92	4,3	0,38	9,9
10	2,39	2,77	0,38	13,7
15	1,97	2,37	0,4	16,9
20	1,54	1,76	0,22	12,5

როგორც ნახ.4.3.ა,ბ,გ -დან ჩანს ხელსაწყოს მაქსიმალური ფარდობითი ცდომილება არის $\pm 17,4\%$ ($\pm 0,810 \cdot 100 / 4,66 = 17,4\%$). ხოლო როგორც ცხრილი 4.1-დან ჩანს გაზომილ და თეორიულად გაანგარიშებულ სიდიდეებს შორის მაქსიმალური განსხვავება შეადგენს $16,9\% \square 17,4\%$.

აქედან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ექსპერიმენტით გაზომილი და თეორიულად გაანგარიშებული მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები ერთმანეთის თანაზომადია და ჩვენი გამოკვლევებით მიღებული მაგნიტური ველის დამაბულობის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი შეიძლება გამოყენებული ადამიანის ჯანმრთელობაზე მაგნიტური ველის გავლენის ზონის დადგენის მიზნით საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზების დაპროექტების დროს.



ა)

ბ)

გ)

ნახ.4.3. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველი დაძაბულობის გაზომვის შედეგები 220 კვ ძაბვის შემთხვევაში: ა) კიღურა ხაზის ქვეშ; ბ) კიღურა ხაზის გეგმილიდან 10 მ-ს დაშორებით; გ) კიღურა ხაზის გეგმილიდან 20 მ-ის დაშორებით

4.4. სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველის განაწილების გამოკვლევა ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მიერ ელექტრომაგნიტური დაბინძურების გამოკვლევისათვის ჩვენს მიერ დიდუბის 220/110 კვ ქვესადგურის ტერიტორიაზე ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტული კვლევის სამუშაოები ელექტრომაგნიტური ველის დაძაბულობების გასაზომად 220 კვ ელექტროგადაცემის ხაზებისათვის. გაზომვები ტარდებოდა დედამიწის ზედაპირიდან 1,8 მ სიმაღლეზე შემდეგი შემთხვევებისათვის: 1. 110 კვ ძაბვის ხაზის გასწვრივ; 2. სავალ ბილიკზე; 3. 125 მვა ძალური ტრანსფორმატორის სიახლოვეს.

ცხრილი 4.2–ში მოყვანილია 110 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები (მკტლ) ხაზის გასწვრივ დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურში

ცხრილი 4.2. 110 კვ ძაბვის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები (მკტლ) ხაზის გასწვრივ დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურში

110 კვ საჰაერო ეგხ	დამორება საყრდენიდან, მ						
	0	5	10	15	20	25	30
კიდურა ხაზის ქვეშ	1,46	1,81	2,32	2,39	2,43	2,45	2,37
ფაზებს შორის	2,06	2,30	2,44	2,48	2,55	2,63	2,51
შუა ფაზის ქვეშ	2,02	2,22	2,27	2,43	2,47	2,54	2,40

როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს, საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის საყრდენთან ახლოს მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა ყველაზე დაბალია, რადგან ხაზი იმყოფება დედამიწის ზედაპირიდან უდიდესი დაშორებით. ხაზის გასწვრივ გადაადგილების დროს ხაზის ჩამოკიდების ისრის ზრდის გამო ხაზი თანდათან უახლოვდება დედამიწას და შესაბამისად იზრდება მაგნიტური ველის დამაბულობა და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს დედამიწის ზედაპირიდან მინიმალური დაშორების დროს (25 მ –ს დაშორებით) და შემდეგ ისევ იწყებს შემცირებას.

გაზომვის პროცესი ნაჩვენებია ნახ.4.4.ა–ზე. ხოლო გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა მოცემულია ნახ.4.3 ბ-ზე. გაზომვის დროს ხაზში გამავალი დენის მნიშვნელობა იყო 150 ამპერი. როგორც ნახ.4.4.ბ-დან ჩანს ელექტრული ველის დამაბულობის

მნიშვნელობა 0,4864 კვ/მ-ზე გაცილებით მცირეა ელექტრული ველის დამაბულობის ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობაზე (5 კვ/მ).



ა)



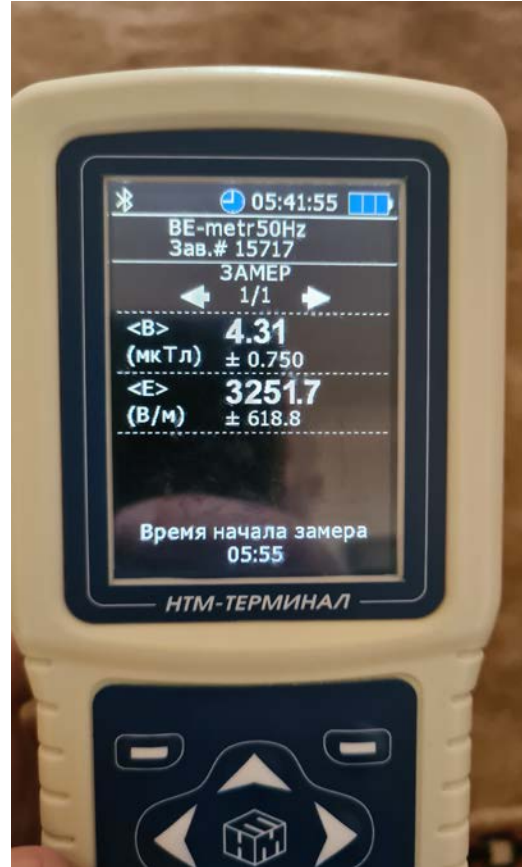
ბ)

ნახ.4.4. ა. 110 კვ საჰაერო ეგხ-ს მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი; ბ) გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა

როგორც ცხრილი 4.2-დან ჩანს 110 კვ საჰაერო ეგხ-ს გამავალ ტერიტორიაზე მაგნიტური ველის დამაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა (2,63 მკტლ) ნაკლებია საბჭოთა ნორმატივებით მიღებულ მაგნიტური ველის დამაბულობის ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობაზე (5 მკტლ).



ა)



ბ)

ნახ.4.5.ა. მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაზომვის პროცესი სავალი ბილიკის გასწვრივ; ბ) გამოზომი ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა

ნახ.4.5.ა-ზე, წარმოდგენილია მაგნიტური ველის დაძაბულობის გაზომვის პროცესი სავალი ბილიკის გასწვრივ, ხოლო გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა მოცემულია ნახ.4.5. ბ-ზე. სავალი ბილიკის გასწვრივ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ იცვლება და შეადგენს დაახლოებით $(4,31 \pm 0,06)$ მკტლ-ს. მაგნიტური ველის დაძაბულობის ეს მნიშვნელობაც ნაკლებია ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობაზე, მაგრამ ორჯერ მეტია წინა შემთხვევასთან შედარებით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზები განთავსებულია ბილიკის ორივე მხარეს და გავლენის შედეგები შეჯამებულია. ამასთანავე აღსანიშნავია, რომ გაიზარდა ელექტრული ველის დაძაბულობის დონე და მიაღწია $3,2517$ კვ/მ-ზე.

ნახ.4.6-ზე წარმოდგენილია გაზომვის პროცესი 220/35/6 ძაბვისა და 125 მვა სიმძლავრის ძალური ტრანსფორმატორის სიახლოვეს.



ა)



ბ)

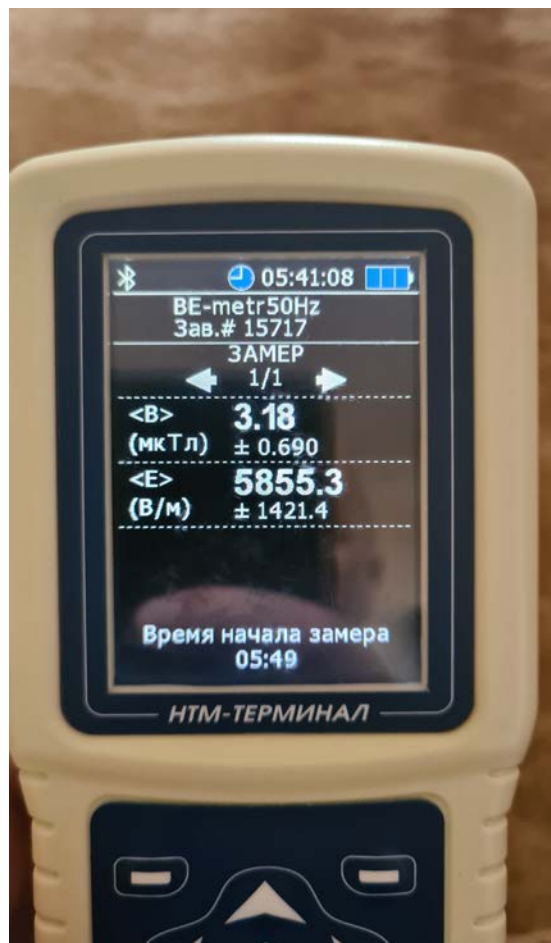
ნახ.4.6. მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი ძალურ ტრანსფორმატორთან; ბ) გამზომი ხელსაწყოს მიერ ასახული მნიშვნელობა

როგორც ნახ.4.6-დან ჩანს ძალურ ტრანსფორმატორთან მაგნიტური ველის დამაბულობის ნაჩვენები მნიშვნელობა ბევრად აღემატება ქვესადგურის დანარჩენ ტერიტორიაზე ნაჩვენებ მნიშვნელობებს., ანუ ძალური ტრანსფორმატორის სიახლოვეს მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა აღემატება ნორმატივებით დადგენილ ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობებს ($8,16 > 5$ მკტლ).

რაც შეეხება ელექტრული ველის დამაბულობას მისი მნიშვნელობა გაცილებით მცირეა ნორმატივებით დადგენილ მნიშვნელობასთან

შედარებით ($0,5965 < 5$ კვ/მ). ეს გამოწვეულია იმით, რომ როგორც ცნობილია ტრანსფორმატორის კორპუსი დამიწებულია და ელექტრული ველის დაძაბულობის ძალხაზები იკვრებიან ტრანსფორმატორის კორპუსთან და გაედინებიან მიწაში.

ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით ჩატარებული გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.4.7-ზე.



ნახ.4.7. ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით ჩატარებული გაზომვის შედეგის ასახვა საზომ ხელსაწყოზე

როგორც ნახ.4.7-დან ჩანს ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით მაგნიტური ველის დაძაბულობის სიდიდე მნიშვნელოვნად შემცირდა, მაგრამ გაიზარდა ელექტრული ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა. მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობა შევიდა ნორმატივებით დადგენილ დასაშვებ ზონაში ($3,18 < 5$ მკტლ), ხოლო

ელექტრული ველის დაძაბულობის მნიშვნელობამ გადააჭარბა დასაშვებ მნიშვნელობას ($5,8553 > 5$ კვ/მ).

რეკომენდაცია დამპროექტებლებს. საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების დაპროექტების დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს მაგნიტური ველის ინტენსივობა ამ კონსტრუქციების გარემომცველ გარემოში და შესაძლებლობის ფარგლებში შემოთავაზებული უნდა იქნეს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გარემომცველ სივრცეში ელექტრომაგნიტური ველის ინტენსიურობის შემცირებას. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად შეიძლება გამოყენებული იქნეს სადისერტაციო სამუშაოში დამუშავებული მაგნიტური ველის დაძაბულობის გასაანგარიშებელი მათემატიკური მოდელი.

დასკვნა

ჩატარებული სადისერტაციო სამუშაოს შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციისა და ტექნიკური მომსახურების სფეროში გვაქვს პრობლემების მთელი რიგი, რომლებიც დაკავშირებულია ადამიანის ჯანმრთელობის უსაფრთხოებასთან, სავარაუდო პრობლემებს შორის არის ადამიანის შეღწევა მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სანიტარულ ზონაში.
2. დასახლებული პუნქტების ზრდის პროცესს ზოგიერთ შემთხვევაში მივყავართ მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების განლაგების ტერიტორიის შთანთქმასთან. ამ სფეროში ყველაზე უფრო სავარაუდო პრობლემაა აღნიშნულ ხაზებზე სარემონტო სამუშაოების ჩატარების დროს არის ელექტროტრამვატიზმი.
3. მაღალი ძაბვის სამრეწველო სიხშირის ელექტროგადაცემის ხაზების გასწვრივ და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სალტეების ქვეშ მაგნიტური ველის საკმაო სიზუსტით გაანგარიშებისათვის პროექტირების სტადიაზე საჭირო შეიქმნა შესაბამისი ანალიზური მათემატიკური მოდელის გამოყენება.
4. სადისერტაციო სამუშაოში საინჟინრო ანალიზური მეთოდებით დამუშავებულია მაღალი ძაბვის ერთჯაჭვა და ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე.
5. ექსპერიმენტული გაზომვებითა და თეორიული გაანგარიშების შედეგად მიღებული მონაცემების შედარების გზით დამტკიცებულია მისი გამოყენების შესაძლებლობა, რაც საშუალებას იძლევა უკვე პროექტირების სტადიაზე გაანალიზდეს მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზების მაგნიტური ველის ინტენსივობა და მისი გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე ამ კონსტრუქციების გარემომცველ გარემოში.

6. დამუშავებული მათემატიკური მოდელის გამოყენებით დადგენილია, რომ 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზის შემთხვევაში ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ დადგენილი და ამერიკელი და შვედი მეცნიერების მიერ რეკომენდირებული მაგნიტური ველის ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობები (0,2-0,3 მკტლ) მიიღწევა იმ შემთხვევაში, თუ ადამიანი კიდურა სადენის დედამიწაზე გეგმილიდან დაშორებული იქნება 95 მ, ხოლო 220 კვ ძაბვის შემთხვევაში 50 მ მეტ მანძილზე
7. შემოთავაზებულია რეკომენდაციები საჰაერო ელექტროგადამცემის ხაზებისა და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების დამპროექტებლებისათვის მაგნიტური ველის ინტენსიურობის შემცირების გათვალისწინებისათვის გამოყენებული იქნეს სადისერტაციო სამუშაოში დამუშავებული მაგნიტური ველის დამაბულობის გასაანგარიშებელი მათემატიკური მოდელი.
8. ელექტრული ველის დამაბულობა ქვესადგურის მესერს გარეთ არ აღემატება საცხოვრებელი შენობების გარეთ დასახლებული პუნქტებისათვის ზღვრულად დასაშვებ დონეს, ამიტომ სანიტარული ზონის ზომის გაანგარიშების დროს შეიძლება ეს პარამეტრი გათვალისწინებული არ იყოს.

გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. სანიტარული წესები და ნორმები 2.2.4.3359-16. სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური მოთხოვნები სამუშაო ადგილებზე ფიზიკური ფაქტორების მიმართ (რუსულ ენაზე).
<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293753/4293753139.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა იქნა 25.06.2022 წ.)
2. რდ 153-34.0-03.150-00. „ელექტროდანადარების ექსპლუატაციისას შრომის დაცვის დარგთაშორისი წესები (უსაფრთხოების წესები).რუსულ ენაზე) https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1038841 (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წ.)
3. Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_007.pdf (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წ)
4. Electric field strength on the lines power transmission and substations 500 kV <https://www.emf-portal.org/en/emf-source/500> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წ).
5. The Effect of High-voltage Power Lines on Health/ Effect of Lep on Health. <https://ecohotnadzor31.ru/en/vliyanie-vysokovoltnyh-linii-elektroperedach-na-zdorove-vliyanie.html> (უკანასკნელად გადამოწმდა იქნა 30.01.2022 წ).
6. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა, http://energy.gov.ge/energy.php?id_pages=58&lang=geo (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022).
7. Gareev M.V. The system of individual accounting of the level of impact electric field on the personnel of system electrical networks. Dr. Ph.D. nayuk - Chelyabinsk, <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/7937/000298198.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022).
8. რდ 34.20.504-94. „ 35–800 კვ ძაბვის საჰაერო ხასხების ექსპლუატაციის ტიპური ინსტრუქცია. (რუსულ ენაზე)
<https://files.stroyinf.ru/Data1/39/39443/index.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.04.2022).
9. სანიტარული ნორმები და წესები 2.1.8.12–17–2005 „მოსახლეობის დაცვა სამრეწველო სიხშირის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებისაგან (რუსულ ენაზე).<https://energodoc.by/document/view?id=1463&subMenuId=604> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.04.2022).

10. გოსტ 12.1.002-84. შრომის უსაფრთხოების სტანდარტების სისტემა. სამრეწველო სიხშირის ელექტრული ველები. დამაბულობის დასაშვები დონეები და სამუშაო ადგილებზე კონტროლის ჩატარების მოთხოვნები (რუსულ ენაზე). <https://meganorm.ru/Data/390/39086.pdf>. (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.04.2022).
11. გოსტ 12.1.045-84. შრომის უსაფრთხოების სტანდარტების სისტემა. სამრეწველო სიხშირის ელექტროსტატიკური ველები. დამაბულობის დასაშვები დონეები და სამუშაო ადგილებზე კონტროლის ჩატარების მოთხოვნები (რუსულ ენაზე). <https://meganorm.ru/Data2/1/4294845/4294845260.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.04.2022).
12. მეთოდური მითითებები 4109-86. მეთოდური მითითებანი მაღალვოლტიანი ელექტროგადამცემი ხაზების ელექტრომაგნიტური ველის განსაზღვრისა და მათი განთავსების ჰიგიენური მოთხოვნების შესახებ. (რუსულ ენაზე). <https://meganorm.ru/Data2/1/4293780/4293780243.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წ)
13. სახელმწიფო ნორმები 2.1.8/2.2.4. 2262-07. „50 ჰც სიხშირის მაგნიტური ველების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები საცხოვრებელ შენობებში, საზოგადოებრივ შენობებსა და დასახლებულ პუნქტებში (რუსულ ენაზე). <https://meganorm.ru/Index2/1/4293837/4293837053.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.04.2022 წ)
14. The monitoring results of electromagnetic radiation of 110-kV high-voltage lines in one urban location in Chongqing P.R. China Environmental Monitoring and Assessment volume 184, (2012) pages1533–1540.
15. Green spaces as a means of ensuring the environmental safety of power transmission lines. <https://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy/chapter7.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
16. Protection of people from exposure to electric fields from the produced ultra-high voltage overhead line. Industrial energy. International EMF Project – Progress Report 2014-15, p. (16-17)
17. Safe organization of work on voltage lines 330kV and above. Working near overhead an underground electric lines. (Appendix B–Exclusion zones for overhead electric lines), P. 30 – 35.
18. Normalization of electric fields of industrial frequency. In book: Soft Target Protection, January 2020, (pp.337-349)

19. წესების კრებული 11-102-97. საინჟინრო –ეკოლოგიური კვლევა მშენებლობისათვის (რუსულ ენაზე) <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851544.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წელს).
20. Fundamentals of safety in electrical installations <https://www.labtrain.noaa.gov/ osha600/refer/menu12a.pdf> “Basic Electrical Safety”, p.35-37 (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
21. Staff protection in super high voltage electric substations by using of the electric field measurement devices <https://ieeexplore.ieee.org/ document/ 6220756> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
22. Foreign assessments of the impact of air lines of extra- and ultra-high voltage on the surroundin Wednesday. <https://www.senat.fr/fileadmin/Fichiers/Images/opicst/Rapport.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
23. Environmental Concerns for High-Voltage Transmission Lines in UNIPEDA Countries [https://www.researchgate.net/publication/245299504 Environmental_Concerns_for_High-Voltage_Transmission_Lines in UNIPEDA Countries](https://www.researchgate.net/publication/245299504 Environmental_Concerns_for_High-Voltage_Transmission_Lines_in_UNIPEDA_Countries) (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
24. Conduction of Electrical Current to and Through the Human Body: A Review <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2763825/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
25. Protection of people from exposure to electric fields from the produced ultra-high voltage overhead line. Industrial energy. International EMF Project – Progress Report 2014-15, p. (16-17) (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
26. The monitoring results of electromagnetic radiation of 110-kV high-voltage lines in one urban location in Chongqing P.R. China [Environmental Monitoring and Assessment](#) volume 184, pages1533–1540 (2012).
27. Analysis health damage to personnel of electrical installations with a voltage of 500kV. https://ww1.issa.int/sites/default/files/documents/prevention/14_056_Guideline_GB-36095.pdf (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
28. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: How source of funding affects result. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31476684/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).

29. Environmental magnetic fields: influences on early embryogenesis. <https://smekni.com/a/298827-3/vliyanie-magnitnykh-poley-na-rannie-stadii-ontogeneza-na-predstaviteley-semeystva-bobovykh-3/> (უკანასკნელად გადამოწმდა იქნა 30.01.2022 წელს).
30. Influence of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields on the Circadian System: Current Stage of Knowledge <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/169459/> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
31. Tikhodeev, N.N. Power lines of extra- and ultra-high voltage. <https://pandia.ru/text/80/229/42583.php>. (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
32. Hylten-Cavallius, N. Evaluation Of Health And Environmental Effects Of Extr <https://nepis.epa.gov> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
33. Bogdan Lewczuk. Influence of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields on the Circadian System: Current Stage of Knowledge. <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/169459/> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
34. Zolotov G.V. Influence of the electric field of industrial frequency (50 Hz) on the behavior and some physiological functions of the ciliate shoe (Paramecium caudatum) <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-elektricheskogo-polya-promyshlennoy-chastoty-50gts-na-povedenie-i-nekotorye-fiziologicheskie-funktsii-infuzorii-tufelki> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
35. Shepeleva E.A. , Afanasyeva A.A. , Mikheikin O.A. THE INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF INDUSTRIAL FREQUENCY ON THE HUMAN BODY. <https://ftp.scientific-capital.ru/nov2020/07112020.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
36. Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00052144> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
37. Wertheimer N., Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/453167/> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).

38. Гурвич, Е.Б. Смертность населения, проживающего вблизи энергообъекта электропередачи напряжением 500 киловольт. Медицина труда и промышленная экология, 2014, №9. с. 23-27.
39. Сазонова, Т.Е. Исследование биологического действия на живой организм электрического поля промышленной частоты напряжением 400-500 кВ. Гигиена труда и производственная санитария, 2018, № 4, 139 с.
40. Rubtsova N.V., Gurvich E.V., Novokhatsky E.A.. Mortality of the personnel, draining the operation of power facilities with a voltage of 500 kV. <https://tekhnosfera.com/elektromagnitnaya-obstanovka-vblizi-elektrostanovok-sverhвысокoго-napryazheniya> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
41. Mazilov A.V., Razukovanny B.N. On the control of the parameters of magnetic and electromagnetic fields used in thermonuclear installations. <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/33/043/33043279.pdf?r=1> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 25.06.2022 წელს).
42. Adey, W.R. Joint actions of environmental nonionizing electromagnetic fields on chemical pollution in cancer promotion. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1567752/>. (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
43. Adey, W.R. Tissue interaction with nonionizing electromagnetic fields <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7012860/> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
44. Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR. https://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_007.pdf (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
45. Lambert, H.E. Systems Safety Analysis and Fault Tree Analysis, <https://ftaassociates.files.wordpress.com/2019/06/h.-lambert-system-safety-analysis-and-fault-tree-analysis-ucid-16238-may-1973.pdf> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
46. WHO Fact Sheet «Electromagnetic fields and public health. Extremely lowfrequency fields and cancer» <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/elff>. (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
47. Grigoriev Yu.G. Electromagnetic fields and human health. <https://www.radiorus.ru/brand/57079/episode/919930>. (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).

48. Rajendra,R,Sashidar R.B., Subramaniam C. Biological effects of power frequency magnetic fields <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC375542/> (უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 30.01.2022 წელს).
49. Angelika Klimek,Justyna Rogalska Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor—Really Detrimental?—Insight into Literature from the Last Decade. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7912337/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
50. Christina L. Ross, Mevan Siriwardane,Graça Almeida-Porada, Christopher D.Porada,Peter Brink, George J. Christ, Benjamin S. Harrison The effect of low-frequency electromagnetic field on human bone marrow stem/progenitor cell differentiation. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4516580/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
51. Pedro Cruz Romero; Jess Riquelme Santos; Juan Carlos del Pino Lopez; Antonio de la Villa Jaen; Jos Luis Martnez Ramos. Comparative Analysis of Passiv. Loop-Based magnetic field mitigation of Overhead Lines. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4265721> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
52. Mousa Abdullah.Quantification of interaction between ELF magnetic fields and human body organs in the proximity power lines. <https://www.researchgate.net/publication/238005938> Interaction of ELF Magnetic Fields with Human Body Organs Model Underneath EHV Transmission Lines. (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
- 53.. Levallois P, Gauvin D, St-Laurent J. Electric and magnetic field exposures for people living near a 735-kilovolt power line. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1519228/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
54. A. A. Hossam-Eldin Study and evaluation of induced currents in human body from exposure to electromagnetic fields at low frequencies. <https://www.researchgate.net/publication/224593568> Study_and_evaluation_of_induced_currents_in_human_body_from_exposure_to_electromagnetic_fields_at_low_frequencies (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).
55. Abdelsalam Hafez Hamza .Application of analytical and numerical methods to evaluate nduced currenis in human bodies by ELF magneti fields <https://www.researchgate.net/publication/279928061> pplication_of_Analytical_and_Numerical_Methods_to_Evaluate_Induced_Currents_in_Human_Bodies_by_ELF_Magnetic_Fields (უკანასკნელად გადამოწმდა 30.01.2022 წელს).

56. ცოფურაშვილი გ. ელექტროენერგეტიკის ობიექტებზე სამრეწველო სიხშირის ელექტრომაგნიტური თავსებადობის მდგომარეობის გამოკვლევა. დისერტაცია, თბილისი, სტუ, 2018, 124 გვ.
57. სანიტარული ნორმები და წესები 2.2.1/2.1.1.1200-03“ დაწესებულებების, ნაგებობების და სხვა ობიექტების სანიტარულ-დამცავი ზონები და სანიტარული კლასიფიკაცია (რუსულ ენაზე) <https://files.stroyinf.ru/Data1/52/52471/index.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წელს).
58. მუსელიანი თ., გვარამაძე მ., საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზი. „ენერჯია“, 2020, №4(96), გვ. 9–12.
59. სახელმძღვანელო 2.2.2006-05. სამუშაო გარემოსა და სამუშაო პროცესის ფაქტორების ჰიგიენური შეფასების შესახებ. სრომის პირობების კრიტერიუმები და კლასიფიკაცია (რუსულ ენაზე). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293853/4293853008.htm> (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წელს).
60. Bonnell, Maddock, Kaban Studies of the biological impact of industrial fields Frequencies. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK208983/> (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წელს).
61. Fundamentals of Electrical Engineering I. The open university of Honkong. https://www.opentextbooks.org_hk/system/files/export/9/9648/pdf/Fundamentals_of_Electrical_Engineering_I_9648.pdf (უკანასკნელად გადახედილი იქნა 20.01.2022 წ.).
62. Володарский В.Я. Метрология. Теория и практика. М.: АНО «Поток – тест», 2000, 207 с.
63. Шаврина Н.А., Краинская И.С., Методика исследования напряженности магнитного поля промышленной частоты журнал „Электробезопасность“. 2004, № 4, с. 25-31.
64. Камо Серопович Д., Робертович Л. Н., Коровкин Н. В., Теоретические основы электротехники. Учебник для вузов. 5-е изд. Том 2 (PDF) , "Издательский дом "Питер", 2021 г. 432с.
65. მუსელიანი თ., მუსელიანი გ., ბალახაშვილი ლ., გვარამაძე მ. ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის განსაზღვრა კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს. „ენერჯია“, 2021, №2(98), გვ. 42-47.

66. მუსელიანი თ., გვარამაძე მ. ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის განსაზღვრა კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე. „ენერჯია“, 2022, №4(100), გვ. 39–44.
67. ელექტროდანადგარების მოწყობის წესები (ΠΥΘ 7). <https://tenders.procurement.gov.ge/public/library/files.php?mode=app&file=2013166&code=1476979371> (უკანასკნელად გადამოწმდა 25.06.2022 წელს).
68. გოსტ 12.0.003–2015. შრომის უსაფრთხოების სტანდარტების სისტემა.საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორები. კლასიფიკაცია. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754317.pd> (უკანასკნელად გადახედილი იქნა 20.01.2022 წ.).
69. Dovgusha V.V., Influence of natural and technogenic electromagnetic fields on life safety. Human Ecology; 2009; No. 12; p.64.
70. Izmerova N.F., Kirillova V.F. Labor hygiene. textbook. M., 2010. 592 p.
71. Krasnogorsky N.V. Electromagnetic fields in the biosphere. In 2 volumes. V.1.Electromagnetic fields in the earth's atmosphere and their biological significance. Nauka, 1984, 376p .
72. გვარამაძე მ. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედება ქვესადგურების პერსონალის ღია გამანაწილებლო მოწყობილობების მომსახურეობის დროს, „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 14-19.
73. Alexandrov G.N. Transmission of electricity. 2nd ed. St. Petersburg: Publishing house of the Polytechnic. un-ta, 2009, 412 p.
74. სანიტარული ნორმები და წესები 2.2.4.723-98. „სამრეწველო სიხშირის (50ჰც) ცვლადი მაგნიტური ველი საწარმოო პირობებში(რუსულ ენაზე). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294849/4294849844.htm> (უკანასკნელად გადახედილი იქნა 28.04.2022 წ.).
75. სანიტარული ნორმები და წესები 2.2.4.1191-03 „ელექტრომაგნიტური ველები საწარმოო პირობებში (რუსულ ენაზე). <https://ekosf.ru/normativnye-dokumenty/em-polya/571-sanpin-2-2-4-1191-03/> (უკანასკნელად გადახედილი იქნა 28.01.2022 წ.).