

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მარინე გვარამაძე

ელექტრომაგნიტური გარემოს გამოკვლევა მაღალი ძაბვის
დანადგარების სიახლოვეს

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

თბილისი

2022

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკის და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. მუსელიანი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია 304.

მისამართი: 0166, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. უკანასკნელ ხანებში მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს უფრო და უფრო დიდი ყურადღება ექცევა მათ ელექტრომაგნიტურ თავსებადობას ადამიანის სიცოცხლესთან დაკავშირებით, რადგან ელექტროენერგეტიკის მთავარ ობიექტებს, რომელთა ექსპლუატაციის დროს წარმოიშვებიან საშიში სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველები წარმოადგენენ სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულების ელექტროგადაცემის ხაზები და მაღალი ძაბვის ქვესადგურები. აღსანიშნავია, რომ ელექტროგადაცემის ხაზების სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური ველების გავლენას შეიძლება დაექვემდებაროს 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, შუბლიათ გამოიწვიონ ნერვული, გულ-სისხლძარღვთა და ენდოკრინოლოგიური სისტემების ფუნქციონალური მდგომარეობის ცვლილება. ადრე 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.

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 ამოცანას, 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 ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს;
3. დამუშავებული იქნა ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების მათემატიკური მოდელი სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს;
4. თეორიული გაანგარიშებისა და ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები შედარებული იქნა ერთმანეთთან.
5. ექსპერიმენტის საფუძველზე შესწავლილი იქნა ქვესადგურების ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების სიახლოვეს ელექტრული და მაგნიტური ველების დამაბულობების განაწილების დონეები.
6. ელექტრომაგნიტური ველის ინტენსიურობის შემცირების ან მისი საშიში გავლენის ზონაში ადამიანის ყოფნის დროის შემცირების რეკომენდაციების დამუშავება.

კვლევის ობიექტი. მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობების განაწილება.

კვლევისათვის გამოყენებული მეთოდები. კვლევის პროცესში გამოყენებული იქნა შემდეგი 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 ელექტროგადაცემის 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 მე-4 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 უნივერსიტეტში, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში პირველ, მეორე და მესამე კოლოქვიუმებზე.

დისერტაციის სტრუქტურა. სადისერტაციო სამუშაო წარმოდგენილია 118 გვერდზე და შედგება შესავალისაგან, ოთხი თავისაგან, დასკვნისაგან, 75 დასახელების ლიტერატურული წყაროსაგან, სამუშაო ილუსტრირებულია 30 ნახაზითა და 21 ცხრილით.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალურობა და მისი მეცნიერული სიახლე. ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი, განსაზღვრულია კვლევის ობიექტი და კვლევისათვის გამოყენებული მეთოდები. განსაზღვრულია სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება.

ნაშრომის პირველ თავში მოცემულია ლიტერატურული მიმოხილვის შედეგები. კერძოდ, მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების სიახლოვეს ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის სხვადასხვა კვლევის განზოგადოებული შედეგები; 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.

ელექტროენერგეტიკის დარგის განვითარების ტემპების შესაბამისად ყოველწლიურად იზრდება ქვესადგურებისა და ელექტროგადაცემის ხაზების რაოდენობა. რის გამოც შეუძლებელია მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების გარემოში მოცემული ტიპის ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციისა და რემონტის ჩამტარებელ პერსონალზე გათვალისწინებული არ იქნეს ელექტრული და მაგნიტური ველების მავნე ზემოქმედება.

ის სანიტარულ-ეპიდემიოლოგიური წესები და ნორმები, რომელსაც ჩვენ დღეისათვის ვიყენებთ 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 და ქვევით ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის

ხაზის გავლენისაგან დაცვა არ მოითხოვება . ამ შემთხვევაში იგი უნდა აკმაყოფილებდეს ელექტროდანადგარების მოწყობის წესებისა და მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ქსელების დაცვის ზონების მოთხოვნებს.

ცხრილი 1-ში მოცემულია II3-1 ტიპის ხელსაწყოთი დედამიწის ზედაპირიდან 1,8 მ სიმაღლეზე ელექტრული ველის დამაბულობის გაზომვის შედეგები 220, 330, 500 კვ ძაბვის ქვესადგურებსა და საჰაერო ხაზის ქვეშ.

ნაშრომის მეორე თავში მოცემულია საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზი ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებიდან გამომდინარე, გარჩეულია სადგურების და ქვესადგურების მომსახურე პერსონალის შრომის უსაფრთხოებისა და სამრეწველო სიხშირის მაგნიტური ველების დამაბულობის გამოკვლევის მეთოდების საკითხები.

ცხრილი 1. 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

დღეისათვის მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზები, რომლითაც ხდება ელექტროენერჯის გადაცემა წყაროდან

მომხმარებლისაკენ მიეკუთვნებიან მომატებული საფრთხის ობიექტებს და შესაბამისად, გამოყენებისას ქმნიან პრობლემებს ადამიანის უსაფრთხოებისათვის.

საჭაერო 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 ნორმატიული დოკუმენტით რეგლამენტირებული იყო ადამიანის ყოფნის ხანგრძლივობა ცვლადი დენის სამრეწველო სიხშირის საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დამაბულობის გავლენის ზონაში. აღნიშნულმა ნორმატიულმა დოკუმენტმა, ძალა დაკარგა 2017 წლის 14 დეკემბერს, მაგრამ 2020 წლის 1 თებერვლიდან თავისი მნიშვნელობის გამო ისევ აქტუალური გახდა. ამ ნორმატიულ დოკუმენტში 2008 წლამდე მთლიანად იყო იგნორირებული საჭაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის გავლენის ზონაში ყოფნის ხანგრძლივობა. მხოლოდ 2008 წელს მიღებული იქნა ჰიგიენური ნორმატივები რომელიც ვრცელდება 220 კვ და მეტი ძაბვის ცვლადი დენის სამრეწველო სიხშირის ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემისა და განაწილების სისტემების 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 ჰვ სიხშირის მაგნიტური ველის წყაროების ექსპლუატაციასა და მომსახურებასთან.

ჩატარებული კვლევებიდან ჩანს, რომ ელექტრული ველის დამაბულობა დამოკიდებულია ძაბვაზე, ხოლო მაგნიტური ველის დამაბულობა კი დატვირთვის რეჟიმზე. ელექტრული ველის

დაძაბულობაზე გავლენას ახდენს ამინდის ფაქტორი, ხოლო ამინდის ფაქტორის გავლენა მაგნიტური ველის დაძაბულობაზე არ შეინიშნება.

ელექტროგადაცემის ხაზის გასწვრივ მცხოვრებთა უსაფრთხოების უზრუნველყოფისათვის ნორმატიული დოკუმენტით დადგენილია მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ტრასის გასწვრივ სანიტარულ–დამცავი ზონები, რომელთა საზღვრის გარეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა არ აღემატება 1 კვ/მ. დამცავი ზონები დგინდება ელექტროგადაცემის მოცემული ხაზის ძაბვაზე პირდაპირი დამოკიდებულებით.

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

გამოკვლევებით დგინდება რომ მაგნიტურ ველის დაძაბულობა 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 მეთოდის გამოყენება, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ეს ჩამოთვლილი ფაქტორები.

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

მაგნიტური ველის დაძაბულობა ნაწილდება კანონით

$$H=I/(2\pi*R) \tag{1}$$

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

დაძაბულობის გადანაწილების მრუდი ნაჩვენებია ნახ.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 სიმალლის დონისადმი მით მეტია მაგნიტური ველის დაძაბულობა.

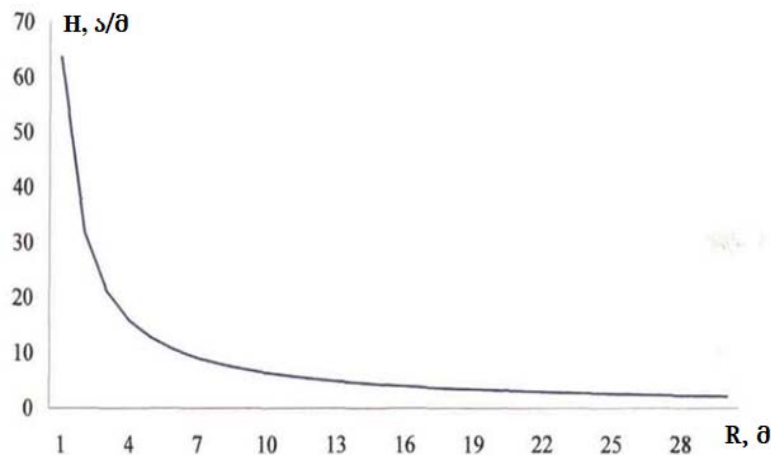
გამოკვლევის ჩატარების პირველ ეტაპზე ირჩევა პირობითი ჭეშმარიტი მნიშვნელობა

$$Y_{3\text{კმ}} = Af(x)$$

ხოლო შემდეგ იზომება ეს მნიშვნელობა.

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

$$Y_0 = A_0 f(x) = A_0 f(x) = Y_{3\text{კმ}}$$



ნახ.1. მაგნიტური ველის დაძაბულობის განაწილების დამოკიდებულება დენგამტარი ნაწილის ელემენტისაგან 400 ა დენის გავლის დროს

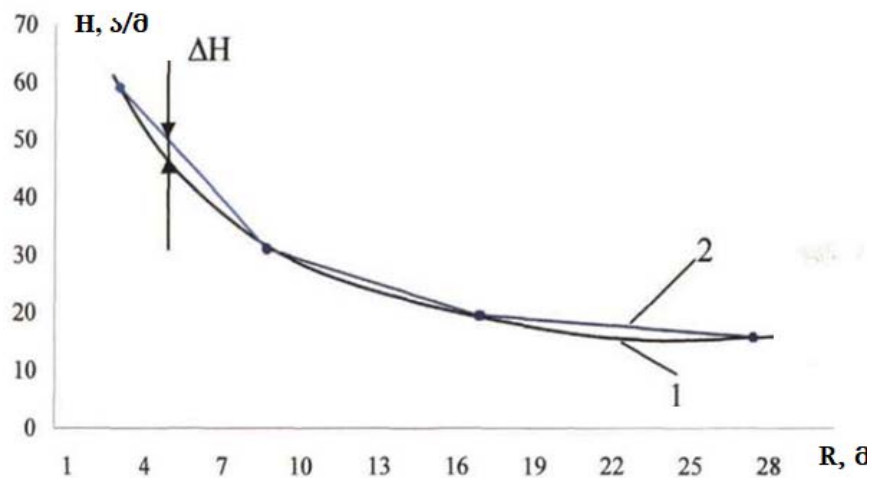
ვერ გამოიყენება უმეტეს სამუშაო მოდელებში შემდეგი მიზეზების გამო:

- 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.

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



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

ნახ.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 ფორმულიტ

$$H=k \cdot R+b \tag{2}$$

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

$$\begin{cases} H_1 = k \cdot R_1^2 + b \\ H_2 = k \cdot R_2^2 + b \end{cases} \begin{cases} \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_1} = k \cdot R_1 + b \\ \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot R_2} = k \cdot R_2 + b \end{cases} \tag{3}$$

$$k = \frac{\frac{I}{2\pi} \left(\frac{I}{R_1} - \frac{I}{R_2} \right)}{R_1 - R_2} = \frac{\frac{I}{2\pi} \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot R_2} \right)}{R_1 - R_2} = - \frac{I}{2\pi \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (4)$$

მაშინ კოეფიციენტი b ტოლი იქნება:

$$b = \frac{I}{2\pi \cdot R_1} - kR_1 = \frac{I}{2\pi \cdot R_1} + \frac{I}{2\pi \cdot R_2} = \frac{I}{2\pi} \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) \quad (5)$$

(2.1) გამოსახულება ჩავწერთ ზოგადი სახით:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R_1 \cdot R_2} \cdot R + \frac{I}{2\pi} \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right) = \frac{I \cdot (R_1 + R_2 - R)}{2\pi \cdot R_1 \cdot R_2} \quad (6)$$

მაშინ მეთოდური ცდომილება ტოლი იქნება:

$$\begin{aligned} \gamma_{\partial} &= \frac{\Delta H}{H_{\text{ნებალ}}} \cdot 100\% = \frac{H - H_{\text{ნებალ}}}{H_{\text{ნებალ}}} \cdot 100\% = \frac{\frac{I \cdot (R_1 + R_2 - R)}{2\pi \cdot R_1 \cdot R_2} - \frac{I}{2\pi \cdot R}}{\frac{I}{2\pi \cdot R}} \cdot 100\% = \\ &= \left(\frac{R_1 + R_2 - R}{R_1 \cdot R_2} - \frac{1}{R} \right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R}} \cdot 100\% \\ &= \frac{((R_1 + R_2 - R) \cdot R - R_1 \cdot R_2) \cdot R}{R_1 \cdot R_2 \cdot R} \cdot 100\% = \frac{(R_1 + R_2 - R) \cdot R - R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot 100\% \quad (7) \end{aligned}$$

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.

ნაშრომის მესამე თავში მოცემულია ჩვენს მიერ დამუშავებული ის თეორიული მასალა, რომელიც იძლევა საშუალებას საქართველოში საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების მარშრუტების მიხედვით პროექტირების დროს განსაზღვრული იყოს ის მინიმალური დაშორება საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა ხაზის გეგმილიდან, რომელიც უზრუნველყოფს კიბოს კვლევების საერთაშორისო სააგენტოს მიერ დადგენილი ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო მაგნიტური ველის ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობების (0,2–0,3 მკტლ) დაცვას.

წარმოდგენილ თავში განხილულია ორი სახის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი. ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზს სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს და ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზს სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს.

ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლების კურსიდან ასევე ცნობილია კავშირი მაგნიტური ველის დამაბულობასა და მაგნიტურ ინდუქციას შორის. მაგნიტური ველის დამაბულობა ტოლია:

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0} = \frac{I}{2\pi R} \quad (8)$$

როგორც (8) გამოსახულებიდან ჩანს მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდე დამოკიდებულია ხაზში გამავალი დენის სიდიდესა და ხაზიდან დაშორებაზე და დამოკიდებული არ არის გარემოს თვისებებზე.

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

$$\dot{H} = \frac{I}{2\pi R} \quad (9)$$

ზედდების პრინციპის საფუძველზე ვწერთ, რომ:

$$\dot{H} = \frac{I_A}{2\pi R_A} + \frac{I_B}{2\pi R_B} + \frac{I_C}{2\pi R_C} \quad (10)$$

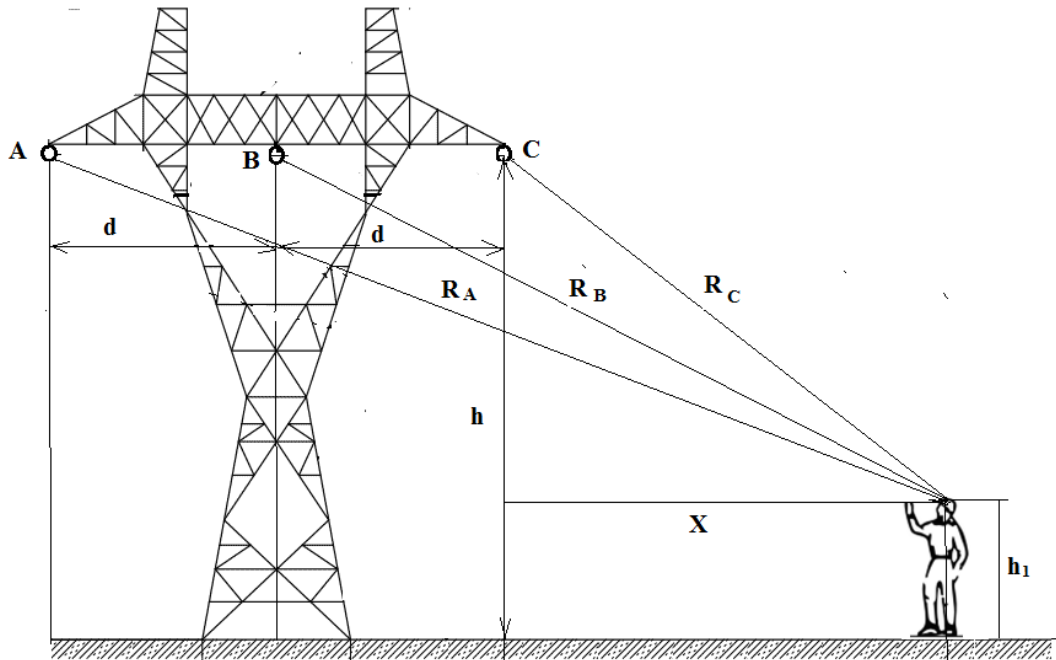
სადაც I_A, I_B, I_C - ხაზური დენების კომპლექსური მნიშვნელობებია, R_A, R_B, R_C - მანძილებია დაკვირვების წერტილიდან შესაბამის ხაზებამდე. დავუშვათ ფაზების დენების კომპლექსური მნიშვნელობებია:

$$\begin{cases} I_A = I_b \\ I_B = I_b e^{-j120^\circ} \\ I_C = I_b e^{j120^\circ} \end{cases} \quad (11)$$

ხაზური დენების მნიშვნელობების შევიტანოთ (3.5) გამოსახულებიდან შევიტანოთ (10)-ში შეტანით მივიღებთ:

$$\dot{H} = \frac{I_B}{2\pi R_A} + \frac{I_B e^{-j120^\circ}}{2\pi R_B} + \frac{I_B e^{j120^\circ}}{2\pi R_C} = \frac{I_B}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{e^{-j120^\circ}}{R_B} + \frac{e^{j120^\circ}}{R_C} \right) \quad (12)$$

ნახ.3.-ზე მოცემულია ერთჯაჭვა 500 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი, საყრდენზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგებით.



ნახ.3. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზი საყრდენზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგებით

ნახ.3.-დან ჩანს, რომ ადამიანის დაშორება საჰაერო ელექტროგადაცემის A,B,C ფაზებისათვის შესაბამისად იანგარიშება ფორმულებით:

$$\begin{aligned} R_A &= \sqrt{(X + 2d)^2 + (h - h_1)^2} \\ R_B &= \sqrt{(X + d)^2 + (h - h_1)^2} \\ R_C &= \sqrt{X^2 + (h - h_1)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

(313) გამოსახულების შეტანით (12) გამოსახულებაში და მივიღებთ:

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

(14)

გამოსახულება (14) წარმოადგენს ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის დონის გასაანგარიშებელ ფორმულას კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს.

მაგრამ სანიტარულ - ეპიდემიოლოგიურ ნორმატიულ დოკუმენტებში მოყვანილია როგორც მაგნიტური ველის დამაბულობის, ასევე მაგნიტური ველის ინდუქციის დასაშვები მნიშვნელობები. ამიტომ მაგალითის სახით კონკრეტული საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის გაანგარიშების დროს ჩვენ ჯერ (14) გამოსახულებით ვანგარიშობთ მაგნიტური ველის დამაბულობას, ხოლო შემდეგ მიღებული შედეგების მიხედვით ვახდენთ მაგნიტური ველის ინდუქციურობის გაანგარიშებას შემდეგი ფორმულით:

$$B = 1,25 H, \text{ მკტლ} \quad (15)$$

მაგალითისათვის (14) გამოსახულებით განსაზღვრულია 500 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობისა და ინდუქციურობას მნიშვნელობები, როდესაც 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 დაშორება შეადგენს $h = 27,0$ მ-ს, ხოლო მინიმალური დაშორება $h = 15,5$ მ. ანგარიშის შედეგები მოყვანილია ცხრილი 2-ში.

ცხრილი 2-დან ჩანს, რომ ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციისა და კიბოს საერთაშორისო სააგენტოს მიერ დადგენილი ადამიანის ჯანმრთელობისათვის რეკომენდირებული უსაფრთხო მაგნიტური ველის ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობები (0,2-0,3 მკტლ) დაცულია საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა სადენის დედამიწაზე გეგმილიდან 95 მ მეტ მანძილზე დაშორების შემთხვევაში.

ცხრილი 2. მაგნიტური ველის დამაბულობის ანგარიშის შედეგები ერთჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს

#	დაშორება კიდურა ხაზის გეგმილიდან X, მ	მაგნიტური ველის დამაბულობა H, ა/მ	მაგნიტური ველის ინდუქცია B, მკტლ	მაგნიტური ველის დამაბულობა H, ა/მ	მაგნიტური ველის ინდუქცია 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

ამავე თავში ასევე მოცემულია ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის განსაზღვრა კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ვერტიკალურად განლაგების დროს (ნახ.4). წინა შემთხვევის მსგავსად ელექტროგადაცემის ხაზისათვის ვწერთ:

$$\dot{H} = \frac{I_A}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + \frac{I_B}{2\pi} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + \frac{I_C}{2\pi} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) \quad (3.16)$$

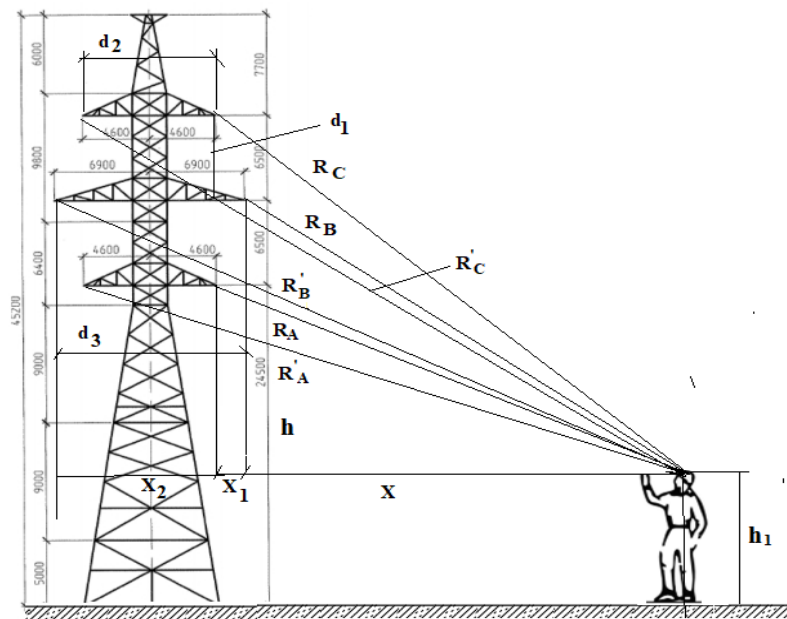
დავუშვათ ორივე ხაზში დატვირთვა სიმეტრულია, მაშინ დენების კომპლექსური მნიშვნელობებისათვის ვიყენებთ გამოსახულებას:

$$\begin{cases} \dot{I}_A = I_b \\ \dot{I}_B = I_b e^{-j120^\circ} \\ \dot{I}_C = I_b e^{j120^\circ} \end{cases} \quad (17)$$

ამ გამოსახულებიდან ხაზური დენების მნიშვნელობები შევიტანოთ (3.16)-ში და მივიღებთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის საანგარიშო ფორმულას:

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \frac{\dot{I}_b}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + \frac{\dot{I}_b e^{-j120^\circ}}{2\pi} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + \frac{\dot{I}_b e^{j120^\circ}}{2\pi} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) = \\ &= \frac{I_b}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R'_A} \right) + e^{-j120^\circ} \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R'_B} \right) + e^{j120^\circ} \left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R'_C} \right) \right] \end{aligned} \quad (18)$$

მიღებული გამოსახულება (18) წარმოადგენს ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის გასანგარიშებელ ფორმულას კიდურა ხაზის გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს.



ნახ.4. ორჯაჭვა ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის ინდუქციის გაანგარიშების სქემა

სადაც, მოცემულ შემთხვევაში ადამიანის დაშორება საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებიდან იანგარიშება ფორმულებით:

$$R_A = \sqrt{(X + X_1)^2 + (h - h_1)^2} \quad ; R_B = \sqrt{X^2 + (h + d_1 - h_1)^2}$$

$$; R_C = \sqrt{(X + X_2)^2 + (h + 2d_1 - h_1)^2}$$

$$R'_A = \sqrt{(X + X_1 + d_2)^2 + (h - h_1)^2} ; \quad R'_B = \sqrt{(X + d_3)^2 + (h + d_1 - h_1)^2}$$

$$R'_C = \sqrt{(X + X_1 + d_2)^2 + (h + 2d_1 - h_1)^2}$$

(3.19)

მაგალითის სახით მუშაობის რეალური რეჟიმში განსაზღვრულია ორჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობისა და ინდუქციურობის მნიშვნელობები. 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; სადენის მარკაა AC-400/51, რომლის ხანგრძლივად დასაშვები დენია $I_{დს.} = 825$ ა. ანგარიში ვაწარმოეთ იმ შემთხვევისათვის, როცა აღნიშნულ საყრდენებზე სადენები დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებულია $h = 8,0$ მ სიმაღლეზე. სადენის უმცირესი დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან დაშვებულია $8,0$ მ.

მაგნიტური ველის დამაბულობის ანგარიშის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი № 3-ში.

ცხრილი 3. მაგნიტური ველის დამაბულობის მიღებული ანგარიშის შედეგები ორჯაჭვა საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზისათვის სადენების ვერტიკალური განლაგების დროს

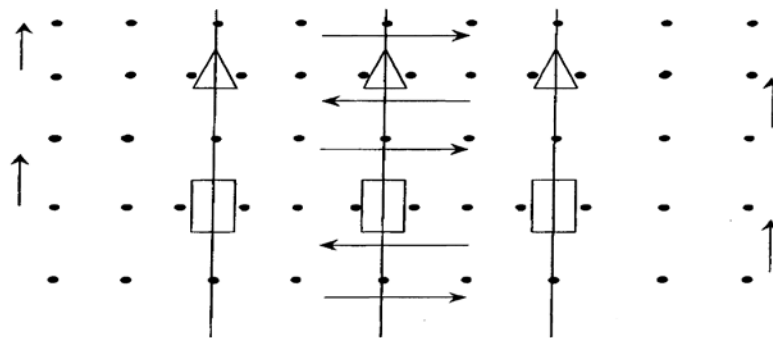
X, მ	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
H, ა/მ	15,46	8,3	3,84	2,0	1,52	0,76	0,58	0,46	0,35	0,26	0,22
B, მკტლ	19,32	10,37	4,8	2,5	1,9	0,95	0,727	0,575	0,44	0,325	0,275

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

როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს მოცემულ შემთხვევაში კიბოს საერთაშორისო სააგენტოს მიერ დადგენილი და ჯანმრთელობის დაცვის

საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ ადამიანის ჯანმრთელობისათვის რეკომენდირებული უსაფრთხო მაგნიტური ველის ინდუქციის ლიმიტირებული მნიშვნელობები (0,2-0,3 მკტლ) ორჯაჭვა 220 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის კიდურა სადენის დედამიწაზე გეგმილიდან დაცულია 50 მ მეტ მანძილზე დაშორების შემთხვევაში.

ნაშრომის მეოთხე თავში მოცემულია ელექტრომაგნიტური ველს დაძაბულობის დონის სამკომპონენტო საზომი ხელსაწყო BE-метр, მოდიფიკაციებით «AT-004» и «50ჰც» და მართვის ბლოკით «HTM-Терминал-ის ტექნიკური მახასიათებლები, რომელიც გამოიყენება სამრეწველო სიხშირის მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების მიერ აღძრული ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის გასაზომად. იგი აკმაყოფილებს სანიტარულ ეპიდემიოლოგიური ნორმატივების მოთხოვნებს. ამავე თავში მოყვანილია ასევე გაზომვის მეთოდიკა და ელექტრული მოწყობილობების სიახლოვეს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოკვლევის სქემა, რომელზეც ნაჩვენებია წერტილებში წარმოებდა გაზომვები. სქემა წარმოდგენილია ნახ.5-ზე.



ნახ.5. მოწყობილობების სიახლოვეს მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოკვლევის სქემა

ჩვენს მიერ ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლების გამოყენებით სრული დენის კანონის საფუძველზე მიღებული იქნა ერთჯაჭვა მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის დონის გასაანგარიშებელ ფორმულა კიდურა ხაზის

გეგმილიდან დაშორებაზე სადენების ჰორიზონტალური განლაგების დროს (14). მიღებული ფორმულის მართებულობის შეფასებისათვის დიდუბის 220/110 კვ ქვესადგურში ჩატარებული იქნა გაზომვები 220 კვ ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის 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.-ში. აღნიშნული პარამეტრები ჩასმული იქნა (14) გამოსახულებაში და თეორიული გაანგარიშების შედეგები წარმოდგენილია იგივე ცხრილში.

ცხრილი 4.. ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული გაანგარიშების შედეგების შედარების ცხრილი

დაშორება 220 კვ სეგხ-ს კიდურა ხაზის გეგმილიდან, მ	BE-метр ხელსაწყოთი მიღებული 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.6.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-დან ჩანს გაზომილ და თეორიულად გაანგარიშებულ სიდიდეებს შორის მაქსიმალური განსხვავება შეადგენს $16,9\% \approx 17,4\%$. 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 მაგნიტური ველის ადამიანის

ჯანმრთელობაზე გავლენის ზონის დადგენის მიზნით მაღალი ძაბვის საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზების დაპროექტების დროს.



ა)

ბ)

გ)

ნახ.6. 220 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველი დაძაბულობის გაზომვის შედეგები: ა) კიდურა ხაზის ქვეშ; ბ) კიდურა ხაზის გეგმილიდან 10 მ-ს დაშორებით; გ) კიდურა ხაზის გეგმილიდან 20 მ-ის დაშორებით

საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების მიერ ელექტრომაგნიტური დაბინძურების გამოკვლევისათვის ჩვენს მიერ საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის კუთვნილ დიდუბის 220/110 კვ ქვესადგურის ტერიტორიაზე ჩატარებული იქნა ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების გაზომვის სამუშაოები 220 კვ ელექტროგადაცემის ხაზებისათვის. გაზომვები ჩატარებული იქნა დედამიწის ზედაპირიდან 1,8 მ სიმაღლეზე ელექტრული და მაგნიტური ველის სამკომპონენტური საზომი ხელსაწყო BE-метр-ის დახმარებით შემდეგი შემთხვევებისათვის: 1. 110 კვ ძაბვის ხაზის გასწვრივ; 2. სავალ ბილიკზე; 3. 125 მვა ძალური ტრანსფორმატორის სიახლოვეს.

ცხრილი 5-ში მოყვანილია 110 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დაძაბულობის მნიშვნელობები (მკტლ) ხაზის გასწვრივ დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურში.

როგორც ცხრილი 5-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.

ცხრილი 5. 110 კვ საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობები (მკტლ) ხაზის გასწვრივ დიდუბის 220/110 კვ ძაბვის ქვესადგურში

110 კვ საჰაერო ეგხ	დაშორება 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

გაზომვის პროცესი ნაჩვენებია ნახ.7.ა–ზე. ხოლო გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა მოცემულია ნახ.7 ბ-ზე. გაზომვის დროს ხაზში გამავალი დენის მნიშვნელობა იყო 150 ამპერი. როგორც ნახ.7.ბ-დან ჩანს ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობა 0,4864 კვ/მ-ზე გაცილებით მცირეა ელექტრული ველის დამაბულობის ხანგრძლივად დასაშვებ მნიშვნელობაზე (5 კვ/მ).

ცხრილი 4.2-დან ასევე ჩანს, რომ 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). ამიტომ აღნიშნულ ტერიტორიაზე მუშაობა მომსახურე პერსონალის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხოა.

გაზომვები ასევე ჩატარებული იქნა სავალი ბილიკის გასწვრივ, რომელზეც მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ იცვლება და შეადგენს დაახლოებით $(4,31 \pm 0,06)$ მკტლ-ს. მაგნიტური ველის დამაბულობის 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 დამაბულობის დონე და მიაღწია $3,2517$ კვ/მ-ზე.



ა)

ბ)

**ნახ.7. ა.110 კვ საჰაერო ეგხ-ს მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი;
ბ) გაზომვისას ხელსაწყოს მიერ ასახული ერთ ერთი მნიშვნელობა**

ნახ.8.ა-ზე წარმოდგენილია გაზომვის პროცესი 220/35/6 ძაბვისა და 125 მვა სიმძლავრის ძალური ტრანსფორმატორის სიახლოვეს.

როგორც ნახ.8.ბ-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 ($0,5965 \ll 5$ კვ/მ). ეს გამოწვეულია იმით, რომ როგორც ცნობილია ტრანსფორმატორის კორპუსი დამიწებულია და ელექტრული ველის დამაბულობის ძალხაზეები იკვრებიან ტრანსფორმატორის კორპუსთან და გაედინებიან მიწაში.



ა)

ბ)

გ)

ნახ.8. ა) მაგნიტური ველის დამაბულობის გაზომვის პროცესი ძალურ ტრანსფორმატორთან; ბ) გამზომი ხელსაწყო მთავარი მნიშვნელობა; გ) ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით ჩატარებული გაზომვის შედეგი

ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით ჩატარებული გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ნახ.8.გ-ზე. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს ძალური ტრანსფორმატორიდან 10 მ-ის დაშორებით მაგნიტური ველის დამაბულობის სიდიდე მნიშვნელოვნად შემცირდა, მაგრამ გაიზარდა ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობა. მაგნიტური ველის დამაბულობის მნიშვნელობა შევიდა ნორმატივებით დადგენილ დასაშვებ ზონაში ($3,18 < 5$ მკტლ), ხოლო ელექტრული ველის დამაბულობის მნიშვნელობამ გადააჭარბა დასაშვებ მნიშვნელობას ($5,8553 > 5$ კვ/მ).

რეკომენდაციები საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზებისა და ქვესადგურის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობების დამპროექტებლებისათვის მაგნიტური ველის ინტენსიურობის შემცირების გათვალისწინებისათვის გამოყენებული იქნეს სადისერტაციო სამუშაოში დამუშავებული მაგნიტური ველის დამაბულობის 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 მიყვავართ 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.

გამოქვეყნებული ნაშრომების სია:

1. 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.
2. 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.
3. მუსელიანი თ., გვარამაძე მ. საჰაერო ელექტროგადაცემის ხაზის სიახლოვეს ადამიანის უსაფრთხოების პრობლემების ანალიზი. „ენერჯია“, 2020, №4(96), გვ. 9-12.
4. გვარამაძე მ. ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედება ქვესადგურების პერსონალის ღია გამანაწილებელო მოწყობილობების მომსახურეობის დროს. „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 14-19.

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.