

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკა აბელაშვილი

ლაბორატორიათაშორისი შედარების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური

მოდელის დამუშავება, გამოკვლევა და გამოცდის

მეთოდის შექმნა

სადოქტორო პროგრამა მართვის სისტემები, ავტომატიზაცია

და ტესტ-ინჟინერინგი

შიფრი 0403

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფრატი

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი
მიკროპროცესორული და საზომი სისტემების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ზ. აზმაიფარაშვილი

რეცენზენტები -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს

სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი - თინათინ კაიშაური

კვლევის აქტუალობა. ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მსოფლიო მწარმოებლურ ინფრასტრუქტურაში ჩართვის კვალობაზე მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზარდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამის ნათელი დადასტურებაა საქართველოსა და ევროკავშირის წევრ სახელმწიფოებს შორის ხელმოწერილი ასოცირების ხელშეკრულება. ამ ხელშეკრულების მეოთხე კარის მესამე თავი ტექნიკური ბარიერები ვაჭრობაში მიძღვნილია სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციისა და შესაბამისობის შეფასებასთან დაკავშირებული საკითხების ურთიერთ ჰარმონიზაციისადმი. ხელშეკრულების მიხედვით ორმხრივი თანამშრომლობის ფარგლებში უნდა შექმნან პირობები „საქართველოში სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციის, შესაბამისობის შეფასებისა და ბაზრის ზედამხედველობის სისტემისათვის ხარისხის ინფრასტრუქტურის განვითარების სტიმულირებისათვის”.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით როდესაც უკვე არსებული ობიექტის მახასიათებლების ფიზიკური მოდელირების ამოცანასთან გვაქვს საქმე. მითუმეტეს როდესაც შეუძლებელია ცალსახად განისაზღვროს გასაზომი სიდიდის საკონტროლო პარამეტრების მნიშვნელობა, მითუმეტეს მისი სერტიფიცირებული მნიშვნელობა, გარე ზემოქმედების ფაქტორების და სხვა აღმგზნები ძალების გავლენის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლე ელექტრული პარამეტრების ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად კალიბრებული, ატესტირებული საკონტროლო ნიმუშის დამუშავება,

პროექტირება, დამზადება, ექსპერიმენტული და საექსპლუატაციო კვლევის ეფექტური მეთოდისა და მონაცემთა დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა და დანერგვა.

გაზომვების სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირსა და აშშ-სთან თავისუფალი ვაჭრობის შესახებ შეთანხმებისა და ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულების ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა, რომელიც გულისხმობს გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების აუცილებლობას ISO/IEC 17025:2010 და ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასებას ISO/IEC 17043:2013 სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად საწარმოო ტექნიკური თანამშრომლობის ყველა სფეროში. თავის მხრივ გაზომვის შედეგების დამუშავების აღნიშნული მოთხოვნები კარგი საშუალებაა ფიზიკური მოდელის რეალურ საკონტროლო ნიმუშთან მიახლოების ადეკვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების პროცესისათვის მსგავსების თეორიის საფუძველზე შექმნილი ფიზიკური მოდელის – საკონტროლო ნიმუშის, პარამეტრების ადეკვატურობის შემოწმება რეალურ ობიექტთან მიმართებაში, მოდელის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა, დამზადება, გამოცდის მეთოდის შექმნა, დაკალიბრება, ატესტირება და რეკომენდაციის გაცემა მასზე ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად, ასევე მონაცემთა დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის მისაღწევად სამუშაო ითვალისწინებს შემდეგი ძირითადი ამოცანების გადაწყვეტას:

- ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი გაზომვას/გამოცდას დაქვემდებარებული საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების პარამეტრებისა და არსებული საკონტროლო ნიმუშების ანალიზს;
- რეალური საკვლევი ობიექტის საკონტროლო პარამეტრების გამოკვლევას აღწარმოებადობის, განმეორებადობისა და ჰომოგენიზაციის კრიტერიუმების დადგენას;
- რეალური საკონტროლო ნიმუშის, მსგავსების თეორიაზე დაფუძნებული, ფიზიკური მოდელის გაანგარიშებას, პროექტირებას, დამზადებასა და ექსპერიმენტულ გამოკვლევას;
- ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების შეფასებას, მოდელის კალიბრებისა და ატესტირების საკითხების გადასაჭრელად, მის მომზადებას ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების საკონტროლო ნიმუშად, მონაცემთა დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნას;
- შექმნილი ფიზიკური მოდელის აპრობაციას, ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების ჩატარებისას, საკონტროლო კალიბრებული, ატესტირებული ნიმუშის რანგში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს, რეალური დამცავი დამიწების ელექტრული სქემა და მისი ჩანაცვლების შესაძლებლობა ადეკვატური ფიზიკური მოდელით საკონტროლო კალიბრებული, ატესტირებული ნიმუშის რანგში.

ნაშრომში ფიზიკური მოდელის ასაგებად გამოყენებულია მსგავსებისა და ელექტრული ველის თეორიაზე დაფუძნებული გაანგარიშების, პროექტირებისა და შექმნის საკითხები. ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვათა განუსაზღვრელობის შეფასების, LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში ვირტუალური მოდელირების, მათემატიკური

სტატისტიკის აგრეთვე პროგრამული სტატისტიკური მოდელირების მეთოდები, რომელთა საშუალებითაც დადასტურებულია კვლევის ძირითადი პრინციპები და შედეგები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში დეტალურად განხილული და შესწავლილია ლაბორატორიების კვალიფიკაციის დამადასტურებელი სამუშაოების ჩატარების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია, მოთხოვნები, როგორც პროცესში მონაწილე ყველა სუბიექტისადმი ასევე გასაზომი/გამოსაცდელი საკონტროლო ნიმუშისადმი, გაზომვის/გამოცდის სხვადასხვა რეჟიმში.

წარმოდგენილია ელექტრული ველის მაქსველის კანონებსა და ელექტრული წრედის კირხგოფის კანონებზე დაფუძნებული საკონტროლო ნიმუშის თეორიული მოდელი და მის საფუძველზე მსგავსების თეორიის გამოყენებით აგებული ფიზიკური მოდელი, რომლის პრაქტიკული რეალიზაციისა და კვლევის შედეგების საფუძველზე დამზადებულია და შემოთავაზებულია კალიბრებული, ატესტირებული მოწყობილობა კვალიფიკაციის შესამოწმებელი ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად.

შემოთავაზებულია ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების ჩატარების, მიღებულ მონაცემთა დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების დადგენის „ონ ლაინ“ პირობებში მუშაობის შესაძლებლობის მქონე პროგრამული უზრუნველყოფა LabVIEW გარემოში, როგორც კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების პროვაიდერის ასევე მონაწილე ლაბორატორიებისათვის;

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი შედეგები და რეკომენდაციები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვადასხვა სფეროს ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების სამუშაოთა ორგანიზების, დაგეგმვის, მომზადების

და ჩატარებისას. ასევე ნებისმიერი ტიპის საწარმოო დანიშნულების ობიექტზე მოდელისა და რეალური ობიექტის მაქსიმალური ადეკვატურობის უზრუნველსაყოფად მათი პროექტირების, წინასწარი აპრობაციისა და ექსპლუატაციის არა საშტატო პირობების გამოკვლევისას, განსაკუთრებით უწყვეტ ციკლიანი, ძვირადღირებული და გაზომვების ჩატარების შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე ობიექტებისათვის.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება ორენოვანი რეზიუმისაგან, შესავალის, 4 თავის, დასკვნებისა და რეკომენდაციებისაგან. ნაშრომში განთავსებულია 24 ცხრილი, 75 სურათი და 55 ერთეული გამოყენებული ლიტერატურის დასახელება მასალა გადმოცემულია 157 გვერდზე.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებული იქნა სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალებში და წაკითხული იქნა მოხსენებები მოსკოვსა და თბილისში საქართველოს, გერმანიის, სომხეთის, ჩეხეთის, აზერბაიჯანის, რუსეთის, ბელორუსიის, სლოვაკეთისა და უკრაინის დელეგაციების მონაწილეობით გამართულ სამ საერთაშორისო კონფერენციაზე. (იხ. გვ. 29)

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, განსაზღვრულია საკვლევი სფერო, კვლევის ობიექტი და კვლევის მეთოდები ჩამოყალიბებულია მიზანი და ამოცანები. ფორმირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები

პირველ თავში გადმოცემულია დისერტაციაში განსახილველი საკითხების შესახებ არსებული მიდგომების ზოგადი მიმოხილვა, ლაბორატორიების კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების საქართველოში არსებული დღევანდელი მდგომარეობა და საერთაშორისო მასშტაბებით გათვალისწინებული მოთხოვნები, საკვლევი ობიექტის -

დამცავი დამიწების პროცესის ფიზიკური არსი, გაზომვის პრინციპები, მეთოდები და პროცედურები.

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების სპეციფიკიდან გამომდინარე განსახილველ და შესაფასებელ საკითხთა არეალი მოიცავს ისეთი საკითხების განხილვის აუცილებლობას, რომელიც დაკავშირებული იქნება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების აქტუალობის დასაბუთებისა და მათი კომპეტენტურობის გამოვლინების ობიექტურ საშუალებასთან, ასეთი ტიპის გამოცდების ჩატარების ორგანიზაციული და ტექნიკური საკითხების გადაჭრასთან, მათ შორის მოთხოვნებთან, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს საკონტროლო ნიმუში და იმ კრიტერიუმებისა და შეფასებების დადგენასთან, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ობიექტურად განისაზღვროს საგამოცდო და დაკალიბრების ლაბორატორიებს კომპეტენცია.

ექსპერიმენტული შემოწმების მიზნებს სრულად გადმოგვცემენ ISO/IEC 17043:2013, ISO 5725-3:1994 სტანდარტები, რომელთა მიხედვითაც ლაბორატორიების შემოწმების შედეგი - „ლაბორატორიის შედეგის წანაცვლება“ შესაძლებელია შეფასებული იყოს შედარების ნიმუშებზე გაზომვების ჩატარების გზით ISO 5725-4:1994-ში მოცემული პროცედურების მიხედვით. ასე, რომ კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების გზით უზრუნველყოფს ლაბორატორიებს შორის წანაცვლებაზე ხელმისაწვდომი ინფორმაციის მიღების მეთოდს და მონაცემთა ანალიზის ჩასატარებელი ინფორმაციის მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს, აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მონაცემთა სტაბილურობა და განმეორებადობა მნიშვნელოვნად განაპირობებს მიღებული შედეგის ხასიათს. მონაწილე ლაბორატორიების გაზომვის მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების მეთოდის შერჩევა ხორციელდება ISO 13528 სტანდარტის მიხედვით, სადაც გამოიყენება შეფასების რიცხვითი და

გრაფიკული კრიტერიუმები, რომელებიც მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების მიმართ, საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ სახიფათო სიტუაციები და წინასწარ მივიღოთ გამაფრთხილებელი ღონისძიებები მათ აღმოსაფხვრელად.

საკონტროლო ნიმუშისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს შორის უპირველესად უნდა აღინიშნოს მოთხოვნები მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა u_x მიწერილი მნიშვნელობის X -ის მიმართ.

თუ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა u_x ბევრად მეტია კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტულ გადახრასთან $\hat{\sigma}$ შედარებით, მაშინ ალბათობა იმისა, რომ ზოგიერთი ლაბორატორიები მიიღებენ მცდარ დასკვნას მაკორექტირებელი ღონისძიებების ჩატარებაზე, აღმოჩნდება არსებითი. თუ სრულდება უტოლობა

$$u_x \leq 0,3 \hat{\sigma} \quad (1)$$

მაშინ მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა არა არსებითია და შესაძლებელია არ იქნას გათვალისწინებული კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული გამოცდების შედეგების ინტერპრეტაციისას.

თუ ასეთი რეკომენდაციის შესრულება ვერ ხერხდება პროვაიდერმა უნდა უზრუნველყოს მისი დაცვა.

მნიშვნელოვანია ასევე, რომ საკონტროლო ნიმუშის პარამეტრები, კერძოდ საკონტროლო ნიმუშის განმეორებადობის გაბნევის მახასიათებელი-დისპერსია მნიშვნელოვან ფარგლებში არ იცვლებოდეს და კომპეტენტურობაზე შემოწმების დისპერსიის შეფასების ფარგლებში დარჩეს.

განმეორებად გაზომვათა ჩატარების რაოდენობა n ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ უზრუნველყოს (2) პირობის შესრულება

$$\sigma_r / \sqrt{n} \leq 0,3 \hat{\sigma} \quad (2)$$

სადაც: σ_r - განმეორებადობის სტანდარტული გადახრაა, რომელიც საკონტროლო ნიმუშის კვლევებით ან წინა ლაბორატორიათაშორისი ექსპერიმენტების დროსაა დადგენილი.

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების შეფასების კრიტერიუმები რიცხვითი ხასიათის სიდიდეებია და ცალსახად ახასიათებს ლაბორატორიათაშორის გამოცდებში მონაწილე თითოეული ლაბორატორიის მომზადებისა და მზადყოფნის ხარისხს აკრედიტაციის სფეროს მიხედვით.

ლაბორატორიის წანაცვლების შეფასება. თუ \bar{x} გაზომვის შედეგი მონაწილე ლაბორატორიის ანგარიშში მითითებული გამოსაკვლევი პარამეტრის მაჩვენებელია. მაშინ ლაბორატორიის წანაცვლების შეფასებას D -ს ამ მახასიათებლის გაზომვისას ექნება (3) ნაჩვენები სახე:

$$D = \bar{x} - X \quad (3)$$

სადაც: X - საკვლევი მახასიათებლის მიწერილი მნიშვნელობაა.

კრიტერიუმის მნიშვნელობა როდესაც ის 3 სტანდარტულ გადახრაზე მეტია ან ნაკლებია $(-3,0 \hat{\sigma} \leq D \leq 3,0 \hat{\sigma})$ ითვლება „მოქმედების სიგნალად“, ანალოგიურად ლაბორატორიული წანაცვლება ორ სტანდარტულ გადახრაზე მეტი ან ნაკლები $(-2,0 \hat{\sigma} \leq D \leq 2,0 \hat{\sigma})$ ითვლება „გამაფრთხილებელ სიგნალად“.

ფარდობითი ლაბორატორიული წანაცვლების შეფასება პროცენტებში გამოითვლება ქვემოთ ნაჩვენები ფორმულის მიხედვით.

$$D_{\%} = 100 (\bar{x} - X) / X \quad (4)$$

კრიტერიუმის ინტერპრეტაციისათვის გამოიყენება წინა შემთხვევაში აღწერილი მიდგომები

$$- 300 \hat{\sigma} / X_{\%} \leq D_{\%} \leq 300 \hat{\sigma} / X_{\%}$$

ასეთ შემთხვევაში შედეგი უნდა ჩაითვალოს „მოქმედების სიგნალად“ , რომელიც ანომალური გადახრის საფუძველია, ხოლო თუ ლაბორატორიის შედეგი მოთავსებულია

$$- 200\hat{\sigma} / X\% \leq D\% \leq 200\hat{\sigma} / X\%$$

მნიშვნელობებს შორის შედეგი „გამაფრთხილებელი სიგნალის“ სტატუსს მიიღებს.

რანგი და პროცენტული რანგის მინიჭება საკვალიფიკაციო ტესტირების გამოცდებში მონაწილე ლაბორატორიებისათვის მათ მიერ ნაჩვენები შედეგების მიხედვით ხორციელდება.

z - ინდექსი კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$z = (\bar{x} - X) / \hat{\sigma} \quad (5)$$

სადაც: $\hat{\sigma}$ კომპეტენტურობის შეფასების სტანდარტული გადახრაა.

z - ინდექსის შედეგების ინტერპრეტაციისათვისაც იგივე მიდგომები გამოიყენება, როგორც წინა კრიტერიუმებისათვის. კერძოდ მისი მნიშვნელობის მეტობა 3,0 და ნაკლებობა -3,0 მაჩვენებელთან „მოქმედების სიგნალის“ დასაწყისად განიხილება. ასევე 2,0 და -2,0 მნიშვნელობების გადაჭარბება დადებითი და უარყოფითი მიმართულებით „გამაფრთხილებელი სიგნალის“ არსებობის მაჩვენებელია.

მაჩვენებელი E_n ასევე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$E_n = \bar{x} - X / \sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2} \quad (6)$$

სადაც: X ექსპერტული ლაბორატორიის მიწერილი მნიშვნელობაა;

U_{ref} - მიწერილი მნიშვნელობის გაფართოებული განუსაზღვრელობაა.

U_{lab} - მონაწილის \bar{x} -ის გაფართოებული განუსაზღვრელობაა.

განსხვავებით z ინდექსის შედეგების კრიტიკული კრიტერიუმებისაგან E_n მნიშვნელობისთვის გამოიყენება კრიტიკული მნიშვნელობა 1,0, რაც (6) ფორმულის მნიშვნელში გაფართოებული განუსაზღვრელობების გამოყენებითაა გამოწვეული.

z^I - ინდექსის გამოსათვლელად გამოიყენება სიდიდეები, რომლითაც (5) ფორმულის მიხედვით z ინდექსი განისაზღვრება

$$z^I = \frac{\bar{x} - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} \quad (7)$$

სადაც: $u_x - X$ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრაა.

z^I ინდექსის ინტერპრეტაცია მსგავსია z ინდექსისა და გამოიყენება იგივე შეფასების კრიტერიუმები 2,0 და 3,0.

ξ ინდექსის გამოყენება კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული გამოცდების ჩატარებისას შეფასების ერთ-ერთი ძირითადი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$\xi = \frac{\bar{x} - X}{\sqrt{u_x^2 + u_{\bar{x}}^2}} \quad (9)$$

სადაც: $u_{\bar{x}}$ გამოსაცდელი ლაბორატორიის გაზომვის შედეგის \bar{x} -ის სტანდარტული განუსაზღვრელობაა.

u_x - მიწერილი მნიშვნელობა X -ის სტანდარტული განუსაზღვრელობაა.

მისი შეფასების კრიტერიუმი ± 1 სტანდარტული გადახრის ფარგლებშია.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტი დამცავი დამიწებაა, რომელიც გულისხმობს რაიმე აღჭურვილობის ან წრედის მიწასთან ჩართვას. დამიწების გამოყენება აღჭურვილობის ან ჩართული წრედის პოტენციალის მიწის პოტენციალთან მაქსიმალურად მიახლოებისა და ამ მდგომარეობის შენარჩუნებისათვის. მისი წინააღობის მნიშვნელობები განპირობებულია:

- დამიწების მეტალის ღეროსა და შემაერთებელი გამტარის მომჭერებს შორის კონტაქტის წინააღობისაგან;
- დამიწების ღეროსა და გრუნტს შორის კონტაქტის წინააღობისაგან;
- გრუნტის ზედაპირის წინააღობით გამავალი დენის მიმართ.

მისი მნიშვნელობა ასევე მკვეთრადაა დამოკიდებული გარე ზემოქმედების ფაქტორებზე როგორცა ტემპერატურა, ტენიანობა, სეზონურობა, ელექტრომაგნიტური ზემოქმედება და სხვა.

დამიწების წინააღობის გაზომვა ხორციელდება სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით. მათი უმეტესობა იყენებს დამხმარე და შესამოწმებელ ელექტროდებს შორის ცვლადი დენის პოტენციალის ვარდნის პრინციპს. ამ პრინციპზე აგებული 3 წერტილიანი გამზომი წრედის პრინციპული სქემა სადაც წინააღობის მნიშვნელობა ომის კანონის გამოყენებით იზომება.

სამი ელექტროდის გამოყენების პრინციპზეა აგებული წინააღობის გაზომვის ე.წ. **62%-იანი მეთოდი** სადაც გასაზომი წინააღობის ელექტროდსა და უკიდურესად დაშორებულ ელექტროდს შორის მანძილის 62%-იან წერტილში მოთავსებულია მესამე ელექტროდი.

შემცირებული არეალის ფარგლებში დამიწების წინააღობის გაზომვისათვის იყენებენ **ორ წერტილიან გაზომვის მეთოდს**. გაზომვა გვაჩვენებს მიმდევრობით ჩართული დამიწების ორი მოწყობილობის

წინააღმდეგობას. ამიტომ მეორე დამიწება უნდა იყოს იმდენად კარგი, რომ შესაძლებელი იყოს მისი წინააღმდეგობის უგულვებელყოფა სიმცირის გამო.

თანამედროვე გამზომი საშუალებები იყენებენ **ოთხწერტილიანი გაზომვის მეთოდს** სადაც გასაზომ უბანზე ელექტროდებს განალაგებენ ერთმანეთისაგან თანაბარი დაშორებით წრფეზე ისე, რომ ნაპირა ელექტროდებს შორის გადის, გენერატორის მიერ შექმნილი, ცნობილი სიდიდის დენი. შიგა ელექტროდებს შორის იზომება ძაბვის ვარდნა, ხოლო ხელსაწყო აჩვენებს გასაზომი წინააღმდეგობის სიდიდის მნიშვნელობას ომეგში.

დამიწების წინააღმდეგობის **გაზომვა დენის მარჯულის** გამოყენებით ახალად შექმნილი გაზომვის უნიკალური მეთოდია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ისე ჩავატაროთ გაზომვის პროცესი, რომ არ მოხდეს დამიწების წრედის გამორთვა.

შედეგები 1 თავის მიხედვით. მიმოხილვითი კვლევის შედეგად გამოიკვეთა კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების აქტუალობა, დადგინდა გამოცდის შედეგების შეფასების ძირითადი კრიტერიუმები და განისაზღვრა საკვალიფიკაციო გამოცდის შედეგების ობიექტი დამცავი დამიწების წინააღმდეგობის სახით. ჩამოყალიბდა მისი გამოცდისა და გაზომვის მეთოდები, ძირითადი პარამეტრების ცვლილების დიაპაზონი და გამზომი აპარატურის ტიპები.

მეორე თავში განხილულია დამიწების წინააღმდეგობის კონტურის მოწყობა ღია გრუნტში, ასევე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების მოწყობის ორგანიზაციული და ტექნიკური ასპექტები.

დამიწების წინააღმდეგობის კონტურის მოწყობა ღია გრუნტში, გარკვეული მოთხოვნებისა და წესების დაცვით ხორციელდება. არსებობს დამიწების მოწყობის სხვადასხვა სქემა და თითოეულ მათგანს გარკვეული დადებითი და უარყოფითი მხარეები გააჩნიათ, მათ შორის მნიშვნელოვანია დამიწების

ელექტროდების რაოდენობა, მათი მიწაში ჩაშვების სიღრმე, ელექტროდების გეომეტრიული ზომები და მასალა, დამიწების გრუნტის შემადგენლობა და სტრუქტურა. ჩატარებული კვლევის საფუძველზე თბილისში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, VI კორპუსის მიმდებარე ტერიტორიაზე (კოსტავას 77) მოეწყო დამიწების სამ ელექტროდიანი კონტური.

შემდგომ ეტაპზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ISO 17043:2010 სტანდარტის განსაკუთრებულ მოთხოვნათა შორის საკონტროლო ნიმუშის ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის პარამეტრების გამოკვლევა უპირველესი მნიშვნელობის ამოცანაა. გამოცდების ჩატარების პროგრამა ითვალისწინებდა დაკვირვებათა ათჯერადი შედეგების ათი სერიის ჩატარებას.

ცხრილი 1 ხუთი საზომი საშუალებით გაზომილი შედეგები.

საზომი ხელსაწყო	გაზომვის შედეგები სამივე სერიისათვის			
	$\bar{R} (\Omega)$	$u_{\Sigma Ai} (\Omega)$	\bar{d}	$R_{\text{დამიწ}} (\Omega)$
M-416	6,15	$5 \cdot 10^{-3}$	k=1,96	$6,15 \pm 1 \cdot 10^{-2}$
P-38	7,26	$28 \cdot 10^{-3}$	k=1,96	$7,26 \pm 55 \cdot 10^{-3}$
FLUKE 1623-2	6,29	$38 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$6,29 \pm 7,4 \cdot 10^{-3}$
FLUKE 1623-2 (მარწუხი)	5,67	$37 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$5,67 \pm 7,25 \cdot 10^{-3}$
LabVIEW მოდული 9205	5,43	$8,7 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$5,43 \pm 17,05 \cdot 10^{-4}$

გამოცდების ასეთი სახის პროგრამით რეალიზაციამ საშუალება მოგვცა მიგველო საწყისი მონაცემები;

- გაზომვათა ერთგვაროვნების კრიტერიუმის შესაფასებლად;
- მონაცემები სტაბილურობის კრიტერიუმის დასადგენად;

- მონაცემები აღწარმოებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;
- მონაცემები განმეორებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;
- მონაცემთა ერთობლიობის საშუალებით საკვლევი ობიექტისათვის მიგვენიჭებინა ატესტირებული ნიმუშის სტატუსი.

კვლევები ჩატარდა ხუთი სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოს გამოყენებით მათ შორის დამცავი დამიწების საზომი ხელსაწყო M-416 , რეოქორდული ბოგირი P38, FLUKE 1623-2 ელექტროდებისა და მარწუხის გამოყენებით, ასევე NATIONAL INSTRUMENTS-ის LabVIEW DAQ პლატფორმა.

შედეგების გაერთიანებული მონაცემების საშუალებით (ცხრილი 1) კომპეტენტურობის შეფასების სტანდარტული გადახრის განსაზღვრისათვის გამოვიყენეთ ISO 13528-ს 6.5 პარაგრაფი პრეციზიულობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით სადაც ლაბორატორიათაშორისი სტანდარტული გადახრა გამოითვლება ფორმულით.

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_r^2}$$

სადაც: σ_R აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა;

σ_r - განმეორებადობის სტანდარტული გადახრა.

აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა, რომელიც წარმოადგენს ერთი და იგივე მეთოდით, იდენტურ ობიექტზე, სხვადასხვა ხელსაწყოების (სხვადასხვა ლაბორატორიების), სხვადასხვა ოპერატორების მიერ მიღებულ შედეგებს. ცხრილი 1-ში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით ნაანგარიშები აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\bar{R}_i - \bar{R})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1.97}{4}} = 0.71$$

განმეორებადობის სტანდარტული გადახრა, რომელიც არის ერთიდაიგივე მეთოდით, იდენტურ ობიექტზე, ერთიდაიგივე

ლაბორატორიის, ერთიდაიგივე ოპერატორის, ერთიდაიგივე ხელსაწყოებით მიღებული შედეგების გაზნვის მახასიათებელი სხვადასხვა საზომი საშუალებებისათვის (ლაბორატორიებისათვის) მოყვანილია ცხრილი 1 $u_{\Sigma Ai}$ განუსაზღვრელობების სახით სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოებისათვის, რომელიც იცვლება $\pm 0,00087 \Omega$ მნიშვნელობიდან $\pm 0,028 \Omega$ მნიშვნელობამდე. შევირჩიო სტანდარტული გადახრის უფრო დიდი მნიშვნელობა ($\sigma_r = \pm 0,028$), რომელიც საშუალებას მოგვცემს გავითვალისწინოთ ყველა ლაბორატორიის გაზომვის შედეგი.

აღნიშნულის გათვალისწინებით შესაძლებელია ლაბორატორიათაშორისი სტანდარტული გადახრის გამოთვლა

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_r^2} = \sqrt{0,71^2 - 0,028^2} = 0,709$$

საიდანაც ISO 13528-ის (15) ფორმულის მიხედვით შესაძლებელია ვიანგარიშით კომპეტენტურობის სტანდარტული გადახრა

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sigma_L^2 - \left(\frac{\sigma_r^2}{n}\right)} = 0.502$$

შევამოწმოთ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობის u_x -სა და კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტულ გადახრას $\hat{\sigma}$ შორის დამოკიდებულება, რომელიც (1) ფორმულის მიხედვით

$$u_x \leq 0,3\hat{\sigma}$$

ჩვენს შემთხვევაში სტანდარტული განუსაზღვრელობის ყველაზე უარესი შედეგისათვის, როდესაც $u_x = \pm 28 \cdot 10^{-3}$ უტოლობას ექნება სახე

$$28 \cdot 10^{-3} \leq 0,3 \cdot 0,502 = 0,15$$

უტოლობა კმაყოფილდება რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ ღია გრუნტში მოწყობილი დამცავი დამიწების ნიმუშს მივანიჭოთ ატესტირებული

ნიმუშის სტატუსი და გამოყენებული იქნას კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების საკონტროლო ნიმუშად ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას.

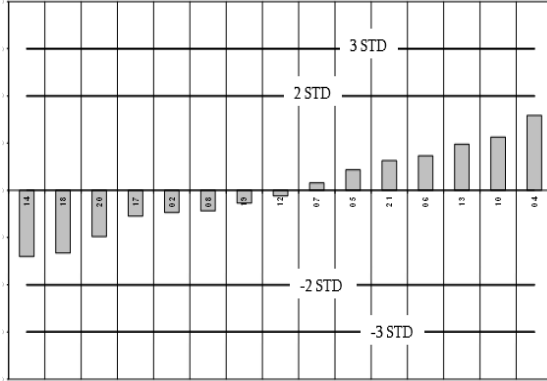
კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორის გამოცდა დამცავი დამიწების საკონტროლო ნიმუშის მნიშვნელობის დადგენაში, რომელიც ISO 17043:2010 მოთხოვნებით საქართველოში პირველად ჩატარდა 2016 წლის 22 დეკემბერს.

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ჩატარებული ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილი 2.

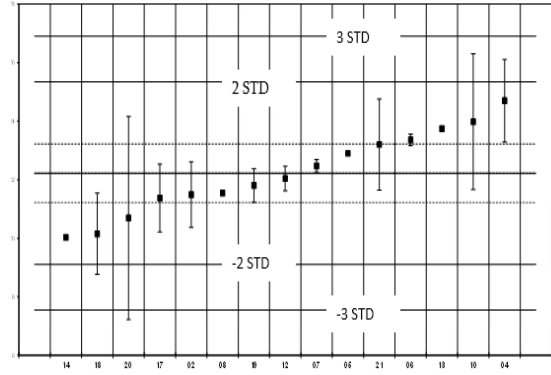
გრაფიკულად მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები z-score და ζ-score კრიტერიუმების მიხედვით ნაჩვენებია სურ. 1 და სურ. 2.

ცხრილი 2 ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების შედეგები.

წარმოდგენილი შედეგების რაოდენობა	15
შედეგების დიაპაზონი:	(20,03 ÷ 24,7)Ω
დამაკმაყოფილებელი z-score:	100%
საექვო z-score:	0%
არადამაკმაყოფილებელი z-score:	0%
დამაკმაყოფილებელი ζ-score:	66,67%
საექვო ζ-score:	20,00%
არადამაკმაყოფილებელი ζ-score:	13,33%



სურ. 1. მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები z-score კრიტერიუმის მიხედვით



სურ. 2. მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები z-score კრიტერიუმის მიხედვით

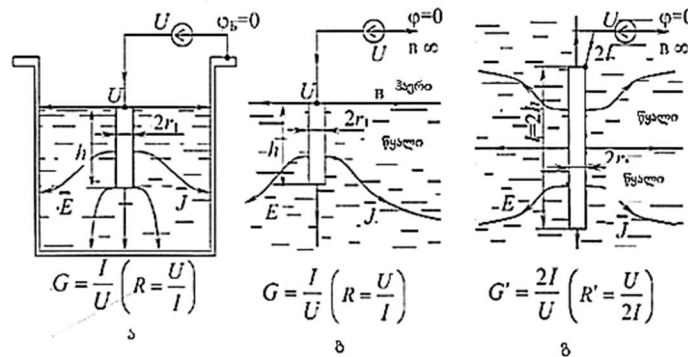
მეორე თავში მიღებულმა შედეგებმა, განხილული დამცავი დამიწების ღია გრუნტში მოწყობის პროცედურებმა და საგამოცდო პარამეტრების აღწარმოებადობის, განმეორებადობისა და მონაცემთა ერთგვაროვნების პროცესების კვლევამ, საშუალება მოგვცა საკონტროლო ნიმუშისათვის მიგვენიჭებინა ატესტირებული ნიმუშის სტატუსი და მათ საფუძველზე მოგვეწყო კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდა, დაგვეხვეწა მისი ჩატარების ორგანიზაცია და მიღებული შედეგებით გვემსჯელა ლაბორატორიათა კომპეტენციის შესახებ.

სადისერტაციო ნაშრომის მესამე თავი ეთმობა დამიწების ფიზიკური და მათემატიკური მოდელების თეორიულ და პრაქტიკულ განხილვას დამიწების ატესტირებული ლაბორატორიული დანადგარის შესაქმნელად.

საკონტროლო ნიმუშის ძირითადი პარამეტრის ყოველ გადახრას საბაზისო მაჩვენებლებიდან, კვალიფიკაციის შეფასების პროგრამაში არა სწორი დასკვნის გამოტანისათვის, დამატებითი ფაქტორია.

ამიტომ მნიშვნელოვანია დამუშავდეს დამიწების სისტემის ფიზიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს შეიქმნას დამიწების კონტურის პროექტირებისა და დამზადების, საზომი ხელსაწყოების კალიბრებისა და კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული ტესტირების, ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის ნორმირებულ პარამეტრებიანი საკონტროლო ნიმუში.

დამიწების ელექტროდის ფიზიკური მოდელში მიმდინარე პროცესის თეორიული არსის აღწერისათვის გამოვიყენოთ მოდელი, რომელიც წარმოადგენს მეტალის აბაზანას და მასში ჩასხმულ წყალში ჩაშვებულია r_1 რადიუსის მქონე ცილინდრული ღეროს. მისი ელექტრული ველის სურათი ნაჩვენებია სურ. 3ა. მოყვანილი ფიზიკური მოდელის გამოყენებით შესაძლებელია შეიქმნას დამამიწებელი ელექტროდებიდან აბაზანის კედლებამდე სივრცის გამტარობის (წინააღმდეგობის) გამოთვლის მეთოდიკა.



სურ. 3. დამამიწებელი ელექტროდებიდან აბაზანის კედლებამდე გაქონვის დენის გამტარობის (წინააღმდეგობის) გამოთვლის თეორიული ინტერპრეტაცია

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ აბაზანის კედლების გავლენას ველის განაწილების სურათზე, მივიღებთ სურ. 3ბ-ზე ნაჩვენებ მოდელს.

აქ მოცემული ამოცანათა სამი ტიპისათვის მნიშვნელოვანია გამტარობის (წინააღმდეგობის) გამოთვლა მოდელის სხვადასხვა ელემენტებს შორის

- სურ. 3 ა ღეროსა და აბაზანის კედელს შორის;

$$R = 2R^I = 2\alpha_{11}$$

- სურ. 3ბ ორ შეერთებულ ღეროსა და აბაზანას შორის;

სხვადასხვა რადიუსის მქონე ღეროებისათვის $r_1 \neq r_2$

$$R = 2R^I = 2 \frac{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}}$$

ერთნაირი რადიუსის მქონე ღეროებისათვის $r_1 = r_2$ მაშინ $\alpha_{11} = \alpha_{22}$ და

$$R = \frac{\epsilon}{\gamma} (\alpha_{11} + \alpha_{22})$$

სადაც:

ε – იმ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობაა რომელშიც მოთავსებულია ღერო;

γ – იმ გარემოს კუთრი გამტარობაა რომელშიც მოთავსებულია ღერო

$$\gamma = \frac{l}{R_S}$$

ჩვენი შემთხვევისათვის l - წყლის სვეტის სიმაღლეა, R_S - წყლის სვეტის წინაღობის გაზომილი მნიშვნელობა.

- სურ. 3 გ ორ ღეროს შორის.

სხვადასხვა რადიუსის მქონე ღეროებისათვის $r_1 \neq r_2$

$$R = 2(\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12})$$

ერთნაირი რადიუსის მქონე ღეროებისათვის $r_1 = r_2$ მაშინ $\alpha_{11} = \alpha_{22}$

და $R = 4(\alpha_{11} - \alpha_{22})$.

$$\text{სადაც } \alpha_{11} \approx \frac{1}{2\pi\gamma l} \left(\ln \frac{l}{r_1} - 0,307 \right) \quad \text{ასევე} \quad \alpha_{22} \approx \frac{1}{2\pi\gamma l} \left(\ln \frac{l}{r_2} - 0,307 \right)$$

მსგავსებისა და მოდელირების თეორიის საერთო ამოცანაა ობიექტის შესახებ ინფორმაციისა და მონაცემთა დამუშავების მიმართული და მოწესრიგებული მეთოდოლოგიის გამომუშავება.

ფიზიკური ველების მოდელირება საშუალებას გვაძლევს ჩავწვდეთ მოვლენის არსს ამასთან მარტივად და სწრაფად გამოვითვალოთ წრედების თეორიაზე დაფუძნებული მოდელის პარამეტრები. მსგავსებისა და მოდელირების მეთოდებისა და ხერხების ერთობლიობა, რომლებიც გარკვეულ პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს, შეიძლება დაყოფილი იქნას სამ A სრულ, B მიახლოებით, C არასრულ კატეგორიად.

ნაშრომის მიზნისა და ამოცანებიდან გამომდინარე, რაც გულისხმობს ლაბორატორიათა შორისი გამოცდების ჩატარებისათვის საკონტროლო ნიმუშის შექმნას ანუ ფიზიკური ობიექტის არსებობას, ამასთან ისეთი

თვისებების ფიზიკურ ობიექტის არსებობას, რომელსაც შენარჩუნებული ექნება რეალური ობიექტის ყველა ძირითადი თვისება, მაგრამ შესაძლებელი იქნება ამ თვისებათა რეგულირება წინასწარ განსაზღვრული პირობების მიხედვით, მიზანშეწონილია მსგავსებისა და მოდელირების კლასიფიკაციიდან გამომდინარე შევირჩიოთ მსგავსების ფიზიკურ სივრცული მოდელი, რაც მატერიალური სისტემების მსგავსების კრიტერიუმის გეომეტრიულ შესაბამისობას ნიშნავს, ანუ ერთი სისტემის ყველა სივრცითი კოორდინატი პროპორციულია მეორე სისტემის შესაბამისი სივრცული კოორდინატების. მათემატიკურად ეს პირობა დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$x_i/X_i = m_x; \quad y_i/Y_i = m_y; \quad z_i/Z_i = m_z;$$

დამამიწებლების მოდელირება, მსგავსების თეორიის საშუალებით, დაიყვანება გეომეტრიული მსგავსების ასევე ელექტრომაგნიტური პროცესების ძირითადი კრიტერიუმების პირობებისა და პრინციპების შენარჩუნებაზე, რომელთაგან მნიშვნელოვანი და დომინანტურია

$$\frac{\mu\gamma l^2}{t} = idem; \quad \frac{\varepsilon}{\gamma t} = idem \dots$$

სადაც: μ - გამტარი გარემოს მაგნიტური შეღწევადობაა ის გარემოს თვისებებზე დამყარებული კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ნივთიერებაში მაგნიტურ ინდუქციასა და მაგნიტური ველის დამაბულობას შორის კავშირს;

γ – გარემოს კუთრი ელექტრული გამტარობა;

ε - ელექტრული მუდმივა-დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც კულონის კანონში პროპორციულობის კოეფიციენტის სახითაა წარმოდგენილი და ახასიათებს გარემოს, რომელშიც განიხილება ორი ერთმანეთისაგან r მანძილით დაშორებული დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთმოქმედება

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|q_1q_2|}{r_{12}^2}$$

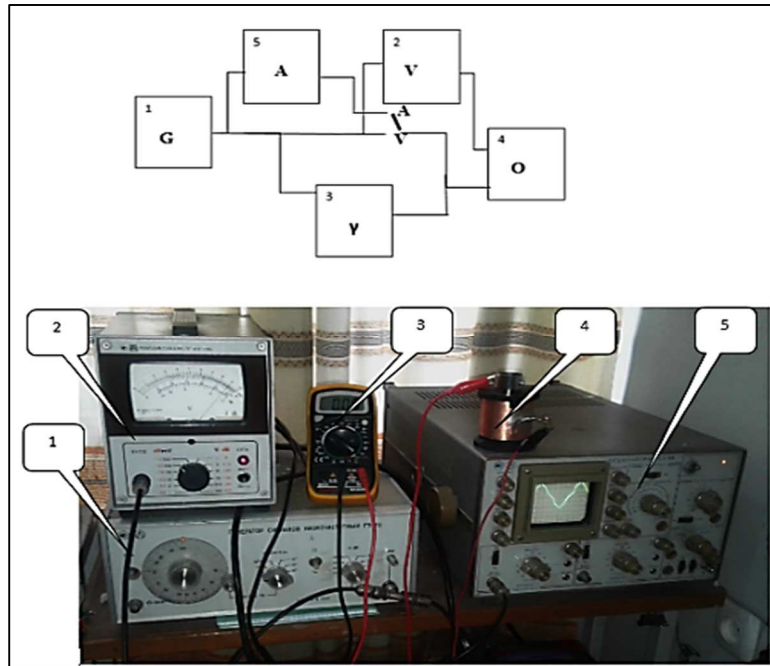
აღნიშვნა *idem* - გვიჩვენებს, რომ „შესაბამისად ერთნაირია ყველა განსახილველი პროცესისათვის“, ანუ ზემოთ მოყვანილი თანაფარდობები შეიძლება განვიხილოთ მსგავსების კრიტერიუმად, რაც მსგავსების თეორიის პირველი თეორემის მიხედვით მსგავსების გამოვლინების საკმარის პირობას წარმოადგენს.

ნაშრომის მესამე თავის შედეგია დამიწების სისტემის ელექტრული ველის მათემატიკურ და ფიზიკური მოდელირების ამოცანას რეალიზაციის საკითხის თეორიული საფუძვლების მომზადება მისი რეალიზაციისათვის ელექტრულ აბაზანაში მსგავსების თეორიის გამოყენებით.

დისერტაციის მეოთხე თავში განიხილება დამიწების წინააღობის კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიული დანადგარის დამუშავების, პროექტირების, დამზადებისა და ექსპერიმენტული კვლევის საკითხები, როგორც კლასიკური საზომი საშუალებების ასევე LabVIEW-ს პლატფორმაზე შექმნილი კომპიუტერული გამზომი სისტემისათვის.

ლაბორატორიულ დანადგარზე, მცირე მასშტაბში, შესაძლებელია მოვახდინოთ ისეთი პრაქტიკული მნიშვნელობის მოვლენის მოდელირება, როგორცაა მიწაში გაჟონვის დენის გავრცელების პროცესი, რომლებიც მიმდინარეობს გრუნტში ჩაშვებულ დამიწების ელექტროდებზე.

ასევე მნიშვნელოვანია ამ პრინციპით შექმნილი დამიწების წინააღობის საზომი საშუალებების კალიბრებისა და ლაბორატორიათა შორისი გამოცდების სერტიფიცირებული საკონტროლო ნიმუშისათვის, საწყისი პარამეტრების დროში სტაბილურობისა და ზოგადად აღწარმოებადობისა და განმეორებადობის პირობების ზედმიწევნით შესრულება. ექსპერიმენტული ლაბორატორიული დანადგარის ტექნიკური მახასიათებლების გამოკვლევისათვის შემუშავებული იქნა გამოცდის პროგრამა, რომელიც ითვალისწინებდა:



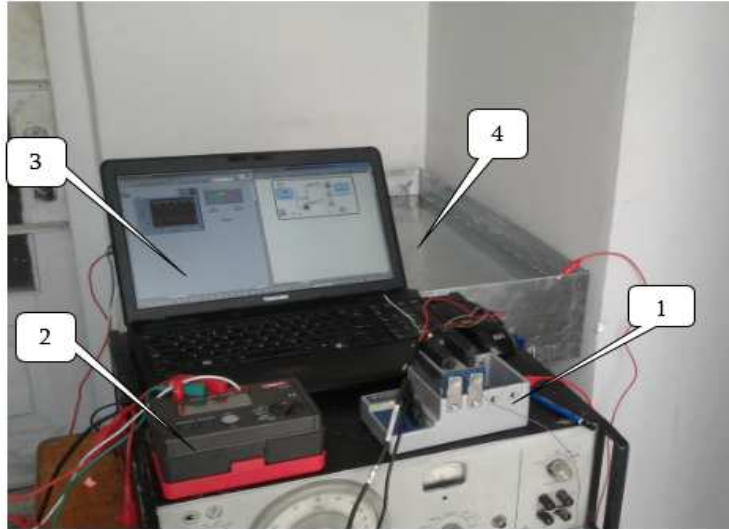
სურ. 4. წყლის (ელექტროლიტის) გამტარობის გაზომვის პრინციპული სქემა და გაზომვის პროცესი

1. ელექტროლიტის გამტარობის გაზომვას ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ელექტროდებიანი საზომი მოწყობილობის გამოყენებით ელექტროლიტის 0%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,2% და 1,6% კონცენტრაციის ხსნარებისათვის (სურ. 4);

2. გამტარობის მიღებული შედეგისათვის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლას;

3. დამიწების წინააღმდეგ გაზომვას დადგენილი გამტარობის ელექტროლიტიან აბაზანაში სხვადასხვა ზომის, მასალის, ჩაძირვის სიღრმის ელექტროდების და დამიწების წინააღმდეგ გაზომვი ხელსაწყო გამოყენებით, დაკვირვებათა შედეგების ათჯერადი განმეორების პირობებში;

4. მიღებულ მონაცემთა დამუშავებას მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით, გაზომვის შედეგების ცდომილებების ანალიზს და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებას.



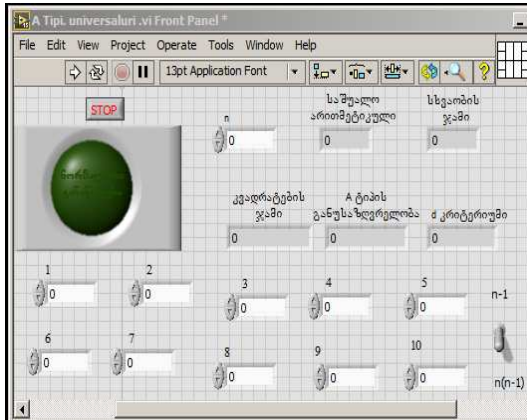
სურ. 5 ლაბორატორიული დანადგარი სამუშაო რეჟიმში

აღნიშნულმა კვლევებმა საშუალება მოგვცა ელექტროლიტური ავზის ბაზაზე შეგვექმნა ლაბორატორიული დანადგარი, სადაც გაზომვის შედეგების რეგისტრაცია, ასახვა და შენახვა NATIONAL INSTRUMENTS (აშშ) კომპანიის მიერ შექმნილი გრაფიკული პროგრამირების ენის LabVIEW პროგრამული უზრუნველყოფის გარემოშია შესაძლებელი. LabVIEW-ს პლატფორმა, ასევე უზრუნველყოფს პროგრამული და რეალური ობიექტის კავშირს ამავე კომპანიის მიერ შექმნილი ანალოგურ-ციფრული და ციფრულ-ანალოგური მოდულური ბლოკების ni 9205, ni 9263 (სურ. 5 პოზიცია 1) საშუალებით.

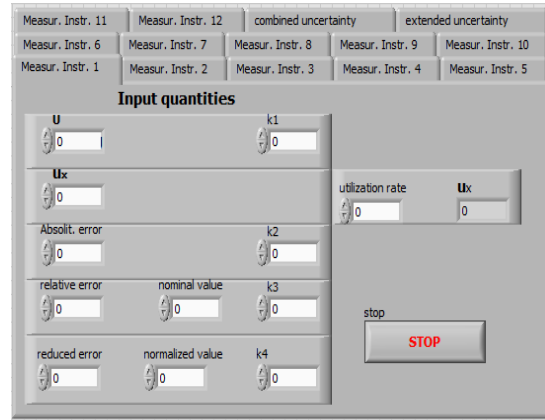
შემოთავაზებული კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების პროგრამული უზრუნველყოფა LabVIEW გარემოში, უზრუნველყოფს მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებას როგორც მონაწილე ასევე პროვაიდერი ლაბორატორიისათვის შესაბამისი შეფასების კრიტერიუმის დადგენას და ობიექტური დასკვნის ჩამოყალიბებას.

მონაცემთა დამუშავება A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლით იწყება (სურ. 6), რომლის გამოთვლის ალგორითმი მოიცავს: ცალკეული დაკვირვების შედეგებიდან გაზომვის შედეგის, მისგან

თითოეული დაკვირვების გადახრის, საშუალო კვადრატული გადახრის და მონაცემთა განაწილების ნორმალურობის ჰიპოთეზის გაანგარიშებას.



სურ. 6. A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში

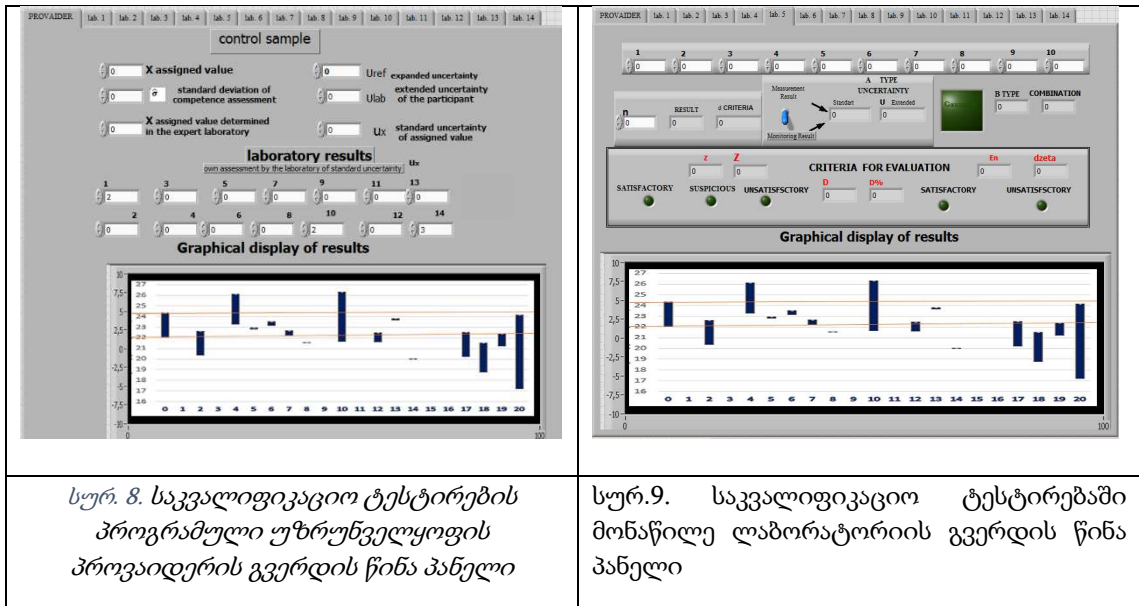


სურ. 7 B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში

შემდეგი ეტაპი B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლაა (სურ. 7). სტატისტიკური დამუშავების პროგრამა უზრუნველყოფს 12 სხვადასხვა საზომი ხელსაწყოს კალიბრების სერტიფიკატით მოცემული სტანდარტული ან გაფართოებული განუსაზღვრელობა, ცდომილებათა თეორიის მიხედვით მოცემული აბსოლუტური, ფარდობითი და დაყვანილი ცდომილების მნიშვნელობების გათვალისწინებას გამოთვლის შედეგებში. პროგრამა უზრუნველყოფს ჯამური სტანდარტული და გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოთვლას ჩვენს მიერ მითითებული დაფარვის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.

პროვაიდერი ორგანიზაციისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის პროდუქტის შექმნის ამოცანას კვალიფიკაციის ტესტირებებში მონაწილე ლაბორატორიების შეფასების კრიტერიუმები დაედო საფუძვლად. იგი გათვლილია გამოცდებში მონაწილე 14 ლაბორატორიისა და პროვაიდერი ორგანიზაციის მონაცემების შეყვანის, ანალიზისა და ინდიკაციისათვის. ისე, რომ ყველა ლაბორატორიის მონაცემებს საკუთარი ფანჯარა (გვერდი) აქვთ დათმობილი. ისინი პროვაიდერის გვერდიდან იმართება. შესაბამისად

მონაწილე ლაბორატორიების გვერდები ერთნაირია პროვაიდერის გვერდი განსხვავდება მათგან (სურ. 8). იქ მოცემულია ყველა სახის ტექნიკური, საინფორმაციო და ნორმირებული, შეთანხმებული თუ რობასტული მნიშვნელობა საკონტროლო ნიმუშის შესახებ, ისინი შეფასების კრიტერიუმების გამოთვლისას საყრდენი მნიშვნელობების როლს თამაშობენ.



სურ. 8. საკვალიფიკაციო ტესტირების პროგრამული უზრუნველყოფის პროვაიდერის გვერდის წინა პანელი

სურ.9. საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიის გვერდის წინა პანელი

ლაბორატორიების გვერდზე გამოყოფილია პროგრამული ელემენტები მონაცემთა შეყვანისათვის სურ. 9. პროგრამა გამოითვლის გაზომვის შედეგს, შეაფასებს გაზომვის შედეგების განაწილების კანონის ნორმალურობის ჰიპოთეზას, იანგარიშებს A და B ტიპის განუსაზღვრელობას, გაზომვის შედეგის ჯამურ სტანდარტულ და გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს. ასევე თვალსაჩინოდ ასახავს ლაბორატორიის მიერ ნაჩვენები შეფასების ყველა შედეგის კრიტერიუმების მიხედვით.

სადისერტაციო თემის მეოთხე თავის შედეგებია დამიწების წინააღმდეგ საკონტროლო ლაბორატორიული დანადგარის შექმნა, აღწერა და გამოკვლევა. აქვე მოცემულია LabVIEW გარემოში კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორის გამოცდების პროგრამული უზრუნველყოფა და მისი რეალიზაციისათვის კომპიუტერული გამოზომი ხელსაწყო აღწერილობა.

დასკვნები და რეკომენდაციები

1. ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების პროცესისათვის მსგავსების თეორიის საფუძველზე გაანგარიშებულია, დაპროექტებული და შექმნილია დამიწების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური მოდელის ლაბორატორიული დანადგარი;
2. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევით შემოწმებულია ლაბორატორიული დანადგარის ძირითადი პარამეტრების ადეკვატურობა რეალურ ობიექტთან მიმართებაში;
3. შეფასებული, გაზომილი და დადგენილია ლაბორატორიული დანადგარის ყველა ძირითადი პარამეტრი და დამუშავებულია ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების მეთოდიკა;
4. ჩატარებულია მოდელის ექსპერიმენტული კვლევა საკონტროლო პარამეტრების აღწარმოებადობის, განმეორებადობის, სტაბილურობისა და ჰომოგენიზაციის კრიტერიუმების დასადგენად;
5. დამცავი დამიწების კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიულ დანადგარი ISO/IEC 13528: 2010 მოთხოვნების შესაბამისად აკმაყოფილებს ატესტირებული საკონტროლო ნიმუშის სტატუსს;
6. შექმნილია გამოცდებისა და გაზომვების შედეგების დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფა, როგორც ცალკეული ლაბორატორიების ასევე მთლიანად ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების და შეფასების კრიტერიუმებთან შედარებისათვის.
7. მსგავსების თეორიის საფუძველზე შექმნილი დამიწების ლაბორატორიული დანადგარი რეკომენდებულია საკონტროლო ნიმუშად გამოყენებისათვის კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას.

სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. ნ. აბელაშვილი, ნ. აბელაშვილი. საკონტროლო ნიმუშის მომზადება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისთვის. „შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები“. სტუ №1(19), 2015. გვ. 161-167
2. Н. Н. Абелашвили, Н. Н. Абелашвили. Обработка результатов межлабораторных испытаний в среде LabVIEW. “XV Международная конференция NI Days 2016”. Москва 15.11.2016. ст. 399-401
3. ნ. აბელაშვილი, ნ. აბელაშვილი. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის შედეგების რეალიზაცია LabVIEW გარემოში. კონფერენცია „კომპიუტერინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება“. თბილისი, სტუ, 1-3 ოქტომბერი. სექცია 1. კომპიუტერინგი/ინფორმატიკა. მოხსენება №2. 01.10.2016.
4. ზ. აზმაიფარაშვილი, ნ. აბელაშვილი. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდები მსგავსების თეორიის გამოყენებით. „შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები“. სტუ №2(24), 2017. გვ. 79-84.
5. N. Abelashvili, N. Otchozoria, P. Gogolidze, N. Abelashvili. . Interlaboratory Testing Software for Experimental Qualification Testing in the LabVIEW Environment. 1st South Caucasus Food Conference. which was held on 29-30 March 2018 in Tbilisi, Georgia. pg. 29-31

Abstract

Construction, research and elaboration of a physical model's control sample testing methodology for interlaboratory comparisons

The recent economic and political integration processes in Georgia have significantly accelerated the harmonization requirements of legislative, and other forms of economic and trade regulatory documents active in the country, in the area of developed European and other Commonwealth countries. The clear confirmation of the mentioned is the Association Agreement between Georgia and EU Member States. The third chapter of the fourth article of this Agreement - the technical barriers to trade is dedicated to standardization, metrology, accreditation and the mutual harmonization of issues related to conformity assessment. According to the Agreement, within the frames of bilateral cooperation they must create conditions for "stimulation of infrastructure quality development for standardization, metrology, accreditation, conformity assessment and market supervision system in Georgia". In addition to this, the Agreement obliges Georgia to:

- To make its own legislation closer to the relevant EU legislation step by step, considering its own priorities,;
- To achieve and maintain the level of administrative and institutional efficiency required to ensure a capable and transparent system.
- To gradually adopt European (EN) set of standards as national standards, including harmonized European standards, voluntary use of which gives the presumption of compliance of EU legislation brought to Georgian legislation.

The goal, which is dictated by the political and economic development strategy of Georgia, is clearly established within this agreement, where, as we have found, one of the most important roles is taken by issues related to metrology, standardization, accreditation and conformity assessment. The issue separated by us out of group of tasks to be solved in the mentioned field - "interlaboratory comparison, a control sample of a physical model of development, research and creation of testing methods" fully meets the requirements of EU harmonized infrastructure, and it is also relevant for the development of mentioned directions in Georgia and as a result for achieving of high standards in security, reliability and safety, which will ultimately be reflected in the improvement of quality of the performed work.

ISO / IEC 17043: 2013, ISO 5725-3: 1994 Standards fully share aims of experimental checking on the basis of which the laboratory examination results - "changing places of the laboratory results" can be assessed by measuring of the comparison samples according to the programs and procedures provided in these standards.

Evaluation criteria applied to the results obtained during the interlaboratory examinations of qualification testing which are ISO 13528-2010 "Statistical Methods. For the results obtained through the interlaboratory comparative test used during the experimental examination of the qualification of competency are given by means of standards, allowing us to identify dangerous situations and to take warning measures in advance to eliminate them. There criteria which, according to the selected examination program should be met by the control pattern of interlaboratory comparison are reviewed in the present work. As well as assessment criteria of results obtained by laboratories participated in the examination. The real examples on the basis of interlaboratory examination results are considered for laboratories with both, positive and negative results. The recommendation issues for analysis of results and preventive measures are given for such laboratories.

Electricity parameters are selected for interlaboratory testing as the field of experimental checking of competency, in particular the control object is represented by protective grounding control sample. The work deals with the physical essence of the process of grounding, here are the main characteristics of them in the condition of different influencing factors (soil structure, composition, concentration of salt, moisture and temperature), also the electrode material and its geometric sizes. Here is also mentioned the nomogram calculating grounding resistance. The dissertation also discusses the principles, methods and procedures of protective resistance measuring. The impact of covering and non-covering zones of effective resistance on measuring results is shown herein, 62% method of measuring of the grounding resistance. The equipment of measuring the grounding resistance and their switching on systems are discussed. Here are some of the effective methods of reduction of grounding resistance, and the characteristics of the depth of insertion of the electrodes into the soil, their quantity and the processing impact on resistance index. characteristics of chemical

Considering the issues discussed, the protective grounding contour has been created in the soil and for the purposes of researching of the characteristics of ability to produce, periodicity and characteristics of homogeneity of data of its metrological parameters, during one day 3 series of experiments were conducted by means of five different measuring equipment (duration of series 0.5 hr., interval between series 1.5 hr.), which gave us the opportunity to gain the results of experimental research:

- a. Measuring for assessment of criteria of homogeneity;
- b. Data for determination of stability criteria;
- c. Data for assessment of parameter of ability to produce;
- d. Data for assessment of parameter of periodicity;

The results obtained by the experiments satisfied the criterion requirements for the control sample, which allowed us to use the contour as a control sample for interlaboratory examinations.

Under the joint program conducted by the Spanish Standardization and Certification (AENOR), the International Consultants of Expertise of France (SL ACE, Expertise France), and the United Kingdom Accreditation Service (UKAS), LEPL Accreditation Joint National Authority, in collaboration with Accreditation Center and Technical University Metrology, Certification and Standardization Research Center, on 22th of December, 2016 the professional qualification testing (interlaboratory test) in the field of electrical measurement, particularly in terms of measuring of grounding resistance which was responded by 15 accredited laboratories. The laboratories were sent the program of professional testing and the program presenting the measurement results according to the EN ISO / IEC 17043: 2010 and ISO 13528: 2010 also the rules of assessment of participants' data which implored the assessmnt by method of colculation of robastic average number with the use of z and ξ -coefficients criteria.

Based on the results obtained, the conclusion on the interlaboratory examination of the qualification experimental assessment has been prepared which was presented at the joint session and was submitted to each laboratory in the face of a conclusion.

The observation on the control sample showed the instability of its characteristics in the long term, which was caused by the influence of external influences, due to this the issue has been submitted on the agenda for the purposes of creation, preparation and examination of the laboratory plant controlling the grounding resistance.

In the dissertation is presented the theoretical justification of the creation of a laboratory physical model on the base of electric bathroom based on the theory of similarity. The mutual adequacy in the bathroom and the in actual soil is theoretically described, practically built and experimentally studied, the experimental patterns of both analogical and computer measurment means of grounding resistance measurement plant are created, designed and tested. Measuring means and control pattern are calibrated, which guarantees the stability of its parameters.

In the work the program of statistical processing of measurement results and A and B type indefinitely calculation program created by the author in the area of LabVIEW software are presented. The program also envisages automated processing of interlaboratory examination results of the qualification experimental assessment for 15 participant laboratories, determination of their assessment criteria and presentation of common results in graphic and digital form.