

წმინდის პირდაპირი ერთჯერადი გაზომვის განუსაზღვრელობის
შეფასება რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელისთვის

ნოდარ აბელაშვილი – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
გიორგი ქართველიშვილი – კომპანია British Petroleum
ლერი გაჩეჩილაძე – აკრედიტაციის ერთიანი ეროვნული ორგანო

რეზიუმე

განიხილება რეალურ პირობებში მაგისტრალურ გაზ და ნავთობსადენების სატუმბ სადგურებში წნევის გაზომვისა და სამზომი ხელსაწყოების კალიბრებისას მათი განუსაზღვრელობის შეფასების შედარებითი ანალიზი LabVIEW სივრცეში შექმნილი ვირტუალური მოდელით მიღებული ანალოგიური ამოცანების შედეგებთან, მოდელის ადექვატურობის შეფასების მიზნით.

1. შესავალი

გაზომვების სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირისა და აშშ-თან 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 ვირტუალური მოდელის რეალური გაზომვის სქემასთან ადექვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად.

2. ძირითადი ნაწილი

მაგისტრალური მილსადენის კერძოდ ნავთობსადენის სატუმბ სადგურში წნევის გაზომვის რეალური სქემა და ამ პროცესის ვირტუალური მოდელი LabVIEW სივრცეში [1] საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ გაზომვის, კონტროლისა და მართვის პროცესების დამუშავება რეალური მილსადენის პროექტირების ეტაპზე, რისთვისაც აუცილებელ პირობას მოდელის ადექვატურობის შეფასება წარმოადგენს.

რეალურ პირობებში სატუმბ სადგურში წნევის გაზომვა მიმდინარეობს წნევის კალიბრატორიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის, დენის ძალის სიდიდის გაზომვით, მაღალი სიზუსტის Fluke787 ტიპის მულტიმეტრით მილიამპერებში **mA**. მულტიმეტრის გაზომვის დიაპაზონია 0–30 mA. მულტიმეტრის სიზუსტის კლასი 0,05%.

ვირტუალურ მოდელში წნევის გაზომვა, ისევე როგორც რეალურ სქემაში, მიმდინარეობს წნევის კალიბრატორიდან მიღებული წნევის მნიშვნელობის შესაბამისი ელექტრული სიგნალის დენის ძალის სიდიდის გაზომვით მილიამპერებში მოდელირებული მულტიმეტრის ისრიანი და ციფრული გამოსასვლელების საშუალებით, რომლითა გაზომვის დიაპაზონი ასევე 0–30 mA.

რეალური სქემისაგან განსხვავებით წნევის კალიბრატორის როლს ვირტუალურ სქემაში ასრულებს შესასვლელი სიდიდეების ვირტუალური სარკმელი, სადაც სასურველი წნევის მნიშვნელობის დაყენება ხდება ხელით, ვირტუალური სარეგულირებელი სახელურის საშუალებით. შემდეგ მღებულ სიგნალს ემატება შემთხვევითი სიგნალების გენერატორიდან შემთხვევითი მდგენელი. აქვე საჭიროების შემთხვევაში სრულდება 0-ის კორექტირების ოპერაცია ამავე სარეგულირებელი სახელურის დახმარებით, რის შემდეგაც ფორმირებული სიგნალი ხვდება გაზომვის სქემაში.

როგორც რეალურ ასევე ვირტუალურ მოდელში წნევის ერთჯერადი გაზომვისას მიღებული მნიშვნელობა $10,4 \text{ mA}$ შეესაბამება წნევას $19,5 \text{ Br}$ რ (შესაბამისობის კოეფიციენტების მნიშვნელობის $1,875 \text{ Br/mA}$ და $0,5333 \text{ mA/Br}$ გათვალისწინებით გვექნება $10,4 \text{ mA} \cdot 1,875 \text{ Br/mA} = 19,5 \text{ ბარი}$, ან $19,5 \text{ Br} \cdot 0,5333 \text{ mA/Br} = 10,4 \text{ mA}$).

ა. გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა რეალური გაზომვის სქემისათვის

რეალური გაზომვის სქემის განუსაზღვრელობის გამოსათვლელად შევადგინოთ გაზომვის პირობების სპეციფიკაცია:

- გაზომვა მიმდინარეობდა გარემოს $+30^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს;
- მულტიმეტრის ათვლის ბიჯი $0,001 \text{ mA}$;
- მულტიმეტრის მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(-10 + 50)^{\circ}\text{C}$;
- 1. განვსაზღვროთ გაზომვის ჯამური განუსაზღვრელობის მდგენელები:
- ვიპოვოთ ძირითადი აბსოლუტური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \pm \frac{0,05 \cdot 30}{100} = \pm 0,015 \text{ mA.}$$

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

პასპორტის მონაცემების მიხედვით ტემპერატურული ეფექტის გავლენა გაზომვის სიზუსტეზე გამოითვლება

$$\gamma = \frac{(0,075 + 0,1 \cdot \frac{X_N}{X_B})}{28^{\circ}\text{C}} \cdot 100\% = \frac{(0,075 + 0,1 \cdot \frac{30}{10,4})}{28^{\circ}\text{C}} = 0,013\%$$

მიღებული მნიშვნელობის გათვალისწინებით

$$\Delta_{\epsilon} = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100} = \frac{0,013 \cdot 30}{100} = \pm 0,0039 \text{ mA}$$

- 2. მულტიმეტრის ათვლის ცდომილებების საზღვრები

$$\Delta_{\delta} = \pm 0,001 / 2 = \pm 0,0005 \text{ mA}$$

- 3. ძირითადი ცდომილების სტანდარტული განისაზღვრელობა

$$u_{\delta} = \frac{\Delta}{\alpha}$$

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

გათვალისწინებით

$$u_{\delta} = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0,015}{\sqrt{3}} = 0,0087 \text{ mA.}$$

- 4. სტანდარტული განუსაზღვრელობა დამატებითი აბსოლუტური ცდომილებისათვის

$$u_{\epsilon} = \frac{\Delta_{\epsilon}}{\alpha} = \frac{0,0039}{\sqrt{3}} = 0,00225 \text{ mA.}$$

5. დისკრეტული ათვის ცდომილების სტანდარტული განუსაზღვრელობა – ტოლია ანათვის დისკრეტულობის განაყოფის მართკუთხა განაწილების მოცვის კოეფიციენტზე.

$$u_y = \frac{\Delta_y}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 0,00029 \text{ mA.}$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომვითი მნიშვნელობა	10,4 mA	–	–
ძირითადი ცდომილება	–	$u_x = 0,0087 \text{ mA}$	მართკუთხა
ტემპერატურული (დამატებითი) ცდომილება	–	$u_{\text{ფ}} = 0,00225 \text{ mA}$	მართკუთხა
დისკრეტულობის ცდომილება	–	$u_y = 0,00029 \text{ mA}$	მართკუთხა
Y	10,4 mA	$u_{\Sigma} = 0,0089 \text{ mA}$	

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

6. გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა

$$u_{\Sigma} = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0,0087^2 + 0,00225^2 + 0,00029^2} = 0,00898 \text{ mA.}$$

7. გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p = 0,95$ სანდობის დონისათვის

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

იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი მართკუთხაა, ხოლო ფარდობა $\frac{u_{\text{ფ}}}{u_x} = \frac{0,00225}{0,0087} = 0,3$. $p = 0,95$ სანდობის დონისათვის $k = 1,82$ [2]

$$U = k u_{\Sigma} = 1,82 \cdot 0,00898 = 0,0163 \text{ mA}$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება $(10,4 \pm 0,0163) \text{ mA}$.

ბ. გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოთვლა ვირტუალური გაზომვის სქემისათვის

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 მუშა ტემპერატურის დიაპაზონი $(+5; +30)^{\circ}\text{C}$

- ვირტუალური მულტიმეტრის ათვის ბიჯი $0,001 \text{ mA}$;
- მულტიმეტრის ათვის ცდომილებების საზღვრები.

$$\Delta_j = \pm 0,001/2 = \pm 0,0005 \text{ mA}$$

- ჩატარებული ერთჯერადი გაზომვის შედეგები მოყვანილია ცხრილში

მიწოდებული წნევა			კალიბრატორის ცდომილება		მულტიმეტრი		
კალიბრატორიდან	თეორიული $X_{თეორ}$	გაზომილი $X_{გაზ}$	absolutური Δ	ფარდობითი δ_j	გაზომილი $X_{გაზ.მ}$	absolutური Δ_{ϵ}	ფარდობითი δ_{ϵ}
Br	mA	mA	mA	%	mA	mA	%
19,5	14,3935	14,40534	0,0118	0,082	14,408	0,0145	0,086

- მიწოდებული წნევის თეორიული მნიშვნელობა (“სანიშნო” მნიშვნელობა)

$$19,5 Br \cdot 0,5333 \text{ mA}/Br = 10,4 \text{ mA}$$

- კალიბრატორის absolutური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta_j = X_{გაზ} - X_{თეორ} = 14,40534 - 14,3935 = \pm 0,0118 \text{ mA}$$

- კალიბრატორის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta_j = \Delta_j / X_{გაზ} \cdot 100\% = 0,0118 / 14,40534 \cdot 100\% = 0,082\%$$

- მულტიმეტრით გაზომილი წნევის absolutური ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\Delta_{\epsilon} = X_{გაზ.მ} - X_{თეორ} = 14,408 - 14,3935 = \pm 0,0145 \text{ mA}$$

- მულტიმეტრის ფარდობითი ცდომილება

$$\delta_{\epsilon} = \Delta_{\epsilon} / X_{გაზ.მ} \cdot 100\% = 0,0145 / 14,408 \cdot 100\% = 0,102\%$$

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

$$\gamma = \Delta_{\epsilon} / X_N \cdot 100\% = 0,0145 / 30 \cdot 100\% = 0,0483\%$$

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

$$\gamma_0 = \frac{\gamma_{\epsilon} - \gamma_j}{\gamma_{\epsilon}} \cdot 100\% = \frac{0,05 - 0,0483}{0,05} = 3,4\%$$

სადაც:

- γ_0 რეალური და ვირტუალური მულტიმეტრების დაყვანილი ცდომილებების (სიზუსტის კლასების) ფარდობითი მაჩვენებელია;
- γ_{ϵ} რეალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილება (სიზუსტის კლასი);
- γ_j ვირტუალური მულტიმეტრის დაყვანილი ცდომილება (სიზუსტის კლასი).

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

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

7. კალიბრატორის წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_j = \frac{\Delta_j}{\alpha} = \frac{0,0118}{1,732} = 0,0068mA$$

8. მულტიმეტრით წნევის მნიშვნელობის გაზომვის განუსაზღვრელობა მისი მაქსიმალური აბსოლუტური ცდომილების გათვალისწინებით

$$u_e = \frac{\Delta}{\alpha} = \frac{0,0145}{1,732} = 0,0083mA.$$

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

$$u_s = \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005}{\sqrt{3}} = 0,00029 mA.$$

შევადგინოთ განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი

შესასვლელი სიდიდეები	შესასვლელი სიდიდეების შეფასებები	შესასვლელი სიდიდეების სტანდარტული განუსაზღვრელობა	ალბათობის განაწილების სახე
წნევის გაზომილი მნიშვნელობა	10,4მ	-	-
კალიბრატორის ცდომილება	-	$\Delta_j = 0,0068 mA$	მართკუთხა
მულტიმეტრის ცდომილება	-	$u_e = 0,0083 mA$	მართკუთხა
დისკრეტულობის ცდომილება	-	$u_s = 0,00029mA$	მართკუთხა
Y	10,4 mA	$u_Y = 0,0107 mA$	

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

10. გამოსასვლელი სიდიდის ჯამური განუსაზღვრელობა.

$$u_Y = \sqrt{\sum u_i^2} = \sqrt{0,0068^2 + 0,0083^2 + 0,00029^2} = 0,0107 mA.$$

11. გამოვითვალოთ გაზომვის შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა $p = 0,95$ სანდობის დონისათვის

$$U = k u_Y$$

იმის გათვალისწინებით, რომ ერთჯერადი გაზომვის შემთხვევისათვის მოცვის კოეფიციენტის k -ს მნიშვნელობა შევირჩიოთ იმის გათვალისწინებით, რომ განუსაზღვრელობის მდგენელების განაწილების კანონი მართკუთხაა, ხოლო ფარდობა

$$\frac{u_s}{u_e} = \frac{0,00029}{0,0083} = 0,03. \quad p = 0,95 \text{ სანდობის დონისათვის } k = 1,68$$

$$U = k u_Y = 1,68 \cdot 0,018 = 0,018 mA$$

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ვირტუალური მოდელისათვის ჩაიწერება $(10,4 \pm 0,018) mA$

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

$$U_0 = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot 100\% = \frac{0,0163 - 0,018}{0,0163} = 10,4\%$$

რაც დამაკმაყოფილებელ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

3. დასკვნა

რეალურ პირობებში მაგისტრალურ გაზ და ნავთობსადენების სატუმბ სადგურებში წნევის გაზომვისა და სამზომი ხელსაწყოების კალიბრებისას მათი განუსაზღვრელობის შეფასების შედარებითი ანალიზი LabVIEW სივრცეში შექმნილი ვირტუალური მოდელით მიღებული ანალოგიური ამოცანების შედეგებთან, გვიჩვენებს მოდელის ადეკვატურობის შესაძლებლობას, რაც დროითი და მატერიალური რესურსების მკვეთრი შემცირების საშუალებას იძლევა მილსადენების პროექტირების, კადრების მომზადებისა და ექსპლუატაციისას წარმოშობილი ფორს-მაჟორული სიტუაციების მართვისათვის.

ლიტერატურა:

1. ნაბელაშვილი, გ.ქართველიშვილი. LabVIEW–ს სივრცეში ტრანსმიტერის ვირტუალური მოდელი მაგისტრალურ მილსადენზე წნევი კალიბრებისა და გაზომვისათვის.შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები. №2(13), 2012

2. . Захаров И.П., Сергиенко М.П., Чепела В.Н., Никитин Д.С. Оценивание неопределенности при проведении метрологических работ. Методический документ по метрологии. ПМХ 33.1405—2005 Харьков. 2008.

ESTIMATION UNCERTAINTY OF DIRECT PRESSURE FOR A SINGLE MEASUREMENT OF THE REAL OBJECT AND THE VIRTUAL MODELS

Abelashvili Nodari– Georgian Technical University,
Kartvelishvili Giorgi– BritishPetroleum Company,
Gachechiladze Leri –A single national accreditation body

Summary

Examine the question of measurement, calibration, and comparing the results of measuring uncertainty as in real conditions at gas and oil pipelines stations as in virtual models using the LabVIEW, for establishment the adequacy of the model.

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРЯМОГО ОДНОКРАТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА И ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛЯ

Абелашвили Н.Н. – Грузинский Технический Университет,
Картвелишвили Г. – компания BritishPetroleum,
Гачечиладзе Л. –Единый национальный орган аккредитации

Резюме

Рассматривается вопрос измерения, калибровки и сравнения результатов оценок неопределенностей измерительных средств реальных условиях и для виртуальных моделей в пространстве LabVIEW на перекачивающих станциях магистральныхх газо и нефтепроводов, с целью оценки адекватности модели.