

გიორგი ქართველიშვილი

სამეწარმეო სფეროს პროდუქციის ხარისხის
პარამეტრების კონტროლის, გამოცდილების და
გაზომვების მათემატიკური მოდელირება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
თვე, 2013 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით გიორგი ქართველიშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: **სამეწარმეო სფეროს პროდუქციის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდილების და გაზომვების მათემატიკური მოდელირება**” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2013 წელი

ხელმძღვანელი: 1. ტ.მ.კ., ასოცირებული პროფესორი
ნოდარ აბელაშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: გიორგი ქართველიშვილი

დასახელება: სამეწარმეო სფეროს პროდუქციის ხარისხის
პარამეტრების კონტროლის, გამოცდილების და
გაზომვების მათემატიკური მოდელირება

ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 2013 წლის

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 დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

კვლევის აქტუალობა. ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმოო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მსოფლიო მწარმოებლურ ინფრასტრუქტურაში ჩართვის კვალობაზე მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზრდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამიტომ მაღალი ფინანსური ტევადობის მქონე პროექტებში ობიექტის ქცევის წესების, მათი საექსპლოატაციო მახასიათებლების წინასწარი შესწავლა, ასევე კონტროლისა და მონიტორინგის ოპერაციებზე კვალიფიცირებული კადრების მომზადება უმნიშვნელოვანეს ამოცანათა რიგს განეკუთვნება.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით უწყვეტი ციკლით მოქმედი, ასევე დაპროექტების სტადიაში მყოფი პროცესებისათვის, განსაკუთრებით თუ აუცილებელია მომსახურე ოპერატორების წინასწარი მომზადება, ან განსაკუთრებულ სიტუაციებში პროცესისა და მომსახურე ოპერატორების ქცევის წესების შესწავლა და დადგენა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი განსახილველი თემა გაზომვის პროცესის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირების საკითხებია მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების უზრუნველყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლე მდგომარეობს პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის კონტროლის, უზრუნველყოფისა და მართვის ძირითადი პრინციპების გამოვლენისა და ანალიზის საფუძველზე ხარისხის მართვის ეფექტური მეთოდების დამუშავებაში.

გაზომვების სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირსა და აშშ-სთან მოსალოდნელი თავისუფალი ვაჭრობის შესახებ შეთანხმების ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა, რომელიც გულისხმობს გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების აუცილებლობას ISO 17025 სტანდარტის მიხედვით საწარმოო ტექნიკური თანამშრომლობის ყველა სფეროში. თავის მხრივ გაზომვის მონაცემების დამუშავების აღნიშნული მეთოდი კარგი საშუალებაა მათემატიკური და ვირტუალური მოდელის რეალური გაზომვის სქემასთან ადექვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირება მათი ოპტიმიზაციისა და მოდელის ადექვატურობის დადგენასათვის გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობების შეფასების გზით.

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

- არსებული მაგისტრალური და ლოკალური მილსადენების პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პირობების, მათი საკონტროლო პარამეტრების გზნევის მახასიათებლების დადგენასა და შესწავლას.
- რეალური საკვლევი ობიექტის საკონტროლო პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ხარჯი) გაზომვათა ცდომილების ანალიზი და განუსაზღვრელობის შეფასება;
- სატუმბ საგურებში საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;
- ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება მათემატიკური და ვირტუალური მოდელების რეალურ ობიექტთან ადექვატურობის დასადგენად.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ნაშრომში დეტალურად განხილული და შესწავლილია საზომ საკონტროლო სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია ნავთობსადენზე, საკონტროლო ოპერაციებოს ჩასატარებელი აღჭურვილობა, მათი თეორიული და პრაქტიკული საექსპლოატაციო მახასიათებლები ნავთობსადენის დატვირთვის 0, 25, 50, 75, და 100% რეჟიმებისათვის სამი ძირითადი საკონტროლო პარამეტრის წნევის, ტემპერატურისა და ხარჯის მიხედვით, ასევე საზომი საშუალებების კალიბრების მეთოდები ნავთობსადენის ნომინალური დატვირთვის მოყვანილი სხვადასხვა რეჟიმებისათვის.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით თითოეული პარამეტრის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის ჩატარებულია გაზომვის შედეგების თეორიული კვლევა გაზომვის ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შესაფასებლად.

წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა პროექტირების ეტაპზე მილსადენის პარამეტრების შერჩევისა და აპრობაციისათვის.

ნაშრომში დამუშავებული, შექმნილი და გამოკვლეულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ვირტუალური მოდელები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში, რაზედაც რეალურ ობიექტზე ჩატარებული ანალოგიური ტიპის გაზომვებია ჩატარებული მათი შედეგების შედარების მიზნით.

პირველადაა გამოკვლეული ჩატარებული გაზომვების შედეგების ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის მისი შედეგების ადექვატურობის გამოსაკვლევად რეალური ობიექტის შედეგებთან, ასევე გამოკვლეული და მოცემულია სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების

გაერთიანების პირობები რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი შედეგები და რეკომენდაციები შესაძლებელია გამოყენებული იყოს საზომ საკონტროლო სამუშაოების ორგანიზაციის დაგეგმვისათვის ნებისმიერი ტიპის საწარმოო დანიშნულების ობიექტზე მოდელისა და რეალური ობიექტის მაქსიმალური ადექვატურობის უზრუნველსაყოფად მათი პროექტირების, წინასწარი აპრობაციისა და ექსპლუატაციის არასაშტატო პირობების გამოკვლევისას, განსაკუთრებით უწყვეტ ციკლიანი, ძვირადღირებული და გაზომვების ჩატარების შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე ობიექტებისათვის, ასევე გაზრდილი პასუხისმგებლობის მქონე საზომ საკონტროლო სამუშაოების შემსრულებელი ოპერატორების მოსამზადებლად.

Abstract

Topicality of the research. In our country there is increase from day to day of modern technical and technological means of production equipped enterprises. In the big enterprises is necessary to find out more information about measuring devices and study its technical parameters, also train high qualified personal for control and monitoring of processes.

To solve this problem is not always easy, exceptionally when we have continuous cycle and planning of process. Especially if required to train operators for control and monitoring of processes in emergency situations.

The mine theme of dissertation is mathematical and virtual modeling for controlling, testing and measurement processes of pipeline transport. The innovation of dissertation is treatment of quality management effective methods recline on the product and service quality control and identify and analyze management principles.

The main aim of the dissertation is optimization of mathematical and virtual modeling for controlling, testing and measurement processes of pipeline transport and identify suitability for assessing the uncertainty of measurement results.

The main objectives. Execution of these problems include addressing the major objectives of the study:

- Design and operation conditions of trunk and local pipelines, determination and study of the control parameters sparse characteristics.
- The control parameters (pressure, temperature and flow) of real research object measurement error analysis and uncertainty estimation.
- In the pumping stations measurements processes virtual modeling using LabVIEW.
- Evaluation of measurement error and uncertainty for suitability of a virtual and real models.

The main results of the dissertation and scientific innovation. In the dissertation is considered measurement technology and organization at crude oil pipelines and pumping stations. Theoretical and practical parameters of pipeline load at 0, 25, 50, 75 and 100% of nominal. Also calibration methods of pressure, temperature and flow measurement at 0, 25, 50, 75 and 100% of nominal and different regimes.

Based on the conducting experiments on each parameters single and multiple measurement for different regimes conducted measurement results theoretical research for error analyze and uncertainty estimation.

Represented mathematical models rectilinear and dynamical transportation programming task for choosing pipeline parameters during planning.

In this dissertation described general information about the graphical programming program LabVIEW. Possibility using sphere and creating virtual models with LabVIEW. Using LabVIEW we create, process and investigate virtual models of measurement transmitter's calibration process at pumping station. We create virtual models for single and multiple direct measurements as pressure, also temperature and flow transmitters. Tested virtual models and record test results for

single and multiple direct measurements. Using this results was calculated uncertainty of these virtual transmitters. Also was comparison virtual models uncertainty with real transmitters uncertainty.

There was for the first time investigated measurement results error analyze and measurement uncertainty estimation for virtual model for checking adequacy with real object measurement results. Also is investigated and presented the consolidation of observed test results of group pumping stations of real objects and virtual models measurement parameters.

The sphere of using results: The research results and recommendations presented in the dissertation will use for measurement jobs planning at any type enterprise, for highest possible adequacy real and virtual models for their planning, testing and emergency situations exercises. This is useful especially for continuous and expensive measurements. Also for the objects with disabilities of measurement and train to high qualified personals.

შინაარსი

რეზიუმე		iv
Abstract		vii
მადლიერება		xvii
შესავალი		18
თავი 1	ზოგადი ცნობები მილსადენით ტრანსპორტირებად ბუნებრივ რესურსებზე	
1.1.	ნავთობისა და გაზის საბადოს წარმოშობა, მოძიება, დაზვერვა, მოპოვება, გავრცელება.....	24
1.1.1.	მილსადენი ტრანსპორტის სახეობები. ნავთობის ტრანსპორტირების მეთოდები.....	24
1.1.2.	მილსადენი ტრანსპორტის მდგომარეობა მსოფლიოს ცალკეულ ქვეყნებში.....	28
1.1.3.	მილსადენი ტრანსპორტის ისტორია და განვითარების პერსპექტივები საქართველოში.....	31
1.1.4.	სატუმბი სადგურების ტექნოლოგია და აღჭურვილობა.	35
1.2.	საზომ საკონტროლო სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია ნავთობსადენზე.....	38
1.2.1.	წნევის ტრანსმიტერის მუშაობის და დაკალიბრების ოპერაციები.....	38
1.2.2.	ტემპერატურის ტრანსმიტერით ნაკადის ტემპერატურის გაზომვის პრინციპი.....	43
1.2.3.	ხარჯმზომი ტრანსმიტერით ნაკადის სიჩქარის გაზომვის პრინციპი.....	45
თავი 2	მათემატიკური მოდელირება ნავთობსადენის პროექტირების ეტაპზე	48
2.1.	წრფივი და დინამიკური მათემატიკური მოდელირების მეთოდი ნავთობსადენის დაგეგმვის ამოცანის ოპტიმიზაციისათვის.....	48
2.2.	მათემატიკური მოდელირების დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა მილსადენის პარამეტრების შესარჩევად.....	52
თავი 3	ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ორგანიზაცია	63
3.1.	რეალურ სატუმბ სადგურში ნავთობ ნაკადის წნევის გაზომვისა და ტრანსმიტერის კალიბრების პროცესი.	63
3.1.1.	წნევის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება.	63
3.2.	ნავთობ ნაკადის ტემპერატურის გაზომვისა და ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრება რეალური მილსადენის სატუმბ სადგურში.....	75

	3.2.1. ტემპერატურის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება.	75
	3.3. ნავთობსადენის სატუმბ სადგურზე ნავთობის ხარჯის გაზომვა და საზომი საშუალების დაკალიბრება.....	82
	3.3.1. ნავთობის ნაკადის ხარჯის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება.....	82
თავი 4	სატუმბ სადგურებში გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში.....	88
	4.1 ზოგადი ცნობები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში ვირტუალური მოდელების შექმნის შესახებ. შესაძლებლობები. გამოყენების სფერო...	88
	4.2. წნევის გაზომვის ვირტუალური მოდელის შექმნა LabVIEW სივრცეში.....	93
	4.2.1. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის.....	93
	4.3. ტემპერატურის გაზომვის ვირტუალური მოდელი...	107
	4.3.1. ტემპერატურის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება გრაფიკული პროგრამირების LabVIEW სივრცეში.....	107
	4.4. ნავთობის ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელი.....	121
	4.4.1. ვირტუალური მოდელის სატუმბ სადგურზე ნავთობის ხარჯის ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება.....	121
თავი 5	ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელის ადექვატურობის გამოსაკვლევად.....	130
	5.1. რეალური ობიექტის სადგურთაშორისი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით.....	130
	5.1.1 წნევის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით.....	130
	5.1.2 ტემპერატურის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით.....	135
	5.1.3 ხარჯის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით.....	138

5.2. სადგურთაშორის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება	141
5.2.1 სადგურთაშორის წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება.....	141
5.2.2 სადგურთაშორის ტემპერატურის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება	145
5.2.3 სადგურთაშორის ხარჯის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება	147
5.3. სადგურთაშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის გასაზომი პარამეტრების მონაცემებისათვის.....	149
5.3.1 სადგურთაშორის წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის გაერთიანება.....	149
5.3.2 სადგურთაშორის ტემპერატურის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის გაერთიანება.....	151
5.3.3 სადგურთაშორის ხარჯის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის გაერთიანება.....	153
დასკვნა.....	155
ლიტერატურა.....	157
დანართები.....	159

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1	მსოფლიოში უდიდესი მილსადენი ტრანსპორტის მქონე ქვეყნების რეიტინგი.....	30
ცხრილი 2	წნევის ტრანსმიტერი ტექნიკური მახასიათებლები.....	42
ცხრილი 3	მულტიმეტრის ტექნიკური მახასიათებლები.....	42
ცხრილი 4	წნევის კალიბრატორის ტექნიკური მახასიათებლები.....	42
ცხრილი 5	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეოთხე ბიჯზე.	54
ცხრილი 6	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე....	55
ცხრილი 7	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე....	55
ცხრილი 8	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.	56
ცხრილი 9	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეოთხე ბიჯზე.	57
ცხრილი 10	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე....	58
ცხრილი 11	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე....	58
ცხრილი 12	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.	59
ცხრილი 13	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეოთხე ბიჯზე.	60
ცხრილი 14	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე....	60
ცხრილი 15	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე....	61
ცხრილი 16	ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.	61
ცხრილი 17	წნევის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების მნიშვნელობები.....	65
ცხრილი 18	წნევის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	70
ცხრილი 19	წნევის სიდიდის ერთჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	73
ცხრილი 20	ტემპერატურის სიდიდის ერთჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	77
ცხრილი 21	ტემპერატურის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების მნიშვნელობები.....	78
ცხრილი 22	ტემპერატურის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	81
ცხრილი 23	ხარჯის ერთჯერადი გაზომვების ბიუჯეტი.....	83
ცხრილი 24	ხარჯის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების მნიშვნელობები.....	84
ცხრილი 25	ხარჯის სიდიდის მრავალჯერადი გაზომვების	

	განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი.....	86
ცხრილი 26	წნევის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	97
ცხრილი 27	წნევის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	99
ცხრილი 28	წნევის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	101
ცხრილი 29	წნევის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	102
ცხრილი 30	წნევის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	105
ცხრილი 31	ტემპერატურის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	111
ცხრილი 32	ტემპერატურის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	113
ცხრილი 33	ტემპერატურის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	116
ცხრილი 34	ტემპერატურის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	117
ცხრილი 35	ტემპერატურის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	119
ცხრილი 36	ხარჯის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	123
ცხრილი 37	ხარჯის ერთჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	125
ცხრილი 38	ხარჯის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების მონაცემები.....	126
ცხრილი 39	ხარჯის მრავალჯერადი ვირტუალური გაზომვების ბიუჯეტი.....	129
ცხრილი 40	წნევის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საწყის სადგურზე.....	132
ცხრილი 41	წნევის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საბოლოო სადგურზე.....	133
ცხრილი 42	წნევის ათჯერადი გაზომვის შედეგები ვირტუალურ სადგურზე.....	134
ცხრილი 43	ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საწყის სადგურზე.....	135
ცხრილი 44	ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საბოლოო სადგურზე.....	136
ცხრილი 45	ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის შედეგები ვირტუალურ სადგურზე.....	137
ცხრილი 46	ხარჯის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საწყის სადგურზე.....	138
ცხრილი 47	ხარჯის ათჯერადი გაზომვის შედეგები საბოლოო სადგურზე.....	138

ცხრილი 48	ხარჯის ათჯერადი გაზომვის შედეგები ვირტუალურ სადგურზე.....	140
ცხრილი 49	ხუთი სხვადასხვა სადგურის წნევის ათჯერადი გაზომვის მნიშვნელობები.....	142
ცხრილი 50	ხუთი სხვადასხვა სადგურის ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის მნიშვნელობები.....	145
ცხრილი 51	ხუთი სხვადასხვა სადგურის ხარჯის ათჯერადი გაზომვის მნიშვნელობები.....	147
ცხრილი 52	წნევის გაზომვის გაბნევის მახასიათებლები.....	150
ცხრილი 53	ტემპერატურის გაზომვის გაბნევის მახასიათებლები.....	151
ცხრილი 54	ხარჯის გაზომვის გაბნევის მახასიათებლები.....	153

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1 მილსადენი ტრანსპორტი აშშ-ში.....	29
ნახ. 2 WREP, SCP და BTC მილსადენების რუქა.....	32
ნახ. 3 NABUCCO მილსადენის მარშრუტი.....	34
ნახ. 4 ნავთობ სატუმბი სადგური.....	36
ნახ. 5 მილსადენის შესამოწმებელი მზვერავი ყალიბი.....	36
ნახ. 6 წნევის ტრანსმიტერის პრინციპული სქემა.....	38
ნახ. 7 წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრების სქემა.....	39
ნახ. 8 ტრანსმიტერის დაკალიბრება სარეგულირებლით.....	41
ნახ. 9 ულტრაბგერითი ხარჯმზომი.....	45
ნახ. 10 ტრანსდუსერების ამრეკლავი განლაგება.....	46
ნახ. 11 ტრანსდუსერების დიგონალური განლაგება.....	46
ნახ. 12 მილგაყვანილობის სისტემის გაყვანის ოპტიმალური მარშრუტი მინიმალური დანახარჯებისათვის.....	53
ნახ. 13 მილგაყვანილობის სისტემის გაყვანის ოპტიმალური მარშრუტი მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობისათვის.....	57
ნახ. 14 მილგაყვანილობის სისტემის გაყვანის ოპტიმალური მარშრუტი შესარულებელ სამუშაოთა მინიმალურ დროში შესრულების შესახებ.....	59
ნახ. 15 წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრება ლაბორატორიულ პირობებში.....	63
ნახ. 16 ლაბორატორიულ პირობებში ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრება.....	75
ნახ. 17 მონაცემთა შეგროვების, ანალიზისა და შენახვის ოპერაციების თანმიმდევრობა.....	90
ნახ. 18 კოდის შესრულების თანმიმდევრობის ანიმაცია.....	90
ნახ. 19 საინჟინრო ამოცანების მართვის სპეციალური ელემენტები და ინდიკატორები	91
ნახ. 20 ოსცილოგრამის გრაფიკი შენიშვნებითა და მაჩვენებლებით	91
ნახ. 21 ინტერფეისის ნახატი ელემენტები რობოტის მდგომარეობის ვიზუალიზაციისათვის.....	92
ნახ. 22 LabVIEW-ს მოდული supervisory control and data acquisition გამოსახულებების ბიბლიოთეკის ნავიგატორი.....	92
ნახ. 23 ვირტუალური მოდელის წინა პანელი.....	93
ნახ. 24 ვირტუალური მოდელის ბლოკ სქემა.....	94
ნახ. 25 შესამოწმებელი ხელსაწყოთა ცდომილება დასაშვებ ზღვარს გარეთაა.	95
ნახ.26 ვირტუალური მოდელი განუსაზღვრელობის გამოთვლით.....	106
ნახ. 27 ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრების ვირტუალური მოდელის წინა პანელი.....	107
ნახ. 28 ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრების ვირტუალური მოდელის ბლოკ დიაგრამა.....	109
ნახ. 29 ტემპერატურის ტრანსმიტერის მოდელი როცა ცდომილება და გასაზომი სიდიდე ზღვარს გარეთაა	110
ნახ. 30 ტემპერატურის ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი	

განუსაზღვრელობის გამოთვლის ინტეგრაციის შემდეგ.....	114
ნახ. 31 ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელის წინა პანელი.....	121
ნახ. 32 ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელის ბლოკ დიაგრამა....	121

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

RTD	Resistance Temperature Device (წინაღობიანი ტემპერატურის გადამწოდი)
WREP	Western Route Export Pipeline დასავლეთის მიმართულების საექსპორტო მილსადენი
BTC	Baku-Tbilisi-Ceyhan ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი
SCP	South Caucasus Pipeline სამხრეთ კავკასიის მილსადენი
AIOC	Azerbaijan International Operating Company აზერბაიჯანის საერთაშორისო კომპანია
SOCAR	State Oil Company of Azerbaijan Republic აზერბაიჯანის სახელმწიფო ნავთობის კომპანია
EDDF	ავარიული დაღვრის საწინააღმდეგო ნაგებობა Emergency Drain Down Facility
P.I.G.	Pipeline Inspection Gauge მილსადენის შესამოწმებელი ყალიბი
NI	National Instrument ნაციონალური ინსტრუმენტი
IBM	International Business Machines Corporation საერთაშორისო ბიზნეს მანქანა

მადლიერება

დიდი პატივისცემითა და სიყვარულით მინდა მადლობა ვუთხრა ჩემი თემის ხელმძღვანელს პროფესორ ნოდარ აბელაშვილს, რომელმაც საკუთარი პროფესიული ხედვა და დიდი გამოცდილება უშურველად გამიზიარა ჩემი თემაზე მუშაობის წარმართვისათვის. მისი კონსულტაციები, რჩევები, შენიშვნები იყო ძვირფასი შენაძენი ჩემთვის, რამაც განაპირობა ნაშრომის ჩამოყალიბება და დასრულება. ამასთან, თანმიმდევრული მუშაობის, მეცნიერული დაკვირვებისა და კონკრეტულის განზოგადოების უნარ-ჩვევებსაც სწორად ბატონი ნოდარი მიყალიბებდა. იგი გამორჩეული პედაგოგიური ალლოთი და მაღალი პროფესიონალიზმით საჭირო მიმართულებას აძლევდა სამეცნიერო კვლევით მუშაობას.

შესავალი

უკანასკნელ წლებში ჩამოყალიბდა ხარისხის, როგორც ერთ-ერთი ფუნდამენტური კატეგორიის კონცეპტუალური ხედვა, რომელიც განსაზღვრავს ადამიანისა და საზოგადოების განვითარების სოციალურ და ეკონომიკურ საფუძველს, ცხოვრების წესს. ხარისხის ასეთი ხედვა თითქმის ყოვლისმომცველია და მკაფიოდ ასახავს ხარისხის ამდლების მნიშვნელობას. საზოგადოების თითოეული ადამიანზე ხარისხი და მასთან დაკავშირებული კომპონენტების გავლენა ყოველდღიური რეალობაა, რომელიც გულისხმობს არა მხოლოდ კონკრეტული პროდუქტის, კონკრეტული პარამეტრის შესაბამისობას სათანადო ტექნიკურ-ეკონომიკური დოკუმენტაციის მოთხოვნებთან, არამედ კომპლექსური, ყოვლისმომცველი ღონისძიებების გატარებასაც პროდუქციის საციცოცხლო ციკლის ყველა ეტაპზე.

ცხოვრების წესის ხარისხზე საგრძნობ გავლენას ახდენს მატერიალური გარემო – საქონლისა და მომსახურების ხარისხი. ამიტომ პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის პრობლემა იყო და რჩება აქტუალური. იგი სტრატეგიული პრობლემაა, რომლის გადაჭრაზეც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებულია სახელმწიფო ეკონომიკის სტაბილურობა.

ხარისხის უზრუნველყოფისათვის საჭიროა არა მხოლოდ შესაბამისი მატერიალური ბაზა და დაინტერესებული პერსონალი, არამედ ასევე მნიშვნელოვანია ხარისხის სწორი მართვა. ამიტომაც იჩენენ ხარისხის მართვისადმი ინტერესს საწარმოები და იქმნება პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის მართვისა და უზრუნველყოფის ეფექტური მეთოდები.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით შეუძლებელია გადაჭარბებით შეაფასო ხარისხისათვის ბრძოლის აქტუალობა, რომელიც დაფუძნებულია საკონტროლო პარამეტრების კვლევის რაოდენობივი ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებასთან. კვლევის ეს მეთოდები გულისხმობს ხარისხის პარამეტრების დადგენისა და შეფასებას საპროექტო, საგამოცდო, საწარმოო, საექსპლუატაციო და უტილიზაციის

პროცესებში კონტროლის მექანიზმების გამოყენებას, რაც თავის მხრივ ამ პროცესების მართვის აუცილებლობას წარმოშობს გამოსასვლელი პარამეტრის ოპტიმიზაციის მიზნით. როგორც ცნობილია ეფექტური მართვის განხორციელება შეუძლებელია მართვის ობიექტსა თუ პროცესზე სანდო და მაღალი სიზუსტით მოპოვებული პარამეტრების რაოდენობრივი მახასიათებლების ცოდნის გარეშე, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ხარისხის უზრუნველყოფის პროცესის განხორციელებისა და მართვისათვის აუცილებელია პარამეტრების კონტროლის პროცესში მოძიებული საზომი ინფორმაციის საიმედო და მაღალი ალბათობით სანდოობა.

კვლევის აქტუალობა. ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მათგან მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზარდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამიტომ მაღალი ფინანსური ტევადობის მქონე პროექტებში ობიექტის ქცევის წესების, მათი საექსპლოატაციო მახასიათებლების წინასწარი შესწავლა, ასევე კონტროლისა და მონიტორინგის ოპერაციებზე კვალიფიცირებული კადრების მომზადება უმნიშვნელოვანეს ამოცანათა რიგს განეკუთვნება.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით უწყვეტი ციკლით მოქმედი, ასევე დაპროექტების სტადიაში მყოფი პროცესებისათვის, განსაკუთრებით თუ აუცილებელია მომსახურე ოპერატორების წინასწარი მომზადება, ან განსაკუთრებულ სიტუაციებში პროცესისა და მომსახურე ოპერატორების ქცევის წესების შესწავლა და დადგენა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი განსახილველი თემა გაზომვის პროცესის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირების საკითხებია

მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების უზრუნველყოფისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლე მდგომარეობს პროდუქციისა და მომსახურების ხარისხის კონტროლის, უზრუნველყოფისა და მართვის ძირითადი პრინციპების გამოვლენისა და ანალიზის საფუძველზე ხარისხის მართვის ეფექტური მეთოდების დამუშავებაში.

გაზომვის სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირსა და აშშ-სთან მოსალოდნელი თავისუფალი ვაჭრობის შესახებ შეთანხმების ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა, რომელიც გულისხმობს გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების აუცილებლობას ISO 17025 სტანდარტის მიხედვით საწარმოო ტექნიკური თანამშრომლობის ყველა სფეროში. თავის მხრივ გაზომვის მონაცემების დამუშავების აღნიშნული მეთოდი კარგი საშუალებაა მათემატიკური და ვირტუალური მოდელის რეალური გაზომვის სქემასთან ადექვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მილსადენი ტრანსპორტით გადაზიდვის ხარისხის პარამეტრების კონტროლის, გამოცდისა და გაზომვის პროცესების მათემატიკური და ვირტუალური მოდელირება მათი ოპტიმიზაციისა და მოდელების ადექვატურობის დადგენასათვის გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობების შეფასების გზით.

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

- არსებული მაგისტრალური და ლოკალური მილსადენების პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პირობების, მათი საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის მახასიათებლების დადგენასა და შესწავლას.
- რეალური საკვლევი ობიექტის საკონტროლო პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ხარჯი) გაზომვათა ცდომილების ანალიზი და განუსაზღვრელობის შეფასება;

- სატუმბ საგურებში საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;
- ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება მათემატიკური და ვირტუალური მოდელების რეალურ ობიექტთან ადექვატურობის დასადგენად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტს წარმოადგენს, რეალური (ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი) ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის მათემატიკური და ვირტუალური მოდელების დამუშავება, შექმნა და გამოკვლევა.

ნაშრომში გამოყენებულია ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვათა განუსაზღვრელობის შეფასების, მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების, 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 საზომ საკონტროლო სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია ნავთობსადენზე, საკონტროლო ოპერაციებს ჩასატარებელი აღჭურვილობა, მათი თეორიული და პრაქტიკული საექსპლოუატაციო მახასიათებლები ნავთობსადენის დატვირთვის 0, 25, 50, 75, და 100% რეჟიმებისათვის სამი ძირითადი საკონტროლო პარამეტრის წნევის, ტემპერატურისა და ხარჯის მიხედვით, ასევე საზომი საშუალებების კალიბრების მეთოდები ნავთობსადენის ნომინალური დატვირთვის მოყვანილი სხვადასხვა რეჟიმებისათვის.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით თითოეული პარამეტრის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის სხვადასხვა რეჟიმებისათვის ჩატარებულია

გაზომვის შედეგების თეორიული კვლევა გაზომვის ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შესაფასებლად.

წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა პროექტირების ეტაპზე მილსადენის პარამეტრების შერჩევისა და აპრობაციისათვის.

ნაშრომში დამუშავებული, შექმნილი და გამოკვლეულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ვირტუალური მოდელები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში, რაზედაც რეალურ ობიექტზე ჩატარებული გაზომვების მსგავსი გაზომვებია ჩატარებული მათი შედეგების შედარების მიზნით.

პირველადაა გამოკვლეული ჩატარებული გაზომვების შედეგების ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის მისი შედეგების ადექვატურობის გამოსაკვლევად რეალური ობიექტის გაზომვის შედეგებთან, ასევე გამოკვლეული და მოცემულია სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანების პირობები რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი შედეგები და რეკომენდაციები შესაძლებელია გამოყენებული იყოს საზომ საკონტროლო სამუშაოების ორგანიზაციის დაგეგმვისათვის ნებისმიერი ტიპის საწარმოო დანიშნულების ობიექტზე მოდელისა და რეალური ობიექტის მაქსიმალური ადექვატურობის უზრუნველსაყოფად მათი პროექტირების, წინასწარი აპრობაციისა და ექსპლუატაციის არასაშტატო პირობების გამოკვლევისას, განსაკუთრებით უწყვეტ ციკლიანი, ძვირადღირებული და გაზომვების ჩატარების შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე ობიექტებისათვის, ასევე გაზრდილი პასუხისმგებლობის მქონე საზომ საკონტროლო სამუშაოების შემსრულებელი ოპერატორების მოსამზადებლად.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო თემის ირგვლივ ნაშრომის ძირითადი შედეგები სხვადასხვა წლებში მოხსენებული და განხილული

იქნა სამეცნიერო - ტექნიკურ ონფერენციაზე, გამოქვეყნდა სამეცნიერო ჟურნალში და მოხსენდა სემინარებზე, მათ შორის:

1. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია "მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები", 2011წ., 20-22 მაისი.

2. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(10), 2011.

3. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. LabVIEW-ს სივრცეში ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი მაგისტრალურ მილსადენზე წნევის კალიბრებსა და გაზომვსათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, №2(13), 2012.

4. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, ლ.გაჩეჩილაძე. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(14), 2013.

5. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, გ.მურჯიკნელი. რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელის გაზომვის მონაცემების გაერთიანების პირობები. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 2(15), 2013.

თავი 1

ზოგადი ცნობები მილსადენით ტრანსპორტირებად ბუნებრივ რესურსებზე

1.1. ნავთობისა და გაზის საბადოს წარმოშობა, მოძიება, დაზვერვა, მოპოვება, გავრცელება

1.1.1 მილსადენი ტრანსპორტის სახეობები. ნავთობის ტრანსპორტირების მეთოდები

ნავთობპროდუქტები საუკუნის ცივილიზაციის მინიშვნელოვანი მონაპოვარია. თანამედოვე ტექნიკისა და ტექნოლოგიების უდიდესი უმრავლესობა ამ ბუნებრივი პროდუქტის მოპოვების, გადამუშავებისა და მოხმარების გარეშე წარმოუდგენელია. ამიტომაც ნავთობის საბადოები, მისი მნიშვნელობიდან გამომდინარე, ხშირად საერთაშორისო კონფლიქტების გამომწვევი მიზეზი ხდება. თუმცა მისი არა სწორი მოპოვება, ტრანსპორტირება და გამოყენება, ხშირად აბინძურებს და აზიანებს ეკოლოგიურ სიტუაციას.

ნავთობის შემადგენელი სტრუქტურის ძირითადი ელემენტები ნახშირწყალბადებია. მათი მოლეკულები სხვა ნივთიერებებთან ერთად ორ ქიმიურ ელემენტს - წყალბადსა და ნახშირბადს შეიცავს. ნავთობი ბუნებაში თხევადი ან ფისისებრი ფორმით გვხვდება. ნავთობი ორგანული ნივთიერებაა, რომლის ფორმირებაც ღრმა ისტორიულ წარსულში მოხდა, ამიტომ ნავთობს და ბუნებრივ აირს ნამარხ სათბობს უწოდებენ.

ნავთობის მოსაპოვებლად აღმოჩენის შემდეგ აუცილებელია მისი დაზვერვა და მარაგის შესწავლა. ნავთობის მოსაძიებელ კვლევები არსებულ გეოლოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით იწყება. თუ დადგინდა, რომ ქანების ქვედა ფენებში ნავთობი ნამდვილად არსებობს, გეოლოგები ამ ადგილის ქანების შრეების შესწავლას რამდენიმე კმ-ის სიღრმეზე იწყებენ გეოფიზიკური კვლევის მეთოდებისა და ტექნიკის გამოყენებით, რომელიც მოიცავს მაგნიტურ, გრავიმეტრიულ და სეისმურ დაზვერვებს.

სადაზვერვო ჭაბურღილში ნავთობის აღმოჩენის შემდეგ მისი გამოკვლევა იწყება. თუ კი დადგინდა რომ აღმოჩენილი ნავთობი ხარისხი დამაკმაყოფილებელია, მაშინ ტერიტორიაზე სპეციალური ჭაბურღილების მილსადენებისა და სხვადასხვა დანიშნულებების დანადგარებიდან შემდგარი ტექნოლოგიური კომპლექსი შენდება.

სატრანსპორტო საშუალებებიდან თხევადი ტვირთების გადასატანად მილსადენი ტრანსპორტი გადაზიდვის ეკონომიურობის, სისწრაფის, გადაზიდვის მოცულობის, ექსპლუატაციის დიდი ვადისა და უსაფრთხოების გამო ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული საშუალებაა.

ერთ-ერთი უცნაური მილსადენი გერმანიაში ფუნქციონირებს, კერძოდ კი გელზენკიხერში ვენტინს არენას ბარები დაკავშირებულები არიან 5 კილომეტრიანი ლუდის მილსადენით. ეს ერთ - ერთი გამორჩეული მეთოდია ლუდის დისტრიბუციისათვის. დიდ სტადიონებზე მატჩების დროს დიდი მოთხოვნაა ლუდზე და ამიტომ ბარის მეპატრონეებისათვის უმჯობესია პირდაპირ იყვნენ დაკავშირებულები ცენტრალურ რეზერვუართან.

დანიში, ქალაქ რანდერში დღესაც არსებობს სპილენძის მილსადენი, რომელიც დაკავშირებული იყო ლუდსახარშთან. მაგრამ ამჟამად ეს მილსადენი არ ფუნქციონირებს.

მილსადენის ასეთი ეგზოტიკური სახეობა არსებობდა საქართველოში წინა საუკუნის ბოლოს, რომელიც აკავშირებდა ვაჩნაძიანის ღვინის ქარხანას რკინიგზის სადგურთან, იგი მინის მილებისაგან აგებული მაგისტრალი იყო, რომლის სიგრძე დაახლოებით 3 კილომეტრს შეადგენდა.

ტრანსპორტირების ფუნქციის მიხედვით მილსადენები იყოფა სამ ტიპად:

შემგროვებელი, ტრანსპორტირების და დისტრიბუციის მილსადენები.

- შემგროვებელი მილსადენები.

ურთიერთდაკავშირებული მცირე დიამეტრის და სიგრძის მილსადენების ჯგუფია, რომლებიც ქმნიან ქსელს ნავთობის ან ბუნებრივი გაზის გადაზიდვის მიზნით, რამოდენიმე ახლო მდებარე ჭაბურღილიდან

გასაწმენდად ან გადასამუშავებელ ქარხნამდე. როგორც წესი ამ ჯგუფში მილსადენის სიგრძე რამოდენიმე ასეულ მეტრის არ აღემატება.

- ტრანსპორტირების მილსადენები.

ისინი საკმაოდ გრძელი და დიდი დიამეტრისაა, რომელიც ძირითადად გამოიყენება ნავთობის გაზის და სხვადასხვა ნივთიერებების ტრანსპორტირებისათვის ქალაქებს, ქვეყნებს და კონტინენტებს შორისაც კი. ასეთი ტიპის მილსადენები შეიცავენ რამოდენიმე საკომპრესორო სადგურს ბუნებრივი გაზისათვის, და სატუმბ სადგურებს ნავთობისა და მულტიპროდუქტებისათვის.

- დისტრიბუციის მილსადენები.

ასეთი მილსადენები შედგება რამოდენიმე ურთიერთ დაკავშირებული მცირე დიამეტრის მილსადენებისაგან რომლებიც აწვდის პროდუქციას უშუალოდ მომხმარებელს.

ნავთობის ტრანსპორტირების მეთოდები.

ნავთობის აღმოჩენისა და მოპოვების შემდეგ აუცილებელია მისი გადამუშავება ადგილზე ან ტრანსპორტირება მისი შემდგომი გადამუშავებისათვის. არსებობს ნავთობის ტრანსპორტის 3 სახეობა: წყლის, რკინიგზის და მილსადენი. თითოეულ მათგანს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები აქვს.

- წყლის ტრანსპორტი გვამლევს საშუალებას რომ გადავზიდოთ ტანკერებით ნავთობი, ნავთობ პროდუქტები და გაზი ნებისმიერი რაოდენობით. წყლის ტრანსპორტი ფართოდ გამოიყენება მაგრამ გარკვეულ სიტუაციაში ასეთი მეთოდი ძვირდება რადგან საჭიროა დამატებითი დამაგროვებელი სადგურები (ტერმინალები) ნავთობის დასაგროვებლად.

- რკინიგზის ტრანსპორტი გვამლევს საშუალებას გადავზიდოთ ნებისმიერი სახეობის ნავთობ პროდუქტები. რკინიგზის ტრანსპორტის გამოყენება დიდი რაოდენობით გადაზიდვისათვის ეკონომიკური თვალსაზრისით არ არის გამართლებული. რაც შეეხება მცირე ზომის გადაზიდვებს აქ საუკეთესო ვარიანტი რკინიგზის ტრანსპორტია, რადგან

განსხვავებით წყლის ტრანსპორტისაგან მისი გამოყენება შეიძლება მთელი წლის განმავლობაში.

- მილსადენი ტრანსპორტი გამოიყენება დიდი რაოდენობის ნავთობის და ნავთობ პროდუქტების გადასაზიდად. ტრანსპორტის სხვა სახეობებთან შედარებით მას გააჩნია შემდეგი დადებითი თვისებები:

- მილსადენი უმოკლესი მანძილით აერთებს საწყის და ბოლოო წერტილებს;

- მისი დატვირთვა რიტმული და უწყვეტია, რაც გამორიცხავს დიდი რაოდენობის მარაგის შექმნას.

- დანაკარგების სიმცირე და გადაზიდვის ავტომატიზაციის შესაძლებლობა.

უარყოფითი მხარეა საწყისი კაპიტალდაზღვრების დიდი რაოდენობა და გადაზიდვის მიმართულების „უხეშობა“, ანუ მილსადენის მიმართულების შეცვლა მშენებლობის დამთავრების შემდეგ შეუძლებელია.

მილსადენი სისტემების გამოყენება XX-ე საუკუნის 10-იანი წლების ბოლოდან დაიწყო. მისი უდიდესი ნაწილი მცირე დიამეტრის იყო და ძირითად გამოიყენებოდა ნავთობის გადასაზიდად საბადოებიდან გადამამუშავებელ პუნქტებამდე. შემდგომ პერიოდში დაიწყო ფართო დიამეტრიანი ნავთობსადენების მშენებლობა. ა.შ.შ-ში განსაკუთრებული გამალებით ტრანსპორტის ეს სახეობა ვითარდებოდა 1945 წლის შემდგომ. რაც შეეხება ჩვენს დროს, ახლა მილსადენი ტრანსპორტის განვითარების ახალი ეტაპი მიმდინარეობს. ეს უპირველეს ყოვლისა დაკავშირებულია ნავთობისა და გაზის მოპოვების გაფართოებასთან.

მილსადენი ტრანსპორტი საშუალებას იძლევა ერთი და იგივე მილსადენი გამოყენებული იქნას ორი ან მეტი სხვადასხვა პროდუქტის გადასატანად ერთიმეორის მიყოლებით ე.წ. მრავალ პროდუქტიანი მილსადენები.

1.1.2. მილსადენი ტრანსპორტის მდგომარეობა მსოფლიოს ცალკეულ ქვეყნებში.

ნავთობსადენები, სამომავლოდ ტრანსპორტის საკმაოდ პერსპექტიული სახეობაა, მაგრამ მის შემდგომ განვითარებას თან ახლავს უამრავი პრობლემა, მაგალითად როგორცაა თვითონ მილსადენების გაყვანის სირთულეები, ხშირად საექვო პერსპექტივები და სტრატეგია. დღეისათვის ექსპლუატაციაში მყოფი მილსადენების 35 % 20 წლის ასაკისაა. ამ ასაკის მილსადენები უკვე მოითხოვს დიდ ყურადღებასა და მოვლას, რათა გარანტირებულ იქნას მათი საიმედოობა და უსაფრთხოება.

დღესდღეისობით მსოფლიოში მილსადენების საერთო სიგრძე დაახლოებით 3 500 000 კილომეტრია. მათ შორის ნავთობზე მოდის დაახლოებით 17%, ნავთობპროდუქტებზე როგორცაა დიზელი, ნავთი და სხვა შეადგენს დაახლოებით 19%, ხოლო დანარჩენი 64% კი მოდის ბუნებრივ გაზზე. ქვემოთ მოყვანილია ცალკეული ქვეყნების მიხედვით მილსადენების განვითარების მაჩვენებლები.

აშშ

ექსპლუატაციაში მყოფი და მშენებარე მაგისტრალური მილსადენების სიგრძით ამერიკის შეერთებულ შტატებს პირველი ადგილი უკავია მსოფლიოში. დღეს აშშ-ში ნავთობსადენების მშენებლობას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ნავთობსადენების მშენებლობას ალასკიდან და კანადის არქტიკული რაიონებიდან. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ტრანსალასკური მშენებარე მილსადენი, რომლის სიგრძეა 7763 კმ. იგი უზრუნველყოფს ალასკური და კანადური გაზის მიწოდებას 48 შტატისთვის. ის შედგება 4 ძირითადი მონაკვეთისგან: ალიასკის, კანადის, აღმოსავლეთ და დასავლეთ მხარეებისგან.

2010 წლის ბოლოსათვის ა.შ.შ-ში მილსადენების საერთო სიგრძე 793,285 კილომეტრი შეადგინა. მათ შორის ნავთობსადენების 244,620 კმ, ხოლო გაზსადენების 548,665 კმ.



ნახ. 1 მილსადენი ტრანსპორტი აშშ-ში

რუსეთი

რუსეთში არა მხოლოდ მსოფლიოში უდიდესი გაზის მარაგია, არამედ აქ საუკეთესო პირობებია მისი დასავლეთ ევროპასა და ახლო აღმოსავლეთში ტრანსპორტირებისათვის. რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე განლაგებული გაზსადენებით აქტიურად სარგებლობს მსოფლიოში გაზის მარაგით მეორე ქვეყანა — ირანი, რომელსაც ამ გზით თავისი გაზი გააქვს ევროპაში. რუსეთის გაზსადენი ქსელი შეადგენს მსოფლიოში ერთ-ერთ უმძლავრეს გაზსადენ სისტემას, რომელსაც მსოფლიოში ანალოგი არ მოეპოვება.

რუსეთის მილსადენის საერთო სიგრძე 2010 წლის მონაცემებით არის 252 527 კილომეტრია, მათ შორის ნავთობი და ნავთობ პროდუქტები 91 326, ხოლო თხევადი და ბუნებრივი გაზის კი 161 198 კილომეტრია.

კანადა

ნავთობისა და გაზის მრეწველობამ კანადაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ შეიძინა. 1963 წელს გაზის მოპოვება 28-ჯერ გაიზარდა და 28 მილიარდ მ³ მიაღწია, ხოლო ნავთობის მოპოვება 34-ჯერ და 34 მილიონ ტონას მიაღწია წელიწადში. მომდევნო წლებში ნავთობისა და გაზის მრეწველობა კანადაში უფრო დიდი მასშტაბებით იზრდებოდა. 90-იანი წლების მიწურულისთვის გაზის მოპოვება შეადგენდა 87 მილიარდ მ³, ხოლო ნავთობისა - 69 მილიონ ტონას წელიწადში.

2010 წლის მონაცემებით კანადის ნავთობის მილსადენის სიგრძე შეადგენს 75 000 კილომეტრს, ხოლო გაზისთვის კი 835 კილომეტრს.

ცხრილში 1 მოყვანილია მსოფლიოში უდიდესი მილსადენი ტრანსპორტის მქონე ქვეყნების რეიტინგი.

ცხრილი 1

№	ქვეყანა	მილსადენის მთლიანი სიგრძე	ნავთობსადენის მილსადენი კმ	გაზსადენის მილსადენი კმ	სხვა მილსადენები კმ
1	აშშ	793 285	244 620	548 665	-
2	რუსეთი	252 527	77 630	161 198	13 699
3	კანადა	75 835	75 00	835	-
4	ჩინეთი	75 742	23 470	38 566	13 706
5	უკრაინა	45 218	4 514	36 493	4 211
6	არგენტინა	39 239	6 166	29 401	3 672
7	ირანი	35 804	7 123	20 155	8 526
8	მექსიკა	33 546	7 499	16 594	9 453
9	გერმანია	33 250	3 687	24 688	4 875
10	ავსტრალია	31 398	3 257	27 900	241
11	ალჟირი	30 162	7 611	16 360	6 191
12	ინდოეთი	29 684	7 448	9 596	12 640
13	ყაზახეთი	26 736	11 201	12 317	3 218
14	საფრანგეთი	23 299	2 939	15 276	5 084
15	ბრაზილია	22 341	3 729	13 514	5 098
16	დიდი ბრიტანეთი	19 640	595	14 071	4974
17	იტალია	19 589	1 241	18 348	-
18	პოლონეთი	16 056	1 384	13 860	812
19	ინდონეზია	14 707	5 984	7 165	1 558
57	საქართველო	2 854	1 258	1 596	-
88	ტაჯიკეთი	587	38	549	-
123	ლიხტენშტეინი	20	20	-	-
124	ლიბერია	4	-	4	-
125	კვიპროსი	0	-	-	-

1.1.3. მილსადენი ტრანსპორტის ისტორია და განვითარების პერსპექტივები საქართველოში

საქართველოს მილსადენი ტრანსპორტის ისტორია იწყება უძველეს დროს შექმნილი თიხის მილებიანი წყალმომარაგების ქსელის თარიღიდან (მცხეთა, არმაზი, ნოქალაქევი, ვარძია, თბილისი, თელავი და სხვა), ხოლო რაც შეეხება მილსადენს, როგორც ნავთობის და გაზის მილსადენ ტრანსპორტს იგი იწყება მეოცე საუკუნიდან.

მსოფლიოში ერთ-ერთი პირველი და უდიდესი ნავთობსადენი, რომლის დიამეტრი 200 მმ. ხოლო სიგრძე 835-კმ. 16 გადასატუმბი სადგურით. გაიყვანეს 1897-1907 წ. ბაქოდან ბათუმის მიმართულებით

1924-1925 წლებში კი საბჭოთა კავშირმა და საფრანგეთის ნავთობკომპანიებმა შეიმუშავეს ბაქო-ბათუმის ნავთობსადენის პროექტი. ამ ნავთონსადენით უნდა მომხდარიყო ნავთობის ბაქოდან ევროპაში, კერძოდ კი საფრანგეთში ტრანსპორტირება. მილსადენის მშენებლობა დაიწყო 1928 წელს და 1930 წელის 30 აპრილს გაიხსნა.

ამ მილსადენის დიამეტრი იყო 250 მმ სიგრძე კი 834კმ. მილსადენის გასწვრივ აშენებული იყო 13 გადასატუმბი სადგური, რომლებიც აღჭურვილი იყო სამ-სამი დიზელის ძრავიანი ტუმბოებით.

1974 წლის დასაწყისში ბათუმსა და ხაშურს შორის ნავთობსადენის პარალელურად გაიყვანეს ახალი, 232 კმ სიგრძის დიზელის მილსადენი. ამ მაგისტრალზე დიზელს ბაქოდან ხაშურამდე რკინიგზით ეზიდებოდნენ და ხაშურიდან კი მილსადენში უშვებდნენ დიზელს.

ამჟამად საქართველოს ტერიტორიაზე გადის 2 ნავთობ სადენი WREP (Western Route Export Pipeline) და BTC (Baku-Tbilisi-Ceyhan) და ერთი გაზსადენი SCP (South Caucasus Pipeline). ხოლო მეორე გაზსადენის მშენებლობა მიმდინარეობს (NABUCCO).

დასავლეთის მიმართულების საექსპორტო მილსადენი (Western Route Export Pipeline)

1996 წლის 8 მარტს აზერბაიჯანის და საქართველოს პრეზიდენტებმა დააფუძნეს დასავლეთის მიმართულების საექსპორტო მილსადენი (WREP). სამმხრივ ხელშეკრულებას კი ხელი მოაწერეს AIOC (Azerbaijan

International Operating Company), სოკარმა (SOCAR - State Oil Company of Azerbaijan Republic) და საქართველოს მთავრობამ. 1999 წლის 17 აპრილს საზეიმოდ მოხდა მილსადენის ინაუგურაცია და გახსნა სუფსის ტერმინალში.

მილსადენის სიგრძე 833 კილომეტრია და მისი საშუალებით აზერბაიჯანში კასპიის ზღვის შირაქის საზადოდან მოპოვებული ნავთობი სანგაჩალის ტერმინალის გავლით დასავლეთ საქართველოში სუფსის ტერმინალამდე მიედინება. ნავთობის უსაფრთხო ტრანსპორტირებას ახდენს ბაქოდან სუფსის ტერმინალამდე, ნავთობსადენის ექსპლუატაციის 99,9% ეფექტურობის პირობებში. დასავლეთის მიმართულების საექსპორტო მილსადენს დღეში 150 000 ბარელამდე ნავთობის გატარება შეუძლია (1ბარელი ≈ 158 ლიტრი).



ნახ. 2 WREP, SCP და BTC მილსადენების რუკა

საქართველოს ტერიტორიაზე არის 3 ნავთობ სატუმბი სადგური და 2 წნევის მარეგულირებელი სადგური, 4 ნავთობის რეზერვუარი საერთო მოცულობით 160 000 მ³. მილსადენის ამჟამინდელი წარმადობაა 15 000 მ³ დღეღამეში.

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენი (BTC)

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის (Baku-Tbilisi-Ceyhan) მილსადენი ახალი ათასწლეულის ერთ-ერთი ყველაზე დიდი საინჟინრო მიღწევაა. ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენი გადის სამ ქვეყანის ტერიტორიაზე კასპიის ზღვიდან ხმელთაშუა ზღვის სანაპირომდე. მისი მთლიანი სიგრძეა 1768 კმ. მისი სიგრძე აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე 443 კილომეტრია, საქართველოს

ტერიტორიაზე 249 კილომეტრი და თურქეთში ჯეიჰანის საზღვაო ტერმინალამდე კი 1076 კილომეტრი.

BTC მილსადენი სრულ ექსპლუატაციაში 2006 წელს იქნა გაშვებული. მილსადენში გატარებული ნავთობის ნაკადი სტაბილურად იზრდება და დღეში დაახლოებით 1 000 000 ბარელ ნავთობს აწვდის მსოფლიო ბაზრებს.

დასრულდა აგრეთვე ნავთობის ავარიული ჩამოსაცლელის (EDDF - Emergency Drain Down Facility) მშენებლობა. ეს ობიექტი 8 500 კუბური მეტრის მოცულობის რეზერვუარია, რომელიც მოთავსდა კიდევ ერთ ბეტონის მიწისქვეშა რეზერვუარში, სადაც ავარიის შემთხვევაში, კოდიანას მონაკვეთის ნებისმიერი ადგილიდან BTC მილსადენიდან დაღვრილი ნავთობი ჩაიცლება და შეინახება.

BTC მილსადენის დამხმარე საშუალებები მოიცავს რვა ნავთობსატუმბ სადგურს (ორი აზერბაიჯანში, ორი საქართველოში, ოთხი თურქეთში); თურქეთის ხმელთაშუა ზღვის ნაპირზე მდებარე ჯეიჰანის საზღვაო ტერმინალს; ერთ წნევის მარეგულირებელ სადგურს და 101 მცირე ჩამკეტი სარქველის სადგურს.

სამხრეთ კავკასიის გაზსადენი (SCP)

692 კმ. სიგრძის სამხრეთ კავკასიური მილსადენი კასპიის ზღვის აზერბაიჯანის სექტორში მდებარე შაჰ-დენიზის საბადოდან საქართველოს ტერიტორიის გავლით საქართველო-თურქეთის საზღვრამდე გაზის ტრანსპორტირებისათვის დაპროექტდა. გაზსადენი წელიწადში 20 მილიარდ კუბურ მეტრ აირს ატარებს. მილსადენი საქართველო-თურქეთის საზღვარზე ერზრუმის ადგილობრივ გაზომომარაგების სისტემას უკავშირდება. ამ მილსადენის მშენებლობა, რომელიც საქართველოს ტერიტორიაზე იმავე დერეფანში გადის, რომელშიც BTC მილსადენი, 2006 წელს დასრულდა. SCP მილსადენის საშუალებით ბუნებრივი აირი აზერბაიჯანის, საქართველოსა და თურქეთის მომხმარებელს მიეწოდება.

2006 წელს გარდაბნის ახლოს დასრულდა აგრეთვე SCP მილსადენის საქართველოს გაზომომარაგების სისტემასთან შემაერთებელი ახალი, 12

კილომეტრი სიგრძის მილსადენის მშენებლობა. მისი ექსპლუატაციაში გაშვების შემდეგ საქართველომ პირველი გაზი 2007 წლის იანვარში მიიღო.

ნაბუკოს გაზსადენი.

ნაბუკო ეს არის გაზსადენი რომელის სიგრძეა 3893 კმ და რომელიც გადის თურქმენეთი და აზერბაიჯანიდან ევროპაში, გერმანიასა და ავსტრიაში. მილსადენის სიმძლავრე არის დაახლოებით 31 მილიარდი მ³ გაზი წელიწადში.



ნახ. 3 NABUCCO მილსადენის მარშრუტი

ამ პროექტისათვის მზადება დაიწყო 2002 წელს. სახელმწიფოთაშორისი ხელშეკრულება თურქეთს, ბულგარეთს, უნგრეთს და ავსტრიას შორის ხელი მოეწერა 2009 წლის 13 ივლისს. მშენებლობა დაიწყო 2011 წელს და დამთავრდება 2017 წელს, ხოლო ექსპლუატაციაში შევა სავარაუდოდ 2019 წელს.

1.1.4. სატუმბი სადგურების ტექნოლოგია და აღჭურვილობა.

მილსადენის ქსელი აღჭურვილია სხვადასხვა ხელსაწყოებით, დანადგრებით და მოწყობილობებით, რომელთა ერთობლივი მუშაობა უზრუნველყოფს პროდუქტის გადაადგილებას.

მილსადენის გასწვრივ გაყავთ კომუნიკაციის ხაზები და განლაგებენ მილსადენის კოროზიისაგან კათოდური დაცვის ობიექტებს, რისთვისაც მილსადენს ასევე ფარავენ ანტიკოროზიული იზოლაციის ფენით. მილსადენის გაყვანისას ჭაობიან ადგილას აწყობენ ხელოვნურ მიწაყრილს ან ათავსებენ საყრდენებზე. თუ მილსადენი კვეთავს მდინარეს მაშინ მილსადენს ამძიმებენ სპეციალური ტვირთით ან ბეტონით ამაგრებენ ფსკერზე. ამავე დროს მთავარი მილსადენის გასწვრივ ატარებენ დამატებით, სარეზერვო იმავე დიამეტრის მილსადენს. რკინიგზის ლიანდაგის ან ავტომაგისტრალის გადაკვეთაზე მილსადენს ათავსებენ დამცავ მილში რომელიც 100-200 მმ-ით დიდია მილსადენზე.

საწყისი სადგური ცნობილია როგორც წყარო ან მომმარაგებელი სადგური, როგორც წესი იგი განლაგებულია ჭაბურღილთან ახლოს საიდანაც უშუალოდ მიიღება პროდუქტი და იწყება მისი გადატუმბვა სხვა სადგურებისაკენ. რეზერვუარები, ტუმბოები ან კომპრესორები, როგორც წესი განლაგებულია ასეთ სადგურებზე. საწყის სატუმბი სადგურზე, განსხვავებით ჩვეულებრივი სატუმბი სადგურებისაგან, ნავთობის 2-3 დღის მარაგისათვის მოწყობილია სარეზერვო ავზები.

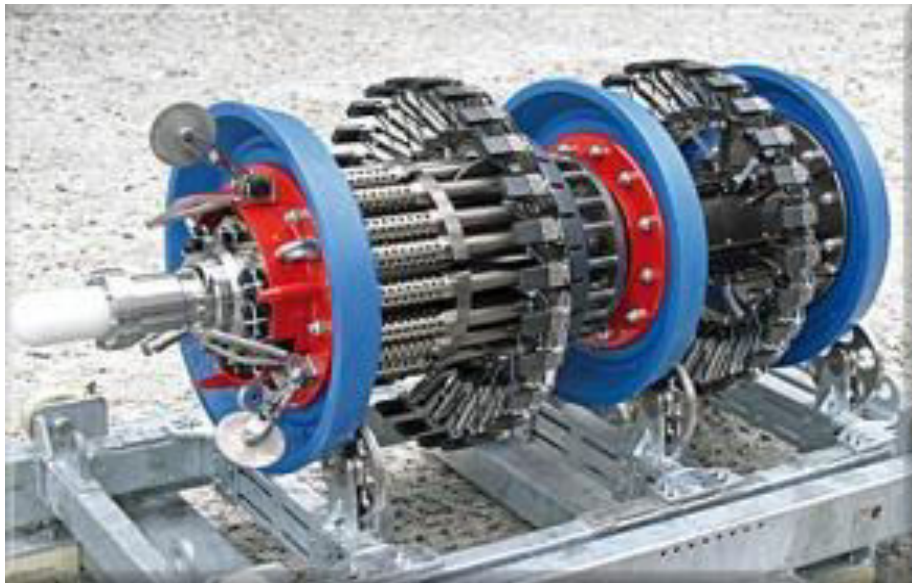
სატუმბი სადგურები განლაგებულია მილსადენის გასწვრივ 50-150 კმ-ის ინტერვალით. ასეთი ტიპის სადგურების განლაგება დამოკიდებულია რელიეფზე, ტრანსპორტირებადი ნივთიერების და ქსელის მუშაობის პირობებზე. სატუმბი სადგურები აღჭურვილია ტუმბოებით რომელთა წარმადობა აღწევს 12500 მ³/სთ-ში. თითოეულ სადგურზე განლაგებულია სულ მცირე 3 ტუმბო.

ყველა სადგური აღჭურვილია დამოუკიდებელი ელექტრო მომარაგების და სადრენაჟო სისტემით, ნავთობის დაღვრისაგან დამცავი ნაგებობებით, ნავთობისა და წყლის ავზებით, საწვავის მარაგისა და ხანძარსაწინააღმდეგო სისტემით.



ნახ. 4 ნავთობ სატუმბი სადგური

ნედლი ნავთობი შეიცავს დიდი რაოდენობით ცვილს და პარაფინს რომელიც ილექება მილსადენის კედლებზე. ამისტომ არის საჭირო მილსადენის შემოწმება და გაწმენდა მილსადენის შესამოწმებელი ყალიბის (ინგლისურიდან P.I.G. Pipeline Inspection Gauge) საშუალებით.



ნახ. 5 მილსადენის შესამოწმებელი მზვერავი ყალიბი

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური აღჭურვილობა რომელიც ნავთობსადენის სატუმბ სადგურებში გამოიყენება ჩამკეტი ურდულია. მისი დანიშნულებაა ნავთობსადენის ნებისმიერი სეგმენტის იზოლაცია ნავთობსადენისა და გარემოს უსაფრთხოების დაცვის, გეგმიური თუ არასამტატო სარემონტო სამუშაოების ჩატარების მიზნით. მილსადენზე ასეთი ტიპის სადგურები, რელიეფის გსთვალისწინებით, ერთმანეთისაგან

ძირითადად 50 კილომეტრის დაშორებით მდებარეობს, ასევე მნიშვნელოვანია მილსადენის ტრაექტორია, გადასაზიდი ნივთიერება და მილსადენის ექსპლუატაციის პირობები.

ნავთობსადენის ფუნქციონირების ნორმალურ საექსპლუატაციო პირობებს ასევე უზრუნველყოფს მარგულირებელი სადგურები, რომლთა საშუალებითაც ოპერატორს შეუძია არეგულიროს წნევა მილსადენში. როგორც წესი ასეთი სადგურები მდებარეობს ამალეზული ადგილის (მთის) დაშვების ადგილას.

მილსადენით ტრანსპორტირებული პროდუქტი საბოლოოდ მიმდებ სადგურში იყრის თავს, სადაც აკუმულირდება სპეციალურად მოწყობილ რეზერვუარებსა და ტერმინალებში იქიდან კი უშუალოდ მომხმარებელს მიეწოდება.

1.2. საზომ-საკონტროლო სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია ნავთობსადენზე

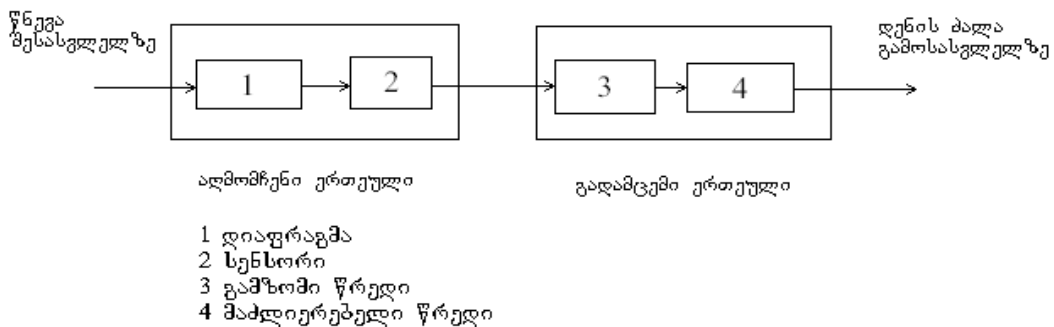
1.2.1. წნევის ტრანსმიტერის მუშაობის და დაკალიბრების ოპერაციები

ნავთობსადენი აღჭურვილია ნავთობის სატუმბი და წნევის მარეგულირებელი სადგურებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნავთობის გადატუმბვისა და წნევის რეგულირების ოპერაციებს.

წნევის გასაზომად სადგურებზე გამოიყენება ორი ტიპის საზომი მოწყობილობები: პირველი ანალოგური გამზომი მოწყობილობა - მანომეტრი, რომელიც დამონტაჟებულია მილსადენზე და ვიზუალური კონტროლისათვის იყენებენ, ხოლო მეორე ტიპის - წნევის გადამწოდი (ტრანსმიტერი - Transmitter), რომელიც ციფრული ფორმით გაზომვის შედეგს გადასცემს საოპერატორო ოთახში მართვის ფარის კომპიუტერზე შესაბამისი რეაგირებისათვის.

წნევის გადამწოდის მუშაობის პრინციპი

წნევის გაზომვის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. 6 წნევის ტრანსმიტერი შედგება 2 ძირითადი ნაწილისგან - აღმომჩენი და გადამცემი ერთეულისაგან. ტრანსმიტერის შემსვლელზე წნევა აწვება დიაფრაგმას 1 რაც იწვევს მის დეფორმაციას. დიაფრაგმა დაკავშირებულია ტევადურ სენსორთან-2.



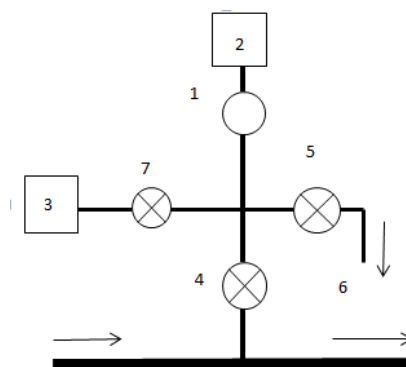
ნახ. 6 წნევის ტრანსმიტერის პრინციპული სქემა.

სადაც 1. დიაფრაგმა; 2. სენსორი; 3. გამზომი წრედი; 4. მაძლიერებელი წრედი.

დიაფრაგმის დეფორმაციის შედეგად იცვლება სენსორის ელექტროსტატიკური ტევადობა. ტევადობის ცვლილება პირდაპირ პროპორციულია წნევის ცვლილების. ტევადური სენსორიდან სიგნალი გადაეცემა გამზომ და მამლიერებელ წრედებს. ამ წრედების გავლის შემდეგ ტრანსმიტერის გამოსასვლელზე იზომება სიგნალი დენის ძალის ერთეულებში, რომლის ცვლილების ზღვრები ნავთობსადენის გამართული მუშაობის პირობებში 4-20 mA-ია. 4 მილიამპერი შეესაბამება ტრანსმიტერის გაზომვის დიაპაზონის მინიმუმს 0 Ba, ხოლო 20 mA კი - მაქსიმუმს 30Ba.

ტრანსმიტერის დაკალიბრება.

დაკალიბრება - განსაზღვრულ პირობებში შესრულებული პროცედურაა, რომელიც პირველ ეტაპზე ადგენს დამოკიდებულებას გაზომვის ერთეულის ეტალონით (გაზომვის სტანდარტით) უზრუნველყოფილი სიდიდის მნიშვნელობას (გაზომვის განუსაზღვრელობით) და შესაბამის ჩვენებას (მათთან დაკავშირებულ გაზომვის განუსაზღვრელობით) შორის, მეორე ეტაპზე ამ ინფორმაციას იყენებს დასაკვირვებელი გაზომვის შედეგის, გაზომვის ერთეულის ეტალონების (გაზომვის სტანდარტის) ჩვენებებთან დამოკიდებულების დასადგენად.



ნახ. 7 წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრების სქემა

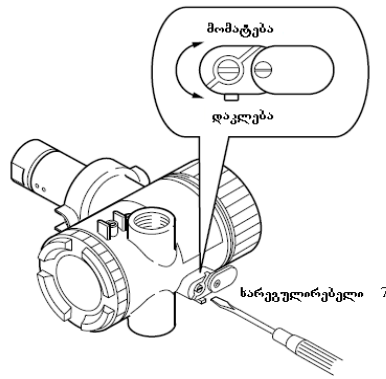
სქემატურად ნაჩვენებ უშუალო შედარების მეთოდით წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრების პირობით სქემაში (ნახ.7), სადაც 1. წნევის გადამწოდი (ტრანსმიტერი); 2. მაღალი სიზუსტის მულტიმეტრი; 3-წნევის კალიბრატორი; 4-შემავალი ონკანი; 5-დრენაჟის ონკანი; 6.დრენაჟი;

7. კალიბრატორის ონკანი, დაკალიბრების პროცესის სტანდარტული პროცედურები მთლიანად გაწერილია შიდასაუწყებო ნორმატიული დოკუმენტაციისა და სამოქმედო ინსტრუქციების მიხედვით, რომელიც შექმნილია ტრანსმიტერის საპასპორტო მონაცემების საფუძველზე და ქარხანა დამამზადებლის რეკომენდაციებზე დაყრდნობით. ინსტრუქციის მიხედვით ტრანსმიტერის დაკალიბრებამდე აუცილებელია გარეგანი ვიზუალური დათვალიერება და ხელსაწყოების მუშაობისუნარიანობის შემოწმება.

დაკალიბრება იწყება ტრანსმიტერის ვიზუალური დათვალიერებით. პირველ რიგში უნდა შემოწმდეს მისი გარეგნული სახე და ზედაპირული დაზიანებები, დამიწების კაბელების შეერთების სისწორე, ასევე მოწმდება ნავთობის გაჟონვები. ვიზუალური დათვალიერების შემდეგ იწყება მუშაობისუნარიანობის შემოწმება.

ხელსაწყოს მუშაობისუნარიანობის შესამოწმებლად დრენაჟის ონკანი 5 და შემავალი ონკანი 4 იხურება და ვხსნით კალიბრატორის ონკანს 7, რის შემდეგაც კალიბრატორის საშუალებით დასაკალიბრებელ წრედში ვქმნით წნევას გადამწოდისა და მულტიმეტრის გაზომვის ზედა ზღვრამდე. ამავდროულად მულტიმეტრის საშუალებით ვაკვირდებით წნევის ცვლილებას. აღნიშნულ პროცედურას ვიმეორებთ ორჯერ და დავრწმუნდებით რა სისტემის მუშაობისუნარიანობაში შესაძლებელი ხდება კალიბრების პროცესის დაწყება.

კალიბრების პირველ ეტაპზე ხდება წნევის ნულოვანი წერტილის შემოწმება. ამ დროს შემავალი ონკანი 4 დახურულია, ხოლო დრენაჟის ონკანი 5 ღია. ასეთ მდგომარეობაში მულტიმეტრმა უნდა გვაჩვენოს 4 mA (0,016 mA) დენის ძალა. საწინააღმდეგო შემთხვევაში ვახდენთ ტრანსმიტერის დაკალიბრებას წნევის ნულოვან წერტილზე.



ნახ. 8 ტრანსმიტერის დაკალიბრება სარეგულირებელი ხრახნით

ამისათვის ვიყენებთ სარეგულირებელ ხრახნს 7, მისი მომატებით ან შემცირებით ვახდენთ ტრანსმიტერის დაკალიბრებას ნულ წერტილზე. ამ დროს მულტიმეტრმა უნდა გვიჩვენოს 4 ± 0.016 mA. შემდეგ კიდევ ერთხელ შევქმნით სისტემაში წნევას და ისევ დავცლით რათა ვნახოთ დაკალიბრების შედეგები. თუ დააკმაყოფილა საპასპორტო მოთხოვნები და ცდომილება არ აღემატება $\pm 0.1\%$ უკვე ვაგრძელებთ შემოწმებას მთელ დიაპაზონზე. ამისათვის ვიწყებთ სისტემაში წნევის შექმნას. გადამწოდს ვამოწმებთ მაქსიმალური ზღვარის 0%, 25%, 50%, 75% და 100% დატვირთვაზე როგორც წნევის მომატებისას ასევე წნევის შემცირებისას. თავიდან კალიბრატორის მეშვეობით ვქმნით მაქსიმალური დატვირთვის 25% და ვადარებთ მულტიმეტრის ჩვენებას რაც უნდა შეესაბამებოდეს 8 mA, ასევე 50% უნდა შეესაბამებოდეს 12 mA, 75% უნდა შეესაბამებოდეს 16 mA და 100% დატვირთვა კი 20 mA. დასაშვები ცდომილება ტრანსმიტერის საპასპორტო მონაცემებით არის ± 0.016 mA. ასეთი ბიჯებით ვზრდით წნევას მაქსიმუმამდე და ისევ იგივე ბიჯებით ვამცირებთ წნევას ნულამდე. შემოწმებამ თუ არ დააკმაყოფილა საპასპორტო მოთხოვნები და ცდომილება აღემატება დასაშვებ ცდომილებას ხდება ტრანსმიტერის დაკალიბრება უკვე მაქსიმალურ წერტილზე და ამის შემდეგ კვლავ შემოწმება.

მაქსიმალურ წერტილზე დასაკალიბრებლად საჭიროა სისტემაში შევქმნათ წნევა, რომელიც ტოლი იქნება ხელსაწყოს გაზომვის მაქსიმალური ზღვარის და აქაც სარეგულირებელი 7-ის მომატებით ან შემცირებით

ვახდენთ ტრანსმიტერის დაკალიბრებას მაქსიმალურ ზღვარზე და მივალწევთ იმას რომ მულტიმეტრმა გვიჩვენოს $20 \pm 0.016 \text{ mA}$.

მაქსიმალურ წერტილზე დაკალიბრების შემდეგ ვკეტავთ ონკან 7-ს და ონკან 5-ს და ვაღებთ ონკან 4-ს ნელ-ნელა და წნევის მომატებას ვაკვირდებით მულტიმეტრით. შემავალი ონკანის ბოლომდე გაიღების შემდეგ მულტიმეტერი ჩაიხსნება.

წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრებისას გამოყენებული იყო წნევის ტრანსმიტერი, მაღალი სიზუსტის მულტიმეტრი და წნევის კალიბრატორი, აღნიშნული სანიმუშო ხელსაწყოები დაკალიბრებულია და მათი ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილებში 2, 3 და 4

წნევის ტრანსმიტერი

ცხრილი 2

ტიპი	FKP, Fuji Electric Systems, FCX-C2,
დამზადების თარიღი	1998 წელს.
სიზუსტის კლასი	0.1%
კვება	10.5 ÷ 28 ვოლტი მუდმივი ძაბვა
გაზომვის დიაპაზონი	-100 ÷ 3000 კპა

მულტიმეტრი

ცხრილი 3

ტიპი	FLUKE 789
სიზუსტის კლასი	0.05%
გაზომვის დიაპაზონი	0 ÷ 30 მა

წნევის კალიბრატორი

ცხრილი 4

ტიპი	Druck DPI 615 IS
სიზუსტის კლასი	0.025%
გაზომვის დიაპაზონი	0 ÷ 13500 კპა

1.2.2. ტემპერატურის ტრანსმიტერით ნაკადის ტემპერატურის გაზომვის პრინციპი.

ტემპერატურის გასაზომად სადგურებზე გამოიყენება ორი ტიპის საზომი მოწყობილობა: ანალოგური გამზომი მოწყობილობა - თერმომეტრი, რომელიც დამონტაჟებულია მილსადენზე და გამოიყენება მხოლოდ ვიზუალური კონტროლისათვის, ხოლო მეორე - ტემპერატურის ტრანსმიტერი (გადამწოდი), რომელიც დამონტაჟებულის ასევე მილსადენზე და გაზომილი სიდიდის მნიშვნელობას გადასცემს საოპერატორო ოთახში მართვის ფარზე. მისი საშუალებით შესაძლებელია სადგურის გაჩერება ავარიულ სიტუაციებში, სადგურის ან ტუმბოს შესასვლელზე ან გამოსასვლელზე გადასატუმბი ნივთიერების ტემპერატურის მკვეთრი მომატებისას ან დაკლებისას.

ტემპერატურის გასაზომად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის გამზომი ხელსაწყოები, როგორცაა:

- წინაღობიანი თერმომეტრები,
- თერმოწყვილები,
- სინდიყიანი თერმომეტრები,
- ბიმეტალური თერმომეტრები,
- პირომეტრები,
- ინფრაწითელი თერმომეტრები.

წინაღობიანი თერმომეტრები ცნობილია RTD (Resistance Temperature Device) სახელწოდებით. ასეთი ტიპის ტემპერატურის ტრანსმიტერის მუშაობის პრინციპი შემდეგია: ტრანსმიტერის აღმომჩენ ნაწილში განლაგებულია მგრძობიარე წინაღობის ელემენტი, რომლის მიერ გაზომილი წინაღობა პირდაპირ პროპორციულია გაზომილი ტემპერატურის. ტრანსმიტერის მგრძობიარე ნაწილი დამზადებულია პლატინის, სპილენძის ან ნიკელისგან. ყველაზე გავრცელებულია პლატინის წინაღობიანი ტრანსმიტერები. ისინი გამოიყენება -200 °C დან 1000 °C მდე. პლატინა არის მეტალი რომელსაც აქვს სტაბილური წინაღობა ტემპერატურასთან დამოკიდებულებით გაზომვის მთლიან დიაპაზონში. ნიკელის ელემენტს აქვს შეზღუდული გაზომვის დიაპაზონი, რადგან

წინააღმდეგობის ცვლილება ტემპერატურის ყოველ გრადუსზე არ არის სტაბილური და წრფივი. ეს არასტაბილურობა ვლინდება 300°C ტემპერატურის ზევით. სპილენძს აქვს ძალიან წრფივი წინააღმდეგობა მაგრამ არ გამოიყენება 150 °C მეტი ტემპერატურის გასაზომად, რადგან ადვილად ხდება მისი ჟანგვა.

მეტალები რომლებიც გამოიყენებიან უმთავრესად წინააღმდეგობიან ელემენტებად, ახასიათებთ ტემპერატურის წრფივობა 0 და 100 °C შორის. ტემპერატურული წრფივობის კოეფიციენტი α გამოითვლება

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad 1$$

სადაც R_0 არის სენსორის წინააღმდეგობა 0 °C

R_{100} არის სენსორის წინააღმდეგობა 100 °C

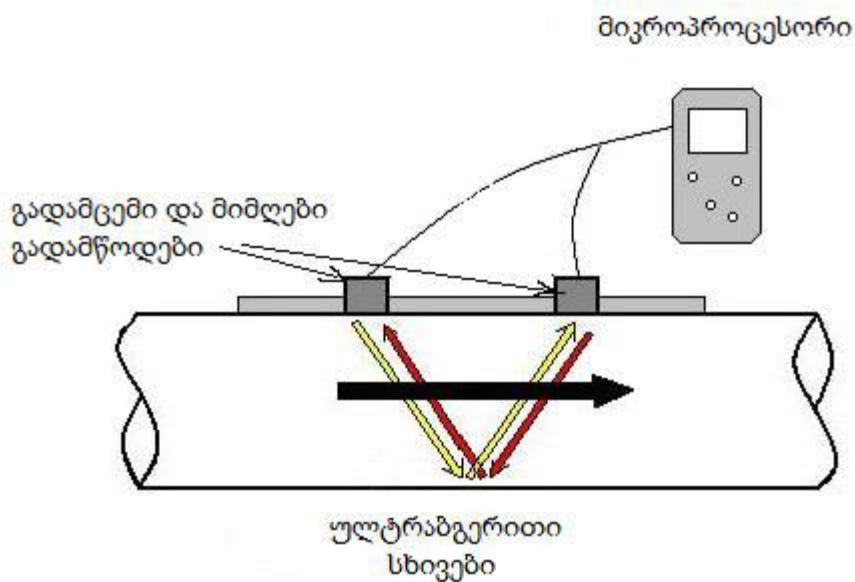
პლატინის წინააღმდეგობიანი ლაბორატორიული ტრანსმიტერებისათვის α ტოლია 0.003925, ხოლო ინდუსტრიულ მშენებლობაში გამოყენებულ ტრანსმიტერებისთვის α ტოლია 0.00385.

დანართში მოცემულია ტემპერატურის წინააღმდეგობაზე დამოკიდებულების ცხრილები.

1.2.3. ხარჯზომი ტრანსმიტერით ნაკადის სიჩქარის გაზომვის პრინციპი

ნავთობის ტრანსპორტირებისას აუცილებელია, როგორც ტექნიკური ასევე კომერციული თვალსაზრისით, სატუმბ და წნევის მარეგულირებელ სადგურებზე ხდებოდეს ნავთობის ხარჯის კონტროლი.

მოქმედების პრინციპის მიხედვით არსებობს სხვადასხვა ტიპის ხარჯზომები, ისეთები როგორცაა ულტრაბგერითი, დიაფრაგმული, როტაციული. ყველაზე გავრცელებულია ულტრაბგერითი ხარჯზომები. ულტრაბგერითი ხარჯზომი სქემატურად მოცემულია ნახ.9



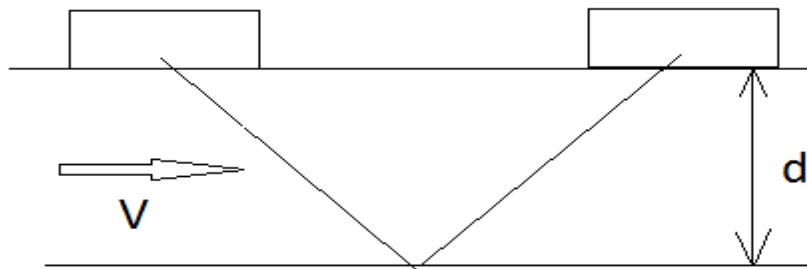
ნახ. 9 ულტრაბგერითი ხარჯზომი.

ნაკადის სიჩქარის გაზომვა ხდება მილსადენის ულტრაბგერით დასხივების საშუალებით. რომელიც დამყარებულია ნაკადისა და ტალღის ურთიერთმოქმედებაზე, კერძოდ - ტალღას ნაკადის მიმართულებით მილში გავლისას სჭირდება შედარებით ნაკლები დრო ვიდრე ნაკადის საპირისპიროდ გავლისას. ეს სხვაობა პირდაპირპროპორციულია ნაკადის სიჩქარის, რომელიც მილსადენის დიამეტრის მუდმივობის პირობებში ცალსახად ახასიათებს ნაკადის ხარჯს. იმის გათვალისწინებით რომ ულტრაბგერას შეუძლია მყარი ნივთიერების გავლა, ტრანსდუსერები (ნაკადის სიჩქარის ულტრაბგერითი გამზომი ხელსაწყო) შესასძლებელია დამონტაჟდეს მილსადენის გარედან. ულტრაბგერითი ხარჯზომების სწრაფი ციფრული პროცესორები გარანტიანა იმისა იქ სადაც ადრე

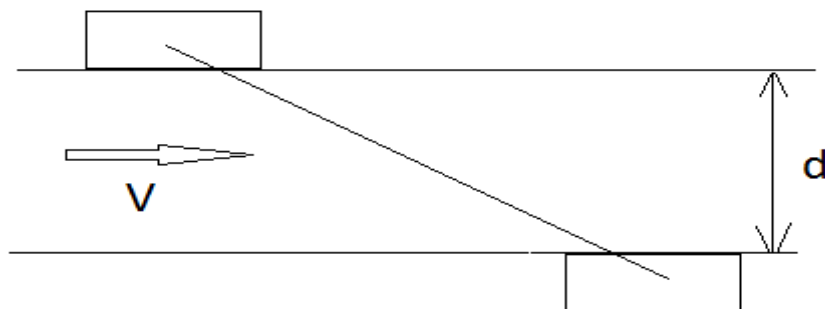
შეუძლებელი იყო მრიცხველის გამოყენება, გაზომვა ჩატარდება მაღალი სიზუსტით, მძიმე გარემო პირობებშიც კი.

„გამავალი დროის“ ტიპის ულტრაბგერით ხარჯზომებში იყენებენ 2 გადამცემ ტრანსდუსერს. მათ გამოიყენებენ როგორც ულტრაბგერითი გადამცემებს, ასევე როგორც მიმღებებს. გადამცემები მაგრდება მილსადენზე ერთმანათისაგან გარკვეული მანძილით. ეს მანძილი შეყავთ კონტროლერში რომელიც საჭიროა ნაკადის ხარჯის დასათვლელად.

ტრანსდუსერები შეიძლება მილსადენზე დამაგრდეს დიაგონალურად ნახ.10 ან ამრეკლავ მდგომარეობაში ნახ.11



ნახ. 10 ტრანსდუსერების ამრეკლავი განლაგება



ნახ. 11 ტრანსდუსერების დიაგონალური განლაგება

ეს განლაგება დამოკიდებულია გასაზომი ნივთიერების ქიმიურ თვისებებზე. სიგნალი ჯერ გადაეცემა გადამცემი ტრანსდუსერიდან მიმღებ ტრანსდუსერს ნაკადის მიმართულებით, ხოლო შემდეგ ეს სიგნალი ბრუნდება უკან, ნაკადის საპირისპიროდ ისევ მიმღები ტრანსდუსერისკენ. როგორც ავღნიშნეთ სიგნალს ნაკადის მიმართულებით შედარებით

ნაკლები დრო უნდა ვიდრე ნაკადის საპირისპიროდ. თუ ნაკადი არ მოძრაობს, მაშინ გადაცემის და მიღების დროები იქნება ერთმანეთის ტოლი და ეს სხვაობა შესაბამისად ნულის ტოლი. სიგნალის გადაცემის და მიღების დროებს შორის სხვაობა პირდაპირპროპორციულია მილსადენში ნაკადის ხარჯის.

ნაკადის სიჩქარე V დაკავშირებულია ულტრაბგერის სიგნალის სხვაობასთან dt შემდეგი განტოლებით:

$$V=K*D*dt \quad (2)$$

სადაც K არის მუდმივა, D ტრანსდუსერებს შორის მანძილი და dt არის სიგნალის გადაცემისა და მიღებისათვის საჭირო დროების სხვაობა.

თავი 2

მათემატიკური მოდელირება ნავთობსადენის პროექტირების ეტაპზე

2.1. წრფივი და დინამიკური მათემატიკური მოდელირების მეთოდი ნავთობსადენის დაგეგმვის ამოცანის ოპტიმიზაციისათვის

მილსადენის მშენებლობის პროექტი მოიცავს არამარტო სამშენებლო სამუშაოებს არამედ მის პროექტირებასა და გაანგარიშებასთან დაკავშირებულ მთელ რიგ გამოთვლებს, რომელიც დაკავშირებულია მილსადენის ტრასის დაგეგმვასთან, სადაც ითვალისწინებენ მილსადენის ისეთ ტექნიკურ მახასიათებლებს როგორცაა მილსადენის გამტარუნარიანობა (ხარჯი), ნაკადის მუშა წნევა, და ტემპერატურა, ასევე ტექნოლოგიური დანადგარების ტიპები და მათი განლაგების კონფიგურაცია მილსადენის ტრასაზე. ასევე უნდა შეირჩეს კონტროლის სისტემისა და საზომი აპარატურის ტექნიკური პარამეტრები. საშუალებით მილსადენი ტრანსპორტის დაპროექტებისას უნდა აირჩეს ტრანსპორტირების ოპტიმალური ვარიანტი. არსებობს სხვადასხვა მახასიათებლები რომელებითაა საშუალებითაც უნდა შედარდეს ტრანსპორტირების მეთოდები:

- ეკონომიკური (კაპიტალდაზანდება და საექსპლუატაციო ხარჯები);
- რიტმულობა;
- მასალატევადობა;
- მშენებლობის დრო;
- მარშრუტის სიგრძე;
- რელიეფის სირთულე.

ნებისმიერი მეთოდის არჩევა ხდება ტექნიკური და ეკონომიკური შედარებით.

მილსადენის პროექტირების ოპტიმალური ვარიანტის შერჩევა დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორებზე. მნიშვნელოვანი ეკონომიკური მახასიათებლებია კაპიტალური დანახარჯები K და საექსპლუატაციო

ხარჯები Ξ . ამ პარამეტრებიდან გამომდინარე ირჩევენ ოპტიმალურ ვარიანტს.

კაპიტალურ დანახარჯებს მიეკუთვნება მოწყობილობების და ხელსაწყოების, მასალების ღირებულება, ასევე სადგურების გასამართავად გაღებული ფინანსური დანახარჯები. საექსპლუატაციო ხარჯები კი მოიცავს სახელფასო ფონდს, გადასახადებს წყალზე, საწვავზე, ელექტროენერგიაზე და ა.შ. კაპიტალური დანახარჯები არის ერთჯერადი, ხოლო საექსპლოატაციო ხარჯები კი განაწილებულია დროში. 2 შესაძლო ვარიანტის შედარების დროს თუ აღმოჩნდება რომ ერთ მათგანს როგორც საექსპლოატაციო ხარჯები, ასევე კაპიტალურ დანახარჯები გაცილებით ნაკლები აქვს მეორეზე, ანუ $K_1 < K_2$ და $\Xi_1 < \Xi_2$. სადაც K_1 და K_2 არის კაპიტალური დანახარჯები შესაბამისად პირველ და მეორე ვარიანტში, ხოლო Ξ_1 და Ξ_2 საექსპლუატაციო ხარჯები შესაბამისად პირველ და მეორე ვარიანტში. მაშინ უდავოდ აირჩევენ პირველ ვარიანტს. განხილვას ექვემდებარება შემდეგი მდგომარეობა $K_1 < K_2$ და $\Xi_1 > \Xi_2$, ასეთ შემთხვევაში შემოიღებენ ახალ ეკონომიკური ეფექტურობის მაჩვენებელს

$$t = \frac{K_2 - K_1}{\Xi_1 - \Xi_2} \quad 3$$

ეს განტოლება წარმოადგენს ჩადებული კაპიტალური დანახარჯების ამოგებას $K_2 - K_1$ დროს, საექსპლუატაციო ხარჯების ეკონომიის ხარჯზე $\Xi_1 - \Xi_2$, ამ სიდიდის შეზღუდული სიდიდე კი არის ეფექტურობა.

$$E = \frac{\Xi_1 - \Xi_2}{K_2 - K_1} \quad 4$$

მეორე ვარიანტი იქნება შედარებით მომგებიანი თუ, ეფექტურობის კოეფიციენტი იქნება გაცილებით დიდი (ან უკუამოღების დრო იქნება გაცილებით პატარა). გასარკვევია თუ რას ნიშნავს გაცილებით დიდი და გაცილებით პატარა, ამის გადაწყვეტა შეიძლება E ან t პარამეტრების შედარებით ნორმირებულ ეფექტურობის კოეფიციენტთან E_H (ან უკუამოღების ნორმატიულ დროსთან T_H).

მცირე საექსპლუატაციო ხარჯების არჩევის შემთხვევაში შეიძლება შემდეგნაირად ჩაიწეროს

$$E_H \leq \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{K_2 - K_1} \quad 5$$

ან

$$T_H \geq \frac{K_2 - K_1}{\vartheta_1 - \vartheta_2} \quad 6$$

მაშინ $\vartheta_2 + E_H K_2 \leq \vartheta_1 + E_H K_1$ ამ განტოლების არსი იმაში მდგომარეობს რომ მომგებიანია ის ვარიანტი, რომელსაც $\vartheta + E_H K$ აქვს მცირე.

$\vartheta + E_H K = \Pi$ არის მოყვანილი დანახარჯები.

ეს მეთოდიკა გამოიყენება მაშინაც როცა განიხილება არა ორი არამედ რამოდენიმე ვარიანტი. თუ

$$\frac{K_2 - K_1}{\vartheta_1 - \vartheta_2} = t < T_H \quad 7$$

როგორც ზემოთ იყო ნახსენები, უფრო ხელსაყრელია მეორე ვარიანტი ვიდრე პირველი. გადავწეროთ უტოლობა შემდეგი სახით:

$$\frac{1}{T_H} \cdot K_1 + \vartheta_1 = \frac{1}{T_H} \cdot K_2 + \vartheta_2 \quad 8$$

ან კიდევ

$$E_H \cdot K_1 + \vartheta_1 > E_H \cdot K_2 + \vartheta_2 \quad 9$$

განტოლება $E_H \cdot K_i + \vartheta_i > S_i$ ეწოდება i-ური ვარიანტის დანახარჯები.

სადაც $E_H = 0.12$ (კაპიტალდაბანდების ეფექტურობის კოეფიციენტი ნავთობისა და გაზის წარმოებაში.)

კაპიტალური დანახარჯები სხვადასხვა ტრანსპორტის სახეობისათვის სხვადასხვაა და გამოითვლება შემდეგნაირად.

მილსადენი ტრანსპორტისათვის:

$$K_{კდ} = C_{\vartheta} L + C_{სსს} + C_{სსსრ} + L/l + (n - L/l - 1) C_{სსს} \quad 10$$

სადაც:

$K_{კდ}$ - კაპიტალური დანახარჯები მილსადენ ტრანსპორტზე,

C_{ϑ} - მილსადენის სიგრძის ერთეულის ღირებულება

L - მილსადენის სიგრძე

l - საექსპლუატაციო მილსადენის სიგრძე ($l = 400 - 800$ მ)

n - სატუმბი სადგურების რაოდენობა

$C_{სსს}$ - სათავო სატუმბი სადგურის ღირებულება

C_{შსს} - შუალედური სატუმბი სადგურის ღირებულება (რეზერვუარის გარეშე)

C_{შსსრ} - შუალედური სატუმბი სადგურის ღირებულება (რეზერვუარით)

სავარაუდოდ საშუალო წლიური გამტარობის შესაძლებლობების მიხედვით ცხრილიდან არჩევენ მილსადენის შესაბამის რეკომენდირებულ დიამეტრს. ამის შემდეგ იციან რა კაპიტალური დანახარჯები მილსადენზე და სატუმბ სადგურებზე დაიანგარიშებენ წინასწარ დანახარჯებს. სატუმბი სადგურების რაოდენობა განისაზღვრება მილსადენის ტექნოლოგიური გათვლებით.

2.2 მათემატიკური მოდელების დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა მილსადენის პარამეტრების შესარჩევად

მილგაყვანილობის მოწყობის ადრეულ ეტაპებზე (ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება, პროექტის დასაბუთება, ბიზნეს გეგმის შედგენა წინასწარი სამიუზო-საკვლევი სამუშაოები და მილსადენის პროექტირება) უაღრესად მნიშვნელოვანია სწორი ორიენტირების განსაზღვრა მომავალი კაპიტალდაბანდებებისათვის.

ზოგადად ამოცანა შეიძლება მოცემული იყოს შემდეგი სახით: მილგაყვანილობის სისტემა მოსაწყობია საწყისი N პუნქტიდან საბოლოო M პუნქტში, რომლის განხორციელებაც შესაძლებელია რელიეფის, დასახლებულ პუნქტში მილგაყვანილობის ქსელის მოწყობის შეაძლებლობების და სამუშაოთა ღირებულების გათვალისწინებით, რისთვისაც არსებობს რამოდენიმე ალტერნატიული მარშრუტი შუალედურ პუნქტებზე გავლით. აღნიშნული სიტუაცია შეიძლება წარმოვიდგინოთ ქსელის სახით, რომლის მწვერვალები ასახავს დასახლებულ პუნქტებში გამანაწილებელ სადგურებს, ხოლო რკალები კი მილგაყვანილობის მარშრუტებია. მარშრუტის დაგეგმარებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ მთავარი 3 პირობა: მილგაყვანილობის სისტემა უნდა შესრულდეს მინიმალური ხარჯებით, მინიმალურ დროში და დააკმაყოფილოს მაქსიმალურად ბევრი ადამიანი. ასევე გასათვალისწინებელია შემდეგი პირობა:

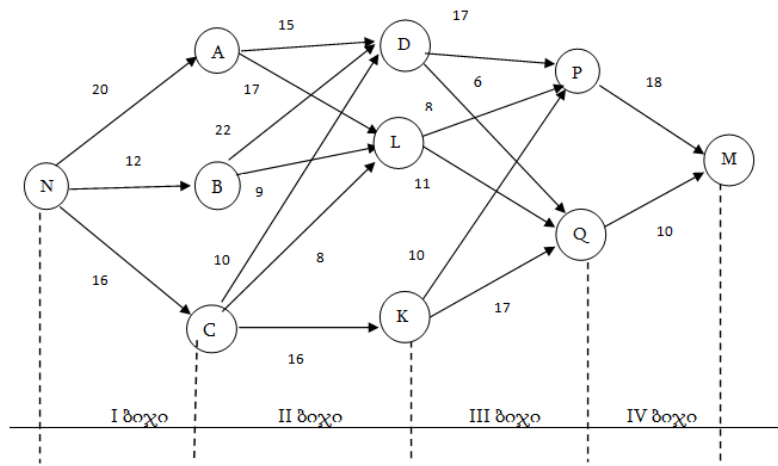
მილსადენის მინიმალური დანახარჯების გაყვანის შემთხვევაში კაპიტალური დანახარჯები $K_1=200$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Xi_1=4$ მილიონი დოლარი/წელი

მილსადენის მინიმალურ დროში გაყვანის შემთხვევაში დროს კაპიტალური დანახარჯები $K_1=160$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Xi_1=10$ მილიონი დოლარი/წელი

მილსადენის გაყვანის შემთხვევაში როცა იგი დააკმაყოფილებს მაქსიმალურად ბევრ მომხმარებელს კაპიტალური დანახარჯები $K_1=140$ მილიონი დოლარი, ხოლო საექსპლუატაციო დანახარჯები $\Xi_1=14$ მილიონი დოლარი/წელი

მილსადენის მინიმალურ დროში გაყვანის შემთხვევაში დროს კაპიტალური დანახარჯები $K_1=160$ მილიონი დოლარი, ამოცანა დავეყთ 3 ნაწილად, პირველ ნაწილში განვიხილოთ მილგაყვანილობის სისტემის გაყვანის ოპტიმალური მარშრუტი მინიმალური დანახარჯებისათვის, მეორე ნაწილში – მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობის დაკმაყოფილების მარშრუტი და ბოლოს განვიხილოთ მაქსიმალურად მცირე დროში ტრასის მშენებლობის მარშრუტის არჩევის შესაძლებლობა.

ნაწილი 1.



ნახ. 12 ოპტიმალური მარშრუტის მოდელი მინიმალური დანახარჯებისათვის

პროექტი შეიძლება დავეყავშიროთ დინამიკური პროგრამირების ამოცანას. პროექტის ძირითადი ელემენტების განსაზღვრის გზით შეიძლება მივაღწიოთ გადაწყვეტის ოპტიმალური ამონახსნის მოძებნას.

დინამიკური პროგრამირების ბიჯებად შეიძლება მივიღოთ გაყვანილობის მარშრუტები რომლებიც აკავშირებს ორ მოსაზღვრე გამანაწილებელ სადგურს. i -ური ბიჯის დასაწყისში X_i მდგომარეობა განისაზღვრება ნებისმიერი გამანაწილებელი სადგურისათვის, რომელიც ჩართულია სისტემაში, ხოლო ამონახსნის K_i ვარიანტები i -ური ბიჯზე განისაზღვრება რკალების რაოდენობით, რომლებიც გამოდის მწვერვალებიდან ანუ თითოეული გამანაწილებელი სადგურისათვის მარშრუტების შესაძლო ვარიანტების რაოდენობით.

მიზნობრივი ფუნქცია i -ური ბიჯზე $f_i(X_i, U_i)$ შეიძლება განისაზღვროს მარშრუტის გაყვანის ღირებულების მიხედვით ნებისმიერი S -ური სადგურიდან j -ურ სადგურში

$$f_i(X_i, U_i) = C_{S-j} \quad 11$$

K_i -ური მართვა გულისხმობს გაზგაყვანილობის მარშრუტის არჩევას S -ური მნიშვნელობიდან J_i -ურ მნიშვნელობამდე. პროექტის კონკურენტუნარიანობის გაზრდის მიზნით შესაძლებელია მიზნობრივი ფუნქციის შეზღუდვა მარშრუტის მშენებლობის მინიმალური ღირებულების შესახებ. პროგრამირების ძირითადი ფუნქციონალური განტოლება ჩაიწერება შემდეგი

$$f_i(x_i) = \min_{S-j} [f_i(x_i, u_i) + f_{i+1}(x_{i+1}^1)] = \min_{S-j} [C_{S-j}^i + f_{i+1}(x_{i+1}^1)] \quad 12$$

დინამიკური პროგრამირების მეთოდის მიხედვით ამოცანის ამოხსნას ვიწყებთ მეოთხე ბიჯიდან, სადაც განისაზღვრება პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი პუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა

$$f_4(x_4) = \min_{S-j} [f_4(x_4, u_4) + f_4(x_4)] \quad 13$$

$$f_4(x_4) = \min_{S-j} [C_{S-j}] \quad 14$$

$$f_4(P) = \min_{P-M} [C_{P-M}] = 6 \quad 15$$

$$f_4(Q) = \min_{P-M} [C_{Q-M}] = 3 \quad 16$$

მიღებული შედეგები შევიტანოთ ცხრილში N5

ცხრილი N5

i პუნქტი	ეტაპი $X_4=M$	მიზნობრივი ფუნქცია $F_4(X_4)$	მართვა U_4
P	6	6	M
Q	3	3	M

ამის შემდგომ განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე

$$f_3(D) = \min_{\substack{d-p \\ d-q}} \{ [C_{d-p} + F_4(P)] ; [C_{d-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [8+6] ; [2+3] \} = 5 \quad 17$$

$$f_3(L) = \min_{\substack{l-p \\ l-q}} \{ [C_{l-p} + F_4(P)] ; [C_{l-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [6+6] ; [5+3] \} = 8 \quad 18$$

$$f_3(K) = \min_{\substack{k-p \\ k-q}} \{ [C_{k-p} + F_4(P)] ; [C_{k-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [5+6] ; [7+3] \} = 10 \quad 19$$

მიღებული შედეგები შევიტანოთ ცხრილში N6

ცხრილი N6

i პუნქტი	X ¹ ₃ =P	X ¹ ₃ =Q	მიზნობრივი ფუნქცია f ₃ (x ₃)	მართვა U ₃
D	8+6	2+3	5	Q
L	6+6	5+3	8	Q
K	5+6	7+3	10	Q

ახლა განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე.

$$f_2(A) = \min_{\substack{a-d \\ a-l}} \{ [C_{a-d} + F_3(D)] ; [C_{a-l} + F_3(L)] \} = \min \{ [2+5] ; [9+8] \} = 7 \quad 20$$

$$f_2(B) = \min_{\substack{b-d \\ b-l}} \{ [C_{b-d} + F_3(D)] ; [C_{b-l} + F_3(L)] \} = \min \{ [5+5] ; [4+8] \} = 10 \quad 21$$

$$f_2(C) = \min_{\substack{c-d \\ c-l \\ c-k}} \{ [C_{c-d} + F_3(D)] ; [C_{c-l} + F_3(L)] ; [C_{c-k} + F_3(K)] \} = \\ = \min \{ [6+5] ; [3+8] ; [5+10] \} = 11 \quad 22$$

შედეგები შევიყვანოთ ცხრილში N7

ცხრილი N7

i პუნქტი	X ¹ ₃ =A	X ¹ ₃ =B	X ¹ ₃ =C	მიზნობრივი ფუნქცია f ₂ (x ₂)	მართვა U ₂
A	2+5	9+8	–	7	D
B	5+5	4+8	–	10	D
C	6+5	3+8	5+10	11	D, L

და ბოლოს განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.

$$f_1(N) = \min_{\substack{N-A \\ N-B \\ N-C}} \{ [C_{N-A} + F_2(A)]; [C_{N-B} + F_2(B)]; [C_{N-C} + F_2(C)] \} = \\ = \min \{ [7+7]; [3+10]; [4+11] \} = 13$$

23

შესაბამისი მნიშვნელობები შევიტანოთ ცხრილში N8

ცხრილი N8

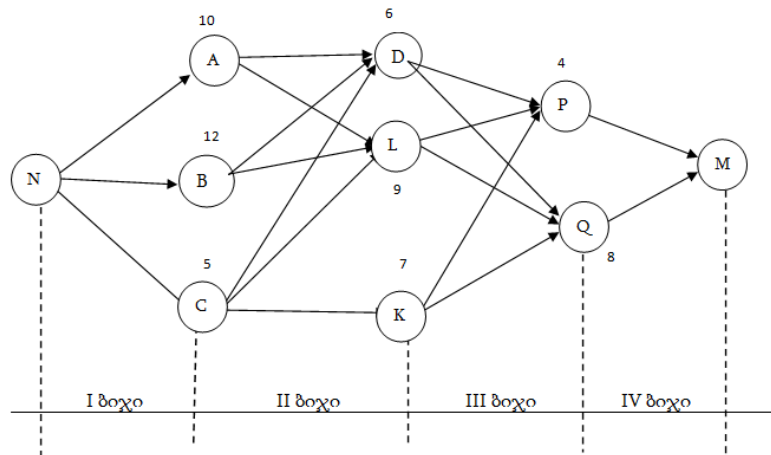
i პუნქტი	X ¹ ₁ =A	X ¹ ₁ =B	X ¹ ₁ =C	მიზნობრივი ფუნქცია f ₁ (x ₁)	მართვა U ₁
N	7+7	3+10	4+11	13	B

ცხრილის მიხედვით საწყისი N პუნქტიდან მინიმალური დანახარჯებით შეიძლება გავიყვანოთ B პუნქტში, შემდეგ ცხრილი 3-ის მეშვეობით მოვძებნოთ B პუნქტის შესაბამისი სტრიქონი, რომელიც განსაზღვრავს მარშუტის შემდეგ პუნქტს, რომელზედაც დანახარჯები იქნება მინიმალური, ეს არის პუნქტი დ. ამის შემდეგ მე-2-ე ცხრილის საშუალებით D პუნქტის შესაბამისი სტრიქონი, რომელიც განსაზღვრავს მარშუტის შემდეგ პუნქტს და ეს პუნქტი იქნება Q და ბოლოს პირველი ცხრილი მიგვითითებს მარშუტის ბოლო პუნქტს M.

მარშუტს ექნება შემდეგი სახე $N \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow Q \rightarrow M$

ნაწილი 2. ამოცანის მეორე ნაწილის ამოსახსნელად კვლავ გამოვიყენოთ მათემატიკური მოდელირების დინამიკური პროგრამირების მეთოდი მოცემულ მომხმარებელთა განაწილების სქემის მიხედვით, სადაც ამჯერად რკალებზე მოცემულია მომხმარებელთა შესაძლო რაოდენობა შესაბამის გაზგამანაწილებელ პუნქტის ფარგლებში. ამ შემთხვევაში U_i - მართვაში იგულისხმება მარშუტის ამორჩევა S-ური პუნქტიდან J-ურში. ხოლო მიზნობრივი ფუნქციისათვის შეიძლება შემოვიღოთ შეზღუდვა

სისტემაში გასაწევრიანებელი მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობის შესახებ.



ნახ. 13 ოპტიმალური მარშრუტის მოდელი მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობის დაკმაყოფილებისთვის

აქაც მონაცემების დამუშავებას ვიწყებთ მე-4-ე ბიჯიდან.

$$f_4(P) = \min_{P-M} [C_{P-M}] = 4 \quad 24$$

$$f_4(Q) = \min_{P-M} [C_{Q-M}] = 8 \quad 25$$

მიღებული შედეგები შევიტანოთ ცხრილში N9

ცხრილი N9

i \ პუნქტი	ეტაპი $X_4=M$	მიზნობრივი ფუნქცია $F_4(X_4)$	მართვა U_4
P	4	4	M
Q	8	8	M

მე-4-ე ეტაპის შემდეგ განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე.

$$f_3(D) = \max_{\substack{d-p \\ d-q}} \{ [C_{d-p} + F_4(P)] ; [C_{d-q} + F_4(Q)] \} = \max \{ [6+4] ; [6+8] \} = 14 \quad 26$$

$$f_3(L) = \max_{\substack{l-p \\ l-q}} \{ [C_{l-p} + F_4(P)] ; [C_{l-q} + F_4(Q)] \} = \max \{ [9+4] ; [9+8] \} = 17 \quad 27$$

$$f_3(D) = \max_{\substack{k-p \\ k-q}} \{[C_{k-p} + F_4(P)]; [C_{k-q} + F_4(Q)]\} = \max \{[7+4]; [7+8]\} = 15 \quad 28$$

მიღებული მნიშვნელობები შევიტანოთ ცხრილში N10

ცხრილი N10

i პუნქტი	X ₃ =P	X ₃ =Q	მიანობრივი ფუნქცია F ₃ (X ₃)	მართვა U ₃
D	6+4	6+8	14	Q
L	9+4	9+8	17	Q
K	7+4	7+5	15	Q

ახლა განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე.

$$f_2(A) = \min_{\substack{a-d \\ a-l}} \{[C_{a-d} + F_3(D)]; [C_{a-l} + F_3(L)]\} = \min \{[10+14]; [10+17]\} = 27 \quad 29$$

$$f_2(B) = \min_{\substack{b-d \\ b-l}} \{[C_{b-d} + F_3(D)]; [C_{b-l} + F_3(L)]\} = \min \{[12+14]; [12+17]\} = 29 \quad 30$$

$$f_2(C) = \min_{\substack{c-d \\ c-l \\ c-k}} \{[C_{c-d} + F_3(D)]; [C_{c-l} + F_3(L)]; [C_{c-k} + F_3(K)]\} = \\ = \min \{[5+14]; [5+17]; [5+15]\} = 22 \quad 31$$

შესაბამისი მნიშვნელობები შევიტანოთ ცხრილში N11

ცხრილი N11

i პუნქტი	X ₂ =A	X ₂ =B	X ₂ =C	მიზნობრივი ფუნქცია F ₂ (X ₂)	მართვა U ₂
A	10+14	10+17	-	27	L
B	12+14	12+17	-	29	L
C	5+14	5+17	5+15	22	L

ბოლოს განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.

$$f_1(N) = \min_{\substack{N-A \\ N-B \\ N-C}} \{[C_{N-A} + F_2(A)]; [C_{N-B} + F_2(B)]; [C_{N-C} + F_2(C)]\} = \\ = \min \{[10+27]; [12+29]; [5+22]\} = 41 \quad 32$$

შესაბამისი მნიშვნელობები შევითანოთ ცხრილში N12

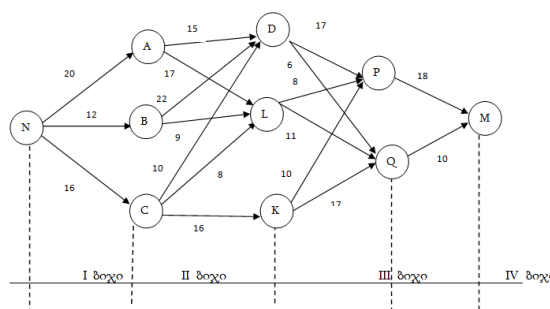
ცხრილი N12

i \ პუნქტი	X ¹ ₁ =A	X ¹ ₁ =B	X ¹ ₁ =C	მიზნობრივი ფუნქცია f ₁ (x ₁)	მართვა U ₁
N	10+27	12+29	5+22	41	B

აქაც ცხრილის მიხედვით საწყისი N პუნქტიდან მაქსიმალური მომხმარებლებით შეიძლება გავიყვანოთ B პუნქტში, შემდეგ ცხრილი 7-ის მეშვეობით მოვძებნოთ B პუნქტის შესაბამისი სტრიქონი, რომელიც განსაზღვრავს მარშრუტის შემდეგ პუნქტს, რომელზედაც მომხმარებელთა რაოდენობა იქნება მაქსიმალური, ეს არის პუნქტი L. ამის შემდეგ მე-6-ე ცხრილის საშუალებით L პუნქტის შესაბამისი სტრიქონი, რომელიც განსაზღვრავს მარშრუტის შემდეგ პუნქტს და ეს პუნქტი იქნება Q და ბოლოს მეხუთე ცხრილი მიგვითითებს მარშრუტის ბოლო პუნქტს M.

$$\text{მარშრუტს ექნება შემდეგი სახე } N \rightarrow B \rightarrow L \rightarrow Q \rightarrow M$$

ნაწილი 3. ამოცანის მესამე ნაწილის ამოსახსნელადაც გამოვიყენოთ მათემატიკური მოდელირების დინამიკური პროგრამირების მეთოდი მოცემულ სამუშაოს შესრულების დროის განაწილების სქემის მიხედვით, სადაც ამჯერად მოცემულია შესარულებელ სამუშაოთა დრო შესაბამის გაზგამანაწილებელ პუნქტის ფარგლებში. ამ შემთხვევაშიც U_i -მართვაში იგულისხმება მარშრუტის ამორჩევა S-ური პუნქტიდან J-ურში. ხოლო მიზნობრივი ფუნქციისათვის შეიძლება შემოვიღოთ შეზღუდვა სისტემაში შესარულებელ სამუშაოთა მინიმალურ დროში შესრულების შესახებ.



ნახ. 14 მათემატიკური მოდელი ტრასის მაქსიმალურად მცირე დროში მშენებლობის მარშრუტის არჩევისათვის

აქაც მონაცემების დამუშავებას ვიწყებთ მე-4-ე ბიჯიდან.

$$f_4(P) = \min_{P-M} [C_{P-M}] = 18 \quad 33$$

$$f_4(Q) = \min_{P-M} [C_{Q-M}] = 10 \quad 34$$

მიღებული შედეგები შევიტანოთ ცხრილში N13

ცხრილი N13

i \ პუნქტი	ეტაპი X ₄ =M	მიზნობრივი ფუნქცია F ₄ (X ₄)	მართვა U ₄
P	18	18	M
Q	10	10	M

შემდგომ განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მესამე ბიჯზე.

$$f_3(D) = \min_{\substack{d-p \\ d-q}} \{ [C_{d-p} + F_4(P)] ; [C_{d-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [17+18] ; [6+10] \} = 16 \quad 35$$

$$f_3(L) = \min_{\substack{l-p \\ l-q}} \{ [C_{l-p} + F_4(P)] ; [C_{l-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [8+18] ; [11+10] \} = 21 \quad 36$$

$$f_3(K) = \min_{\substack{k-p \\ k-q}} \{ [C_{k-p} + F_4(P)] ; [C_{k-q} + F_4(Q)] \} = \min \{ [10+18] ; [17+10] \} = 27 \quad 37$$

შესაბამისი მნიშვნელობები შევითანოთ ცხრილში N14

ცხრილი N14

i \ პუნქტი	X ₃ =P	X ₃ =Q	მიზნობრივი ფუნქცია f ₃ (x ₃)	მართვა U ₃
D	17+18	6+10	16	Q
L	8+18	11+10	21	Q
K	10+18	17+10	27	Q

ამის შემდეგ განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა მეორე ბიჯზე.

$$f_2(A) = \min_{\substack{a-d \\ a-l}} \{ [C_{a-d} + F_3(D)] ; [C_{a-l} + F_3(L)] \} = \min \{ [15+16] ; [17+21] \} = 31 \quad 38$$

$$f_2(B) = \min_{\substack{b-d \\ b-l}} \{ [C_{b-d} + F_3(D)] ; [C_{b-l} + F_3(L)] \} = \min \{ [22+16] ; [9+21] \} = 30 \quad 39$$

$$f_2(C) = \min_{\substack{c-d \\ c-l \\ c-k}} \{ [C_{c-d} + F_3(D)]; [C_{c-l} + F_3(L)]; [C_{c-k} + F_3(K)] \} = \min$$

$$\{ [10+16]; [8+21]; [16+27] \} = 26$$

40

შესაბამისი მნიშვნელობები შევიყვანოთ ცხრილში N15

ცხრილი N15

i პუნქტი	X ¹ ₂ =A	X ¹ ₂ =B	X ¹ ₂ =C	მიზნობრივი ფუნქცია f ₂ (x ₂)	მართვა U ₂
A	15+16	17+21	—	31	D
B	22+16	9+21	—	30	D
C	10+16	8+21	16+27	26	D

ბოლოს განვსაზღვროთ პირობითი ოპტიმალური მართვა და მიზნობრივი ფუნქციის პირობითი ოპტიმალური მნიშვნელობა პირველ ბიჯზე.

$$f_1(N) = \min_{\substack{N-A \\ N-B \\ N-C}} \{ [C_{N-A} + F_2(A)]; [C_{N-B} + F_2(B)]; [C_{N-C} + F_2(C)] \} =$$

$$= \min \{ [20+31]; [13+30]; [16+26] \} = 42$$

41

შესაბამისი მნიშვნელობები შევიტანოთ ცხრილში N16

ცხრილი N16

i პუნქტი	X ¹ ₁ =A	X ¹ ₁ =B	X ¹ ₁ =C	მიზნობრივი ფუნქცია f ₁ (x ₁)	მართვა U ₁
N	20+31	13+30	16+26	42	C

მივიღეთ ოპტიმალური მნიშვნელობა $N \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow Q \rightarrow M$

გაზგამანაწილებელი მარშრუტის ოპტიმიზაციის შემდეგ გამოვთვალოთ ამორჩეული მარშრუტის ეფექტურობა, რომელიც სისტემაში აბონენტების (მომხმარებლების) რაოდენობით განისაზღვრება ანუ ფარდობა "დანახარჯები / მომხმარებელი" საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ მოდელირებული მარშრუტის ეფექტურობა, რაც მომხმარებელთა დაკმაყოფილების ხარისხს და შესაბამისად მომსახურების ხარისხს განსაზღვრავს.

მინიმალური ხარჯის მარშრუტის მიხედვით მომხმარებელთა რაოდენობა შეადგენს 26 ერთეულს, ხოლო ხარჯი კი 13 ერთეულს და შესაბამისად გაზგაყვანილობის ეფექტი $13/26=0,5$, ხოლო მომხმარებელთა მაქსიმალური რაოდენობის მარშრუტის მიხედვით ხარჯი შეადგენს 15 ერთეულს, მომხმარებელთა რაოდენობა კი 42 ერთეულს და შესაბამისად ეფექტი $15/42=0,35$.

განხილული შემთხვევებიდან მისაღებია ის ვარიანტი სადაც გაზგაყვანილობის ეფექტი ერთ მომხმარებელზე მინიმალურია, შესაბამისად NCDQM მარშრუტი ყველა შესაძლო შემთხვევებიდან ოპტიმალურია. ამის შემდეგ გამოვთვალოთ ოპტიმალური მარშრუტი მილსადენის კაპიტალური და საექსპლუატაციო ხარჯების გათვალისწინებით.

შევადროთ პირველი და მეორე ვარიანტი, ამისათვის მონაცემები შევითანოთ ფორმულაში 2.1 მივიღებთ რომ:

$$T_{1-2} = \frac{K_1 - K_2}{\vartheta_2 - \vartheta_1} = \frac{200 - 160}{10 - 4} = 6.7 \text{ წელი}$$

შევადროთ ასევე პირველი და მესამე, ხოლო შემდეგ მეორე და მესამე ვარიანტები, შედეგად მივიღებთ:

$$T_{1-3} = \frac{K_1 - K_3}{\vartheta_3 - \vartheta_1} = \frac{200 - 140}{14 - 4} = 6 \text{ წელი}$$

$$T_{2-3} = \frac{K_2 - K_3}{\vartheta_3 - \vartheta_2} = \frac{160 - 140}{14 - 10} = 5 \text{ წელი}$$

აქედან გამომდინარე შეიძლება ვიმსჯელოთ რომ საუკეთესო მეორე ვარიანტია, მაგრამ თუ განვსაზღვრავთ დანახარჯებს თითოეული ვარიანტის მიმართ, მივიღებთ რომ:

$$S_1=0.12 \cdot 200+4=28 \text{ მილიონი დოლარი/წელი}$$

$$S_2=0.12 \cdot 160+10=29.2 \text{ მილიონი დოლარი/წელი}$$

$$S_3=0.12 \cdot 140+14=30.8 \text{ მილიონი დოლარი/წელი}$$

ასეთ შემთხვევაში მივიღებთ რომ ოპტიმალური ვარიანტია პირველი.

თავი 3

ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ორგანიზაცია

3.1. რეალურ სატუმბ სადგურში ნავთობ ნაკადის წნევის გაზომვისა და ტრანსმიტერის კალიბრების პროცესი

3.1.1. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება

წნევის გაზომვა მიმდინარეობდა წნევის გარდამსახიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის დენის ძალის სიდიდის გაზომვით მილიამპერებში მაღალი სიზუსტის FLUKE 787 ტიპის მულტიმეტრით, რომლის სიზუსტის კლასი 0.05%, გაზომვის ბიჯი 0.001 მა, გაზომვის დიაპაზონი 0-30 mA. კალიბრატორის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერთიფიკატის მიხედვით 0.0034*Ba*, მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერთიფიკატის მიხედვით 0.004*mA*. ძაბვის გავლენის განუსაზღვრელობა 0.005 *V*.

წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრების პროცესი ლაბორატორიულ პირობებში ნაჩვენებია ნახ. 15.



ნახ. 15. წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრება ლაბორატორიულ პირობებში

წნევის მრავალჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილ 17-ში დენის ძალის ერთეულებში (mA) და წნევის ერთეულებში (Ba), სადაც სკალის საწყის 7.5 Ba წნევის მნიშვნელობას შეესაბამება 8 mA დენის მნიშვნელობა, წნევის კალიბრატორის დიაპაზონი 0-35 Ba სიზუსტის კლასი 0,025%. კალიბრატორიდან მიწოდებული წნევის მნიშვნელობა აიღება კალიბრატორის ჩვენების მიხედვით წნევის ერთეულებში (ბარი) და დენის ძალის ერთეულებში (მილიამპერი) ხოლო გაზომილი წნევის მნიშვნელობა მულტიმეტრის მაჩვენებლის მიხედვით. დეტალურად წნევის ტრანსმიტერის დაკალიბრება აღწერილია 1.2 თავში.

ექსპერიმენტალური გზით მიღებული მონაცემების სიმცირის გამო, რომელიც დაკავშირებულია ექსპლუატაციის პროცესში მყოფი მოქმედი ნავთობსადენის ბაქო-თბილისი-სუფსის ფუნქციონირებასთან, ექსპერიმენტის მასშტაბებიდან გამომდინარე, გაზომვათა თითოეული სერია განვიხილოთ, როგორც ერთეულოვანი გაზომვა დაკვირვებათა მცირე რაოდენობისათვის.

გამოვითვალთ შესასვლელი სიდიდის სტანდარტული განუსაზღვრელობა ერთეულოვანი გაზომვის მცირე რაოდენობისათვის.

ცხრილი 17-ში მოცემულია შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით მიწოდებული წნევის 8 Ba-ის პირობებში წნევისა და დენის ძალის ერთეულებით გრადუირებული სკალების მონაცემების მიხედვით მისი შესაბამისი დენის ძალის ერთეულებით გრადუირებული მულტიმეტრით გაზომილი დენის ძალის ერთეულების მნიშვნელობებისათვის. აქვე ცხრილში ნაჩვენებია გაზომილი სიდიდის საშუალო არითმეტიკული და მოცემულია გაზომვის შედეგების $x_{iq} - \bar{x}_i$ მნიშვნელობები, ასევე მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

N	მიწოდებული წნევა Ba	მიწოდებული დენი mA	გაზომილი დენი mA (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 25%-ის მნიშვნელობის დროს (წნევა 7.5 Ba)					
1.	7.5	8	8	0.0017000	0.0000029
2.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
3.	7.5	8	8.001	0.0007000	0.0000005
4.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
5.	7.5	8	8.004	0.0023000	0.0000053
6.	7.5	8	8.003	0.0013000	0.0000017
7.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
8.	7.5	8	8	0.0017000	0.0000029
9.	7.5	8	8.002	0.0003000	0.0000001
10	7.5	8	8.001	0.0007000	0.0000005
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არიტმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		8	8.0017	$ \Sigma =0.0096$	$\Sigma=0.0000141$

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot 9} 0.0000141^2} = 0.00039 \quad 42$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.00039 = 0.0004749 \quad 43$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot s^*} \quad 44$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(\sum(x_{iq} - \bar{x}_i)^2)}{n}} = \sqrt{\frac{0.0000141}{10}} = 0.001187. \quad 45$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{0.0096}{10 \cdot 0.001187} = 0.8084 \quad 46$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,8084 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

მილსადენებში წნევის გაზომვის პროცესისათვის A ტიპის განუსაზღვრელობის გარდა დამახასიათებელია B ტიპის განუსაზღვრელობაც, რომელიც მილსადენებში სითხის მოძრაობისას სხვადასხვა ზემოქმედების ფაქტორების არსებობით გამოვლინდება.

მილსადენში სითხის დამყარებული მოძრაობა აღიწერება განტოლებით

$$\frac{dP}{\rho} + \lambda \left(\frac{dx}{D}\right) \left(\frac{\omega^2}{2}\right) + d \left(\frac{\omega^2}{2}\right) + g dz = 0. \quad 47$$

სადაც P – სითხის წნევაა მილსადენის კედლებზე;

ρ – სითხის სიმკვრივე;

λ – ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

x – მილსადენის სიგრძე;

g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

ω – სითხის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

z – მილსადენის ნიველირებული სიმაღლე.

სიდიდე $\frac{dP}{\rho}$ w წარმოადგენს სითხის მასის ერთეულის გადაადგილების მუშაობას dx მონაკვეთზე, რომლის ზომის ერთეულია $[Nm/kg]$, რომელიც სრულდება ხახუნის ძალის $\lambda \left(\frac{dx}{D}\right) \left(\frac{\omega^2}{2}\right)$ დაძლევაზე, სითხის კინეტიკური ენერჯის შეცვლაზე $d \left(\frac{\omega^2}{2}\right)$ და სითხის dz სიმაღლემდე აწევამდე.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\rho = const$ (წვეთოვანი სითხე) და მილსადენის დიამეტრის მუდმივობას ე.ი. $d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) = 0$ ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ, რომ

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\omega^2}{2} + g\Delta z. \quad 48$$

სადაც L – მანძილია მილსადენის ორ 1 და 2 წერტილს შორის ანუ მილსადენის სიგრძე; $\Delta z = z_2 - z_1$ გეოდეზიურ სიმაღლეებს შორის სხვაობაა.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულით სარგებლობენ მილსადენის დაპროექტებისა და გაანგარიშების დროს. ჩვენი შემთხვევისათვის წნევის გაზომვა ხორციელდება კონკრეტულ სატუმბ სადგურში ამიტომ $P_1 - P_2 = P$. მილსადენის სიგრძის L -ის, მილსადენის მილის დიამეტრის D -ს და გეოდეზიურ სიმაღლეებს შორის სხვაობის Δz -ის გავლენა სატუმბ სადგურში წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობაზე შესაძლებელია გამოირიცხოს, როგორც მუდმივმოქმედი ფაქტორი, რომლის გავლენა ცალკეული გაზომვების მნიშვნელობაზე მუდმივი იქნება. აღნიშნულის გათვალისწინებით გაზომვის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე

$$P = \frac{\rho \lambda \omega^2}{2} \quad 49$$

განტოლება (7) შემავალი ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი λ არის რეინოლდსის რიცხვის Re -ს გარდობითისიმქისის ε -ის ფუნქცია.

$$Re = \frac{\omega D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} \quad 50$$

$$\varepsilon = \frac{2e}{D} \quad 51$$

სადაც ν – გადასატუმბი ნავთობის კინემატიკური სიბლანტეა; Q – მოცულობითი ხარჯი; e – მილსადენის კედლების აბსოლუტური ექვივალენტური სიმქისე.

ნავთობის ლამინარული დინების დროს (განსახილველი ნავთობსადენის შემთხვევა) ნავთობის ნაკადის გარშეოვლა მილის კედლების სიმქისით გამოწვეულ წინააღმდეგობებთან მდორედ მიმდინარეობს, ანუ ზედაპირის სიმქისე არ მოქმედებს ნაკადის წნევის კარგვაზე ამიტომ ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი

უარყოფითი კორელაციით მხოლოდ Re -ს სიდიდეზეა დამოკიდებული ე.ი. Re -ს გადიდებით მცირდება λ .

ლამინარული დინების დროს, რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა მოძიებულია ლიტერატურა [2]-ის საცნობარო მონაცემების მიხედვით სადაც მისი განაწილების კანონის შესახებ არ ყოფილა მითითებული, ამიტომ განუსაზღვრელობათა შეფასების სახელმძღვანელო დოკუმენტებიდან გამომდინარე [3] მოცემული სიდიდის განაწილების კანონად უნდა მივიღოთ თანაბარი განაწილების კანონი. რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა $Re = 1500 \div 2000$ ერთეულის ტოლია ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტს პოულობენ სტოქსის ფორმულის მიხედვით [2].

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1500} \div \frac{64}{2000} = 0,043 \div 0,032 \quad 52$$

რაც წარმოადგენს ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტის გადახრის ზღვრებს, რომელიც გასაშუალებული მნიშვნელობის 0,0375 სიდიდისათვის შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს $\lambda = 0,0375 \pm 0,0055$ რომლის სტანდარტული განუსაზღვრელობა თანაბარი განაწილების შემთხვევაში გამოითვლება

$$u_\lambda = \frac{0,0055}{\sqrt{3}} = 3,175 \cdot 10^{-3} \quad 53$$

ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენის ნავთობის სიმკვრივე შეადგენს $\rho = 0,85 \pm 0,002 \text{ kg/dm}^3$. წინა შემთხვევის ანალოგიის მიხედვით ნავთობის სიმკვრივის სტანდარტული განუსაზღვრელობისათვის გვექნება

$$u_\rho = \frac{0,002}{\sqrt{3}} = 0,00115 = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ kg/dm}^3 \quad 54$$

ნავთობის ნაკადის ხარჯი ტექნიკური ზედამხედველობის მრავალწლიანი მონაცემების მიხედვით შეადგენს $600 \pm 0,8 \text{ m}^3/\text{h}$. არსებული მილსადენის დიამეტრი $D = 0,53 \text{ m}$ გათვალისწინებით შესაძლებელია გამოითვალოს ნაკადის სიჩქარე, რომელიც გაანგარიშებათა ჩატარების შემდეგ შეადგენს $0,76 \text{ m/c}$ მისი გადახრის ზღვრები ხარჯის გადახრის ზღვრებისაგან დამოკიდებულებით შეადგენს $0,76 \pm 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/c}$. წინა შემთხვევის ანალოგიურად შესაძლებელია შევაფასოთ ნაკადის

სტანდარტული განუსაზღვრელობა მონაცემთა თანახარი განაწილების კანონის გათვალისწინებით

$$u_\omega = \frac{6,4 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 3,69 \cdot 10^{-5} \text{ m/c} \quad 55$$

გამოვითვალთ ზემოქმედების ფაქტორების გავლენის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ρ , λ , ω სიდიდეების კერძო წარმოებულების მიმართ

$$C_\rho = \frac{\partial P}{\partial \rho} = \frac{\lambda \omega^2}{2} = \frac{3,75 \cdot 10^{-2} \cdot 0,76^2}{2} = 0,011 \quad 56$$

$$C_\lambda = \frac{\partial P}{\partial \lambda} = \frac{\rho \omega^2}{2} = \frac{0,850 \cdot 0,76^2}{2} = 0,245 \quad 57$$

$$C_\omega = \frac{\partial P}{\partial \omega} = \rho \lambda \omega = 0,85 \cdot 0,0375 \cdot 0,76 = 0,024 \quad 58$$

ტემპერატურული ეფექტი საპასპორტო მონაცემებით 20°C
ტემპერატურაზე

$$\gamma = \frac{(0,075 + 0,1 \frac{X_N}{X_n})}{20^\circ\text{C}} \cdot 100\% = \frac{(0,075 + 0,1 \frac{30}{8,0017})}{20^\circ\text{C}} = 0,0225\% \quad 59$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0,0225 \cdot 30}{100} = 0,00675 \text{ mA} \quad 60$$

$$u_\gamma = \frac{\Delta_t}{\alpha} = \frac{0,00675}{1,65} = 0,00409 \text{ mA} \quad 61$$

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0,001}{2} = \pm 0,0005 \text{ mA} \quad 62$$

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 0,00029 \text{ mA} \quad 63$$

კალიბრატორის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0,01}{2} = \pm 0,005 \quad 64$$

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,0029 \quad 65$$

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომილი მნიშვნელობა	8.0017mA	–	–
მულტიმეტრის დისკრეტულობის განუსაზღვრება	–	$u_{\gamma} = 0.00029mA$	მართკუთხა
ტემპერატურული (დამატებითი) განუსაზღვრება	–	$u_{\vartheta} = 0.00409$	მართკუთხა
კალიბრატორის განუსაზღვრელობა		$u_{\beta} = 0.0034$	მართკუთხა
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა		$u_{\theta} = 0.004mA$	მართკუთხა
სიმკვრივის განუსაზღვრელობა		$u_{\nu} = 0.000013$	მართკუთხა
ჰირდავლიკური წინაღობის განუსაზღვრელობა		$u_{\nu\varphi} = 0.000777$	მართკუთხა
ნაკადის სიჩქარის განუსაზღვრელობა		$u_{\nu s} = 0.000001$	მართკუთხა
კალიბრატორის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_{\gamma} = 0.0029$	მართკუთხა
ძაბვის გავლენის განუსაზღვრელობა		$u_{\gamma} = 0.005$	მართკუთხა
Y	8.0017 mA	$u_{\Sigma} = 0.00948$	

B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$\begin{aligned}
 u_{\Sigma B} &= \sqrt{(u_{\gamma})^2 + (u_{\theta})^2 + (u_{\beta})^2 + (C_{\rho} \cdot u_{\rho})^2 + (C_{\lambda} \cdot u_{\lambda})^2 + (C_{\omega} \cdot u_{\omega})^2} \\
 &= \sqrt{0.00029^2 + 0.00409^2 + 0.004^2 + 0.005^2 + 0.0034^2 + 0.0029^2 + 0.000013^2 +} \\
 &\quad + 0.000777^2 + 0.000001^2} \\
 &= 0.0088
 \end{aligned}$$

66

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0.0004749^2 + 0.00885^2} = 0.008866$$

67

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A,B}(P) \quad 68$$

სადაც $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც მიახლოებით [1]

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1.65 \sqrt{1.22} = 1.82. \quad 69$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით ტრანსმიტერის კალიბრების პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება

$$U = 1.82 \cdot 0.008866 = 0.0161mA \quad 70$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$P = 8.0017 \pm 0.0161mA \text{ სანდოობის დონით } 0.95$$

შევაფასოთ წნევის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობა

წნევის გაზომვა ისვე როგორც წინა შემთხვევაში მიმდინარეობდა წნევის კალიბრატორიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის დენის ძალის სიდიდის გაზომვით, მაღალი სიზუსტის Fluke 787 ტიპის მულტიმეტრით, მილიამპერებში (mA). მულტიმეტრის გაზომვის დიაპაზონია 0-30 mA. წნევის ერთჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობა 8 mA შეესაბამება წნევას 7.5Ba, (შესაბამისობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის გათვალისწინებით გვექნება $(7.5Ba \cdot 0.5333 + 4 = 8mA)$). მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0.05%.

განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

გაზომვის სპეციფიკაციის შედეგა:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს $+28^{\circ}C$ ტემპერატურის დროს;
- მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი $0.001mA$;

- კალიბრატორის ათვლის ბიჯი 0.01 ;
- კალიბრატორის განუსაზღვრელობა 0.0034
- მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა 0.004 mA
- მულტიმეტრის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (-10 + 50)°C;
- სიმკვრივის განუსაზღვრელობა 0.000013
- ჰირდავლიკური წინაღობის განუსაზღვრელობა 0.000777
- ნაკადის სიჩქარის განუსაზღვრელობა 0.000001

განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

განუსაზღვრელობა გამოწვეული ტემპერატურული გადახრით ნორმალური 18°C-დან. დამატებითი აბსოლუტური ცდომილება 28°C ჩატარებული გაზომვისას.

პასპორტის მონაცემების მიხედვით ტემპერატურული ეფექტის გავლენა გაზომვის სიზუსტეზე გამოითვლება

$$\gamma = \frac{\left(0,075 + 0,1 \cdot \frac{X_N}{X_n}\right)}{28^\circ\text{C}} \cdot 100\% = \frac{\left(0,075 + 0,1 \cdot \frac{30}{8}\right)}{28^\circ\text{C}} = 0.016\% \quad 71$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0.016 \cdot 30}{100} = 0.0048 \text{ mA} \quad 72$$

წნევის გაზომვის ცდომილების განაწილების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც მოცვის კოეფიციენტი $\alpha = \sqrt{3}$. ამის გათვალისწინებით

$$u_{\varphi} = \frac{\Delta_t}{\alpha} = \frac{0.0048}{\sqrt{3}} = 0.00277 \text{ mA}. \quad 73$$

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.001}{2} = \pm 0.0005 \text{ mA} \quad 74$$

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} = 0.00029 \text{ mA} \quad 75$$

კალიბრატორის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \quad 76$$

$$u_y = \frac{A_y}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029$$

77

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.008996$$

78

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 19

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	აღბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომილი მნიშვნელობა	8.0017 mA	–	–
მულტიმეტრის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_y = 0.00029 mA$	მართკუთხა
ტემპერატურული (დამატებითი) ცდომილება	–	$u_{\theta} = 0.00277$	მართკუთხა
კალიბრატორის განუსაზღვრელობა	–	$u_y = 0.0034$	მართკუთხა
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\theta} = 0.004$	მართკუთხა
სიმკვრივის განუსაზღვრელობა	–	$u_b = 0.000013$	მართკუთხა
ჰირდავლიკური წინაღობის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\text{ჰფ}} = 0.000777$	მართკუთხა
ნაკადის სიჩქარის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\text{ნს}} = 0.000001$	მართკუთხა
კალიბრატორის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_y = 0.0029$	მართკუთხა
ძაბვის გავლენის განუსაზღვრელობა	–	$u_y = 0.005$	მართკუთხა
Y	8.0017 mA	$u_{\Sigma} = 0.0094$	

გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის

$$U = ku_{\Sigma} \quad 79$$

იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი მართკუთხაა $p = 0,95$ სანდოობის დონისათვის $k = 1.82$ [1]

$$U = ku_{\Sigma} = 1.82 \cdot 0.008996 = 0.01637 \text{ mA} \quad 80$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება $8 \pm 0.01637 \text{ mA}$.

განუსაზღვრელობების შედარება წნევის ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების შემთხვევებისათვის გვაძლევს

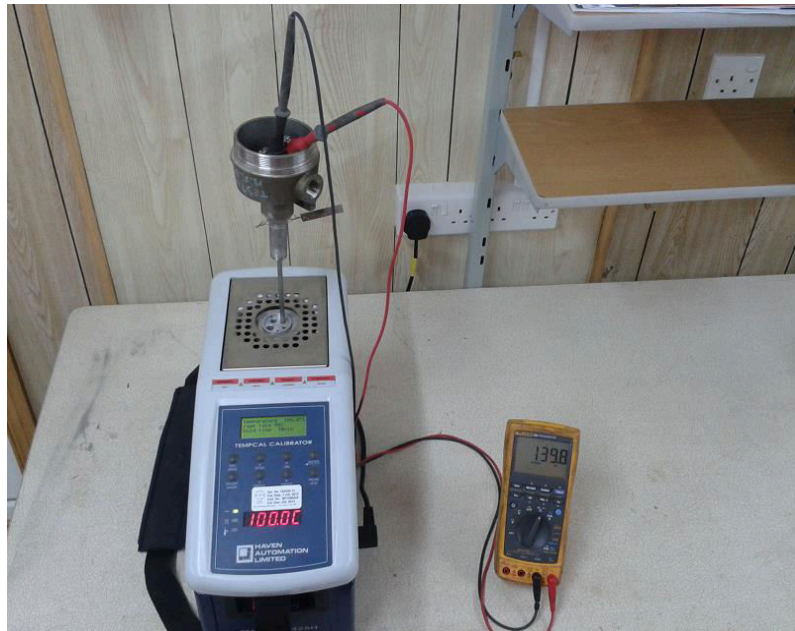
$$U = \frac{U_{\text{მრ}} - U_{\text{ერ}}}{U_{\text{მრ}}} \cdot 100\% = \frac{0,0161 - 0,01637}{0,0161} \cdot 100\% = 2\% \quad 81$$

რაც დამაკმაყოფილებელად შეიძლება ჩაითვალოს.

3.2 ნავთობ ნაკადის ტემპერატურის გაზომვისა და ტემპერატურის ტრანსმიტერის კალიბრება რეალური მილსადენის სატუმბ სადგურში

3.2.1. ტემპერატურის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება

ტემპერატურის გაზომვა მიმდინარეობდა ტემპერატურის კალიბრატორით წარმოქმნილი ტემპერატურის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის წინააღმდეგობის სიდიდის გაზომვით, მაღალი სიზუსტის Fluke 787 ტიპის მულტიმეტრით, ომებში (*Ohm*) მულტიმეტრის გაზომვის დიაპაზონია 0-400 *Ohm*. ლაბორატორიულ პირობებში ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრება ნაჩვენებია ნახ. 16



ნახ. 16 ლაბორატორიულ პირობებში ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრება

ერთჯერადი გაზომვების დროს ტემპერატურის კალიბრატორის მიერ აღწარმოებულია 25°C რომელსაც შეესაბამება წინააღმდეგობა 109.73 *Ohm*. ერთჯერადი გაზომვისას მულტიმეტრით გაზომილი მნიშვნელობაა 110.5 *Ohm*, რაც შეესაბამება 26°C (დანართი 1). მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0.05%.

ტემპერატურის გადაყვანა წინააღმდეგობაში შესაძლებელია შემდეგი ფორმულით:

$$R = ((T \cdot \alpha) + 1) \cdot 100 \quad 82$$

სადაც R - არის წინააღმდეგობა გარკვეულ ტემპერატურაზე,

T-ტემპერატურაა,

α -კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ტემპერატურის ტრანსმიტერის მასალაზე, ჩვენს შემთხვევაში $\alpha=0.00385$.

განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ ტემპერატურის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს $+30^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს;
- მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.01Ohm ;
- მულტიმეტრის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(-10 + 50)^{\circ}\text{C}$;

განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

პასპორტის მონაცემების მიხედვით ტემპერატურული ეფექტის გავლენა (გადახრა სტანდარტული ტემპერატურიდან) გაზომვის სიზუსტეზე გამოითვლება

$$\gamma = 0.009 * (110.5 - 109.73) = 0.0069 \quad 83$$

სადაც, 110.5 არის გაზომილი მნიშვნელობა, 109.73 კი არის სტანდარტული ტემპერატურის ექვივალენტი წინააღობა 20°C .

აქედან

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0.0069 \cdot 400}{100} = \pm 0.028 \text{ ohm} \quad 84$$

ვიპოვოთ პასპორტის მონაცემების მიხედვით ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = 0.028 * 0.3 = 0.008 \quad 85$$

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \quad 86$$

ძირითადი ცდომილების სტანდარტული განისაზღვრელობა

$$u_d = \frac{\Delta}{\alpha} \quad 87$$

ტემპერატურის გაზომვის ცდომილების განაწილების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც მოცვის კოეფიციენტი $\alpha=\sqrt{3}$. ამის გათვალისწინებით

$$u_d = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.008}{\sqrt{3}} = 0.048 \text{ ohm} \quad 88$$

სტანდარტული განუსაზღვრელობა დამატებითი აბსოლუტური ცდომილებისათვის

$$u_{\varphi} = \frac{\Delta_t}{\alpha} = \frac{0.028}{\sqrt{3}} = 0.016 \quad 89$$

დისკრეტული ათვის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რომელიც ტოლია ანათვის დისკრეტულობის განაყოფისა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტზე.

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \quad 90$$

მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერთიფიკატის მიხედვით

$$u_{\theta} = 0.1 \quad 91$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი N20

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ტემპერატურის გაზომილი მნიშვნელობა	110.1 Ohm	–	–
ძირითადი ცდომილება	–	$u_{\theta}=0.046$	მართკუთხა
ტემპერატურული (დამატებითი) ცდომილება	–	$u_{\varphi} = 0.016$	მართკუთხა
დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_s = 0.0029$	მართკუთხა
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	-	$u_{\theta} = 0.1$	თანაბარი
Y	110.5 Ohm	$u_{\Sigma} = 0.1649$	

კორექცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.046^2 + 0.016^2 + 0.1^2 + 0.0029^2} = 0.1014 \quad 92$$

გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის

$$U = ku_{\Sigma} \quad 93$$

იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი $p = 0,95$ სანდოობის დონისათვის $k = 1,82$ [1]

$$U = ku_{\Sigma} = 1.82 \cdot 0.1014 = 0.185 \quad 94$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება

$$110.5 \pm 0.185 \text{ Ohm} \quad p = 0,95$$

შევაფასოთ ტემპერატურის პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობა

ტემპერატურის კალიბრატორის მიერ აღწარმოებულია 25°C რომელსაც შეესაბამება წინაღობა 109.73 Ohm . მრავალჯერადი გაზომვისას მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში N21. საშუალო მნიშვნელობა 110.67 Ohm .

ცხრილში N21

N	მიწოდებული ტემპერატურა $^{\circ}\text{C}$	მიწოდებული წინაღობა Ohm	გაზომილი წინაღობა Ohm (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 25%-ის მნიშვნელობის დროს (ტემპერატურა)					
1	25	109,73	110.7	0.03000	0.00090
2	25	109,73	110.6	0.07000	0.00490
3	25	109,73	110.8	0.13000	0.01690
4	25	109,73	110.7	0.03000	0.00090
5	25	109,73	110.5	0.17000	0.02890
6	25	109,73	110.6	0.07000	0.00490
7	25	109,73	110.4	0.27000	0.07290
8	25	109,73	110.9	0.23000	0.05290
9	25	109,73	110.7	0.03000	0.00090
10	25	109,73	110.8	0.13000	0.01690
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		109,73	110.67	$ \Sigma =1.16$	$\Sigma=0.201$

განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ ტემპერატურის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

გაზომვის სპეციფიკაციის შედეგა:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს $+30^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს;

- მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.01Ohm ;
- მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,05%.
- მულტიმეტრის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (-10 + 50)°C;

განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - \bar{X}_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot 9} * 0.201^2} = 0.021 \quad 95$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.021 = 0.025 \quad 96$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვაძლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*} \quad 97$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.201}{10}} = 0.142 \quad 98$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{1.16}{10 \cdot 0.142} = 0.8182 \quad 99$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,8182 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

პასპორტის მონაცემების მიხედვით ტემპერატურული ეფექტის გავლენა (გადახრა სტანდარტული ტემპერატურიდან) გაზომვის სიზუსტეზე გამოითვლება

$$\gamma = 0.009 \cdot (110.67 - 109.73) = 0.00846 \quad 100$$

სადაც, 110.67 არის გაზომილი საშუალო მნიშვნელობა,

109.73 არის წინაღობა 20°C კი სტანდარტული ტემპერატურაზე.

აქედან

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0.00846 \cdot 400}{100} = \pm 0.03384 \text{ Ohm} \quad 101$$

ვიპოვოთ პასპორტის მონაცემების მიხედვით ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = 0.03384 \cdot 0.3 = 0.0102 \text{ Ohm} \quad 102$$

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \quad 103$$

ძირითადი ცდომილების სტანდარტული განისაზღვრელობა

$$u_{\Delta} = \frac{\Delta}{\alpha} \quad 104$$

ტემპერატურის გაზომვის ცდომილების განაწილების კანონი ნორმალურია, მრავალჯერადი გაზომვისათვის მოცვის კოეფიციენტი $\alpha=1.68$.

ამის გათვალისწინებით

$$u_{\Delta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.0102}{1.68} = 0.006 \text{ ohm} \quad 105$$

სტანდარტული განუსაზღვრელობა დამატებითი აბსოლუტური ცდომილებისათვის

$$u_{\Delta} = \frac{\Delta_t}{\alpha} = \frac{0.0334}{1.68} = 0.02 \text{ Ohm} \quad 106$$

დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რომელიც ტოლია ანათვლის დისკრეტულობის განაყოფის მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტზე.

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \quad 107$$

მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა დაკალიბრების სერთიფიკატის მიხედვით

$$u_{\Delta} = 0.1 \quad 108$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი N22

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წინაღობის გაზომილი მნიშვნელობა	110.67	-	-
ძირითადი ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრეობა	-	$u_{\rho} = 0.006 \text{ Ohm}$	ნორმალური
დამატებითი ცდომილება	-	$u_{\rho} = 0.020 \text{ Ohm}$	ნორმალური
დისკრეტულობის ცდომილება	-	$u_{\rho} = 0.0029 \text{ Ohm}$	ნორმალური
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	-	$u_{\rho} = 0.1 \text{ Ohm}$	ნორმალური
Y	110.67	$u_{\Sigma} = 0.129 \text{ ohm}$	

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.006^2 + 0.02^2 + 0.1^2 + 0.0029^2} = 0.1022 \text{ Ohm} \quad 109$$

გამოვთვალოთ A და B ტიპის განუსაზღვრელობების ჯამური განუსაზღვრელობა:

$$u_{\Sigma AB} = \sqrt{\sum u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.025^2 + 0.1022^2} = 0.1052 \text{ Ohm} \quad 110$$

გამოვითვალთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის

$$U = ku_{\Sigma} \quad 111$$

იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი $p = 0,95$ სანდოობის დონისათვის $k= 1,82$ [1]

$$U = ku_{\Sigma} = 1.82 \cdot 0.1052 = 0.2 \quad 112$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება

$$110.67 \pm 0.2 \quad p = 0,95$$

3.3 ნავთობსადენის სატუმბ სადგურზე ნავთობის ხარჯის გაზომვა და საზომი საშუალების კალიბრება

3.3.1. ნავთობნაკადის ხარჯის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება და ურთიერთშედარება.

შევაფასოთ ხარჯის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობა.

ხარჯის გაზომვა მიმდინარეობდა მილსადენზე დამონტაჟებული ხარჯზომის საშუალებით ხარჯის უწყვეტ ნაკადის პირობებში. ხარჯზომის გაზომვის დიაპაზონია 0-1600 მ³/სთ, სიზუსტის კლასი 0.5. ხარჯის ერთჯერადი გაზომვისას მიღებულა მნიშვნელობა 585.6 მ³/სთ.

განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ ხარჯის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს +30°C ტემპერატურის დროს;
- შესამოწმებელი ხარჯზომის ათვლის ბიჯია 0.1 მ³/სთ,
- შესამოწმებელი ხარჯზომის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (-18 + 60)°C;
- სანიმუშო ხარჯზომის ათვლის ბიჯი 0.01
- სანიმუშო ხარჯზომის გაზომვის დიაპაზონი 0-2500 მ³/სთ,
- სანიმუშო ხარჯზომის სიზუსტის კლასი 0.1

განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

ხარჯის გაზომვის ცდომილების განაწილების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც მოცვის კოეფიციენტი $\alpha = \sqrt{3}$. ამის გათვალისწინებით

შესამოწმებელი ხარჯზომის ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{ცდომ. შეს. ხარჯ}} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{1.732} = 0.288 \quad 113$$

შესამოწმებელი ხარჯზომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{დისკ. შესამ. ხარჯ}} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{1.732} = 0.0577 \quad 114$$

სანიმუშო ხარჯშომის დისკრეტულობით გამოწვეული

განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{დისკ. სანიმ. ხარჯ}} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{1.732} = 0.00577 \quad 115$$

სანიმუშო ხარჯშომის ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{ცდომ. სანიმ. ხარჯ}} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{1.732} = 0.0577 \quad 116$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 23

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ხარჯი გაზომილი მნიშვნელობა	585.6	–	–
შესამოწმებელი ხარჯშომის ძირითადი ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.288	მართკუთხა
შესამოწმებელი ხარჯშომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.0577	მართკუთხა
სანიმუშო ხარჯშომის ძირითადი ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.00577	მართკუთხა
სანიმუშო ხარჯშომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.0577	მართკუთხა
Y	585.6	0.4098	

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0,288^2 + 0,0577^2 + 0,00577^2 + 0,0577^2} = 0,299 \quad 117$$

გამოვითვალეთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის $k= 1,82$ [1]

$$U = k u_{\Sigma} = 1.82 \cdot 0.299 = 0.5442 \quad 118$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება

$$(585.6 \pm 0.5442) \quad p=0,95$$

შევაფასოთ ხარჯის პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობა.

ხარჯის მრავალჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 24 განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

ცხრილი 24

ცდის ნომერი	მიწოდებული ხარჯი მ ³ /სთ	გაზომილი ხარჯი (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	600	596.55	0.2700	0.0729000
2	600	596.475	0.6300	0.3969000
3	600	595.925	0.1300	0.0169000
4	600	595.325	0.4700	0.2209000
5	600	594.9	0.8700	0.7569000
6	600	594.275	1.5700	2.4649000
7	600	594.325	1.4700	2.1609000
8	600	594.85	0.9700	0.9409000
9	600	597.075	1.2300	1.5129000
10	600	599.475	3.6300	13.1769000
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		595.77	$ \Sigma =11.24$	$\Sigma=21.721$

გაზომვის სპეციფიკაციის შედეგადა:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს $+30^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს;
- შესამოწმებელი ხარჯმომომის ათვლის ბიჯია $0.1 \text{ მ}^3/\text{სთ}$,

- შესამოწმებელი ხარჯზომის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(-18 + 60)^{\circ}\text{C}$;

- სანიმუშო ხარჯზომის ათვლის ბიჯი არის 0.01

- სანიმუშო ხარჯზომის გაზომვის მაქსიმალური დიაპაზონი 0-2500 მ³/სთ,

- სანიმუშო ხარჯზომის სიზუსტის კლასი 0.1

განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:

შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - \bar{X}_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 * 9} 21.721^2} = 0.49 \quad 119$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.49 = 0.5895 \quad 120$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვაძლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*} \quad 121$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{21.721}{10}} = 1.47 \quad 122$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{11.24}{10 * 21.721} = 0.7626 \quad 123$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,782 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1]. რომლისთვისაც მოცვის კოეფიციენტი $\alpha=1.68$ ამის გათვალისწინებით

შესამოწმებელი ხარჯზომის ცდომილებით გამოწვეული

განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{ცდომ. შეს. ხარჯ}} = \frac{0.5}{1.68} = 0.2976 \quad 124$$

შესამოწმებელი ხარჯზომის დისკრეტულობით გამოწვეული
განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{დისკ. შესამ. ხარჯ}} = \frac{0.1}{1.68} = 0.0595 \quad 125$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 25

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ხარჯი გაზომილი მნიშვნელობა	595.77	–	–
შესამოწმებელი ხარჯზომის ძირითადი ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.2976	მართკუთხა
შესამოწმებელი ხარჯზომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.0595	მართკუთხა
სანიმუშო ხარჯზომის ძირითადი ცდომილებით გამოწვეული განუსაზღვრელობა	–	0.00595	მართკუთხა
სანიმუშო ხარჯზომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა		0.0595	მართკუთხა
Y	595.77	0.423	

სანიმუშო ხარჯზომის დისკრეტულობით გამოწვეული განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{დისკ. სანიმ. ხარჯ}} = \frac{0.01}{1.68} = 0.00595 \quad 126$$

სანიმუშო ხარჯშომის ცდომილებით გამოწვეული
განუსაზღვრელობა

$$U_{\text{ცდომ.სანიმ.ხარჯ}} = \frac{0.1}{1.68} = 0.0595 \quad 127$$

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება
მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0,2976^2 + 0,0595^2 + 0,00595^2 + 0,0595^2} = 0,3093 \quad 128$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა
გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0,49^2 + 0,3093^2} = 0.5795 \quad 129$$

გამოვითვალთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული
განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდობის დონისათვის $k= 1,82$ [1]

$$U = k u_{\Sigma} = 1.82 \cdot 0.5795 = 1.055 \quad 130$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება

$$595.77 \pm 1.055$$

თავი 4

სატუმბ საგურებში გაზომვის პროცესის ვირტუალური მოდელირება LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში

4.1. ზოგადი ცნობები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში ვირტუალური მოდელების შექმნის შესახებ, შესაძლებლობები, გამოყენების სფერო

LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეა, რომელსაც ტექნიკური დარგის სპეციალისტები, მკვლევარები და პრაქტიკული საქმიანობით დაკავებული პროფესიონალები იყენებენ მთელ მსოფლიოში გაზომვის, გამოცდის, სამეცნიერო და პრაქტიკული ექსპერიმენტის მართვის ამოცანების სწრაფი გადაწყვეტისათვის. ტრადიციულ ტექსტური პროგრამირების ენებთან შედარებით გრაფიკული პროგრამირების ენა და **LabVIEW**-ს კონცეფცია გვეხმარება ამოცანების უფრო ეფექტური და მოსახერხებელი ფორმით გადაჭრაში. **LabVIEW**-ს საფუძვლად უდევს გრაფიკული პროგრამირების კონცეფცია ბლოკ-დიაგრამაზე ფუნქციონალური ბლოკების მიმდევრობითი შეერთება, რაც GG გრაფიკული პროგრამირების ენის საკვანძო თავისებურებებიდან გამომდინარეობს. კონკრეტულად ინტუიტიურად გასაგები და თვალნათლივი გრაფიკული კოდი, ასევე პროგრამის შესრულებისას მონაცემთა ნაკადის მართვის ვიზუალური მონიტორინგის შესაძლებლობები ადამიანის აზროვნებისთვის უფრო ადვილად აღსაქმნელს ხდის პროცესს ვიდრე პროგრამირების სხვა ენები. მიუხედავად კოდის აბსტრაქციის მაღალი დონისა **LabVIEW**-ში დაწერილი პროგრამები შედარებადია C ტიპის ენებთან მასში ჩაშენებული კოდის კომპილატორის არსებობის გამო.

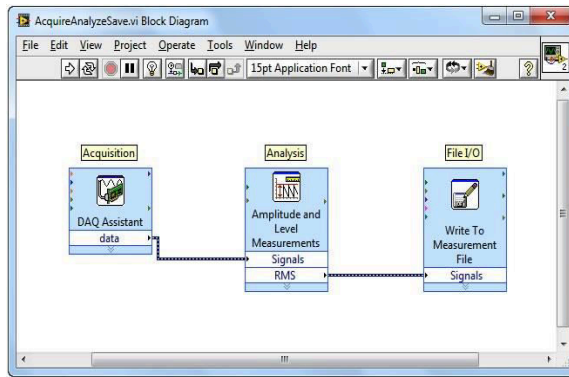
თითქმის 30 წელია ინჟინრები და მკვლევარები National Instrument (NI) ფირმის მიერ შექმნილ და მუდმივად განახლებად პროდუქტს **LabVIEW**-ს, საგამოცდო სტენდების და მართვის სისტემების შექმნისათვის. პროგრამირების შესაძლებლობის გარდა **LabVIEW** მომხმარებელს სთავაზობს ინსტრუმენტებისა და ბიბლიოთეკების ფართო სპექტრს,

გაწყობის ინტერაქტიური ოსტატებიდან და სამომხმარებლო ინტერფეისებიდან ჩაშენებულ კომპილიატორებამდე.

გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან, IBM პატარა ქვეგანყოფილებამ იმდროინდელი სუპერკომპიუტერისათვის IBM 704 შეძლო შეექმნა პროგრამირების ალტერნატიული მეთოდი - პროგრამირების ენა FORTRAN. განსხვავებით იმ დროს არსებული პროგრამირების ენებისაგან იგი უფრო მეტად იყო გამოყენებადი პრაქტიკული მიზნებისათვის, ადამიანის მიერ ადვილად აღიქმებოდა და საშუალებას იძლეოდა პროგრამის დამუშავების პროცესი დაჩქარებულიყო, ამიტომაც მან სწაფად მოიპოვა პოპულარობა.

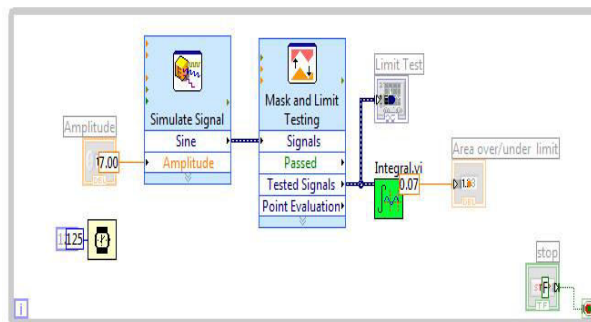
ამოსავალი კოდი **LabVIEW**-სთვის წარმოადგენს ბლოკ-დიაგრამას (გარკვეული წესით ერთმანეთთან შეერთებული ენის ელემენტები - პიქტოგრამები), რომლებიც შემდგომ კომპილირდება, როგორც კოდი. მიუხედავად ასეთი მიდგომისა ამ ენაში გამოიყენება პროგრამირების ისეთივე მეთოდები და კონსტრუქციები როგორც პროგრამირების სხვა ენებში: მონაცემთა ტიპები, ციკლები, მოვლენათა დამუშავება და ობიექტზე ორიენტირებული პროგრამირება.

მეცნიერებისა და ინჟინრებისათვის ჩვეულებრივ უფრო მოსახერხებელია G ენის კოდით მუშაობა, რადგან ამ დროს მონაცემებთან მუშაობა ხორციელდება ვიზუალურად, ამასთან პროცესების მოდელირება ხდება ბლოკ-დიაგრამის საშუალებით, რომელიც ამოცანის გამოყენებით ტერმინოლოგიურ ველში მიმდინარეობს. მაგალითად რამოდენიმე არხიანი ტემპერატურული გარდამსახებიდან მონაცემთა შეგროვების ანალიზისა და შედეგების შენახვის ტიპური პროგრამული რეალიზაცია, რომელიც მოცემულია ნახაზე 17 თვალნათლივ აჩვენებს ოპერაციების შესრულების თანმიმდევრობას.



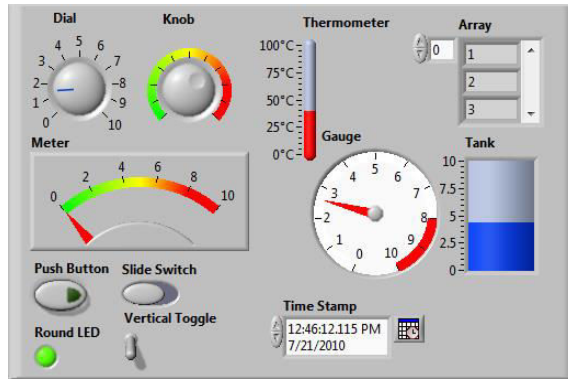
ნახ 17. მონაცემთა შეგროვების, ანალიზისა და შენახვის ოპერაციების თანმიმდევრობა.

რამდენადაც მარტივი გასაგებია პროგრამირების ენის G კონცეფცია, LabVIEW მომხმარებელს სთავაზობს ასევე გასაგებ პროგრამირების ინსტრუმენტებს. მაგალითად, გამართვის უნიკალური ინსტრუმენტები საშუალებას იძლევა თვალსაჩინოდ აისახოს გამტარებში მონაცემთა გავრცელების პროცესი, ასევე აისახოს ეს მონაცემები კოდის კვანძების შესასვლელებსა და გამოსასვლელებზე, ზოგადად საქმე ეხება კოდის შესრულების ანიმაციას, რომელიც ნახ. 18.-ზე შემაერთებული გამტარების მანათობელი წერტილების სახითაა წარმოდგენილი.



ნახ 18. კოდის შესრულების თანმიმდევრობის ანიმაცია

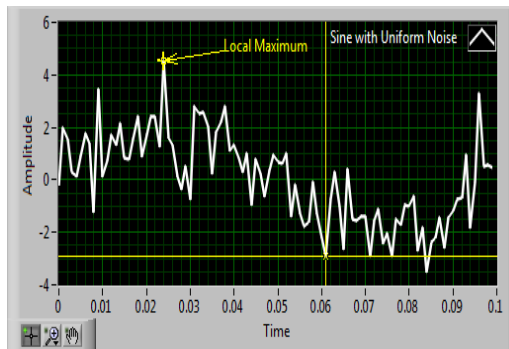
ინტერფეისის სტანდარტული ელემენტების გარდა დამატებითი **LabVIEW** გვთავაზობს საინჟინრო და სამეცნიერო მიზნებისათვის აუცილებელ ინდიკატორებისა და მართვის ელემენტების მდიდარ არჩევანს, მათი გამოყენება საშუალებას იძლევა პროგრამის ინტერფეისი მაქსიმალურად დაემსგავსოს აღჭურვილობის მართვის პანელს, რითაც პროგრამა ხდება უფრო გასაგები და მოხერხებული



ნახ 19. საინჟინრო ამოცანების მართვის სპეციალური ელემენტები და ინდიკატორები

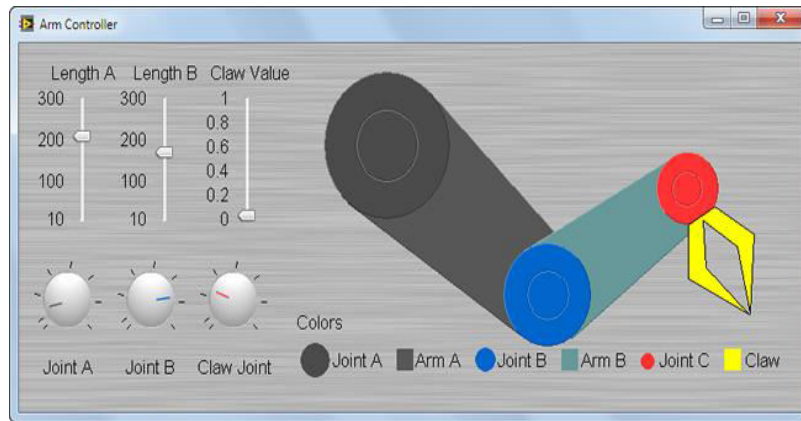
მონაცემების გენერირების, მიღების ან დამაგროვებლიდან წაკითხვის შემდეგ შესაძლებელია მათი ასახვისათვის გრაფიკების ან განშლის გამოყენება. გრაფიკები და განშლა განსხვავდებიან მონაცემების ასახვის ხერხით.

გრაფიკებზე აისახება მონაცემთა ინფორმაციის ყოველი ახალი პორცია, რომელშიც შესაძლებელია ინტერაქტიურად ან პროგრამულად დაამატოთ კურსორი, მონიშნოთ მნიშვნელოვანი უბნები, გააკეთოთ წარწერები და სხვა.



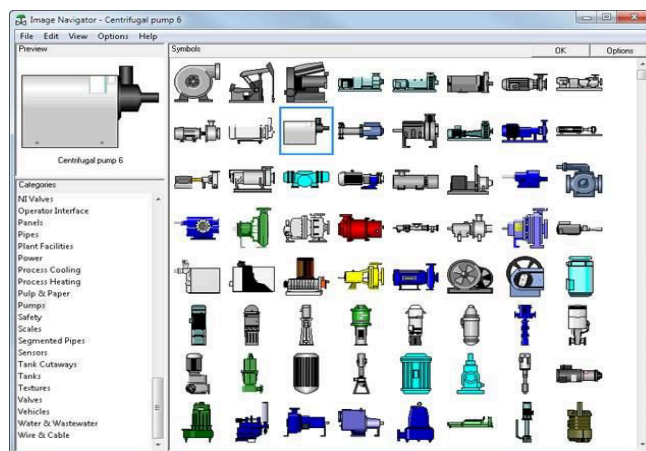
ნახ.20 ოსცილოგრამის გრაფიკი შენიშვნებითა და მაჩვენებლებით (კურსორი)

იმ შემთხვევაში თუ მონაცემთა ასახვისა და შეტანისათვის ინტერფეისი არ შეიცავს შესაბამის ელემენტებს შესაძლებელია გამოყენებული იქნას საკუთარი ნახატი ელემენტები 2D და 3D სარკმელების საფუძველზე. მართვის ეს ელემენტები საშუალებას გვაძლევენ გამოვიყენოთ ხატვის პროგრამული ფუნქციები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი და სასარგებლოა მათი გამოყენება მოწყობილობების მართვისა და გამოცდის პროგრამებში პროცესის ვიზუალიზაციის მიზნით.



ნახ.21. ინტერფეისის ნახატი ელემენტები რობოტის მდგომარეობის ვიზუალიზაციისათვის

LabVIEW-ს მოდული supervisory control and data acquisition მონიტორინგისა და პროცესების მართვისათვის პროგრამების შექმნისათვის გვთავაზობს ობიექტებისა და ელემენტების მდიდარ კოლექციას ისეთი როგორცაა ოპერატორული ინტერფეისები და SCADA სისტემები.



ნახ.22 . LabVIEW-ს მოდული supervisory control and data acquisition გამოსახულებების ბიბლიოთეკის ნავიგატორი

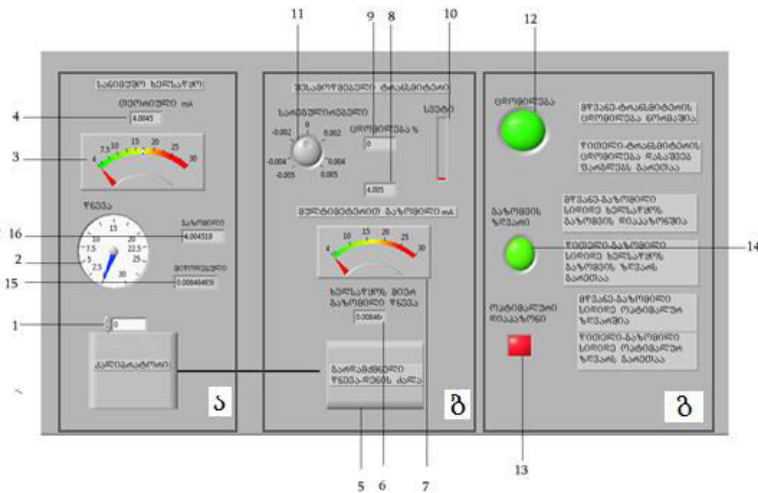
4.2 წნევის გაზომვის ვირტუალური მოდელის შექმნა LabVIEW

სივრცეში

4.2.1. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის

გრაფიკული პროგრამირების ენის LabVIEW გამოყენებით შეიქმნა წნევის გაზომვის ვირტუალური მოდელი ნახაზი 23 და 24 ვირტუალური მოდელი შედგება 2 ნაწილისაგან, პირველი ვირტუალური მოდელის წინა პანელი ნახაზი 23 და ვირტუალური მოდელის ბლოკ დიაგრამა ნახაზი 24

ვირტუალური ინსტრუმენტებით შექმნილი წნევის საზომი ბლოკის სამუშაო მაგიდა დაყოფილია 3 ნაწილად, მარცხენა მხარეს განლაგებულია სანიმუშო ხელსაწყო მონაცემები (ა), შუა ნაწილში შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემებია (ბ), ხოლო მარჯვენა მხარეს კი გაზომვის შედეგების საკონტროლო ე.წ. "განგაშის პანელის" საინდიკაციო ინსტრუმენტები (გ).



ნახ. 23 ვირტუალური მოდელის წინა პანელი

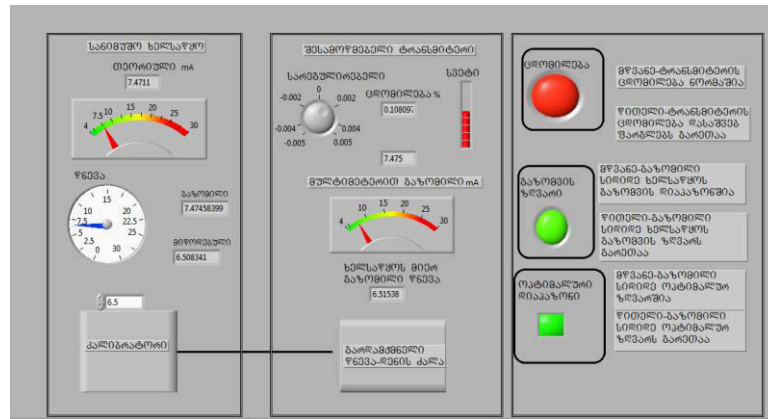
წნევის გაზომვა, ისევე როგორც რეალურ სქემაში, მიმდინარეობდა წნევის კალიბრატორიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის დენის ძალის სიდიდის გაზომვით მილიამპერებში მოდელირებული მულტიმეტრი 8 გამოსასვლელის საშუალებით, რომლითა გაზომვის დიაპაზონი 0-30 mA. მოდელირებული მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,048% ანგარიში მოყვანილია ქვემოთ. რეალური სქემისაგან განსხვავებით წნევის კალიბრატორის როლს ვირტუალურ სქემაში

შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემების პანელზე ტრანსმიტერის მიერ გაზომილი წნევის მნიშვნელობა ციფრულ ფორმაში აისახება ინდიკატორზე (6), რომლის გაზომვის დიაპაზონი ტრანსმიტერის დიაპაზონის ტოლია და შეადგენს 0 - 30 ბარს.

შესამოწმებელი ხელსაწყოს პანელზე ”წნევა - დენის ძალა” გარდამქმნელიდან (5) გამომავალი ელექტრული სიგნალი ერთდროულად აისახება ანალოგური მულტიმეტრის (7) და ციფრული ინდიკაციის ფანჯარაში (8), სადაც მათი მნიშვნელობები ინდიცირდება დანის ძალის სიდიდის ერთეულით mA. გასაზომ სიდიდეთა ციფრულ ფორმაში წარმოდგენა აიოლებს ანათვლის ადების ამოცანას და გამორიცხავს სუბიექტური ფაქტორით განპირობებულ ცდომილებას. გარდამქმნელიდან მიღებული ციფრულ ფორმაში წარმოდგენილი შესამოწმებელი წნევის მნიშვნელობა ტრანსმიტერის ფარდობითი ცდომილების გამოსათვლელად გამოიყენება, რომელიც ინდიცირდება შესამოწმებელი ხელსაწყოს პანელზე „ცდომილება“ (9) და „სვეტი“ (10) ფანჯარაში. იმისათვის რომ ტრანსმიტერის მიერ გაზომილი წნევის მნიშვნელობა განსხვავებული იყოს მიწოდებული სანიმუშო წნევისაგან ვირტუალური მოდელის ბლოკ-დიაგრამაზე არის შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი (17). სადაც ხდება შემთხვევითი რიცხვების გენერირება გარკვეული დროის ინტერვალით (კოეფიციენტი 1000 ტოლია 1 წამის) და ამ რიცხვითი მნიშვნელობის გამრავლება კალიბრატორის მიერ მიწოდებული წნევის მნიშვნელობაზე.

შესამოწმებელი ტრანსმიტერის პანელზე არის სარეგულირიებელი (11), რომლის მობრუნებით საათის ისრის მიმართულებით ან საწინააღმდეგო მხარეს ვახდენთ ტრანსმიტერის დაკალიბრებას თუ მისი ცდომილება აღემატება დასაშვებ ცდომილებას. ტრანსმიტერის ცდომილება აისახება ინდიკატორ „ცდომილება“-ზე (12). როცა ტრანსმიტერის ცდომილება არ აღემატება ნორმატიულ - ტექნიკური დოკუმენტაციით მოცემულ დასაშვებ მნიშვნელობას 0.1% ინდიკატორი (12) არის მწვანე ფერი, ხოლო როცა ცდომილება გადააჭარბებს ამ მნიშვნელობას მაშინ ინდიკატორი (12) არის წითელი ფერი. დასაშვები ცდომილების მნიშვნელობების დიაპაზონის არჩევა ხდება შედარების სქემიდან (13).

ვირტუალური მოდელის წინა პანელის მარჯვენა მხარეს მოთავსებულია განგაშის პანელი. ამ პანელზე განლაგებულია ინდიკატორის 3 ნათურა: ცდომილება (12), გაზომვის ზღვარი (14) და ოპტიმალური დიაპაზონი (13).



ნახ. 25 შესამოწმებელი ხელსაწყოს ცდომილება დასაშვებ ზღვარს გარეთაა.

ნახაზზე 25 ნაჩვენებია მდგომარეობა როცა შესამოწმებელი ხელსაწყოს ცდომილება დასაშვებ ზღვარს გარეთაა.

გაზომვის ზღვარი 14 გვიჩვენებს შესამოწმებელი ტრანსმიტორის გაზომვის ზღვარს (30 ერთეული). „გაზომვის ზღვარ“ ინდიკატორს (14) აქვს ორი ფერი, თუ გაზომილი სიდიდე არ აღემატება ტრანსმიტორის გაზომვის მაქსიმალურ ზღვარს ინდიკატორი არის მწვანე ფერის, ხოლო როცა აღემატება მაშინ კი ინთება წითელი ფერი.

„ოპტიმალურ დიაპაზონის“ ინდიკატორიც (15) ორ ფერიანია. როგორც ცნობილია ნებისმიერი ხელსაწყოს მუშაობის ოპტიმალური დიაპაზონი არის ხელსაწყოს მაქსიმალური დატვირთვის 20%-დან 80%-მდე. თუ გაზომილი მნიშვნელობა ამ დიაპაზონშია მაშინ ინდიკატორი არის მწვანე ფერის, ხოლო თუ ამ დიაპაზონის მიღმა მაშინ ინდიკატორი წითელი ფერისაა. „ოპტიმალურ დიაპაზონის“ მნიშვნელობების დიაპაზონის არჩევა ხდენა შედარების სქემიდან (16).

წნევის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის LabVIEW სივრცეში.

გაზომვის შედეგის შეფასებისა და წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი

ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში +22°C ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (+5+35)°C. ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.001 მა. ჩატარებული ერთჯერადი გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში N26 მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0,001}{2} = \pm 0.0005 \text{ mA} \quad 131$$

ცხრილი N26

მიწოდებული წნევა			კალიბრატორის ცდომილება		მულტიმეტრი		
					მნიშვნელობა	ცდომილება	
კალიბრატორი	თეორიული	გაზომილი	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ		გაზომილი მნიშვნელობა	აბსოლუტური Δ
<i>Ba</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	<i>mA</i>	%	<i>mA</i>	<i>mA</i>	%
7.5087	8.0044	8.012	0.0076	0.0948	8.019	0.0136	0.169

მიწოდებული წნევის თეორიული მნიშვნელობა

$$7.5087 \text{ Ba} \cdot 0,5333 \text{ mA/Ba} + 4 \text{ mA} = 8.0044 \text{ mA} \quad 132$$

კალიბრატორის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{\text{გაზ}} - X_{\text{თეორ}} = 8.012 - 8.0044 = \pm 0.0076 \text{ mA.} \quad 133$$

კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{გაზ}}} 100\% = \frac{0.0076}{8.012} 100\% = 0.0948\% \quad 134$$

მულტიმეტრით გაზომილი წნევის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{\text{გაზ.მ.}} - X_{\text{თეორ}} = 8.019 - 8.0044 = \pm 0.0146 \text{ mA.} \quad 135$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.შ}} 100\% = \frac{0.0146}{8.012} 100\% = 0.182\% \quad 136$$

რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,05%-ის ტოლია, ვირტუალური მოდელისათვის მიღებული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია გამოვითვალოთ კონკრეტული გაზომვის ფარდობითი ცდომილება, რომელიც გამზომი ხელსაწყო სიზუსტის კლასს განსაზღვრავს. მულტიმეტრის ვირტუალური მოდელისათვის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_N} * 100\% = \frac{0.146}{30} * 100\% = 0.048\% \quad 137$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გამზომი მულტიმეტრების ფარდობით ცდომილებებს (სიზუსტის კლასებს) შორის რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასთან შედარებით შეადგენს

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_რ - \gamma_ვ}{\gamma_რ} * 100\% = \frac{0.05 - 0.048}{0.05} * 100 = 3\% \quad 138$$

სადაც:

– γ_0 რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების (სიზუსტის კლასების) ფარდობითი მაჩვენებელია;

– $\gamma_რ$ რეალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილებაა.

– $\gamma_ვ$ ვირტუალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილება.

რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების მიღებული განსხვავება ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადეკვატურობაზე მეტყველებს.

ძირითადი ცდომილების განაწლების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც $\alpha = \sqrt{3}$ ამის გათვალისწინებით კალიბრატორის წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_3 = \frac{\Delta_3}{\alpha} = \frac{0.0076}{1.732} = 0.0044mA \quad 139$$

მულტიმეტრით წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_{\rho} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.0146}{1.732} = 0.0084 \text{ mA.} \quad 140$$

დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის მიიღებს სახეს

$$u_{\gamma} = \frac{\Delta_{\gamma}}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 0,00029 \text{ mA} \quad 141$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი ცხრილი N27

ცხრილი N27

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომილი მნიშვნელობა	8.019 mA	–	–
კალიბრატორის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho}=0.0044 \text{ mA}$	მართკუთხა
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0.0084 \text{ mA}$	მართკუთხა
დისკრეტულობის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\gamma} = 0.00029 \text{ mA}$	მართკუთხა
Y	8.019 mA	$u_{\Sigma} = 0.0136 \text{ mA}$	

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.0044^2 + 0.0084^2 + 0.00029^2} = 0.095 \text{ mA.} \quad 142$$

გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0.95$ სანდობის დონისათვის

$$U = k u_{\Sigma} = 1.68 \cdot 0.0095 = 0.01596 \text{ mA} \quad 143$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ვირტუალური მოდელისათვის ჩაიწერება

$$8.019 \pm 0.01596 \text{ mA}$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_{\rho} - U_{\gamma}}{U_{\rho}} \cdot 100\% = \frac{0.0161 - 0.01596}{0.0161} = 1\% \quad 144$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

წნევის პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის

გაზომვის შედეგის შეფასებისა და წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში $+22^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(+5+35)^{\circ}\text{C}$

ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.001 მა;

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.001}{2} = \pm 0.0005 \text{ mA} \quad 145$$

ცხრილებში N28-ში და N29 მოცემულია შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით მიწოდებული წნევის 8 Ba-ის პირობებში წნევისა და დენის ძალის ერთეულებით გრადუირებული სკალების მონაცემების მიხედვით მისი შესაბამისი დენის ძალის ერთეულებით გრადუირებული მულტიმეტრით გაზომილი დენის ძალის ერთეულების მნიშვნელობებისათვის. აქვე ცხრილში ნაჩვენებია გაზომილი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულისა და მოცემულია გაზომვის შედეგების $x_{iq} - \bar{x}_i$ მნიშვნელობები, ასევე მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

N	მიწოდებული წნევა			კალიბრატორის ცდომილება	
	კალიბრატორით	თეორიული $X_{თეორ}$	გაზომილი $X_{გაზ}$	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი $\delta_{\%}$
	Ba	mA	mA	mA	%
1	7.5018	8.001	7.9929	0.00807	0.1009
2	7.5034	8.0018	7.9937	0.0080	0.1004
3	7.5006	8.0003	7.9922	0.00804	0.1006
4	7.5079	8.0043	7.9961	0.00811	0.1014
5	7.5054	8.0029	7.9945	0.00805	0.1007
6	7.5028	8.0015	7.9934	0.00807	0.1009
7	7.5076	8.0041	7.9960	0.00807	0.1010
8	7.5048	8.0026	7.9945	0.00810	0.1013
9	7.5043	8.0023	7.9942	0.00805	0.1007
10	7.5040	8.0022	7.9941	0.00807	0.1010
საშუალო	7.5043	8.0023	7.9942		

ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.001 მა ;

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.001}{2} = \pm 0.0005 \text{ mA} \quad 146$$

ნავთობსადენში გასაზომი წნევის მნიშვნელობა იმიტირებულია ვირტუალურ ხელსაწყოს წინა პანელზე კალიბრატორის ბლოკში, ხელით დაყენებული წნევის (სიგნალის მუდმივი მდგენელი) ვირტუალური დილაკის საშუალებით. ამ მდგენელს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან გენერირებული შემთხვევითი სიგნალის მდგენელი, რომლის საშუალო კვადრატული გადახრა მაქსიმალურადაა მიახლოებული რეალური პროცესის ანალოგიურ მაჩვენებელთან ამასთან, შემთხვევითი სიგნალების განაწილების კანონს ნორმალური განაწილების სახე აქვს. ასეთი მიდგომა ძირითადი სიგნალის შემთხვევითი პროცესის იმიტაციის

საშუალებას იძლევა რაც მაქსიმალურად შეესაბამება რეალურ პირობებში მიმდინარე მოვლენებს.

ცხრილი N29

მულტიმეტრი			$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომილი x_{iq}	ცდომილება			
	აბსოლუტური Δ_{θ}	ფარდობითი δ_{θ}		
mA	mA	%		
8.014	-0.013	-0.01	0.004	0.0000203
8.015	0.0162	-0.01	0.002	0.0000062
8.021	-0.02	-0.02	0.006	0.0000423
8.019	-0.014	-0.014	0.011	0.0001322
8.013	-0.01	-0.01	0.006	0.0000423
8.017	-0.015	-0.015	0.002	0.0000062
8.018	-0.013	-0.013	0.006	0.0000422
8.015	-0.012	-0.012	0.010	0.0001103
8.016	-0.007	-0.007	0.003	0.0000123
8.01	-0.007	-0.007	0.002	0.0000062
8.015			$\Sigma=0.057$	$\Sigma=0.00042$

მიწოდებული წნევის თეორიული მნიშვნელობა (“სანიმუშო” მნიშვნელობა) მიიღება ვირტუალური ხელსაწყოს წინა პანელზე ამოვლელი მოწყობილობის იმიტატორის გამოყენებით სადაც წნევის ერთეულებში მიწოდებული მნიშვნელობა მრავლდება გადასაყვანი კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე 0.533 mA/Ba . ნამრავლს ემატება 4 ერთეული, რაც დენის ერთეულებით გრადუირებული ხელსაწყოს 0-ის მნიშვნელობას შეესაბამება.

$$7.529 \text{ Ba} * 0.533 \text{ mA/Ba} + 4 = 8.0155 \text{ mA} \quad 147$$

მიღებული შედეგი წარმოადგენს წნევის თეორიულ, მათემატიკური გამოთვლებით მიღებულ მნიშვნელობას და ვირტუალური გაზომვის პროცესისათვის შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სანიმუშო, გენერირებული სიგნალის რეალურ პირობებთან მიახლოების თვალსაზრისით.

კალიბრატორის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{\text{გაზ}} - X_{\text{თეორ}} = 7.994231 - 8.0023 = -0.00807 \text{ mA} \quad 148$$

კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{გაზ}}} * 100\% = \frac{0.00807}{7.994231} * 100\% = -0.10094 \quad 149$$

მულტიმეტრით გაზომილი წნევის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{\text{გაზ.მ}} - X_{\text{თეორ}} = 8.0158 - 8.0023 = \pm 0.0135 \text{ mA.} \quad 150$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{გაზ.მ}}} * 100\% = \frac{0.0135}{8.0152} * 100\% = 0.168\% \quad 151$$

რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0.05%-ის ტოლია, ვირტუალური მოდელისათვის მიღებული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია გამოვითვალოთ კონკრეტული გაზომვის ფარდობითი ცდომილება, რომელიც გამოზომი ხელსაწყო სიზუსტის კლასს განსაზღვრავს. მულტიმეტრის ვირტუალური მოდელისათვის ფარდობითი ცდომილება

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} * 100\% = \frac{0.0135}{30} * 100\% = 0.045\% \quad 152$$

ასეთ შემთხვევაში განსხვავება ფარდობით ცდომილებებს შორის შეადგენს

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_{\text{რ}} - \gamma_{\text{ვ}}}{\gamma_{\text{რ}}} * 100\% = \frac{0,05 - 0,045}{0,05} = 10\% \quad 153$$

ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ როგორც ერთჯერადი გაზომვისას ასევე მრავალჯერადი გაზომვებისას ჩატარებული ცდომილებათა ანალიზი გვიჩვენებს რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების მიღებული განსხვავება, ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადეკვატურობაზე მეტყველებს.

მრავალჯერადი გაზომვების შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10*9} 0.0001265^2} = 0.001185 \quad 154$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 * 0.001185 = 0.00142 \quad 155$$

\bar{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*} \quad 156$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.0001265}{10}} = 0.00355 \quad 157$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{0.0310}{10 \cdot 0.00355} = 0.8715 \quad 158$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(\alpha/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,8715 < d_{\alpha/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

ძირითადი ცდომილების განაწილების კანონი, მრავალჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ ნორმალური განაწილების მქონედ რომლისთვისაც $\alpha=1.65$.

$$u_j = \frac{\Delta_j}{\alpha} = \frac{0.00807}{1.65} = 0.0048 \quad 159$$

მულტიმეტრით წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით:

$$u_{\theta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.0129}{1.65} = 0,0078 \quad 160$$

დისკრეტული ათვის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის მიიღებს სახეს

$$u_s = \frac{\Delta_s}{1.65} = \frac{0,0005}{1.65} = 0,0003 \text{ mA} \quad 161$$

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 30

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომილი მნიშვნელობა	8.0122	–	–
კალიბრატორის ძირითადი ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0,0048 mA$	ნორმალური
მულტიმეტრის ძირითადი ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0,0078 mA$	ნორმალური
დისკრეტულობის განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0,0003 mA$	ნორმალური
Y	8.0122	$u_{\Sigma} = 0,0129 mA$	

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.0048^2 + 0.0078^2 + 0.0003^2} = 0.0092 \quad 162$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0.00142^2 + 0.0092^2} = 0.0093 mA \quad 163$$

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = t_p(v) u_{\Sigma A, B}(P) \quad 164$$

სადაც $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც მიახლოებით [1]

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1,65 \sqrt{1,22} = 1,82. \quad 165$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება

$$U = 1.82 \cdot 0.0093 = 0,0169 mA \quad 166$$

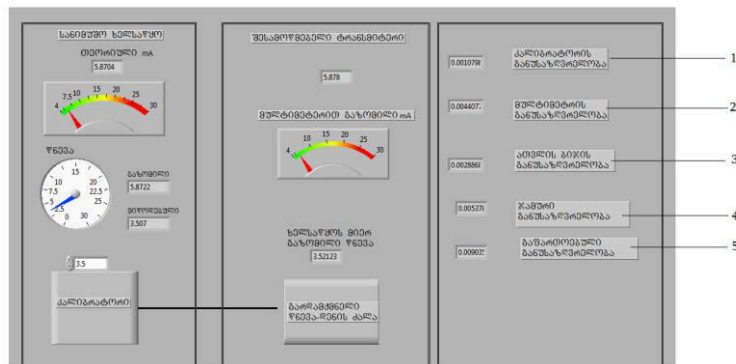
გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$P = 8.0152 \pm 0,0169 mA \text{ სანდოობის დონით } 0.95$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_r - U_g}{U_r} \cdot 100\% = \frac{0.0161 - 0.0169}{0.0161} = 1\% \quad 167$$

წნევის ერთჯერადი და მრავალჯერადი მონაცემების განუსაზღვრელობის გამოთვლის შემდეგ პროგრამა Labview-ში მოვახდინეთ განუსაზღვრელობის გამოთვლის ინტეგრაცია. წნევის ერთჯერადი გაზომვისთვის ინტეგრირებული ვირტუალური მოდელის წინა პანელი წარმოდგენილია ნახაზზე 26



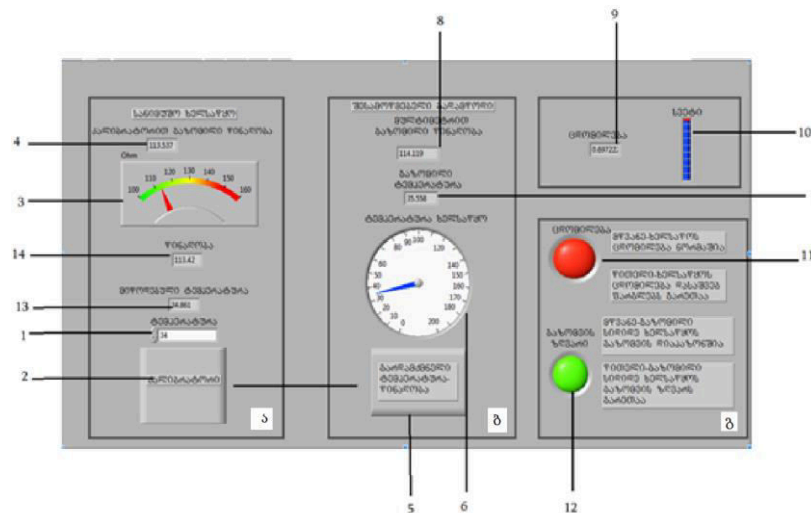
ნახ.26 ვირტუალური მოდელი განუსაზღვრელობის გამოთვლით

სადაც 1 არის კალიბრატორის განუსაზღვრელობა, 2 მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა, 3 მულტიმეტრის ათვის ბიჯის განუსაზღვრელობა, 4ჯამური განუსაზღვრელობა და 5 გაფართოებული განუსაზღვრელობა.

4.3 ტემპერატურის გაზომვის ვირტუალური მოდელი

4.3.1. ტემპერატურის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვების განუსაზღვრელობათა შეფასება გრაფიკული პროგრამირების LabVIEW სივრცეში

განვიხილოთ ტემპერატურის ტრანსმიტერის შემოწმების ვირტუალური მოდელი რომელიც მოცემულია ნახაზებზე 27 და 28. ვირტუალური ინსტრუმენტებით შექმნილი საზომი ბლოკის სამუშაო მაგიდა დაყოფილია 3 ნაწილად, მარცხენა მხარეს განლაგებულია სანიმუშო ხელსაწყოს მონაცემები (ა), შუა ნაწილში შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემები(ბ), ხოლო მარჯვენა მხარეს კი გაზომვის შედეგების საკონტროლო ე.წ. "განგაშის პანელი" საინდიკაციო ინსტრუმენტები(გ).



ნახ. 27 ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრების ვირტუალური მოდელის წინა პანელი.

რეალური სქემისაგან განსხვავებით ტემპერატურის კალიბრატორის როლს ვირტუალურ სქემაში ასრულებს შესასვლელი სიდიდეების ღილაკი 1, სადაც ხდება სასურველი სიდიდის ტემპერატურის მნიშვნელობის არჩევა. შემდეგ მიღებულ სიგნალს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან 15 შემთხვევითი მდგენელი რის შემდეგაც ფორმირებული სიგნალი ხვდება გაზომვის სქემაში და ინდიცირდება ინდიკატორ 14-ზე.

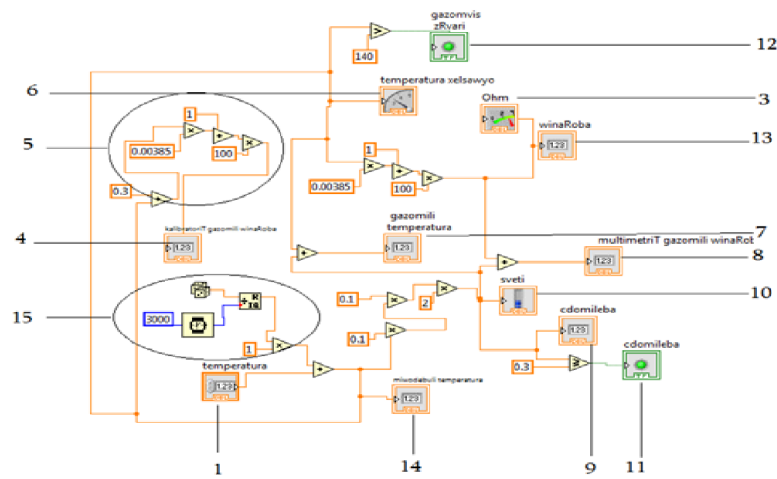
გასაზომი ტემპერატურის მნიშვნელობა იმიტირებულია ვირტუალურ ხელსაწყოს წინა პანელზე კალიბრატორის ბლოკში, ხელით დაყენებული ტემპერატურის (სიგნალის მუდმივი მდგენელი)

ვირტუალური ღილაკის საშუალებით. ამ მდგენელს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან გენერირებული შემთხვევითი სიგნალის მდგენელი, რომლის საშუალო კვადრატული გადახრა მაქსიმალურადაა მიახლოებული რეალური პროცესის ანალოგიურ მაჩვენებელთან ამასთან, შემთხვევითი სიგნალების განაწილების კანონს ნორმალური განაწილების სახე აქვს. ასეთი მიდგომა ძირითადი სიგნალის შემთხვევითი პროცესის იმიტაციის საშუალებას იძლევა რაც მაქსიმალურად შეესაბამება რეალურ პირობებში მიმდინარე მოვლენებს.

მიღებული შედეგი წარმოადგენს წნევის თეორიულ, მათემატიკური გამოთვლებით მიღებულ მნიშვნელობას და ვირტუალური გაზომვის პროცესისათვის შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სანიმუშო, გენერირებული სიგნალის რეალურ პირობებთან მიახლოების თვალსაზრისით.

ტემპერატურის საზომი ბლოკის სანიმუშო ხელსაწყოების პანელზე განლაგებული საინდიკაციო ფანჯარა (1)-დან რეგენირებული ტემპერატურა აისახება ინდიკატორ (2)-ზე როგორც სანიმუშო ტემპერატურა. სანიმუშო ტემპერატურა მიეწოდება გარდამქმნელს „წნევა-დენის ძალა“ (5). ამ გარდამქმნელის მეშვეობით ხორციელდება მიწოდებული წნევის გარდაქმნა ელექტრული დენის წინააღმდეგობის პროპორციულ მნიშვნელობად. ტემპერატურასა და წინააღმდეგობას შორის არის წრფივი დამოკიდებულება. ინდიკატორებზე 3 და 4 აისახება ტემპერატურის პროპორციული წინააღმდეგობა.

სანიმუშო კალიბრატორის 2 მიერ ტემპერატურა გადაეცემა შესამოწმებელ ტრანსმიტერის გარდამქმნელს ”ტემპერატურა-წინააღმდეგობა“ (5). ამ გარდაქმნელში ხდება გადაცემული ტემპერატურის გარდაქმნა წინააღმდეგობაში. გარდამქმნელიდან (5) შემოსული ელექტრული სიგნალი ერთდროულად აისახება ანალოგიური მულტიმეტრისა (6) და ციფრული ინდიკაციის ფანჯარაში (7), სადაც მათი მნიშვნელობები ინდიცირდება წინააღმდეგობის სიდიდის ერთეულით °C. გასაზომ სიდიდეთა ციფრულ ფორმაში წარმოდგენა აიოლებს ანათვლის აღების ამოცანას და გამორიცხავს სუბიექტური ფაქტორით განპირობებულ ცდომილებას. ხოლო ციფრულ ინდიკატორზე 8 აისახება გაზომილი ტემპერატურის შესაბამისი წინააღმდეგობა.



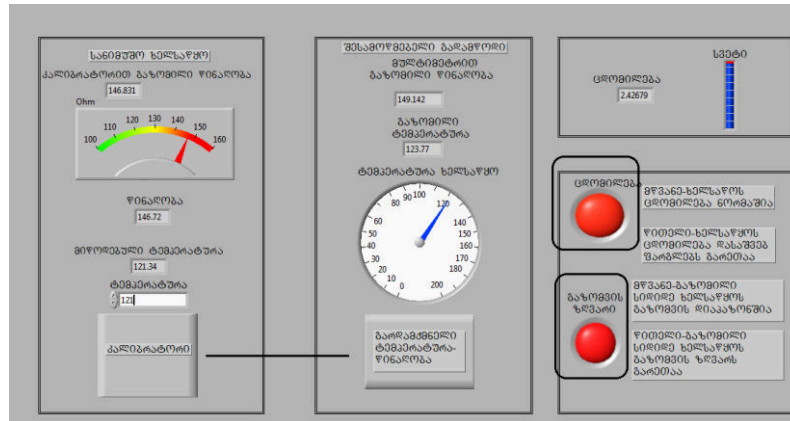
ნახ. 28 ტემპერატურის ტრანსმიტერის დაკალიბრების ვირტუალური მოდელის ბლოკ დიაგრამა.

სანიმუშო ხელსაწყოს პანელზე "ტემპერატურა-წინაღობა" გარდამქმნელიდან მიღებული ციფრულ ფორმაში წარმოდგენილი შესამოწმებელი ტემპერატურის მნიშვნელობა ტრანსმიტერის აბსოლიტურ ცდომილების გამოსათვლელად გამოიყენება, რომელიც ინდიცირდება შესამოწმებელი ხელსაწყოს პანელზე „ცდომილება“ (9) და „სვეტი“ (10) ფანჯარაში.

სამუშაო მაგიდის მარჯვენა მხარეს მოთავსებულია განგაშის პანელი. ამ პანელზე განლაგებულია ინდიკატორის 2 ნათურა: ცდომილება (11) და გაზომვის ზღვარი (12).

ორივე ინდიკატორს გააჩნია 2 ფერი. ინდიკატორ „ცდომილება“-ზე როცა ტრანსმიტერის ცდომილება არ აღემატება ნორმატიულ - ტექნიკური დოკუმენტაციით მოცემულ დასაშვებ მნიშვნელობას 0.3% მაშინ ანთია მწვანე ფერი, ხოლო როცა ცდომილება გადააჭარბებს ამ მნიშვნელობას მაშინ ინთება წითელი ფერი.

„გაზომვის ზღვარ“ ინდიკატორსაც (12) აქვს ორი ფერი, თუ გაზომილი სიდიდე არ აღემატება ტრანსმიტერის გაზომვის მაქსიმალურ ზღვარს ინდიკატორი არის მწვანე ფერის, ხოლო როცა აღემატება მაშინ კი ინთება წითელი ფერი.



ნახ. 29. ტემპერატურის ტრანსმიტერის მოდელი როცა ცდომილება და გასაზომი სიდიდე ზღვარს გარეთაა

ტემპერატურის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის LabVIEW სივრცეში

ტემპერატურის გაზომვა, ისევე როგორც რეალურ სქემაში, მიმდინარეობდა ტემპერატურის კალიბრატორიდან მიღებული ტემპერატურის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის წინალოზის სიდიდის გაზომვით ომებში მოდელირებული მულტიმეტრი 8-ის ციფრული გამოსასვლელების საშუალებით, რომლითა გაზომვის დიაპაზონი 0-400 Ohm-ია. მოდელირებული მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0.0475% ანგარიში მოყვანილია ქვემოთ.

ტემპერატურის ერთჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობა 110.11 Ohm შეესაბამება 26°C ტემპერატურას. (ტემპერატურის წინალოზაზე დამოკიდებულების ცხრილები მოცემულია დანართში 1) გაზომვის შედეგის შეფასებისა და ტემპერატურის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში +22°C ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი

(+5+35)°C. ჩატარებული ერთჯერადი გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 31.

ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0.01 Ohm ;

მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \text{ ohm} \quad 168$$

ცხრილი 31

მიწოდებული ტემპერატურა			კალიბრატორის ცდომილება		მულტიმეტრი		
კალიბრატორიდან	თეორიული	გაზომილი	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ	გაზომილი	ცდომილება	
						აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ
°C	Ohm	Ohm	Ohm	%	Ohm	Ohm	%
25.7	109.92	109.96	0.03	0.027	110.11	0.19	0.173

კალიბრატორის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 109.96 - 109.92 = 0.04 \quad 169$$

კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ}} 100\% = \frac{0.04}{109.96} * 100\% = 0.036\% \quad 170$$

მულტიმეტრით გაზომილი ტემპერატურის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ.მ} - X_{თეორ} = 110.11 - 109.92 = 0.19 \quad 171$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.მ}} 100\% = \frac{0.19}{110.11} * 100\% = 0.172\% \quad 172$$

რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,05%-ის ტოლია, ვირტუალური მოდელისათვის მიღებული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია გამოვითვალოთ კონკრეტული გაზომვის ფარდობითი

ცდომილება, რომელიც გამზომი ხელსაწყოთა სიზუსტის კლასს განსაზღვრავს. მულტიმეტრის ვირტუალური მოდელისათვის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_N} * 100\% = \frac{0.19}{400} * 100\% = 0.0475\% \quad 173$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გამზომი მულტიმეტრების ფარდობით ცდომილებებს (სიზუსტის კლასებს) შორის რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასთან შედარებით შეადგენს

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_{რ} - \gamma_{ვ}}{\gamma_{რ}} * 100\% = \frac{0.05 - 0.0475}{0.05} * 100 = 5\% \quad 174$$

სადაც:

– γ_0 რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების (სიზუსტის კლასების) ფარდობითი მაჩვენებელია;

– $\gamma_{რ}$ რეალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილებაა.

– $\gamma_{ვ}$ ვირტუალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილება.

რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების მიღებული განსხვავება ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადეკვატურობაზე მეტყველებს.

ძირითადი ცდომილების განაწილების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც $\alpha = \sqrt{3}$ ამის გათვალისწინებით კალიბრატორის ტემპერატურის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_j = \frac{A_j}{\alpha} = \frac{0.04}{1.732} = 0.0203 \text{ Ohm} \quad 175$$

მულტიმეტრით ტემპერატურის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_{\theta} = \frac{A_{\theta}}{\alpha} = \frac{0.19}{1.732} = 0.1098 \text{ Ohm} \quad 176$$

დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის მიიღებს სახეს

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ Ohm.}$$

177

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 32

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ტემპერატურის გაზომილი მნიშვნელობა	110.11 Ohm	–	–
კალიბრატორის განუსაზღვრელობა	–	$u_p=0.023$	მართკუთხა
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	–	$u_d = 0.1098$	მართკუთხა
დისკრეტულობის განუსაზღვრელობა	–	$u_s = 0.0029$	მართკუთხა
Y	110.11 Ohm	$u_{\Sigma} = 0.135$	

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.023^2 + 0.1098^2 + 0.0029^2} = 0.112 \quad 178$$

გამოვითვალთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის

$$U = k u_{\Sigma} \quad 179$$

იმის გათვალისწინებით, რომ ერთჯერადი გაზომვის შემთხვევისათვის მოცვის კოეფიციენტის k_s მნიშვნელობა შევირჩიოთ იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი მართკუთხაა, $p = 0,95$ სანდოობის დონისათვის $k = 1,68$

$$U = k u_{\Sigma} = 1.68 \cdot 0.112 = 0.188 \quad 180$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ვირტუალური მოდელისათვის
ჩაიწერება

110.11±0.188

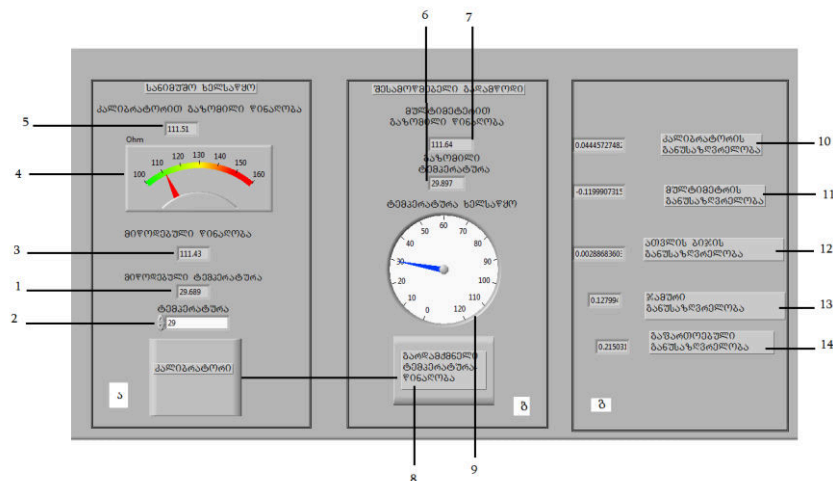
განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გაფართოებულ
განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_r - U_g}{U_r} \cdot 100\% = \frac{0.185 - 0.188}{0.185} = 1.6\% \quad 181$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

განუსაზღვრელობის გამოთვლის შემდეგ პროგრამა Labview-ში მოვახდინეთ განუსაზღვრელობის გამოთვლის ინტეგრაცია. ტემპერატურის ერთჯერადი გაზომვისთვის ინტეგრირებული ვირტუალური მოდელის წინა პანელი წარმოდგენილია ნახაზზე 30.

სადაც 10 არის კალიბრატორის განუსაზღვრელობა, 11 მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა, 12 მულტიმეტრის ათვლის ბიჯის განუსაზღვრელობა, 13ჯამური განუსაზღვრელობა და 14 გაფართოებული განუსაზღვრელობა.



ნახ. 30. ტემპერატურის ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი
განუსაზღვრელობის გამოთვლის ინტეგრაციის შემდეგ.

ტემპერატურის პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის

გაზომვის შედეგის შეფასებისა და ტემპერატურის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

- გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში +22°C ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (+5+35)°C
- ვირტუალური მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი 0,01 Ohm ;
მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_j = \pm \frac{0,01}{2} = \pm 0,005 \text{ ohm} \quad 182$$

ჩატარებული ერთჯერადი გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 33 და 34 მოცემულია შესასვლელი სიდიდის მნიშვნელობები 10 ჯერადი გაზომვის შედეგების მიხედვით მიწოდებული ტემპერატურის 25 °C - ის პირობებში ტემპერატურისა და წინაღობის ერთეულებით გრადუირებული სკალების მონაცემების მიხედვით მისი შესაბამისი წინაღობის ერთეულებით გრადუირებული მულტიმეტრით გაზომილი წინაღობის ერთეულების მნიშვნელობებისათვის. აქვე ცხრილში ნაჩვენებია გაზომილი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულისა და მოცემულია გაზომვის შედეგების $x_{iq} - \bar{x}_i$ მნიშვნელობები, ასევე მათი საშუალო კვადრატული გადახრის მნიშვნელობები.

N	მიწოდებული ტემპერატურა			კალიბრატორის ცდომილება	
	კალიბრატორით	თეორიული $X_{თეორ}$	გაზომილი $X_{გაზ}$	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი $\delta_{\%}$
	Ohm	°C	°C	°C	%
1	25.7	109.92	109.93	-0.010	-0.009
2	25.5	109.85	109.86	-0.013	-0.012
3	25.9	109.8	110.00	-0.208	-0.189
4	25	109.66	109.67	-0.010	-0.009
5	25.7	109.89	109.90	-0.010	-0.009
6	25.5	109.8	109.83	-0.030	-0.027
7	25.7	109.8	109.91	-0.113	-0.103
8	25.8	109.95	109.97	-0.020	-0.018
9	25.7	109.92	109.94	-0.020	-0.018
10	25.6	109.65	109.6	-0.010	-0.009
$X_{საშ}$		109.826	109.87		

კალიბრატორის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 109.87 - 109.826 = \pm 0.044 \text{ Ohm} \quad 183$$

კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ}} * 100\% = \frac{0.044}{109.87} * 100\% = 0.04 \% \quad 184$$

მულტიმეტრით გაზომილი წნევის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ.მ} - X_{თეორ} = 110.013 - 109.826 = \pm 0.187 \quad 185$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.მ}} * 100\% = \frac{0.187}{110.013} * 100\% = 0.169\% \quad 186$$

N	მულტიმეტრი			$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
	გაზომილი x_{iq}	ცდომილება			
		აბსოლიტური Δ_{ϑ}	ფარდობითი δ_{ϑ}		
	°C	°C	%		
1	110.07	-0.153	-0.139	0.036	0.0013
2	110.02	-0.16	-0.141	0.031	0.0009
3	110.03	-0.23	-0.320	0.115	0.013
4	109.88	-0.222	-0.202	0.154	0.023
5	110.04	-0.15	-0.142	0.009	0
6	110.05	-0.25	-0.323	0.119	0.014
7	110.05	-0.25	-0.233	0.019	0.0003
8	110.11	-0.160	-0.145	0.073	0.0054
9	110.08	-0.161	-0.146	0.044	0.0020
10	109.8	-0.150	-0.137	0.236	0.055
$X_{საშ}$	110.13			$\Sigma=0.842$	$\Sigma=0.117$

რეალური მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,05%-ის ტოლია, ვირტუალური მოდელისათვის მიღებული მონაცემების მიხედვით შესაძლებელია გამოვითვალოთ კონკრეტული გაზომვის ფარდობითი ცდომილება, რომელიც გამზომი ხელსაწყო სიზუსტის კლასს განსაზღვრავს. მულტიმეტრის ვირტუალური მოდელისათვის ფარდობითი ცდომილება

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} * 100\% = \frac{0.187}{400} * 100\% = 0.047\% \quad 187$$

ასეთ შემთხვევაში განსხვავება ფარდობით ცდომილებებს შორის შეადგენს

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_{\vartheta} - \gamma_3}{\gamma_{\vartheta}} * 100\% = \frac{0.05 - 0.047}{0.05} = 6\% \quad 188$$

ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ როგორც ერთჯერადი გაზომვისას ასევე მრავალჯერადი გაზომვებისას ჩატარებული ცდომილებათა ანალიზი

გვიჩვენებს რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების მიღებული განსხვავება, ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადეკვატურობაზე მეტყველებს.

მრავალჯერადი გაზომვების შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot 9} * 0.1176^2} = 0.0122 \quad 189$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.0122 = 0.01464 \quad 190$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვაძლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*} \quad 191$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(\sum |x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0.1176}{10}} = 0.1084 \quad 192$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{0.1084}{10 \cdot 0.8426} = 0.7769 \quad 193$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,7769 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1] რომლისთვისაც $\alpha=1.65$.

$$u_{\Delta} = \frac{\Delta_j}{\alpha} = \frac{0.044}{1.65} = 0.02667 \quad 194$$

მულტიმეტრით წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_{\theta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.187}{1.65} = 0.113 \quad 195$$

დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის მიიღებს სახეს

$$u_y = \frac{\Delta_y}{1.65} = \frac{0.005}{1.65} = 0.003 \quad 196$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი ცხრილში 35

ცხრილი 35

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	აღბათობის განაწილების სახე
ტემპერატურის გაზომილი მნიშვნელობა	110.013	-	-
კალიბრატორის განუსაზღვრელობა	-	$u_{\rho} = 0.02667$	ნორმალური
მულტიმეტრის განუსაზღვრელობა	-	$u_{\varphi} = 0.113$	ნორმალური
დისკრეტულობის განუსაზღვრელობა	-	$u_y = 0.003$	ნორმალური
Y	110.013	$u_{\Sigma} = 0.143$	

კორელაცია: არცერთი შესასვლელი სიდიდე არ ხასითდება მნიშვნელოვანი ხარისხით ურთიერთ კორელირებულად.

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.02667^2 + 0.113^2 + 0.003^2} = 0.116 \quad 197$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0.0122^2 + 0.116^2} = 0.117 \quad 198$$

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = t_p(v)u_{\Sigma A, B}(P)$$

სადაც $t_p(v)$ სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი 0,95 ალბათობისა და $v = n - 1$ თავისუფლების რიცხვისათვის, რომელიც მიახლოებით [1]

$$t_p = k \sqrt{1 + \frac{2}{n}} = 1,65 \sqrt{1,22} = 1,82. \quad 199$$

მიღებული მნიშვნელობების გათვალისწინებით პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა იქნება

$$U = 1.82 \cdot 0.117 = 0.212 \quad 200$$

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$P = 110.013 \pm 0.212 \text{ სანდოობის დონით } p=0.95$$

განსხვავება რეალურ და ვირტუალურ გამზომი მულტიმეტრების გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის რეალური მულტიმეტრის განუსაზღვრელობასთან შედარებით შეადგენს

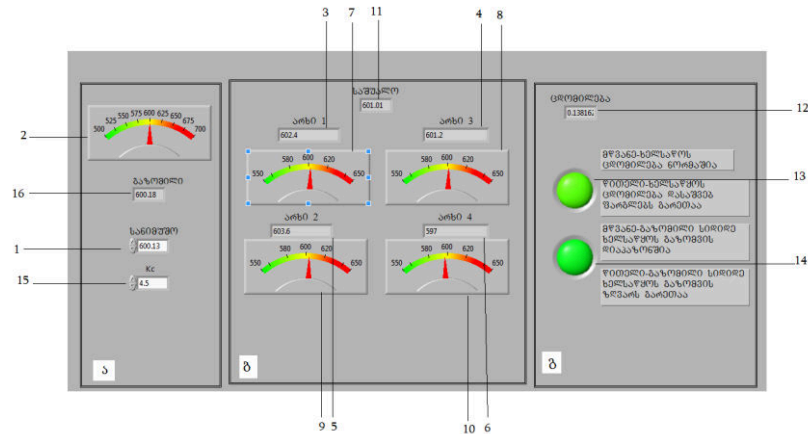
$$U_0 = \frac{U_{\text{რ}} - U_{\text{ვ}}}{U_{\text{რ}}} \cdot 100\% = \frac{0.20 - 0.212}{0.20} * 100\% = 6\% \quad 201$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

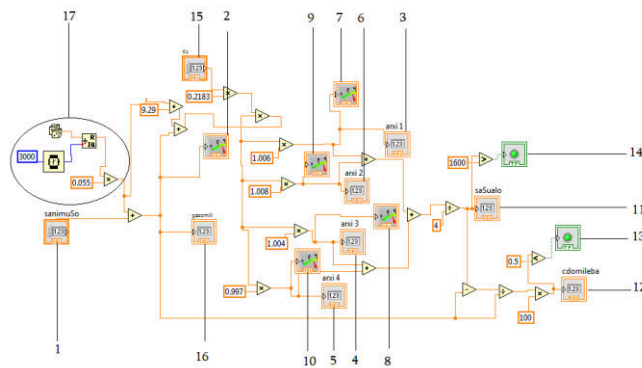
4.4 ნავთობის ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელი

4.4.1. ვირტუალური მოდელის სატუმბ სადგურზე ნავთობის ხარჯის ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობათა შეფასება

მაგისტრალური მილსადენებისათვის LabVIEW სივრცეში შექმნილი ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელის წინა პანელი წარმოდგენილია ნახაზზე 31, ხოლო ნახაზზე 32 მოცემულია მისი ბლოკ_დიაგრამა.



ნახ. 31 ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელის წინა პანელი



ნახ. 32 ხარჯის გაზომვის ვირტუალური მოდელის ბლოკ დიაგრამა

ვირტუალური ინსტრუმენტებით შექმნილი ხარჯის საზომი ბლოკის სამუშაო მაგიდა დაყოფილია 3 ნაწილად, მარცხენა მხარეს განლაგებულია სანიმუშო ხელსაწყო მონაცემები (ა), შუა ნაწილში შესამოწმებელი ტრანსმიტერის მონაცემებია (ბ), ხოლო მარჯვენა მხარეს კი გაზომვის შედეგების საკონტროლო ე.წ. ”განგაშის პანელის” საინდიკაციო ინსტრუმენტები (გ). რეალური სქემისაგან განსხვავებით სანიმუშო ხარჯზომის როლს ვირტუალურ სქემაში ასრულებს შესასვლელი სიდიდეების ლილაკი 1, სადაც ხდება სასურველი სიდიდის ხარჯის

მნიშვნელობის არჩევა. შემდეგ მიღებულ სიგნალს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან 17 შემთხვევითი მდგენელი და სიგნალი ხვდება გაზომვის სქემაში ინდიკატორზე 16.

ამის შემდეგ სიგნალს ემატება დაკალიბრების კოეფიციენტი 15 და ფორმირებული ხარჯის მნიშვნელობა მიეწოდება ხარჯზომის ოთხ დამოუკიდებელ არხს სადაც თითოეული არხის მიერ გაზომილი მნიშვნელობა აისახება ინდიკატორებზე 3, 4, 5 და 7. ამ სიგნალების გრაფიკული გამოსახულებაა აისახება ინდიკატორებზე 7, 8, 9 და 10. დამოუკიდებელი არხების ინდიკატორების 3,4,5 და 6-ის გავლის შემდეგ ხდება გაზომილი სიგნალის საშუალო არითმეტიკულის გამოთვლა და ასახვა ინდიკატორზე 11.

დიაგრამის მარცხენა მხარეს კი არის ინდიკატორი ცდომილება 12, თუ ხელსაწყოს ცდომილება არ აღემატება 0.5 პროცენტს, მაშინ ინდიკატორზე 13 ანთია მწვანე ფერი, ხოლო თუ აღემატება დასაშვებ სიდიდეს აინთება წითელი ფერი. „გაზომვის ზღვარ“ ინდიკატორსაც 14 აქვს ორი ფერი, თუ გაზომილი სიდიდე არ აღემატება ტრანსმიტერის გაზომვის მაქსიმალურ ზღვარს (1600) ინდიკატორი არის მწვანე ფერის, ხოლო როცა აღემატება მაშინ კი ინთება წითელი ფერი.

ხარჯის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის

ერთჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობა 600.6მ^3 . გაზომვის შედეგის შეფასებისა და ხარჯის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში $+22^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(+5+35)^{\circ}\text{C}$. განვსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობა.

გაზომვის სპეციფიკაციის შედეგა:

- შესამოწმებელი ხარჯშომის ათვლის ბიჯია 0.1 მ³/სთ,
- სანიმუშო ხარჯშომის ათვლის ბიჯი არის 0.01
- სანიმუშო ხარჯშომის გაზომვის მაქსიმალური დიაპაზონი 0-1600 მ³/სთ,

ერთჯერადი გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 36.

ცხრილი 36

სანიმუშო ხარჯშომი				შესამოწმებელი ხარჯშომი		
თეორული	გაზომილი	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ	გაზომილი მნიშვნელობა	ცდომილება	
					აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ
მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	%	მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	%
600.03	600.09	0.06	0.0099	600.6	0.57	0.094

სანიმუშო ხარჯშომის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \quad 202$$

შესამოწმებელი ხარჯშომის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.1}{2} = \pm 0.05 \quad 203$$

სანიმუშო ხარჯშომის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 600.09 - 600.03 = 0.06 \quad 204$$

სანიმუშო ხარჯშომის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ}} 100\% = \frac{0.06}{600.09} * 100\% = 0.0099\% \quad 205$$

მულტიმეტრით გაზომილი ტემპერატურის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ.მ} - X_{თეორ} = 600.6 - 600.03 = 0.57 \quad 206$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.მ}} 100\% = \frac{0.57}{600.6} * 100\% = 0.094\% \quad 207$$

ძირითადი ცდომილების განაწლების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც $\alpha=\sqrt{3}$.

$$u_b = \frac{\Delta_j}{\alpha} = \frac{0.06}{1.732} = 0.034 \quad 208$$

შესამოწმებელი ხარჯზომის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_{\theta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.57}{1.732} = 0.329 \quad 209$$

შესამოწმებელი ხარჯზომის დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა

$$u_{\theta d} = \frac{\Delta_{\theta}}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.0288 \quad 210$$

სანიმუშო ხარჯზომის დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა

$$u_{b d} = \frac{\Delta_b}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.00288 \quad 211$$

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.034^2 + 0.329^2 + 0.0288^2 + 0.00288^2} = 0.33 \quad 212$$

გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p=0,95$ სანდოობის დონისათვის

$$U = k u_{\Sigma} \quad 213$$

იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი მართკუთხაა, $p = 0,95$ სანდოობის დონისათვის $k= 1,68$

$$U = k u_{\Sigma} = 1.68 \cdot 0.33 = 0.558 \quad 214$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ვირტუალური მოდელისათვის ჩაიწერება

$$600.6 \pm 0.558$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 37

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ხარჯის გაზომილი მნიშვნელობა	600.6 მ ³ /სთ	–	–
სანიმუშო ხარჯმზომის ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\sigma}=0.034$	მართკუთხა
შესამოწმებელი ხარჯმზომის ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\omega} = 0.329$	მართკუთხა
შესამოწმებელი ხარჯმზომის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_{\sigma\omega} = 0.0288$	მართკუთხა
სანიმუშო ხარჯმზომის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_{\omega} = 0.00288$	
Y	600.6 მ ³ /სთ	$u_{\Sigma} = 0.3955$	

განსხვავება რეალური და ვირტუალური ხარჯმზომების გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_6 - U_3}{U_6} \cdot 100\% = \frac{0.5442 - 0.558}{0.5442} = 2.5\% \quad 215$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

ხარჯის პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელისათვის

გაზომვის შედეგის შეფასებისა და ხარჯის გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებისათვის რეალურ პირობებში შედგენილი ალგორითმის მიხედვით შევადგინოთ გაზომვის სპეციფიკაცია ვირტუალური მოდელისათვის.

ხარჯის მრავალჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 38

N	სანიმუშო ხარჯშობი				შესამოწმებელი ხარჯშობი		
	თეორიული	გაზომილი	აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ	გაზომილი მნიშვნელობა	ცდომილება	
						აბსოლუტური Δ	ფარდობითი δ
	მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	%	მ ³ /სთ,	მ ³ /სთ,	%
1	600.02	600.06	-0.040	-0.007	601.18	-1.155	-0.192
2	600.02	600.05	-0.030	-0.005	600.98	-0.955	-0.159
3	600.02	600.02	0.000	0.000	599.58	0.445	0.074
4	600.02	600.03	-0.010	-0.002	601.40	-1.380	-0.229
5	600.02	600.06	-0.040	-0.007	602.20	-2.180	-0.362
6	600.02	600.02	0.000	0.000	598.33	1.695	0.283
7	600.02	600.05	-0.030	-0.005	602.38	-2.355	-0.391
8	600.02	600.04	-0.020	-0.003	599.15	0.870	0.145
9	600.02	600.03	-0.010	-0.002	600.25	-0.230	-0.038
10	600.02	600.04	-0.020	-0.003	598.88	1.145	0.191
საშუალო	600.02	600.04			600.43		

გაზომვა მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ პირობებში +22°C ტემპერატურის გარემოში რაც განუსაზღვრელობის დამატებითი მდგენელის წარმოშობის წყაროდ არ შეიძლება ჩაითვალოს, რადგან კომპიუტერის რეკომენდირებული გარემო მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი (+5+35)°C

გაზომვის სპეციფიკაციის შედგენა:

- შესამოწმებელი ხარჯშობის ათვლის ბიჯია 0.1 მ³/სთ,
- სანიმუშო ხარჯშობის ათვლის ბიჯი არის 0.01
- სანიმუშო ხარჯშობის გაზომვის მაქსიმალური დიაპაზონი 0-2500 მ³/სთ,

მრავალჯერადი გაზომვების შესასვლელი სიდიდის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება:

$$u_{\Sigma A}(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i-1)} \sum_{q=1}^{n_i} (X_{iq} - X_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{10*9} 18^2} = 0.44 \quad 216$$

შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინებით გაზომვათა მცირე რაოდენობისათვის, რომელიც 10 გაზომვის შემთხვევაში 1,2 ტოლია გვექნება

$$u_A(x_i) = 1,2 \cdot 0.44 = 0.54 \quad 217$$

\tilde{d} კრიტერიუმის მიხედვით დაკვირვებათა შედეგების განაწილების ნორმალურობის შემოწმება გვადლევს [1]

$$\tilde{d} = \frac{|x_{iq} - \bar{x}_i|}{n \cdot S^*} \quad 218$$

სადაც

$$S^* = \sqrt{\frac{(|x_{iq} - \bar{x}_i|)^2}{n}} = \sqrt{\frac{18}{10}} = 1.34 \quad 219$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \frac{1.34}{10 \cdot 18} = 0.89 \quad 220$$

რაც მოთავსებულია \tilde{d} კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 გაზომვისათვის $d_{1-(q/2)} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,89 < d_{q/2} = 0,903$ ე.ი. საქმე გვაქვს გაზომილი სიდიდეების ნორმალური განაწილების კანონთან [1].

სანიმუშო ხარჯმზომის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.01}{2} = \pm 0.005 \quad 221$$

შესამოწმებელი ხარჯმზომის ათვლის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_s = \pm \frac{0.1}{2} = \pm 0.05 \quad 222$$

განუსაზღვროთ გაზომვის შედეგი და შევაფასოთ ხარჯის გაზომვის განუსაზღვრელობა. სანიმუშო ხარჯმზომის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 600.04 - 600.02 = 0.02 \quad 223$$

სანიმუშო ხარჯმზომის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ}} 100\% = \frac{0.02}{600.04} * 100\% = 0.0033\% \quad 224$$

შესამოწმებელი ხარჯმზომის აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = X_{გაზ.დ} - X_{თეორ} = 600.43 - 600.02 = 0.41 \quad 225$$

მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{გაზ.შ}} 100\% = \frac{0.41}{600.43} * 100\% = 0.068\% \quad 226$$

ძირითადი ცდომილების განაწლების კანონი, ერთჯერადი გაზომვისათვის, მივიღოთ მართკუთხა განაწილების მქონედ, რომლისთვისაც $\alpha = \sqrt{3}$.

$$u_b = \frac{\Delta_j}{\alpha} = \frac{0.02}{1.65} = 0.01212 \quad 227$$

შესამოწმებელი ხარჯშომის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_{\vartheta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0.41}{1.65} = 0.248 \quad 228$$

შესამოწმებელი ხარჯშომის დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მიიღებს სახეს

$$u_{\vartheta d} = \frac{\Delta_{\vartheta}}{1.65} = \frac{0.05}{1.65} = 0.03 \quad 229$$

სანიმუშო ხარჯშომის დისკრეტული ათვლის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა მიიღებს სახეს

$$u_{b d} = \frac{\Delta_b}{1.65} = \frac{0.005}{1.65} = 0.003 \quad 230$$

გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_{\Sigma B} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0.01212^2 + 0.248^2 + 0.03^2 + 0.003^2} = 0.25 \quad 231$$

A და B ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება

$$u_{\Sigma A, B} = \sqrt{u_{\Sigma A}^2 + u_{\Sigma B}^2} = \sqrt{0.53^2 + 0.25^2} = 0.58 \quad 232$$

წნევის მრავალჯერადი გაზომვის გაფართოებული განუსაზღვრელობა

$$U = 1.82 \cdot 0.58 = 1.06 \quad 233$$

განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

ცხრილი 39

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
ხარჯის გაზომილი მნიშვნელობა	600.6 მ ³ /სთ	–	–
სანიმუშო ხარჯზომის ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0.01212$	ნორმალური
შესამოწმებელი ხარჯზომის ცდომილების განუსაზღვრელობა	–	$u_{\rho} = 0.248$	ნორმალური
შესამოწმებელი ხარჯზომის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_{\rho} = 0.03$	ნორმალური
სანიმუშო ხარჯზომის დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_{\rho} = 0.003$	ნორმალური
Y	600.6 მ ³ /სთ	$u_{\Sigma} = 0.2939$	

გაზომვის შედეგი ჩაიწერება შემდეგი სახით

600.43±1.06 P სანდოობის დონით **0.95**

განსხვავება რეალური და ვირტუალური ხარჯზომების გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს შორის შეადგენს

$$U_0 = \frac{U_6 - U_3}{U_6} \cdot 100\% = \frac{1.055 - 1.06}{1.055} = 1\% \quad 234$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

თავი 5

ცდომილებათა ანალიზი და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება ვირტუალური მოდელის ადექვატურობის გამოსაკვლევად

5.1 რეალური ობიექტის სადგურთაშორისი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით

5.1.1 წნევის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით

მილსადენში მიმდინარე პროცესებისა და საზომი აღჭურვილობის მახასიათებლებს შორის სხვაობის გამო მილსადენის ტრასაზე განლაგებულ სხვადასხვა სადგურების გაზომვებს შორის შედეგების გაბნევის სიდიდე შესაძლებელია იყოს მუდმივი ან იცვლებოდეს გარკვეული კანონზომიერებით. გაბნევის მახასიათებლის არსებითობა მილსადენში არსებული გარკვეული უწესრიგობის მაჩვენებელი შეიძლება იყოს, ამდენად სადგურებს შორის მონაცემთა ერთგვაროვნება ტრანსპორტირების სისტემის ხარისხისა და საიმედოობის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია. რეალურ პირობებში ჩატარებული კონტროლის ოპერაციის შედეგების გაბნევის სიდიდის მუდმივობას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მონაცემთა შედეგების სანდოობის შეფასებისათვის. შესაბამისად ვირტუალური მოდელისათვის გაზომვის შედეგების გაბნევის მახასიათებლის განსაზღვრა და მისი შესატყვისობა რეალურ პირობებში მიღებულ გაბნევის მახასიათებელთან მიუთითებს მოდელის ადექვატურობაზე.

გაბნევის მახასიათებლის შეფასებისათვის, ჩვეულებრივ ახდენენ საწყის და საბოლოო გაზომვის ჯგუფების დისპერსიების შედარებას. ითვლება, რომ თუ მათ შორის განსხვავება შემთხვევითი ხასიათს ატარებს, მაშინ სადგურთაშორის გაზომვათა შედეგების გაბნევის სიდიდე მუდმივია ე.ი. გაზომვის განუსაზღვრელობა არ იცვლება. თუ გაზომვათა შედეგებს შორის განსხვავებას შემთხვევითი ხასიათი არ გააჩნია, კეთდება დასკვნა

შემთხვევითი შეცდომის სიდიდის ცვლილების შესახებ რაიმე ფუნქციონალური დამოკიდებულების მიხედვით.

ამოცანის გადაწყვეტისთვის გამოიყენება ფიშერის კრიტერიუმი [1], რომლის რეალიზაციის ამოცანა ქვემოთ მოყვანილი სახით ჩამოყალიბდება:

ვთქვათ რომელიმე პარამეტრის გაზომვის შედეგების მოცულობა, საწყისი სადგურის მონაცემების მიხედვით, შეადგენს n_1 და საკონტროლო პარამეტრის მნიშვნელობებია $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$; ბოლო სადგურის მონაცემებისათვის n_2 -ს საკონტროლო პარამეტრის მნიშვნელობებით $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$. მიღებული მონაცემების მიხედვით განსაზღვრავენ ამორჩეული მნიშვნელობების კონტროლის შედეგების დისპერსიას.

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \quad 235$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 \quad 236$$

სადაც $\bar{x}_1 = (x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n_1})/n_1$ და $\bar{x}_2 = (x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n_2})/n_2$.

დისპერსიების განსაზღვრის შემდეგ პოულობენ ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობას

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad 237$$

რომელსაც ადარებენ ფიშერის კრიტერიუმის ზედა (F_Φ) და (F_j) ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობებს. ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა შეირჩევა ფიშერის ცხრილიდან ხოლო ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობა

$$F_j = \frac{1}{F_\Phi} \quad 238$$

თუ საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j \leq F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \leq F_\Phi$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

გამოვითვალთ რეალური მილსადენის (ბაქო-თბილისი-სუფსა) ერთ-ერთი საკონტროლო პარამეტრის, წნევის ათჯერადი გაზომვის შედეგები წნევის ტრანსმიტერის 100% დატვირთვის პირობებში საწყის XI და საბოლოო II სადგურებზე. გაზომვის მონაცემები სადგურებზე მოცემულია ცხრილში 40 (საწყისი XI) და ცხრილში 41 (საბოლოო II). ორივე

შემთხვევაში წნევის ერთეულებით გაზომილი მნიშვნელობა 30kPa-ს შეადგენდა, რომლის ექვივალენტური მნიშვნელობები (ტრანსმიტერის ჩვენების მიხედვით) დენის ძალის ერთეულებში mA მოცემულია ცხრილებში.

ცხრილი 40

№	მიწოდებული წნევა, kPa დენის ძალის გაზომილი მნიშვნელობა, mA (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$	
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს (წნევა 30kPa)				
1	30 kPa	20,003	-0,0013	$0,169 \cdot 10^{-5}$
2		20,004	0,0023	$0,53 \cdot 10^{-5}$
3		20,008	0,0063	$3,96 \cdot 10^{-5}$
4		19,997	-0,0047	$2,21 \cdot 10^{-5}$
5		19,995	-0,0067	$4,49 \cdot 10^{-5}$
6		19,998	-0,0037	$1,37 \cdot 10^{-5}$
7		20,005	0,0033	$1,09 \cdot 10^{-5}$
8		19,997	-0,0047	$2,21 \cdot 10^{-5}$
9		20,007	0,0053	$2,81 \cdot 10^{-5}$
10		20,003	-0,0013	$0,169 \cdot 10^{-5}$
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		20,0017		$\sum 19,008 \cdot 10^{-5}$

განვსაზღვროთ ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა

$$S_1^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 19,008 \cdot 10^{-5} = 2,111 \cdot 10^{-5} \quad 239$$

$$S_2^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 17,559 \cdot 10^{-5} = 1,95 \cdot 10^{-5} \quad 240$$

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{2,111 \cdot 10^{-5}}{1,95 \cdot 10^{-5}} = 1,08 \quad 241$$

მიღებული შედეგი შევადაროთ ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით [1], ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის

$$F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 1/3,1 = 0.322. \quad 242$$

№	მიწოდებული წნევა, kPa დენის ძალის გაზომილი მნიშვნელობა, $mA (x_{iq})$	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$	
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს (წნევა 30kPa)				
1	30 kPa	20,005	0,0037	$1,36 \cdot 10^{-5}$
2		19,997	-0,0043	$1,84 \cdot 10^{-5}$
3		20,006	-0,0047	$2,2 \cdot 10^{-5}$
4		20,003	0,0017	$0,28 \cdot 10^{-5}$
5		19,995	-0,0063	$3,96 \cdot 10^{-5}$
6		19,998	-0,0033	$1,08 \cdot 10^{-5}$
7		20,002	0,0007	$0,049 \cdot 10^{-5}$
8		20,004	0,0027	$0,73 \cdot 10^{-5}$
9		20,007	0,0057	$3,25 \cdot 10^{-5}$
10		19,996	-0,0053	$2,81 \cdot 10^{-5}$
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არიტმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		20,0013		$\Sigma 17,559 \cdot 10^{-5}$

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,322 \leq F = 1,08 \leq F_b = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან (დისპერსიებს შორის განსხვავება შემთხვევით ხასიათს ატარებს) ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

ვირტუალური მოდელის ადექვატუობის დასადგენად ასევე შევადარეთ ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული ათჯერადი გაზომვის შედეგების დისპერსია რეალურ სადგურთაშორის დისპერსიასთან.

ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული წნევის ათჯერადი გაზომვის შედეგები წნევის, მაქსიმალური 100%-იანი დატვირთვის მნიშვნელობისათვის მოცემულია ცხრილი 42-ის საშუალებით.

	მიწოდებული წნევა, kPa დენის ძალის გაზომილი მნიშვნელობა, $mA (x_{iq})$	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს (წნევა $30kPa$)			
1	30 kPa	20,007	0,0037
2		20,000	-0,0033
3		20,004	0,0007
4		20,009	0,0057
5		19,997	-0,0063
6		19,992	-0,0113
7		20,007	0,0037
8		20,009	0,0057
9		20,01	0,0067
10		19,998	0,0053
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		20,0033	$\Sigma 34,409 \cdot 10^{-5}$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ვირტუალური და რეალური მოდელების დისპერსიებისათვის გვაძლევს

$$S_{virt}^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 34,409 \cdot 10^{-5} = 3,82 \cdot 10^{-5} \quad 243$$

$$F = \frac{S_{virt}^2}{S_{real}^2} = \frac{34,409 \cdot 10^{-5}}{19,008 \cdot 10^{-5}} = 1,81 \quad 244$$

ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით, ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის

$$F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 0,322 \quad 245$$

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,322 \leq F = 1,81 \leq F_{\phi} = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რაც ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობაზე მიუთითებს.

5.1.2 ტემპერატურის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით

გამოვითვალოთ რეალური მილსადენის (ბაქო-თბილისი-სუფსა) ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის შედეგების დისპერსიები ტრანსმიტერის 100% დატვირთვის პირობებში საწყის XXI და საბოლოო II სადგურებზე. გაზომვის მონაცემები სადგურებზე მოცემულია ცხრილში 43 (საწყისი XXI) და ცხრილში 44 (საბოლოო II). ორივე შემთხვევაში ტემპერატურის გაზომილი მნიშვნელობა 100°C შეადგენდა, რომლის ექვივალენტური მნიშვნელობები წინალობის ერთეულებში Ohm მოცემულია ცხრილებში.

ცხრილი 43

№	მიწოდებული ტემპერატურა წინალობის გაზომილი მნიშვნელობა, Ohm (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$	
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს				
1	100°C	138	0.64	
2		138.4	0.24	
3		138.7	0.06	
4		139.1	0.46	
5		138.6	0.04	
6		138.7	0.06	
7		138.4	0.24	
8		138.3	0.34	
9		138.5	0.14	
10		139.7	1.06	
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		138.64	$\Sigma 3.28$	$\Sigma 2.004$

$$S_1^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 0.2.004 = 0.222 \quad 246$$

$$S_2^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 1.08 = 0.1199 \quad 247$$

განვსაზღვროთ ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობას

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = 0.222 / 0.1199 = 1.85 \quad 248$$

მიღებული შედეგი შევადაროთ ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული

მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით [1], ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის

$$F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 1/3.1 = 0.322 \quad 249$$

ცხრილი 44

№	მიწოდებული ტემპერატურა წინალობის გაზომილი მნიშვნელობა, Ohm (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს			
1	100°C	138.8	0.40
2		138.4	0.00
3		138.6	0.20
4		138.3	0.10
5		138.5	0.10
6		138.6	0.20
7		138.4	0.00
8		138.4	0.00
9		138.5	0.10
10		137.5	0.90
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		138.4	$\Sigma 2$
			$\Sigma 1.08$

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0.322 \leq F = 1.85 \leq F_{\phi} = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

ვირტუალური მოდელის ადექვატუობის დასადგენად ასევე შევადაროთ ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული ათჯერადი გაზომვის შედეგების დისპერსია რეალურ სადგურთაშორის დისპერსიასთან.

ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის შედეგები მაქსიმალური 100%-იანი დატვირთვის მნიშვნელობისათვის მოცემულია ცხრილიში 45.

$$S_{virt}^2 = \frac{1}{n_{virt} - 1} \sum_{i=1}^{n_i} (x_{virt} - \bar{x}_1)^2 \quad 250$$

$$S_{virt}^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 0.862 = 0.09577 \quad 251$$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ვირტუალური და რეალური მოდელების დისპერსიებისათვის გვაძლევს

$$F = S_{virt}^2 / S_{real}^2 = 0.09577 / 0.222 = 0.43 \quad 252$$

ცხრილი 45

№	მიწოდებული ტემპერატურა წინაღობის გაზომილი მნიშვნელობა, <i>Ohm</i> (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
გაზომვები მაქსიმალური დიაპაზონის 100% მნიშვნელობის დროს			
1	100°C	138.73	0.3060
2		138.96	0.5360
3		138.6	0.1760
4		138.12	0.3040
5		138.57	0.1460
6		138.24	0.1840
7		138.1	0.3240
8		138.25	0.1740
9		138.06	0.3640
10		138.61	0.1860
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		138.42	$\Sigma 2.7$
			$\Sigma 0.862$

ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით, ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის $F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 0,322$. 253

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,322 \leq F = 0.43 \leq F_{\phi} = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რაც ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობაზე მიუთითებს.

5.1.3 ხარჯის მრავალჯერადი გაზომვების რამოდენიმე ჯგუფის მონაცემების არსებითობის შემოწმება დისპერსიების შედარების გზით გამოვითვალოთ რეალური მილსადენის (ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი) ერთ-ერთი საკონტროლო პარამეტრის, ხარჯის ათჯერადი გაზომვის შედეგების დისპერსიები მაგისტრალის 600 მ³/სთ დატვირთვის პირობებში საწყის XXI და საბოლოო II სადგურებზე, გაზომვის მონაცემები სადგურებზე მოცემულია ცხრილში 46 (საწყისი XI) და ცხრილში 47 (საბოლოო II).

ცხრილი 46

№	ხარჯი მ ³ /სთ (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	600 მ ³ /სთ	596.55	1.2882250
2		596.4	0.9702250
3		595.92	0.2550250
4		595.32	0.0090250
5		594.9	0.2652250
6		594.27	1.3110250
7		594.32	1.1990250
8		594.85	0.3192250
9		596.07	0.4290250
10		595.55	0.0182250
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		595.62	$\Sigma 6.83$
			$\Sigma 6.06$

ცხრილი 47

№	ხარჯი მ ³ /სთ (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$
1	600 მ ³ /სთ	595.9	0.0561690
2		595.2	0.2143690
3		596.22	0.3102490
4		595.1	0.3169690
5		595.32	0.1176490
6		595.45	0.0453690
7		595	0.4395690
8		596.17	0.2570490
9		596.35	0.4719690
10		595.92	0.0660490
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობა \bar{x}_i		595.66	$\Sigma 4.49$
			$\Sigma 2.295$

$$S_1^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 6.06 = 0.67$$

$$S_2^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 2.295 = 0.255 \quad 255$$

განვსაზღვროთ ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობას

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = 0.67 / 0.255 = 2.64 \quad 256$$

მიღებული შედეგი შევადაროთ ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით [1], ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის

$$F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 1 / 3.1 = 0.322 \quad 257$$

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0.322 \leq F = 2.64 \leq F_{\phi} = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

ვირტუალური მოდელის ადექვატუობის დასადგენად ასევე შევადაროთ ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული ათჯერადი გაზომვის შედეგების დისპერსია რეალურ სადგურთაშორის დისპერსიასთან.

ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული ხარჯის ათჯერადი გაზომვის შედეგები მოცემულია ცხრილი 48-ის საშუალებით.

$$S_{virt}^2 = \frac{1}{n_{virt} - 1} \sum_{i=1}^{n_i} (x_{virt} - \bar{x}_1)^2 \quad 258$$

$$S_{virt}^2 = \frac{1}{10 - 1} \cdot 13.3 = 1.44 \quad 259$$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა ვირტუალური და რეალური მოდელების დისპერსიებისათვის გვაძლევს

$$F = \frac{S_{virt}^2}{S_{real}^2} = 1.44 / 0.67 = 2.15 \quad 260$$

ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკული საზღვრების მნიშვნელობას, რომელიც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა ფიშერის ცხრილის მიხედვით, ჩვენი შემთხვევისათვის შეადგენს $F_{\phi} = 3,1$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის $F_j = \frac{1}{F_{\phi}} = 0,322$ 261

№	ხარჯი მ ³ /სთ (x_{iq})	$ x_{iq} - \bar{x}_i $	$(x_{iq} - \bar{x}_i)^2$	
1	601.175	0.7450	0.5550250	
2	600.975	0.5450	0.2970250	
3	599.575	0.8550	0.7310250	
4	601.4	0.9700	0.9409000	
5	601.2	0.7700	0.5929000	
6	598.325	2.1050	4.4310250	
7	602.375	1.9450	3.7830250	
8	599.15	1.2800	1.6384000	
9	600.25	0.1800	0.0324000	
10	599.875	0.5550	0.3080250	
შესასვლელი სიდიდის საშუალო არითმეტიკლის მნიშვნელობა \bar{x}_i		600.43	9.95	$\Sigma 13.3$

მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ მნიშვნელობას შორის $F_j = 0,322 \leq F = 2.15 \leq F_{\phi} = 3,1$ ითვლება, რომ ამ ორი ჯგუფის დისპერსია არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან (დისპერსიებს შორის განსხვავება შემთხვევით ხასიათს ატარებს) ე.ი გაზომვის შედეგები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რაც ხარჯის ათჯერადი გაზომვების შემთხვევაშიც ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობაზე მიუთითებს.

5.2 სადგურთაშორის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება

5.2.1 სადგურთაშორის წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება

გაზომვის შედეგების ადეკვატურობის შემოწმებისა და მონაცემთა გაერთიანების მიზნით მათი მყისიერი გაზნევის სიდიდის მუდმივობის შეფასებასთან ერთად მნიშვნელოვანია მიღებული შედეგების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება. გაზომვის შედეგების რამოდენიმე ჯგუფის არსებობის შემთხვევაში ამ მიზნით შემოთავაზებულია ფიშერის კრიტერიუმის გამოყენება [1].

პრაქტიკული გამოთვლის ალგორითმს, როდესაც გაზომვის შედეგების L ჯგუფის მონაცემები წარმოდგენილია ანალიზურად, შემდეგი სახე ექნება:

1. $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{1n_1},$
2. $Y_{21}, Y_{22}, \dots, Y_{2n_2},$
-
- $L.$ $Y_{L1}, Y_{L2}, \dots, Y_{Ln_L}.$

ფიშერის კრიტერიუმით შედარების მეთოდის თანახმად დასაწყისში უნდა გამოვითვალოთ თითოეული ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულები: $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_L,$ შემდეგ ერთობლივი საშუალო

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L n_i \bar{y}_i, \quad 262$$

სადაც N გაზომვების საერთო რაოდენობაა ყველა ჯგუფში

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_L.$$

შემდეგ გამოითვლება ჯგუფთაშორისი დისპერსია $S_{\Sigma L}^2.$

$$S_{\Sigma L}^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=1}^L n_i (\bar{Y}_i - \bar{y})^2 \quad 263$$

და ჯგუფების შიგნით დისპერსიების გასაშუალებელი მნიშვნელობა \bar{S}_{nL}^2

$$\bar{S}_{nL}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad 264$$

ბოლოს განისაზღვრება ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა

$$F = \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2} \quad 265$$

მიღებული სიდიდე შეედარება ფიშერის კრიტერიუმის შესაბამის კრიტიკულ მნიშვნელობებს, სადაც ზედა კრიტიკული მნიშვნელობა F_{α} შეირჩევა ფიშერის ცხრილის $L - 1$ სვეტისა და $N - L$ სტრიქონის გადაკვეთაზე. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობა $F_j = \frac{1}{F_{\alpha}}$. თუ საანგარიშო მნიშვნელობა აღმოჩნდა ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობებს შორის

$$F_j \leq \frac{S_{\Sigma L}^2}{S_{nL}^2} \leq F_{\alpha} \quad 266$$

ვთვლით, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარსებითია და შესაძლებელია გაზომვის მონაცემების გაერთიანება მონაცემთა დამუშავების მისაღები ალგორითმების საშუალებით.

აღწერილი ალგორითმის დახმარებით მოვაახდინოთ სადგურთაშორის წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება.

გაზომვის მონაცემები მიღებული გვაქვს ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენის ხუთი სხვადასხვა სადგურის წნევის ათჯერადი გაზომვის ჩვენებების მიხედვით (ცხრილი 49), მაგისტრალის ნავთობის ნაკადით 100% დატვირთვის შემთხვევისათვის.

ცხრილი 49

№	ათჯერადი გაზომვის მონაცემები ტრანსმიტერის ჩვენების მიხედვით (mA)									
	11	20,005	19,993	20,006	19,995	20,007	20,008	20,007	19,985	20,007
13	19,986	20,004	19,986	19,987	19,987	20,002	19,989	20,004	19,986	19,988
15	20,001	20	19,987	20,002	20,002	20,001	20,002	20,003	19,98	20,001
1	20,01	20,008	20,009	20,011	20,012	20,011	20,007	20,008	20,009	20,005
2	20,004	20,005	19,985	20,008	20,006	20,007	19,987	20,004	20,005	20,003

ცხრილში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით მოცემული გვაქვს დაკვირვებათა 5 ჯგუფი ($L=5$), თითოეულ ჯგუფში დაკვირვებათა შედეგების რაოდენობა $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = 10$.

პირველ ეტაპზე გამოვითვალოთ სადგურებზე გაზომვის შედეგების საშუალო არითმეტიკულები

$$\bar{Y}_{11} = 20,0019;$$

$$\bar{Y}_{13} = 19,9919$$

$$\bar{Y}_{15} = 19,9981$$

$$\bar{Y}_1 = 20,009$$

$$\bar{Y}_2 = 20,0014$$

დაკვირვებათა საერთო რაოდენობის $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = 50$ გათვალისწინებით ერთობლივი საშუალო მნიშვნელობისათვის 262 მიხედვით გვექნება:

$$\begin{aligned}\bar{Y} &= \frac{1}{50}(10 \cdot 20,0019 + 10 \cdot 19,9919 + 10 \cdot 19,9981 + 10 \cdot 20,009 + 10 \cdot 20,0014) \\ &= 20,00046\end{aligned}$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით გამოვითვალოთ 263 ფორმულის მიხედვით ჯგუფთაშორისი დისპერსია

$$\begin{aligned}S_{\Sigma L}^2 &= \frac{1}{5-1}[10 \cdot (20,0019 - 20,00046)^2 + 10(19,9919 - 20,00046)^2 \\ &\quad + 10(19,9981 - 20,00046)^2 + (20,009 - 20,00046)^2 \\ &\quad + (20,0014 - 20,00046)^2] = 1,54 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

ჯგუფების შიგნით დისპერსიების გასაშუალებული მნიშვნელობა გამოითვლება 264 მიხედვით

$$\begin{aligned}\bar{S}_{nL}^2 &= \frac{1}{50-5}\{[(20,005 - 20,0019)^2 + (19,993 - 20,019)^2 + (20,006 - \\ &20,019)^2 + (19,995 - 20,019)^2 + (20,007 - 20,019)^2 + (20,00 - \\ &20,019)^2 + (20,007 - 20,019)^2 + (19,985 - 20,019)^2 + (20,007 - \\ &20,019)^2 + (20,006 - 20,019)^2] + [(19,986 - 19,9919)^2 + ((20,004 - \\ &19,9919))^2 + ((19,986 - 19,9919))^2 + ((19,987 - 19,9919))^2 + ((19,987 - \\ &19,9919))^2 + ((20,002 - 19,9919))^2 + ((19,989 - 19,9919))^2 + ((20,004 - \\ &19,9919))^2 + ((19,986 - 19,9919))^2 + ((19,988 - 19,9919))^2] + [(20,001 - \\ &19,9981)^2 + (20 - 19,9981)^2 + (19,987 - 19,9981)^2 + (20,002 - 19,9981)^2 + \\ &(20,002 - 19,9981)^2 + (20,001 - 19,9981)^2 + (20,002 - 19,9981)^2 + \\ &(20,003 - 19,9981)^2 + (19,98 - 19,9981)^2 + (20,001 - 19,9981)^2] + \\ &[(20,01 - 20,009)^2 + (20,008 - 20,009)^2 + (20,009 - 20,009)^2 + (20,011 - \\ &20,009)^2 + (20,012 - 20,009)^2 + (20,011 - 20,009)^2 + (20,007 - 20,009)^2 + \\ &(20,008 - 20,009)^2 + (20,009 - 20,009)^2 + (20,005 - 20,009)^2] + \\ &[(20,004 - 20,0014)^2 + (20,005 - 20,0014)^2 + (19,985 - 20,0014)^2 + \\ &(20,008 - 20,0014)^2 + (20,006 - 20,0014)^2 + (20,007 - 20,0014)^2 +\end{aligned}$$

$$(19,987 - 20,0014)^2 + (20,004 - 20,0014)^2 + (20,005 - 20,0014)^2 + (20,003 - 20,0014)^2 \} = 0,0004017.$$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა განისაზღვრება 265 ფორმულით

$$F = \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2} = \frac{1,54 \cdot 10^{-4}}{4,017 \cdot 10^{-4}} = 0,3834$$

ფიშერის კრიტერიუმის ზედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის მეოთხე სვეტისა და 45 სტრიქონის გადაკვეთაზე გვაძლევს $F_{\phi} = 2,86$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობა $F_j = 1/F_{\phi} = 0,349$.

რადგან $F_j = 0,349 \leq 0,3834 \leq F_{\phi} = 2,86$ ითვლება, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარესებითია.

5.2.2 სადგურთაშორის ტემპერატურის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება

გაზომვის მონაცემები მიღებული გვაქვს ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენის ხუთი სხვადასხვა სადგურის ტემპერატურის ათჯერადი გაზომვის ჩვენებების მიხედვით (ცხრილი 50)

ცხრილი 50

№	ათჯერადი გაზომვის მონაცემები ტრანსმიტერის ჩვენების მიხედვით (ohm)									
	11	138	138.4	138.7	139.1	138.6	138.7	138.4	138.3	138.5
13	138	139.2	138.8	138.6	138.8	138.4	138.5	138.3	138.2	139.4
15	138.8	138.6	138.8	138.3	138.4	137.8	138.6	138.4	138.5	137.6
1	138.5	138.3	138.6	138.3	138.6	138.6	138.7	138.5	138.2	140.7
2	138.8	138.4	138.6	138.3	138.5	138.6	138.4	138.4	138.5	137.5

ცხრილში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით მოცემული გვაქვს დაკვირვებათა 5 ჯგუფი ($L=5$), თითოეულ ჯგუფში დაკვირვებათა შედეგების რაოდენობა $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = 10$.

პირველ ეტაპზე გამოვითვალთ სადგურებზე გაზომვის შედეგების საშუალო არითმეტიკულები

$$\bar{Y}_{11} = 138.64;$$

$$\bar{Y}_{13} = 138.62$$

$$\bar{Y}_{15} = 138.38$$

$$\bar{Y}_1 = 138.7$$

$$\bar{Y}_2 = 138.4$$

დაკვირვებათა საერთო რაოდენობის $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = 50$ გათვალისწინებით ერთობლივი საშუალო მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$\bar{Y} = \frac{1}{50} (10 \cdot 138.64 + 10 \cdot 138.62 + 10 \cdot 138.38 + 10 \cdot 138.7 + 10 \cdot 138.4)$$

$$= 138.548$$

267

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით გამოვითვალთ ჯგუფთაშორისი დისპერსია

$$S_{\Sigma L}^2 = 0.2172$$

268

ჯგუფების შიგნით დისპერსიების გასაშუალებული მნიშვნელობა:

$$\bar{S}_{nL}^2 = 0.1215 \quad 269$$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა

$$F = \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2} = \frac{0.2172}{0.1215} = 1.78 \quad 270$$

ფიშერის კრიტერიუმის ზედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის მეოთხე სვეტისა და 45 სტრიქონის გადაკვეთაზე გვამღევს $F_{\phi} = 2,86$.

ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობა $F_j = 1/F_{\phi} = 0,349$.

რადგან $F_j = 0,349 \leq 1.78 \leq F_{\phi} = 2,86$ ითვლება, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარესებითია.

5.2.3 სადგურთაშორის ხარჯის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შემოწმება

გაზომვის მონაცემები მიღებული გვაქვს ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის მილსადენის ხუთი სხვადასხვა სადგურის ხარჯის ათჯერადი გაზომვის ჩვენებების მიხედვით (ცხრილი 51)

ცხრილი 51

№	ათჯერადი გაზომვის მონაცემები ტრანსმიტერის ჩვენების მიხედვით (მ ³ /სთ)									
	11	596.55	596.4	595.92	595.3	594.9	594.27	594.3	594.8	596.07
13	596.5	596.5	595.85	595.1	595.73	595.8	595.3	595.2	594.8	596.5
15	596.15	595.2	595.12	595.9	596.37	596.5	595.5	594.3	593.17	596.15
1	595.9	595.9	594.55	594.7	593.67	595.05	598.1	599.4	599.35	595.95
2	595.9	595.2	596.22	595.1	595.32	595.45	595	596.1	596.35	595.92

ცხრილში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით მოცემული გვაქვს დაკვირვებათა 5 ჯგუფი ($L=5$), თითოეულ ჯგუფში დაკვირვებათა შედეგების რაოდენობა $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = 10$.

პირველ ეტაპზე გამოვითვალოთ სადგურებზე გაზომვის შედეგების საშუალო არითმეტიკულები

$$\bar{Y}_{11} = 595.41$$

$$\bar{Y}_{13} = 595.61$$

$$\bar{Y}_{15} = 594.82$$

$$\bar{Y}_1 = 595.74$$

$$\bar{Y}_2 = 595.29$$

დაკვირვებათა საერთო რაოდენობის $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 = 50$ გათვალისწინებით ერთობლივი საშუალო მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \frac{1}{50} (10 \cdot 595.41 + 10 \cdot 595.61 + 10 \cdot 594.82 + 10 \cdot 595.74 + 10 \cdot 595.29) \\ &= 595.47 \end{aligned} \quad 271$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით გამოვითვალოთ ჯგუფთაშორისი დისპერსია

$$S_{\Sigma L}^2 = 1.85 \quad 272$$

ჯგუფების შიგნით დისპერსიების გასაშუალებელი მნიშვნელობა

$$\bar{S}_{nL}^2 = 1.14 \quad 273$$

ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა

$$F = \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2} = \frac{1.85}{1.14} = 1.61 \quad 274$$

ფიშერის კრიტერიუმის ზედა კრიტიკული მნიშვნელობისათვის მეოთხე სვეტისა და 45 სტრიქონის გადაკვეთაზე გვამღევს $F_{\Phi} = 2,86$. ქვედა კრიტიკული მნიშვნელობა $F_j = 1/F_{\Phi} = 0,349$.

რადგან $F_j = 0,349 \leq 1.61 \leq F_{\Phi} = 2,86$ ითვლება, რომ განსახილველი ჯგუფების საშუალო არითმეტიკულების განსხვავება არაარესებითია.

5.3 სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

5.3.1 სადგურთაშორის წნევის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე ჯგუფის გაერთიანება

გაზომვის შედეგების ჯგუფების დისპერსიების ერთგვაროვნების, აგრეთვე საშუალო არითმეტიკულების განსხვავების არსებობის შესაბამისი კრიტერიუმებით დადგენის შემდეგ შესაძლებელია გადავიდეთ დაკვირვებათა შედეგების გაერთიანებაზე.

დაკვირვებათა შედეგების გაერთიანების მახასიათებლები ე.წ. გაერთიანებული მახასიათებლები, ერთობლივი საშუალო \bar{Y} და ერთობლივი საშუალოს დისპერსია $S_{\bar{Y}}^2$ როდესაც ჯგუფების დისპერსიები ერთგვაროვანია, ხოლო საშუალო არითმეტიკულები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^L n_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^L n_i} \quad 275$$

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{N(N-1)} \left[\sum_{i=1}^L (n_i - 1) S_i^2 + \sum_{i=1}^L n_i (\bar{y}_i - \bar{Y})^2 \right] \quad 276$$

სადაც N დაკვირვებათა საერთო რაოდენობაა ყველა ჯგუფში ე.ი.

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_L \quad 277$$

n_i – პარალელურ გაზომვათა რაოდენობა i –ურ ჯგუფში;

\bar{y}_i – რომელიმე i –ური ჯგუფის საშუალო არითმეტიკული;

S_i^2 – რომელიმე i –ური ჯგუფის დისპერსია;

\bar{Y} – ერთობლივი საშუალო.

წინა პარაგრაფში გამოანგარიშებული გაზომვის მონაცემების ხუთი ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულებისა და დისპერსიების მონაცემების მიხედვით (ცხრილი 52). ფორმულების 275 და 276 დახმარებით შესაძლებელია გამოვიანგარიშოთ პარალელურ გაზომვათა ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისა და ერთობლივი საშუალოს დისპერსიის მნიშვნელობები.

	დისპერსია	საშუალო არიტმეტიკული
საწყისი სადგური	$S_{საწყ}^2 = 2.11 \cdot 10^{-5}$	$\bar{y}_{საწყ} = 20,0017$
საბოლოო სადგური	$S_{საბ}^2 = 1.95 \cdot 10^{-5}$	$\bar{y}_{საბ} = 20,0013$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{10 \cdot 20,0017 + 10 \cdot 20,0013}{20} = 20,0015 \quad 278$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$\begin{aligned} S_{\bar{\bar{Y}}}^2 &= \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 2.11 \cdot 10^{-5} + (10-1) \cdot 1.95 \cdot 10^{-5} + 10 \cdot \\ &\cdot (20,0017 - 20,0015)^2 + 10 \cdot (20,0013 - 20,0015)^2] = \\ &= 9.62 \cdot 10^{-7} \quad 279 \end{aligned}$$

როგორც ვხედავთ ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობის დასაბუთებისათვის მოვახდნოთ მათი მონაცემების გაერთიანება.

278 და 279 მიღებული შედეგით და წინა პარაგრაფის ვირტუალური მოდელისთვის წნევის გაზომვის გაზომვის მახასიათებლები მიხედვით:

$$\bar{y}_{virt} = 20,0033 \quad \bar{\bar{Y}} = 20,0033 \quad S_{\bar{\bar{Y}}}^2 = 9 \cdot 10^{-7}$$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{\bar{Y}} = \frac{10 \cdot 20,0033 + 10 \cdot 20,0015}{20} = 20,0024 \quad 280$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$\begin{aligned} S_{\bar{\bar{Y}}}^2 &= \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 9.67 \cdot 10^{-7} + (10-1) \cdot 9 \cdot 10^{-7} + 10 \\ &\cdot (20,0033 - 20,0024)^2 + 10 \cdot (20,0015 - 20,0024)^2] \\ &= 8.7 \cdot 10^{-8} \quad 281 \end{aligned}$$

5.3.2 სადგურთაშორის ტემპერატურის გაზომვის მონაცემთა

რამოდენიმე ჯგუფის გაერთიანება

წინა პარაგრაფში გამოანგარიშებული გაზომვის მონაცემების ხუთი ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულებისა და დისპერსიების მონაცემების მიხედვით (ცხრილი 53). ფორმულების 275 და 276 დახმარებით შესაძლებელია გამოვიანგარიშოთ პარალელურ გაზოვათა ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისა და ერთობლივი საშუალოს დისპერსიის მნიშვნელობები.

ტემპერატურის გაზომვის გაბნევის მახასიათებლები

ცხრილი 53

	დისპერსია	საშუალო არითმეტიკული
საწყისი სადგური	$S_{საწ}^2 = 0.222$	$\bar{y}_{საწ} = 138.64$
საბოლოო სადგური	$S_{საბ}^2 = 0.1199$	$\bar{y}_{საბ} = 138.4$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 138.4 + 10 \cdot 138.64}{20} = 138.52 \quad 282$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 0.222 + (10-1) \cdot 0.1199 + 10 \cdot (138.4 - 138.52)^2 + 10 \cdot (138.64 - 138.52)^2] = 0.00885 \quad 283$$

როგორც ვხედავთ ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობის დასაბუთებისათვის მოვახდნოთ მათი მონაცემების გაერთიანება.

282 და 283 მიღებული შედეგით და წინა პარაგრაფის ვირტუალური მოდელისთვის წნევის გაზომვის გაბნევის მახასიათებლები მიხედვით:

$$\bar{y}_{virt} = 138.42 \quad \bar{Y} = 138.42 \quad S_{\bar{Y}}^2 = 0.02$$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 138.52 + 10 \cdot 138.42}{20} = 138.47 \quad 284$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 0.00885 + (10-1) \cdot 0.02 + 10 \cdot (138.47 - 138.52)^2 + 10 \cdot (138.47 - 138.42)^2] = 0.0015 \quad 285$$

ტემპერატურის დაკვირვებათა შედეგების ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

5.3.3 სადღურთაშორის ხარჯის გაზომვის მონაცემთა რამოდენიმე
ჯგუფის გაერთიანება

წინა პარაგრაფში გამოანგარიშებული გაზომვის მონაცემების ხუთი ჯგუფის საშუალო არითმეტიკულებისა და დისპერსიების მონაცემების მიხედვით (ცხრილი 54). ფორმულების 275 და 276 დახმარებით შესაძლებელია გამოვიანგარიშოთ პარალელურ გაზოვათა ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისა და ერთობლივი საშუალოს დისპერსიის მნიშვნელობები.

ხარჯის გაზომვის გაზნევის მახასიათებლები

ცხრილი 54

	დისპერსია	საშუალო არითმეტიკული
საწყისი სადღური	$S_{საწ}^2 = 0.67$	$\bar{y}_{საწ} = 595.61$
საბოლოო სადღური	$S_{საბ}^2 = 0.255$	$\bar{y}_{საბ} = 595.66$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 595.61 + 10 \cdot 595.66}{20} = 595.63 \quad 286$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$S_Y^2 = \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 0.67 + (10-1) \cdot 0.255 + 10 \cdot (595.61 - 595.63)^2 + 10 \cdot (595.66 - 595.63)^2] = 0.022 \quad 287$$

როგორც ვხედავთ ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის შემცირდა, რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

ვირტუალური მოდელის რეალურთან ადექვატურობის დასაბუთებისათვის მოვახდნოთ მათი მონაცემების გაერთიანება.

286 და 287 მიღებული შედეგით და წინა პარაგრაფის ვირტუალური მოდელისთვის წნევის გაზომვის გაზნევის მახასიათებლები მიხედვით:

$$\bar{y}_{virt} = 600.43 \quad \bar{Y} = 600.43 \quad S_Y^2 = 0.034$$

ერთობლივი საშუალო არითმეტიკულისათვის გვექნება

$$\bar{Y} = \frac{10 \cdot 600.43 + 10 \cdot 595.63}{20} = 598.03 \quad 288$$

ერთობლივი საშუალო დისპერსიისთვის გვექნება

$$S_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{20(20-1)} [(10-1) \cdot 0.022 + (10-1) \cdot 0.034 + 10 \cdot (598.03 - 595.63)^2 + 10 \cdot (598.03 - 600.43)^2] = 0.032 \quad 289$$

ხარჯის დაკვირვებათა შედეგების ერთობლივი საშუალო დისპერსიის მნიშვნელობა ერთგვაროვან და არაარსებითი განსხვავების მონაცემებისათვის გაიზარდა. რაც გაზომვის რაოდენობის ზრდითაა გამოწვეული.

დასკვნა

1. განხილულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურებში გამოყენებული საზომ საკონტროლო ოპერაციების ჩასატარებელი აღჭურვილობა, სამუშაოების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია, მათი თეორიული და პრაქტიკული საექსპლოატაციო მახასიათებლები;

2. შესწავლია ნავთობსადენის დატვირთვის 0, 25, 50, 75, და 100% რეჟიმებისათვის სამი ძირითადი საკონტროლო პარამეტრის წნევის, ტემპერატურისა და ხარჯის ნორმატიულ-ტექნიკური პარამეტრები, ასევე საზომი საშუალებების კალიბრების მეთოდები;

3. დადგენილი და შესწავლილია არსებული მაგისტრალური და ლოკალური მილსადენების პროექტირებისა და ექსპლოატაციის პირობები, მათი საკონტროლო პარამეტრების გზნევის მახასიათებლები;

4. ჩატარებულია რეალური საკვლევი ობიექტის, მაგისტრალური ნავთობსადენის ბაქო - თბილისი - სუფსის, საკონტროლო პარამეტრების (წნევა, ტემპერატურა, ხარჯი) გაზომვათა შედეგების ცდომილებათა ანალიზი და შეფასებულია მათი გაზომვის განუსაზღვრელობები;

5. ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით თითოეული პარამეტრის პირდაპირი ერთჯერადი და მრავალჯერადი გაზომვისას, სხვადასხვა რეჟიმებისათვის, ჩატარებულია გაზომვის შედეგების თეორიული კვლევა და შესრულებულია პრაქტიკული გაანგარიშებები გაზომვის ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შესაფასებლად.

6. წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელირების წრფივი და დინამიკური პროგრამირების სატრანსპორტო ამოცანა პროექტირების ეტაპზე მილსადენის პარამეტრების შერჩევისა და აპრობაციისათვის.

7. ნაშრომში დამუშავებული, შექმნილი და გამოკვლეულია ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში საზომი აპარატურის კალიბრების პროცესისა და საკონტროლო პარამეტრების გაზომვის ვირტუალური მოდელები LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;

8. რეალურ ობიექტზე ჩატარებული საკონტროლო პარამეტრების გაზომვების შედეგები შედარებულია LabVIEW გრაფიკული

პროგრამირების სივრცეში შექმნილ ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებულ ექსპერიმენტალური კვლევის მონაცემებთან;

9. ვირტუალურ მოდელზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებისათვის მოცემულია ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების ალგორითმი და რეალიზებულია LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში;

10. ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევის საფუძველზე დადგენილია ვირტუალური მოდელების რეალურ ობიექტებთან ადექვატურობა;

11. გამოკვლეული და მოცემულია სადგურთშორისი დაკვირვებათა ჯგუფების შედეგების გაერთიანების პირობები რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის.

ლიტერატურა:

1. საინჟინრო ექსპერიმენტის ორგანიზაცია და დაგეგმვა, ი.ზედგინიძე. ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი, 2000, 240 გვ.
2. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია "მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები", 2011წ., 20-22 მაისი.
3. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. დინამიკური პროგრამირება გაზგაყვანილობის სისტემის დაპროექტებაში. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(10), 2011. გვ 433-436.
4. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. LabVIEW-ს სივრცეში ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი მაგისტრალურ მილსადენზე წნევის კალიბრებსა და გაზომვსათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, №2(13), 2012. გვ 156-160.
5. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, ლ.გაჩეჩილაძე. წნევის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისათვის. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 1(14), 2013. გვ 140-145.
6. გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოსახვა დაკალიბრების დროს. აკრედიტაციის ევროპული თანამშრომლობა. დეკემბერი 1999 წ. გვ 100
7. ნ.აბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი, გ.მურჯიკნელი. რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელის გაზომვების მონაცემების გაერთიანების პირობები. "შრომები მართვის ავტომატიზირებული სისტემები", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 2(15), 2013.
8. EA-4/02.Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration December 1999. p 79
9. National Instruments Corporation. Getting Started with LabVIEW 2005, p80
10. LabVIEW Manual, National Instruments Corporation. January 1996. p250
11. Conrado Borraz-S_anchez, Optimization Methods for Pipeline Transportation of Natural Gas. October 2010. p50-85
12. Sheldrake, A. L. Handbook of Electrical Engineering – For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry 2003. p650
13. Modeling of Oil Product and Gas Pipeline Transportation. Michael V. Lurie 2008. p230
14. Overview of the Design, Construction, and Operation of Interstate Liquid Petroleum Pipelines. Argonne National Laboratory. November 2007. p108
15. Assessment of Uncertainties of Measurement: Uncertainty calculation for the calibration of a pressure gauge. September 2002. p6
16. Зедгинидзе И.Г. Контроль качества продукциию конспект лекций: Тбилиси: Технический университет – «Центр информатизации», 2005г. с206
17. Белоусов В.Д., Блейхер Э.М., Немудров А.Г., Юфин В.А., Яковлев Е.И.

- Трубопроводный транспорт нефти и газа. М.: “Недра“, 1978 г. 407с.
18. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”. ИПК Издательство стандартов. Минск, 2002. с134
 19. Оценивание неопределенности при проведении метрологических работ. Методический документ по метрологии. ПМХ 33.1405–2005. Захаров И.П., Сергиенко М.П., Чепела В.Н., Никитин Д.С. Харьков. 2008. с20-55
 20. В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. LabVIEW: ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ Москва, 2005. с185
 21. Питер Блюм. LabVIEW: стиль программирования. Москва, 2008. с201
 22. Вводный курс National instruments. Россия, СНГ, Балтия. 2012. с 20-75
 23. <http://chartsbin.com/view/1322>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 24. <http://www.nabucco-pipeline.com/portal/page/portal/en> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 25. <http://www.geostm.ge>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 26. www.wikipedia.org, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 27. www.BP.com, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 28. www.bpgeorgia.ge უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 29. <http://ru.wikipedia.org> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 30. https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_uncertainty, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 31. <http://spiff.rit.edu/classes/phys273/uncert/uncert.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 32. <http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/pressure.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 33. <http://www.abb.com/product/us/9AAC100429.aspx>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 34. <http://www.ni.com/pressure/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013
 35. http://www.omega.com/toc_asp/sectionSC.asp?section=J&book=temperature, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 6.6.2013

დანართი

წინაღობის და ტემპერატურის დამოკიდებულება როცა $\alpha=0.00385$

°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm
-100	60.26	-65	74.33	-30	88.22	5	101.95	40	115.54
-99	60.67	-64	74.73	-29	88.62	6	102.34	41	115.93
-98	61.07	-63	75.13	-28	89.01	7	102.73	42	116.31
-97	61.48	-62	75.53	-27	89.40	8	103.12	43	116.70
-96	61.87	-61	75.93	-26	89.80	9	103.51	44	117.08
-95	62.29	-60	76.33	-25	90.19	10	103.90	45	117.47
-94	62.69	-59	76.73	-24	90.59	11	104.29	46	117.85
-93	63.1	-58	77.13	-23	90.98	12	104.68	47	118.24
-92	63.5	-57	77.52	-22	91.37	13	105.07	48	118.62
-91	63.91	-56	77.92	-21	91.77	14	105.46	49	119.01
-90	64.3	-55	78.32	-20	92.16	15	105.85	50	119.40
-89	64.7	-54	78.72	-19	92.55	16	106.24	51	119.78
-88	65.11	-53	79.11	-18	92.95	17	106.63	52	120.16
-87	65.51	-52	79.51	-17	93.34	18	107.02	53	120.55
-86	65.91	-51	79.91	-16	93.73	19	107.40	54	120.93
-85	66.31	-50	80.31	-15	94.12	20	107.79	55	121.32
-84	66.72	-49	80.70	-14	94.52	21	108.18	56	121.70
-83	67.12	-48	81.10	-13	94.91	22	108.57	57	122.09
-82	67.52	-47	81.50	-12	95.30	23	108.96	58	122.47
-81	67.92	-46	81.89	-11	95.69	24	109.35	59	122.86
-80	68.33	-45	82.29	-10	96.09	25	109.73	60	123.24
-79	68.73	-44	82.69	-9	96.48	26	110.12	61	123.62
-78	69.13	-43	83.08	-8	96.87	27	110.51	62	124.01
-77	69.53	-42	83.48	-7	97.26	28	110.90	63	124.39
-76	69.93	-41	83.88	-6	97.65	29	111.28	64	124.77
-75	70.33	-40	84.27	-5	98.04	30	111.67	65	125.17
-74	70.73	-39	84.67	-4	98.44	31	112.06	66	125.55
-73	71.13	-38	85.06	-3	98.83	32	112.45	67	125.93
-72	71.53	-37	85.46	-2	99.22	33	112.83	68	126.32
-71	71.93	-36	85.85	-1	99.61	34	113.22	69	126.70
-70	72.33	-35	86.25	0	100.00	35	113.61	70	127.08
-69	72.73	-34	86.64	1	100.39	36	113.99	71	127.46
-68	73.13	-33	87.04	2	100.78	37	114.38	72	127.85
-67	73.53	-32	87.43	3	101.17	38	114.77	73	128.23
-66	73.93	-31	87.83	4	101.56	39	115.15	74	128.61

°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm
75	128.99	100	138.51	125	147.95	150	157.33	175	166.62
76	129.38	101	138.89	126	148.33	151	157.71	176	167.00
77	129.76	102	139.27	127	148.71	152	158.08	177	167.38
78	130.14	103	139.65	128	149.08	153	158.45	178	167.75
79	130.52	104	140.03	129	149.46	154	158.83	179	168.12
80	130.90	105	140.39	130	149.83	155	159.20	180	168.49
81	131.28	106	140.77	131	150.21	156	159.56	181	168.86
82	131.67	107	141.15	132	150.59	157	159.94	182	169.24
83	132.05	108	141.53	133	150.96	158	160.31	183	169.61
84	132.43	109	141.91	134	151.34	159	160.68	184	169.98
85	132.81	110	142.29	135	151.72	160	161.05	185	170.34
86	133.19	111	142.66	136	152.09	161	161.43	186	170.69
87	133.57	112	143.04	137	152.47	162	161.80	187	171.06
88	133.95	113	143.42	138	152.85	163	162.17	188	171.43
89	134.33	114	143.80	139	153.22	164	162.55	189	171.79
90	134.71	115	144.18	140	153.58	165	162.92	190	172.16
91	135.09	116	144.56	141	153.95	166	163.29	191	172.54
92	135.47	117	144.94	142	154.32	167	163.66	192	172.91
93	135.85	118	145.32	143	154.73	168	164.03	193	173.27
94	136.23	119	145.69	144	155.08	169	164.41	194	173.64
95	136.61	120	146.07	145	155.46	170	164.78	195	174.01
96	136.99	121	146.45	146	155.83	171	165.15	196	174.39
97	137.37	122	146.82	147	156.21	172	165.52	197	174.75
98	137.75	123	147.20	148	156.58	173	165.89	198	175.12
99	138.13	124	147.58	149	156.96	174	166.26	199	175.49