

გაზსადენის კოროზიული რღვევის კინეტიკური ანალიზი

კონსტანტინე კამკაშიძე, ირინე ბერძენიშვილი, ელენე კამკაშიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ნაჩვენებია, რომ გაზსადენი სისტემის დაზიანებით გამოწვეული მატერიალური და ეკოლოგიური ზიანი დიდია. დადგენილია, რომ კოროზიული რღვევა გაზსადენების მტყუნებათა ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია. შესწავლილია ფოლადის ნიმუშების ქცევის და მასის კარგვის კინეტიკა გოგირდწყალბადით გაჯერებულ მოდელურ ელექტროლიტის ხსნარში. მოყვანილია ექსპერიმენტის მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: გაზსადენი. კოროზიული რღვევა. რისკ-ფაქტორები. სულფიდური დასკდომა. კინეტიკური მოდელი.

1. შესავალი

ბუნებრივი გაზის გადასაქანი მაგისტრალური გაზსადენი მიეკუთვნება და განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო ობიექტების კატეგორიას, რადგანაც მისი საშუალებით ტრანსპორტირდება აირი, რომელიც თვითაღებადი უნარისაა, იწვის ცეცხლის წყაროდან და ასევე იწვის დამოუკიდებლად ამ წყაროს მოცილების შემდეგაც [1-3].

გამომდინარე აქედან პოტენციურად საშიშ გაზსადენებზე მომხდარი ავარიები და მტყუნებები დიდ პრობლემად რჩება დღესდღეობით მთელ მსოფლიოში, რადგან მას გარდა ეკონომიკური ზარალისა, შესაძლოა მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ზიანი და სხვა უარყოფითი შედეგები მოჰყვეს [1,3,4]. ამიტომაც დღეისათვის სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესება უმნიშვნელოვანესი პირობაა ქვეყნის ეკონომიკური და სოციალური განვითარებისთვის.

ენერგეტიკული რესურსების უსაფრთხო ტრანსპორტირების სტრატეგიული მნიშვნელობიდან გამომდინარე სამუშაოს მიზანია კონსტრუქციების გამართულ ექსპლუატაციაზე მოქმედი რისკ-ფაქტორების გამოვლენა და სიმტკიცის პირობის შეფასება ექსპლუატაციის დროს.

2. ძირითადი ნაწილი

გაზსადენი სისტემების მტყუნებათა ანალიზმა აჩვენა, რომ ავარიებისა და კატასტროფების ძირითად მიზეზს წარმოადგენს ფოლადის მილის კოროზიული რღვევა გარემოს ქიმიური ან ელექტროქიმიური ზემოქმედების შედეგად. კოროზიის შედეგად ლითონი კარგავს სიმტკიცეს, სისალეს, პლასტიკურობას და სხვა თვისებებს (ნახ.1). ყოველწლიურად კოროზიის შედეგად მსოფლიოში იკარგება გამოდნობილი ლითონის 10-12%.



ნახ.1. ფოლადის მილის კოროზიული რღვევა

მაშასადამე, გაზსადენის კოროზია მისი საექსპლუატაციო რესურსის შემცირების ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია [1,3-7].

მილების გარე და შიგა ზედაპირის კოროზიის გამომწვევი ფაქტორები სხვადასხვაა: გადასაქანი პროდუქტების კოროზიული აგრესიულობა, მოხეტიალე დენები, ნიადაგ-გრუნტების ტიპები, მიწისქვეშა წყლების მაღალი დონე და სხვ. [3-8].

მიწის წიაღიდან მოპოვებული ბუნებრივი აირის შედგენილობა ერთგვაროვანია და ძირითადად მეთანს შეიცავს (92,6 %). ნავთობის საბადოების თანამგზავრული გაზი შეიცავს აგრეთვე ეთანს, პროპანს და ბუტანს (კუთრი წვის სითბო 33–36 კჯ/მ³) [9]. წვადი კომპონენტების გარდა ბუნებრივი გაზი მცირე რაოდენობით შეიცავს გოგირდწყალბადს, ნახშირორჟანგს, წყლის ორთქლს, ჟანგბადს, აზოტსა და ქლორიდებს. გაზში წყლის ორთქლის რაოდენობა დამოკიდებულია აირის წნევაზე, ტემპერატურასა და მის შედგენილობაზე. აირის მოლეკულური მასის ზრდასთან ერთად იზრდება მასში წყლის ორთქლის შემცველობა. აზოტი ხელს უწყობს გაზში წყლის ორთქლის რაოდენობის შემცირებას, ხოლო გაზში გოგირდწყალბადის და ნახშირწყალბადების შემცველობა პირიქით ზრდის მასში წყლის ორთქლის რაოდენობას.

ბუნებრივი აირის ზუსტად ეს თანამდევი კომპონენტები მიჩნეულია ძლიერ კოროზიულ აგენტებად, მათ მიერ შექმნილი გარემო ლითონის კოროზიული რღვევის მიზეზია. ფოლადის სულფიდური დასკდომა ვითარდება მხოლოდ გოგირდწყალბადის წყალხსნარის ზემოქმედების შედეგად. გოგირდწყალბადთან ურთიერთქმედების შედეგად მილის ქვედა მსახველზე განვითარებული რღვევა ხშირად ცალკეულ უბნებზე სიდრუეებს და ხვრეტებს წარმოქმნის, რასაც ადვილად აღიქვამენ ბუნებრივი აირის გაპარვამდე მიყვავართ. ფეთქებადსაშიში პროდუქტების გაფრქვევა შეიძლება გადაიზარდოს უმძიმეს კატასტროფაში სავალალო შედეგებით.

ჩვენი ინტერესის სფეროს ამ ეტაპზე წარმოადგენს გოგირდწყალბადის ზემოქმედებით გამოწვეული ლითონის ზედაპირის კოროზიის შესწავლა გოგირდწყალბადით გაჯერებულ (P=1ატმ) ელექტროლიტის NACE ხსნარში, NACE Standard TM 0177-96 “Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulphide Stress Cracking in H₂S Environments” მიხედვით. ხსნარის ტემპერატურაა 24±3°C, გამოცდის ხანგრძლივობა – 3 თვე. ფოლადის რვა ნიმუშის პარალელური გამოცდის შედეგები კოროზიულ მდგრადობაზე მოყვანილია პირველ ცხრილში.

ნიმუშების მასის დანაკარგები NACE ხსნარში ცხრ.1

დღე-ღამე	Δm ₁	Δm ₂	Δm ₃	Δm ₄	Δm ₅	Δm ₆	Δm ₇	Δm ₈
5	4,098	3,596	4,065	4,1005	3,998	3,912	4,0855	4,212
10	9,023	8,997	9,008	9,028	8,989	8,975	9,015	9,024
20	22,218	20,141	21,765	21,684	20,911	20,352	22,104	22,008
30	39,125	38,716	39,086	39,090	38,824	38,786	39,073	39,103
40	50,638	47,997	50,164	49,827	49,583	49,712	50,065	50,112
50	60,121	58,714	60,023	59,835	59,912	59,925	60,316	60,227
60	71,008	70,911	70,735	70,158	70,488	70,613	70,98	70,867
70	83,311	82,851	82,983	82,661	82,320	82,731	83,173	83,126
80	92,861	92,512	92,508	92,262	92,212	92,258	92,729	92,618
90	102,734	102,117	102,218	102,201	101,989	102,006	102,512	102,581

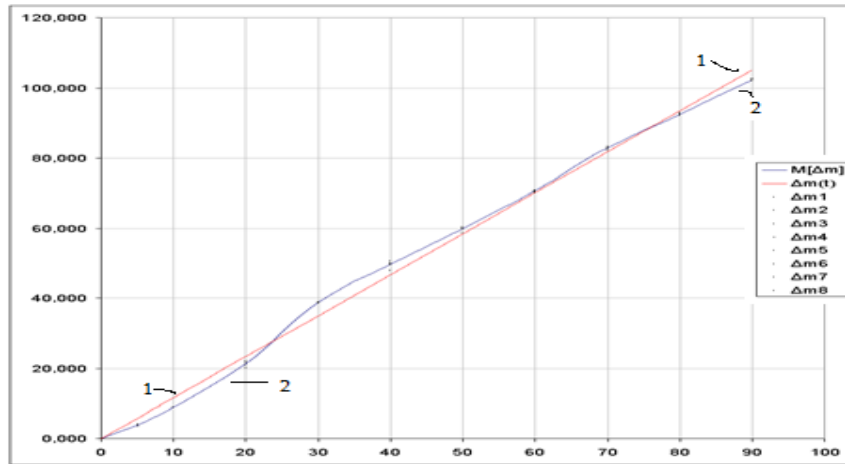
საშუალო კვადრატული გადახრა (გასაშუალოებული გაბნევა ექსპერიმენტის ყველა ნიმუშისთვის) შეადგენს 0,361 გ/მ², მაქსიმალური გაბნევა აღინიშნა მე-40 დღეს: საშუალო კვადრატულმა გადახრამ შეადგინა 0,817 გ/მ².

საშუალო ვარიაციის კოეფიციენტი ცვლილების არის მიმართ (თუ მივიღებთ მასის დანაკარგის მაქსიმალურ საშუალო მნიშვნელობას 102,295 გ/მ²) შესაბამისად ტოლია 0,35%, მაქსიმალური - 0,8%. ანალიზის შედეგები მიუთითებენ ნიმუშების მაღალ ერთგვაროვნებასა და გაზომვების სიზუსტის მაღალ ხარისხზე ექსპერიმენტის მსვლელობისას.

მე-2 ნახაზზე დატანილია ყველა ექსპერიმენტული წერტილი და საშუალო მნიშვნელობათა ცვლილების მრუდი-2 (ლურჯი). დატანილია აგრეთვე წრფივი აპროქსიმაციის შესაბამისი ხაზი-1 (წითელი), რომელიც განსაზღვრულია ყველა ექსპერიმენტული მონაცემის გათვალისწინებით უმცირეს კვადრატთა მეთოდით, ანუ შეესაბამება მინიმალურ ჯამურ დისპერსიას. რეგრესიის განტოლების ფიზიკური არსიდან გამომდინარე, თავისუფალი წევრი მიღებულია ნულის ტოლად:

$$\Delta m = U \cdot \tau$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტი U წარმოადგენს მასის კარგვის საშუალო სიჩქარეს და ტოლია 1,169 g/dR.m2.



ნახ.2. კოროზიული პროცესის კინეტიკა NACE ხსნარში

გამოთვლილია აგრეთვე ექსპერიმენტული წერტილების გაბნევა რეგრესიის განტოლების მიმართ, რაც ახასიათებს აპროქსიმაციის სიზუსტეს. საშუალო კვადრატული გადახრა შესწავლილ ინტერვალზე ტოლია 2,232 გ/მ2, მაქსიმალური - 4,178 გ/მ2, შესაბამისად, საშუალო ვარიაციის კოეფიციენტი ცვლილების არის მიმართ ტოლია 2,18%.

კინეტიკური მოდელის საფუძვლად მიღებულია ფოკერ-პლანკის განტოლება ერთგანზომილებიანი სივრცისათვის:

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = -U \frac{\partial f}{\partial x} + D \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$$

იგი აღწერს რაიმე x პარამეტრის ცვლილებას ფაზურ სივრცეში - ჩვენ შემთხვევაში m ზედაპირის ერთეულზე მასის ცვლილებას საშუალო სიჩქარით U და მუდმივი „დიფუზიის“ კოეფიციენტით D , რომელიც ახასიათებს ფლუქტუაციას [10,11].

იზომორფულობის პრინციპზე დაყრდნობით გამარტივებული ამონახსნი შეიძლება აღვწეროთ წრფივი დიფუზიური მოდელის დროის მიხედვით ალბათობის სიმკვრივის განაწილების განტოლებით [12]:

$$f(T) = \sqrt{\frac{Pe}{4\pi \cdot T}} \cdot \exp\left[-\frac{Pe(T-1)^2}{4T}\right]$$

სადაც $T = \tau / \bar{\tau}$ ($\bar{\tau}$ დაყოვნების დროის საშუალო მნიშვნელობაა, იგივე მათემატიკური ლოდინი $M[\tau]$), ხოლო პეკლეს ფიქტიური კრიტერიუმი $Pe = U^2 \cdot M[\tau] / D$.

მიღებული კონცეფციის ფიზიკური არსი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: მასის კარგვა კოროზიის შედეგად მიმდინარეობს მუდმივი საშუალო სიჩქარით, მაგრამ ვლინდება ფლუქტუაციაც, რომელსაც განასაიათებთ დიფუზიის კოეფიციენტით.

3. დასკვნა

მიღებული მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ გაზსადენი სისტემის გამართული ფუნქციონირების და ეკოლოგიური უსაფრთხოების ერთ-ერთი მადესტაბილიზებელი რისკ-ფაქტორია გოგირდწყალბადის შემცველი წყალხსნარის ზემოქმედებით გამოწვეული ლითონის

ზედაპირის კოროზიაა. მიღებული მოდელის გამოყენება ცდის შედეგების ექსტრაპოლაციისთვის გულისხმობს, რომ მასის კარგვის საშუალო სიჩქარე შენარჩუნდება მუდმივი. ამასთან ვუშვებთ, რომ მოსალოდნელია იმავე მასშტაბის ფლუქტუაცია რაც შესწავლილ ინტერვალზე და რომელიც შეიძლება გამოიხატოს როგორც კოროზიის სიჩქარის პერიოდული ცვლილებით (მსგავსად გრაფიკზე გამოსახული განსხვავებისა საშუალო მასის დანაკარგის მრუდსა და რეგრესიის განტოლების წრფეს შორის), ასევე შედეგების გაბნევით ცალკეული ნიმუშებისათვის. ფლუქტუაციის კოეფიციენტის მიღებული შეფასება ითვალისწინებს ორივე ფაქტორს

ლიტერატურა:

1. Коршак А.А., Нечваль А.М. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2005
2. კამკამიძე კ., გაბრიჩიძე ი., გვარამია ე. შორ მანძილზე ენერჯის გადაცემა წყალბადის გამოყენებით. წყალთა მეურნეობის ინსტ. სამეც.შრ.კრ., 2012, №67. გვ. 128–130
3. Baker M. Jr. Pipeline Corrosion., Integrity Management Program Under Delivery Order DTRS56-02-D-70036, 2008
4. Koch G.H., Brongers M.P., Thompson N.G. Corrosion - a natural but controllable process. Pub. No. FHWA-RD-01-156, 2010 . pp. 3-4
5. ASM Handbook Volume 13C, Corrosion: Environments and Industries (ASM International). 2006, 1026-1036 p.
6. Мустафин Ф.М., Быков Т.И., Гумеров А.Г. Промысловые трубопроводы и оборудование. – М.: Недра, 2004
7. Климиашвили Л.Д. Методологические основы анализа и прогнозирования надежности систем водоснабжения. Тб., Технический университет, 2004.- с.12 - 47.
8. Berdzenishvili I.G. Functional Corrosion-Resistant Enamel Coatings and Their Adherence Strength. Acta Physica Polonica A, 2012, vol.121, №1, pp.178-180
9. შურაძე ო. არაორგანული მასალათმცოდნეობისა და მეტალურგიის ტერმინთა განმარტებითი ლექსიკონი. თბ., საუნჯე, 2008
10. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: «Наука», 1977
11. Исихара А. Статистическая физика. М.: «Мир», 1973.
12. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. изд. 9-ое, М.: Химия, 1973.

KINETIC ANALYSIS OF GAS PIPELINE CORROSION

Kamkamidze Konstantin, Berdzenishvili Irina, Kamkamidze Elene
Georgian Technical University

Summary

It is shown, that gas pipelines carry volatile, flammable or toxic materials with the potential to cause public injury and environmental damage. Corrosion is one of the leading causes of failures in onshore transmission pipelines. The kinetics of corrosion behavior and averaged mass losses of steel samples in the model electrolyte solution saturated with hydrogen sulphide during 3 months has been tested. The results of statistical analysis of experimental data are given in the represented paper.

КИНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИИ ГАЗОПРОВОДОВ

Камкамидзе К.Н., Бердзенишвили И.Г., Камкамидзе Е.К.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Показано, что аварии на газопроводах влекут за собой значительный материальный и экологический ущерб. Установлено, что коррозия является одной из основных причин аварийных отказов трубопровода. Исследована кинетика поведения и потерь массы стальных образцов в течении 3 месяцев в насыщенном сероводородом модельном растворе электролита. Представлены результаты статистической обработки данных эксперимента.