

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თამაზ ღვანიძე

მაგისტრალური გაზსადენის ენერგოდაზოგვის საიმედოობის და
ეფექტურობის გამოკვლევა

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

აკტორეფერატი

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების
დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: 1. პროფესორი ლ. შატაკიშვილი

რეცენზენტები:

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

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

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

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

ნაშრომის აქტუალობა: გაზის ტრანსპორტული სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის და მთლიანობის მართვა მნიშვნელოვანი ამოცანაა გაზმომარაგების ერთიანი სისტემის ფუნქციონირებისას. მისი ეფექტურობა დიდწილად დამოკიდებულია დეფექტებისა და მათი პარამეტრების ტექნიკური დიაგნოზირებაზე დროში, მონაცემების მოპოვების საიმედოობისა და ეფექტურობის შესაბამისად. სისტემის დაზიანებასა და ავარიებს თან ახლავს ხანძრები, აფეთქებები, გაჟონვები, ადამიანების დაშავება და გარემოზე მძიმე შედეგები. გაზსადენების სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლი და მონიტორინგი მოიცავს: მისახმარის, ნორმალურ და დაღლილობის პერიოდს. მაგისტრალური გაზსადენების საიმედო და უსაფრთხო მოქმედების უზრუნველყოფის საკითხები გავლენას ახდენს არა მხოლოდ გაზსადენების სატრანსპორტო სისტემაზე, არამედ ბევრ სხვა დარგებზე და ასევე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ქვეყნის ენერგეტიკის განვითარების ჩამოყალიბებული კონცეფციის მიზნების მიღწევაზე. ამჟამად და მომდევნო ათწლეულებში მაგისტრალური გაზსადენების ხაზოვანი ნაწილის და მოწყობილობის საექსპლუატაციო საიმედოობის უზრუნველყოფა რჩება რთულ სამეცნიერო და საინჟინრო პრობლემად. მაგისტრალურ გაზსადენებში მიმდინარე პროცესები - სტქასტიკურია, ასეთები სტოქასტიკურია ტრანსპორტირების-გაზმომარაგების-მოხმარების პროცესები, ბუნებრივი გაზის შემადგენლობა, გარე ბუნებრივი მოვლენები, გაზოდინამიკური პროცესები, მილების ლითონის არაერთგვაროვანი მასალა, პერსონალის შეცდომები, საექსპლუატაციო რეჟიმების გადახრა და წესების დარღვევა და ა.შ. ცხადია, რომ ამ პროცესის მართვა ხდება მოვლენების ტრენდებით და საშუალო პარამეტრების მიხედვით. ამიტომ, როგორც წესი, პარამეტრები ითვლება დეტერმინირებლად და მიღებულია პარამეტრების მათემატიკური მოლოდინები. თუმცა, არის მრავალი ისეთი სოქასტიკური პროცესი და სიდიდეები, რომლის იგნორირება შეუძლებელია. კერძოდ, საიმედოობის, ენერგოდაზოგვის, ენერგოეფექტურობის და სხვა პროცესები მართვის გადაწყვეტილებები.

ნაშრომში ვიხილავთ სტოქასტიკურ მოვლენებს, ნატურული მონაცემების მიხედვით: 1. საქართველოში აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობის, სიმკვრივის, გაზის შემადგენლობის და შესაბამისად ვობზეს რიცხვის სტატისტიკური (ალბათური) შედეგები; 2. აჭარის მაგისტრალური გაზსადენში შიგა წნევის კვლევა და შესაბამისად ამ სიდიდის ამოვარდნების შემუშავება და ანალიზი; 3. მსოფლიოში, და კერძოდ საქართველოში, ავარიების, დაზიანებისა და ინციდენტების ანალიზი, კერძოდ გაჟონვის პროცესის შედეგების დადგენა. ამგვარად ნაშრომი მეტად აქტუალურია.

ნაშრომის მიზანია ანალიზური მეთოდების შემუშავება გაზსადენების ექსპლუატაციის საიმედოობის გასაუმჯობესებლად და ახალი ტექნიკური გადაწყვეტილებები, რომლებიც მიმართულია სენსიტიური უბნების სტაბილურობის, რესურსის შენარჩუნებისა და ენერგოდაზოგვისა და უზრუნველსაყოფად. აგრეთვე, გაზსადენების საიმედოობის გაზრდის მეთოდებისა და საშუალებების შემუშავება, რომელიც დაფუძნებულია ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების, ანალიზისა და პროგნოზირების ანალიტიკური სისტემის შექმნისა და მტყუნებების ადრეული გამოვლენისთვის ანალიტიკური სისტემის შექმნის საფუძველზე. ასევე ნაშრომის მიზანია ვობზეს მოდიფიცირებული რიცხვისა და წვის პოტენციალის შეფასება გაზის თითოეული ცალკეული კომპონენტისთვის წვის პოტენციალის გამოყენებით.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტი და მეთოდები: კვლევის ობიექტია საქართველოს გაზის სექტორის მაგისტრალური გაზსადენებით (ჩრდილოეთი-სამხრეთი მაგისტრალური გაზსადენი, სამხრეთი მაგისტრალური გაზსადენი და აჭარის მაგისტრალური გაზსადენი), ბუნებრივი გაზის მიწოდების ხარისხის მაჩვენებლების დადგენის კვლევა. აგრეთვე აღნიშნული გაზსადენების სტოქასტიკური პარამეტრების კვლევა (წნევა, ხარჯი, სიმკვრივე, თბოუნარიანობა, ვობზეს რიცხვი) ბუნებრივი გაზის კომპონენტების კვლევა. კვლევების შედეგების მისღებად, ნაშრომში გამოიყენება ალბათობის თეორიის მეთოდები, მათი ალბათობის განაწილების ფუნქციები და ამოვარდნების თეორიის მეთოდები.

აგრეთვე, პრობლემების და ამოცანების გადაჭრისას გამოყენებულ იქნა ჰიდროდინამიკის ძირითადი პრინციპები, ასევე ალბათობის სტატისტიკური

მეთოდები, მწკრივების თეორია და სხვა, მაგისტრალური გაზსადენების ოპტიმიზაციის პრობლემების გადაჭრის მეთოდები.

ამასთან დაკავშირებით, ნაშრომში განხილულია კვლევის ამოცანები: ჩატარდა ნატურულ მონაცემებზე დამყარებული შემოსული ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების ხანგრძლივი პერიოდის მქონე მწკრივების სტატისტიკური დამუშავება და ალბათური მახასიათლებების მნიშვნელობების და ფუნქციების დადგენა. კერძოდ, ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობა, სიმკვრივეს, გაზის შემადგენლობის სტატისტიკური მაჩვენებლები, გაზსადენის შიგა წნევის სიდიდეები და ა.შ; სტოქასტიკური ბუნებრივი გაზის დროითი მწკრივების თბოუნარიანობის და შიგა წნევის ამოვარდნებისა რაოდენობისა და მათი ხანგრძლივობის ინტერვალის დადგენა; დადგინდა ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის ურთიერთჩანაცვლების დიაგრამა ზოგადად და კერძოდ საქართველოსათვის.

ნაშრომის ძირითად შედეგებს და მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს: სტატისტიკური ინფორმაცია გაზსადენების ცალკეული უბნების მტყუნებების შესახებ, ექსპლუატაციისას წარმოდგენილია დროითი დინამიკური მწკრივების სახით, რაც საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ მათი ცვლილებების ტენდენციები. ნაშრომში განხილულია ნატურულ მონაცემებზე დაფუძნებული საქართველოში შემოსული ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების ხანგრძლივი პერიოდის მქონე მწკრივების სტატისტიკური დამუშავება და ალბათური მახასიათლებების მნიშვნელობების და ფუნქციების დადგენა. კერძოდ, ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობა, სიმკვრივეს, გაზის შემადგენლობის სტატისტიკური მაჩვენებლები, გაზსადენის შიგა წნევის სიდიდეები და ა.შ; იდენტიფიცირებულია და გომოვლინდა ისეთი ფაქტორები და კანონზომიერებები, რომლებიც აერთიანებს საექსპლუატაციო მახასიათებლებს. კერძოდ ბუნებრივი გაზის შემდგენლობის ქიმიური ნაერთების ოდენობის სტატისტიკური მახასიათებლები, უშუალო საწვავის წვის ფაქტორების დადგენა, კერძოდ ვობეს რიცხვთან დაკავშირებით: დადგენილია ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის ურთიერთჩანაცვლადობის მეთოდოლოგია და შესაბამისი დიაგრამის აგება. შემუშავდა, საქართველოში გაზის სექტორის ენერგეტიკული ბაზრის, არსებული

ენერგეტიკული პოტენციალის, კერძოდ ვობეს რიცხვის არეს დიაგრამის შემამუშავებელი ალგორითმი.

შედეგების გამოყენების სფეროს და მის რეალიზაციას წარმოადგენს: პირველად შემუშავებული მოდელის საფუძველზე მაგისტრალური გაზსადენის ნატურული სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე შესწავლილი იქნა ახალი მეთოდის ფორმირების მექანიზმი და გაზსადენის შიგა წნევის დროითი მწკრივების დამოკიდებულებები, კერძოდ გაზსადენის შიგა წნევის სტატისტიკური მწკრივები და ამ სიდიდეების ამოვარდნების თეორიაზე დაფუძნებული მეთოდი. მიღებული მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გაიცეს მაგისტრალური გაზსადენის ექსპლუატაციის პრაქტიკულ რეკომენდაციები, რაც გაახანგრძლევს აღნიშნული ობიექტის დანიშნულ რესურსს. ნაშრომში შემუშავებული მეთოდები გადაცემულია შპს „გაზის ტრანსპორტირების კომპანიაზე“, რეკომენდაციის მიზნით.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები მოხსენებულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებსა და დისერტაციის წინასწარ განხილვაზე და ასევე, მე-11 საერთაშორისო სამეცნიერო და პრაქტიკულ ინტერნეტ კონფერენციაზე - „Modern Movement of Science“ (2020 წლის 8-9 ოქტომბერი, ქ. დნიპრო, უკრაინა).

ასევე ჩატარდა მეთოდიკის - „ბუნებრივი გაზის წვის სითბოს და ვობეს რიცხვის სტოქასტიკური მახასიათლებების ანალიზი და თვისებრივი კრიტერიუმების დადგენა“ - პრეზენტაცია საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიაში, 04.03.2022წ..

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 155 გვერდს, მათ შორის 41 ცხრილსა და 76 ნახაზს. იგი შეიცავს შესავალს, 6 თავს, დასკვნებსა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

პირველ თავში განხილულია მაგისტრალური გაზსადენების სისტემის თეორიისა და პრაქტიკის თანამედროვე მდგომარეობა და საიმედოობისა და ენერგოდაზოგვის თანამედროვე კვლევების მიმოხილვა. ჩატარებულია მაგისტრალური გაზსადენების სისტემის თეორიისა და პრაქტიკის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი.

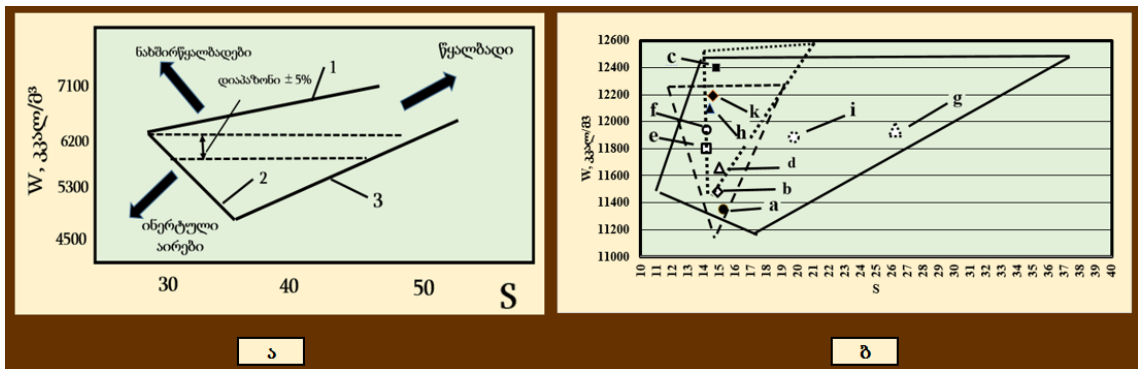
თბოუნარიანობა წარმოადგენს სრულ ენერგია, რომელიც გამოიყოფა სითბოდ, ჟანგბადთან ნივთიერების სრული წვასას, სტანდარტულ პირობებში. წვის ქიმიური რეაქცია, როგორც წესი, არის ნახშირწყალბადის, ან სხვა ორგანული მოლეკულის რეაქცია ჟანგბადთან, ნახშირორჟანგის გაზისა და წყლის შექმნისას, და გამოიყოფა სითბო. ეს შეიძლება გამოიხატოს შემდეგი მნიშვნელობებით: ენერგია/საწვავის მოლი; ენერგია/ საწვავის მასა; ენერგია /საწვავის მოცულობა.

გაზის თანაფარდობის რეგულირების სისტემის დამაკმაყოფილებელი ფუნქციონირებით და ნარევის წნევის სტაბილიზაციით, მისი თბოუნარიანობის მნიშვნელობა შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს საანგარიშოდან, თითოეული შერეული აირის თბოუნარიანობის მნიშვნელობის რხევების გამო, რაც მოითხოვს დამატებით კორექციას. თითქმის ყველა ნარევი ცდილობს შეინარჩუნოს წვის სიბოს ტენდენცია.

საწვავისა და ჰაერის ოპტიმალური თანაფარდობის უზრუნველსაყოფად, დაწვის შედეგების მიღებამდე, საჭიროა საწვავის შემადგენლობიდან გამოთვლილი ჰაერისა და გაზის სიმკვრივის თეორიული რაოდენობის გათვალისწინება. წვის პროცესის ოპტიმიზაციისთვის, აუცილებელია ორი კოეფიციენტის გამოყენება (ვობზეს რიცხვი და მოთხოვნილი ჰაერის წვის კოეფიციენტი - W და C). აღნიშნული კოეფიციენტების გამოყენება (ვობზეს რიცხვი და და მოთხოვნილი ჰაერის წვის კოეფიციენტი - W და C) ხდება წვის პროცესის ოპტიმიზაციისთვის: $C = \frac{R}{\sqrt{\rho}}$ სადაც C არის მოთხოვნილი ჰაერის წვის კოეფიციენტი, R - ჰაერის მოთხოვნა, ხოლო ρ - სიმკვრივე. ეს კოეფიციენტები, იცვლება ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად.

საქართველოში ბუნებრივი გაზი შემოდის აზერბაიჯიდან და რუსეთისაგან.

ნაშრომში განიხილება მსოფლიო ენერგეტიკის განვითარების რესურსებისა და ეკოლოგიური შეზღუდვები. აგრეთვე გაზის სექტორში წვის პროცესები და ვობხეს რიცხვი. მიმოხილულია ევროპისა და აშშ-ში ყველაზე ფართოდ გამოყენებული ჩანაცვალებადობის სისტემები. ის ასახავს ყველაზე მგრძობიარე სანთურების დასაშვებ მნიშვნელობებს. სტანდარტების ემპირიული ხასიათისა და მათი მოქმედების გაზის მკაცრად განსაზღვრულ ნორმების გამო, გასაკვირი არ არის, რომ შეიძლება სხვადასხვა დასკვნების გამოტანა გაზების ჩანაცვალებადობასთან დაკავშირებით. სხვა სიტყვით უნდა ვთქვათ, რომ ორი გაზი, რომლებიც პირველ სისტემაში გვაქვს ჩაუნაცვალებადი, ხოლო მეორეში - სრულად ჩანაცვალებადია, შეიძლება ზოგჯერ, როდესაც ადარებენ საწვავის შემცვლელებს, სასურველია გავითვალისწინოთ არა ერთი, არამედ პარამეტრების რამდენიმე ჯგუფი. განხილულია დელბურის სისტემა (ნახ. 1), ჯილბერტ-პრიგის დიაგრამა, ვივერის სისტემა, ნოის ფორმულები, გაზის ურთიერთჩანაცვლების განსაზღვრის სხვა სისტემები და შედარებითი შეფასება.



ნახ. 1. ა. გაზის ურთიერთჩანაცვალების დიაგრამა ჯილბერტ-პრიგის მიხედვით;
 ბ. გაზების ურთიერთჩანაცვალებადობის პროგნოზირების მეთოდები

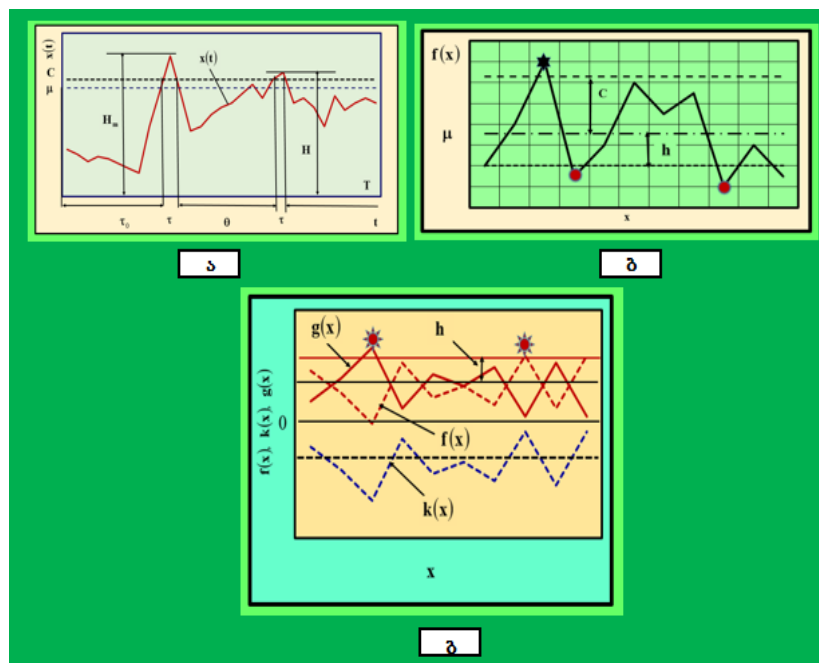
მეორე თავში განხილულია ბუნებრივი გაზის სექტორში სტოქასტიკური პროცესების ანალიზი და გაზის სექტორში სტოქასტიკური პროცესების ამოვარდნების თეორიული ასპექტები, კერძოდ, ამოვარდნა (Outlier) არის ქვესიმრავლის მცირე სიმძლავრის ამონაკრების ელემენტი, რომელიც მნიშვნელოვნად განსხვავდება ნიმუშის დანარჩენი ნაწილისგან. ამავე თავში

ჩატარდა სტოქსტიკური სტაციონარული პროცესების ამოვარდნების თეორიული ფორმულების გამოყვანა

განვიხილოთ $X(t)$ პროცესი. ნახ. 2ა-ზე ნაჩვენებია შემთხვევითი $X(t)$ -ის პროცესის გადაკვეთა ფიქსირებულ C დონემდე. აქ ნაჩვენებია: $X(t)$ - პროცესის ლოკალური H მაქსიმუმი; $x(t)$ - ფუნქციის აბსოლუტური H_m მაქსიმუმი; τ_0 - პირველი ამოვარდნის მომენტი; $X(t)$ პროცესის დადებითი τ_0 დროის ამოვარდნა. $x(t)$ რეალიზაციის T ხანგრძლივობა; N - ამოვარდნების რაოდენობა; μ - პროცესის მათემატიკური მოლოდინი. განვსაზღვროთ ნორმალური სტაციონარული შემთხვევითი $X(t)$ პროცესის C დონით ინტერვალზე $[0, T]$ საშუალო რაოდენობა. ნაშრომში გამოყენებულია რაისის ფორმულას:

$$\varphi(C) = \frac{\sigma_v}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(C-\mu)^2}{2\sigma_v^2}\right],$$

სადაც σ_x და σ_v შესაბამისად არის შემთხვევითი და მისი წარმოებულის ფუნქციების საშუალოკვადრატული გადახრების მნიშვნელობები; C - დადებითი ამოვარდნის დონე.



ნახ. 2. ა,ბ. შემთხვევითი $f(x)$ ფუნქციის ამოვარდნების ილუსტრაცია;
 გ. ურყოფითი ამოვარდნების რიცხვის დადგენის ილუსტრაცია

ზევით მიღებული აღნიშნული მეთოდი ანალოგიურად შეიძლება გამოვიყენოთ ურყოფითი ამოვარდნების რიცხვის დასადგენად. თუმცა ასეთი მსჯელობა გრძელია და რთული გარდაქმნების საჭიროებს. ამიტომ, ჩვენს მიერ შემუშავებულია გამარტივებული მეთოდი (ნახ. 2გ). დაწვრილებით განვიხილოთ ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდი. ვთქვათ გვაქვს საწყისი შემთხვევითი $\mathbf{X}(\mathbf{x}_i)$ მწკვრივი. ჩავატაროთ ამ მწკვრივის. ინვერსია, ე.ი. შემოვებრუნოთ იგი მათემატიკური μ მოლოდინის ღერძი 180° -ით, ხოლო შემდეგ შევკრიბოთ 2μ -თან $\cdot \mathbf{y}_i \Rightarrow \mathbf{y}_i + 2\mu$. ნახ. 2გ-ზე ნაჩვენებია ნახ.2ა-ზე მოყვანილი სიმბოლოები. ცხადია რომ $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ და $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ ფუნქციებისთვის გვექნება მათი საშუალოკვადრატული გადახრები ერთნაირი, ხოლო მათემატიკური მოლოდინები - სხვადასხვაა. ამიტომ, ამ შემთხვევაში შესაძლოა იგივე ფორმულის გამოყენება, მხოლოდ უარყოფითი ამოვარდნები. საბოლოოდ მივიღებთ რაისის მოდიფიცირებულ ფორმულას:

$$\mathbf{n}(\mathbf{h}) = \frac{\sigma_v}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\mathbf{h} - \mathbf{y})^2}{2\sigma_v^2} \right].$$

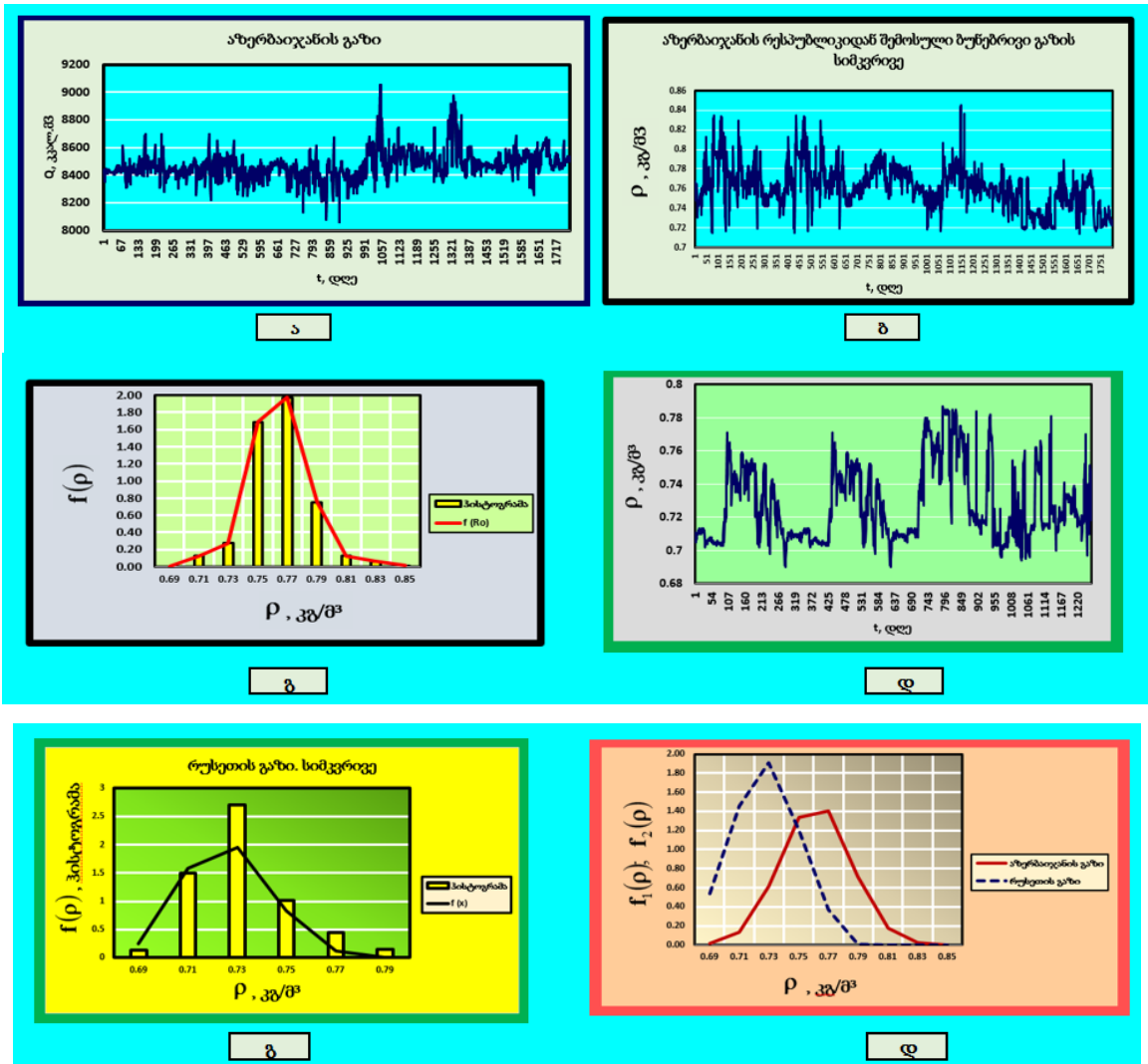
მესამე თავში განიხილება საქართველოში ბუნებრივი გაზის სექტორში სტოქასტიკური პროცესების ანალიზი, კერძოდ, ბუნებრივი გაზის მიწოდების პროცესის დინამიკის ალბათური მახასიათებლების დადგენა.

ჩვენ ვიხილავთ შპს „საქართველოს გაზის ტრანსპორტირების კომპანიას“ მიერ საიტზე საჯაროდ მოყვანილი ბუნებრივი გაზის ლაბორატორიის მიერ შექმნილ მონაცემებს. ცხრილში მოყვანილია ბუნებრივი გაზის ქიმიური კომპონენტები, თბოუნარიანობა და სიმკვრივე. ვიხილავთ აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობისა და სიმკვრივის დროით მწკვრივებს. ნახ. 3-ზე, მაგალითისათვის, ნაჩვენებია თბოუნარიანობის (აზერბაიჯანი) დროითი მწკვრივი.

ჩვენს მიერ განხილულია დაახლოებით 5 წლის პერიოდში მოწოდებული ბუნებრივი გაზის პარამეტრები, კერძოდ თბოუნარიანობა და სიმკვრივე (ნახ. 3აბ).

განვიხილოთ თბოუნარიანობის დროითი შემთხვევითი მწკვრივის ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია (ნახ. 3გ): ცხადია,

რომ თბოუნარიანობის დროითი შემთხვევითი მწკრივის ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია - ნორმალურია.



ნახ. 3. ა. ბუნებრივი გაზის დინამიკა 2015-დან 2020 წლამდე; ბ. აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივეს მწკრივი; გ. აზერბაიჯანის გაზის თბოუნარიანობის დროითი შემთხვევითი მწკრივის ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია; დ. რუსეთის გაზის თბოუნარიანობის დროითი შემთხვევითი მწკრივის ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია; ე. აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივის ჰისტოგრამისა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია; ფ. აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივის განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციების შედარება

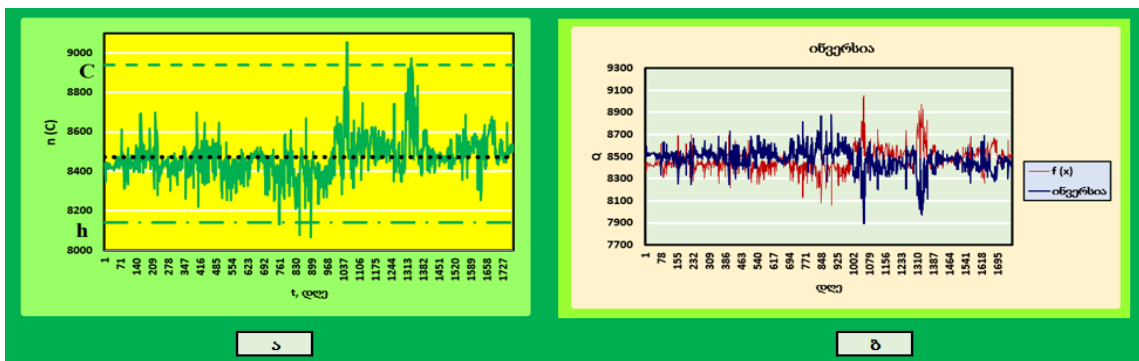
გარდა ამისა დადგინდა, რომ მწკრივი სტაციონარულია და ერგოდიულია. ანალოგიურად დადგინდა რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობა და რუსეთიდან და აზერბაიჯანიდან შემოსული გაზის სიმკვრივის ალბათური მახასიათებლები და აზერბაიჯანიდან შემოსული

ბუნებრივი გაზის სიმკვრივის მწკრივი (ნახ. 3). აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივის მწკრივის სტატისტიკური დამუშავების შემდეგ, (ნახ. 3-ზე), მოყვანილია ჰისტოგრამისა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია.

შემდგომში განვიხილოთ რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივეს მწკრივი. შევადაროთ აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივის ჰისტოგრამისა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციები (ნახ. 3 ზ).

შევადაროთ აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობის ჰისტოგრამისა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციები (ნახ. 3ზ). ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობის შედარება ასეთია: აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობის მათემატიკური მოლოდინი უფრო მაღალია, ვიდრე რუსეთის. თუმცა აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის სიმკვრივეს საშუალოკვადრატული გადახრა უფრო მეტია (გაბნევა მეტია). რუსეთი გაზის სიმკვრივეს გაბნევა - ნაკლებია, თუმცა აქაც, ორივე პარამეტრი ნორმაშია.

ამავე თავში განხილულია ბუნებრივი გაზის მწკრივის ამოვარდნების რიცხვის დადგენა. საწყის მონაცემების შესაბამის, განვიხილოთ ამ მწკრივის პარამეტრები, რომლებიც განისაზღვრება მიღებული ფორმულის შესაბამისად: $h = 8723$ (ნახ.4ა). ნახ. 4ბ-ზე ნაჩვენებია თბოუნარიანების მწკრივის ინვერსია:



ნახ. 4. ა. ზედა და ქვედა დონეები, ამოვარდნების პროცესის ილუსტრაცია; ბ. თბოუნარიანების მწკრივის ინვერსია

შესაბამისი გაანგარიშებით, ვლუბულობთ ამოვარდნების ზედა დონის ამოვარდნების რცხვის $n(C)$ რაოდენობა და ამოვარდნიების $T=1/n$ მომენტები (ცხრილი 1).

ცხრილი 1.

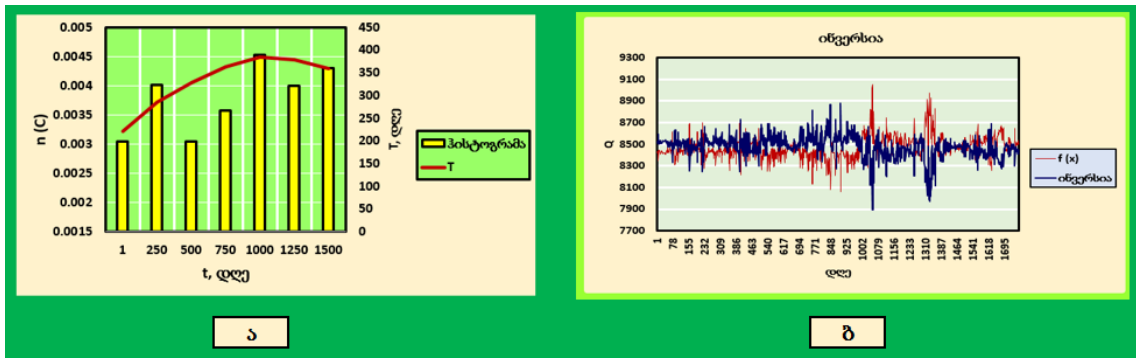
t , დღე	σ_y	ამოვარდნიების რიცხვი $n(C)$	ამოვარდნიების მომენტები, დღე $T=1/n$
1	70.1	0.0045	221
250	54.23	0.0035	286
500	47.19	0.0030	328
750	42.64	0.0028	363
1000	40.35	0.0026	384
1250	40.88	0.0026	379
1500	43.05	0.0028	360

თბოუნარიანობის შემთხვევითი მწკრივის ზედა დონის ალბათური მახასიათებლები

გადავიღეთ ამოვარდნების (ქვევიდან - ზევით) რიცხვის რაოდენობის $n(C_{Min})$ განსაზღვრის მეთოდი და შესაბამისი გაანგარიშება. ნახ. 5აბ-ზე ნაჩვენებია თბოუნარიანობის საწყისი და ინვერსიის გრაფიკები.

ჩვენს შემთხვევაში, შესაბამისი გაანგარიშებით, ვლუბულობთ ამოვარდნების ქვედა დონის ამოვარდნების რცხვის $n(h)$ რაოდენობა და ამოვარდნიების $T=1/n$ მომენტები (ცხრილი 2), შემდეგი ფორმულით:

$$n(h) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left[-\frac{(-h+m)^2}{2\sigma^2}\right].$$



ნახ. 5. ა. ამოვარდნების რიცხვის $n(C)$ რაოდენობისა და ამოვარდნიების $T = 1/n$ მომენტების დიაგრამა და გრაფიკი; ბ. თბოუნარიანობის საწყისი და ინვერსიის გრაფიკები

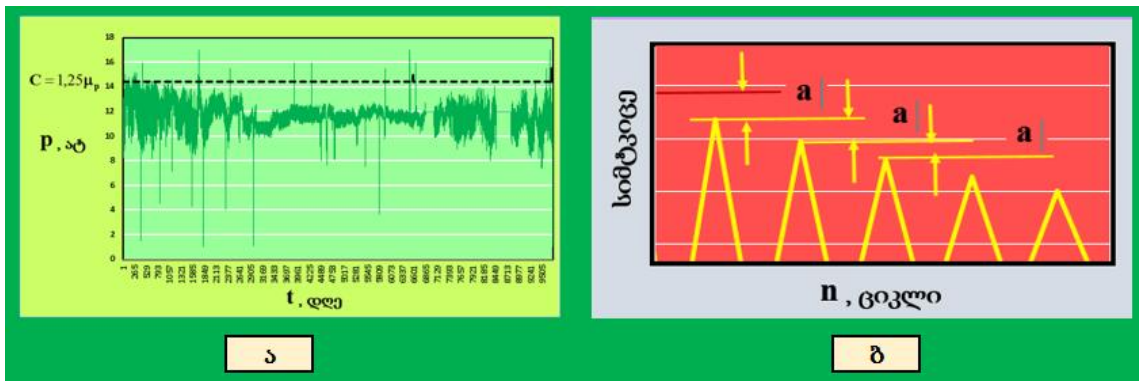
ცხრილი 2.

t , დღე	σ_y	ამოვარდნიების რიცხვი $n(h)$	ამოვარდნიების მომენტები, დღე $T = 1/n$
1	70.1	0.00110	912
250	54.23	0.00085	1179
500	47.19	0.00074	1355
750	42.64	0.00067	1499
1000	40.35	0.00063	1584
1250	40.88	0.00064	1564
1500	43.05	0.00067	1485

ამოვარდნების (ქვევიდან - ზევით) რიცხვის $n(h)$ რაოდენობა

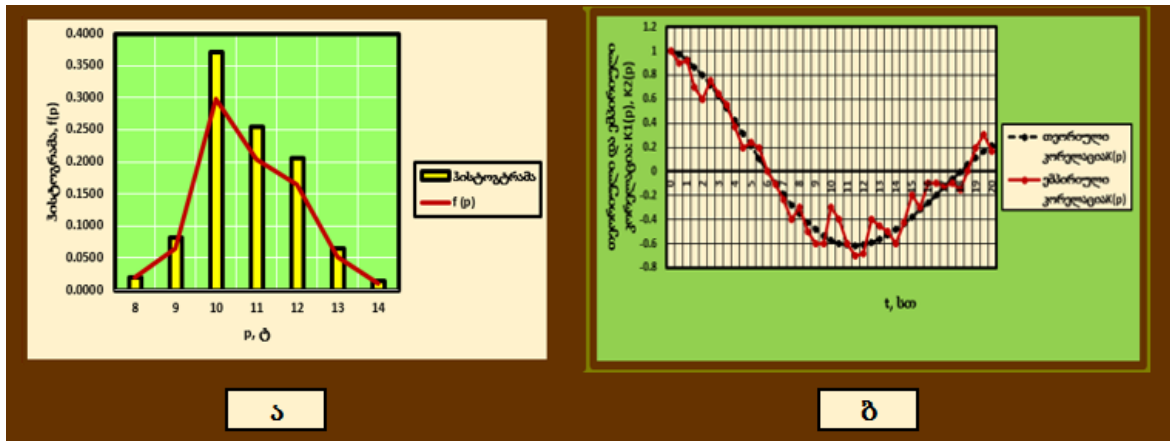
ამგვარად, შეიძლება შემდეგი დასკვნების მიღება: თბოუნარიანობის შემთხვევითი მწკრივი წარმოადგენს სტაციონარულს და ერგოდიულს; კორელაციური ფუნქციის გაანგარიშების შედეგად მიღებულია, რომ ავტოკორელაციური ნორმირებული კოეფიციენტი არის $0,6 \div 0,7$, რაც არის ზომიერი პირდაპირი კორელაციური კავშირი; რთული გარდაქმნის გამო, შეიძლება განვიხილოთ გამარტივებული, ჩვენს მიერ, შემუშავებული მეთოდი, რომლის საფუძველია საწყისი მწკრივის ინვერსია.

მეოთხე თავში ვიხილავთ აჭარის მაგისტრალური გაზსადენის სტოქსტიკური პროცესის ანალიზი და გაზსადენის შიგა წნევის სტოქსტიკური მწკრივის სტატისტიკური მახასიათებლების დადგენა. ვიხილავთ შპს „სოკარ ჯორჯია გაზ“-ის კუთვნილი აჭარის მაგისტრალური გაზსადენი, რომლის სიგრძეა $L = 28$ კმ, $D = 500$ მმ. მონაცემები. შიგა წნევის შესახებ, ჩვენს მიერ მოძიებული მონაცემები მწკრივის საათური წნევები (ატ) მოყვანილია ნახ.6ა-ზე.



ნახ. 6. ა. მაგისტრალურ გაზსადენში შიგა წნევის დინამიკა; ბ. მაგისტრალური გაზსადენის შიგა წნევის მცირეციკლური დატვირთვის, სიმკვიცის დინამიკის ინტერპრეტაცია

ჩავატაროთ მაგისტრალურ გაზსადენში შიგა წნევის დინამიკური მწკრივის სტოქსტიკური მახასიათებლების დადგენა. შიგა წნევა p , აგრეთვე მისი გამოცდის წნევა კი $1,1p \div 1,25p$ - უსაფრთხოა და არ იწვევს მილსადენის გაგლეჯას. მაგრამ ხშირად, გაზსადენის მუშაობისას ხშირად ხდება ჩართვა-ამორთვის პროცედურები და სხვა ფლუქტაციები. ამიტომ მცირე ციკლური პროცესების გამო, ხდება მილსადენის ლითონის დაღლილობა. ამიტომ პრაქტიკაში ცნობილია, რომ ნორმალური მუშაობისას (ანუ p საექსპლუატაციო წნევაზე), მაინც ხდება მილსადენის გაგლეჯა. ამასთან დაკავშირებულია წნევის ამოვარდნების ოდენობის დადგენა (ნახ.6). ავაგოთ აღნიშნული მწკრივის ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვირვის ფუნქცია (ნახ. 7ა). როგორც ჩანს, ჰისტოგრამა აღარ ექვემდებარება ნორმალურ კანონს (ნახ. 7 ა) და აგებულია აპროქსიმაციული და თეორიული კორელაციური ფუნქციები (ნახ. 7ბ) .



ნახ. 7. ა. შიგა წნევის სტოქასტიკური მწკრივის მახასიათებლები: ბ. ერთობლივი ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია; ბ. შიგა წნევის ბ. ემპირიული და თეორიული ავტოკორელაციური ფუნქციები

ანალიზის შემდეგ დადგინდა, რომ შიგა წნევის მწკრივი ექვემდებარე განაწილების რელეის კანონს:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x}{B^2} e^{-\frac{x^2}{2B^2}}, & x \geq 0 \end{cases}$$

სადაც **B** არის რელეის პარამეტრი.

შემდგომში ჩავატაროთ აჭარის მაგისტრალური გაზსადენის შიგა წნევის სტოქასტიკური მწკრივის ამოვარდნების რიცხვის ოდენობის დადგენა. განვიხილოთ შიგა წნევის მწკრივის ამოვარდნების რიცხვის დადგენა, განვსაზღვროთ ამოვარდნების რიცხვის ოდენობა, როდესაც დონედ ჩათვლილია $C = 1,25\mu$

გამოვიყვანოთ ამოვარდნების რიცხვის რაოდენობის განსაზღვრის ფორმულა, რელეის ალბათობის განაწილების შესაბამისად:

$$n(c) = \frac{\sqrt{\pi} B^3}{B^6} \frac{1}{2} e^{-\frac{c^2}{2B^2}}$$

შემდეგი ეტაპია შიგა წნევის მწკრივის კორელაციური კავშირების დადგენა. ნახ. 6,ბ-ზე, შედარებისათვის, მოყვნილია ერთობლივი ემპირიული და თეორიული ავტოკორელაციური ფუნქციები. შესაბამისი გაანგარიშების შემდეგ მივიღებთ (ცხრილი 3).

ცხრილი 3.

დიფერენციალური ფუნქციის საშუალო გადახრა, σ_v , ატ	0.69
წნევის დონე, $=1,25p_{Max}$, ატ	14.4
ამოვარდნების რიცხვი, $n(C)$	0.000335
ამოვარდნების დროის მომენტები, T	119 დღე \approx 5 დღე

შიგა წნევის ამოვარდნების მახასიათებლები

შემდგომში განვიხილოთ აჭარის მაგისტრალურ გაზსადენში ბუნებრივი გაზის ხარჯის დინამიკური მწკრივის სტოქასტიკური მახასიათებლების დადგენა. ჩვენს მოვიძიეთ მონაცემები ბუნებრივი გაზის ხარჯის მწკრივის საათური პარამეტრები, კერძოდ ხარჯი (მ³/სთ) (ნახ. 8ა).

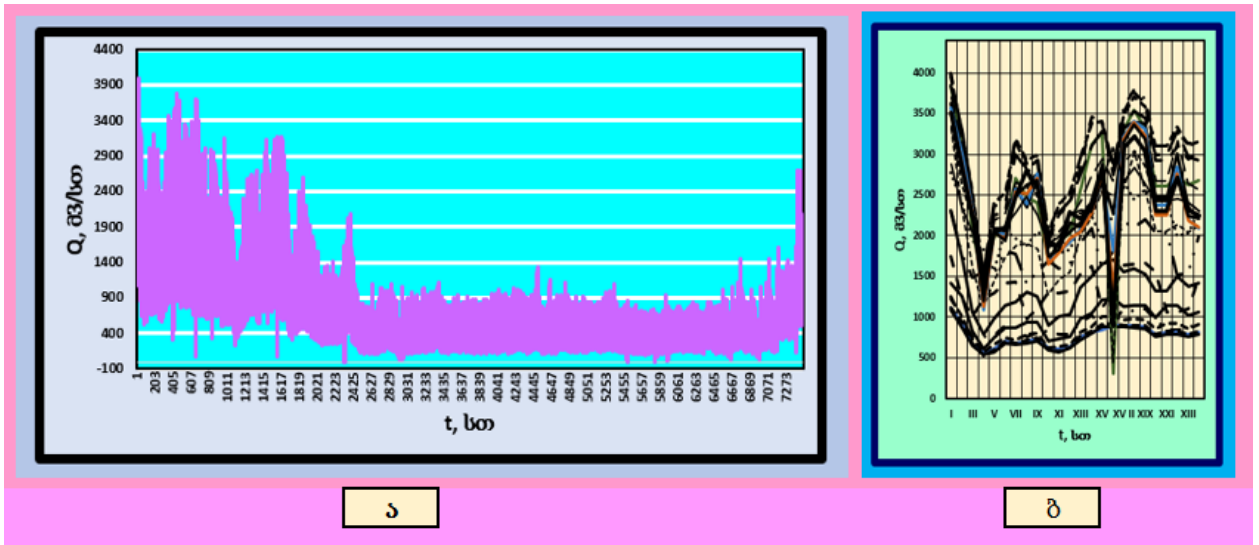
განვიხილოთ გაზსადენის ხარჯის სტოქასტიკური მწკრივის სტოქასტიკური მახასიათებლები. ნახ.8ბ-ზე მოყვანილია საათობრივი ხარჯის გრაფიკები.

სტატისტიკური ანალიზის შემდეგ მიღებულია ბუნებრივი გაზის ხარჯის მწკრივის ჰისტოგრამა და შესაბამისი ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია, კერძოდ რელეის განაწილება (ცხრილი 4, ნახ. 9).

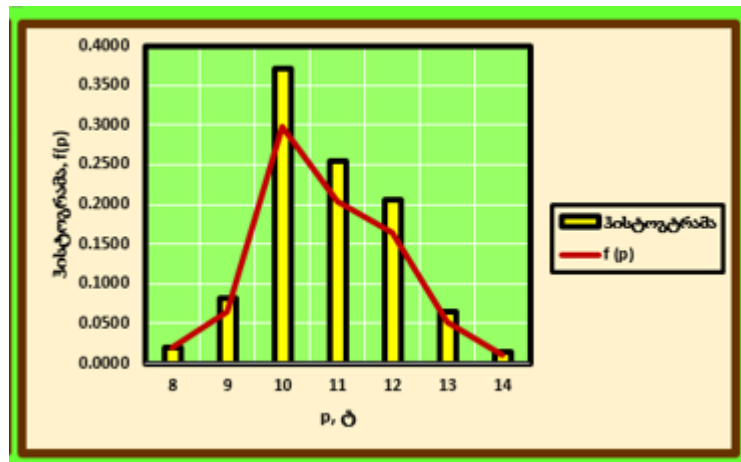
ცხრილი 4.

ამონაკრების ოდენობა, N	6912
მათემატიკური მოლოდინი, μ	903
საშუალოკვადრატული გადახრა σ_v	697
μ_{Min}	0
μ_{Max}	4 000
რელეის განაწილების პარამეტრი B	722,4
რელეის განაწილების პარამეტრი σ_R	839,4

ბუნებრივი გაზის ხარჯის მწკრივის სტატისტიკური მახასიათებლები



ნახ. 8. ა. ბუნებრივი გაზის მწკრივის ხარჯი (მ³/სთ) დინამიკა; ბ. დღიური ბუნებრივი გაზის მოხმარები საათების მიხედვით ტიპიური გრაფიკები



ნახ. 9. ბუნებრივი გაზის ხარჯის მწკრივის შესაბამისი ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია

მეხუთე თავში განხილულია საქართველოში შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობხეს რიცხვის ანალიზი და თვისებრივი კრიტერიუმები. ჩავატარეთ ზოგადი საწვავი აირების უმაღლესი და უმდაბლესი ვობხეს რიცხვების დადგენა.

გაზების ურთიერთჩანაცვლადობა არის თბურ მოწყობილობებში და ხელსაწყოებში მათი მდგრადი წვის შესაძლებლობა, გაზმოწყობილობების კონსტრუქციის ცვლილების გარეშე, ნომინალური თერმული ენერჯის

შენარჩუნებისას. გაზსანთური მოწყობილობების სტაბილური მოქმედება ხასიათდება წვის მუშაობით, მოწყვეტა და გახტომის (მოწყვეტა და გახტომა) ალის სრული წვისას, 100%-თან ახლოს. სანთურების ეს მუშაობა ნებადართულია თბოუნარიანობის მნიშვნელობის მუდმივობის შენარჩუნების, აალების სიჩქარისა გავრცელებისას და წვის გაზების სხვა მახასიათებლების შენარჩუნებისას.

ვობბეს რიცხვი W_0 არის ინდიკატორი, რომელიც ასევე ახასიათებს აირის თერმული თვისებების გამოვლენას მისი ფარდობით სიმკვრივესთან, რაც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_D = \frac{Q_D}{\sqrt{\rho}}; \\ W_M = \frac{Q_M}{\sqrt{\rho}}. \end{array} \right.$$

სადაც W_D და W_M - შესაბამისად არის ვობბეს რიცხვის უმაღლესი და უმდაბლესი მნიშვნელობები, მჯ/მ³; Q_D და Q_M - შესაბამისად თბოუნარიანობის უმაღლესი და უმდაბლესი მნიშვნელობები, მჯ/მ³; ρ - ფარდობითი სიმკვრივე, კგ/მ³. ვობბეს

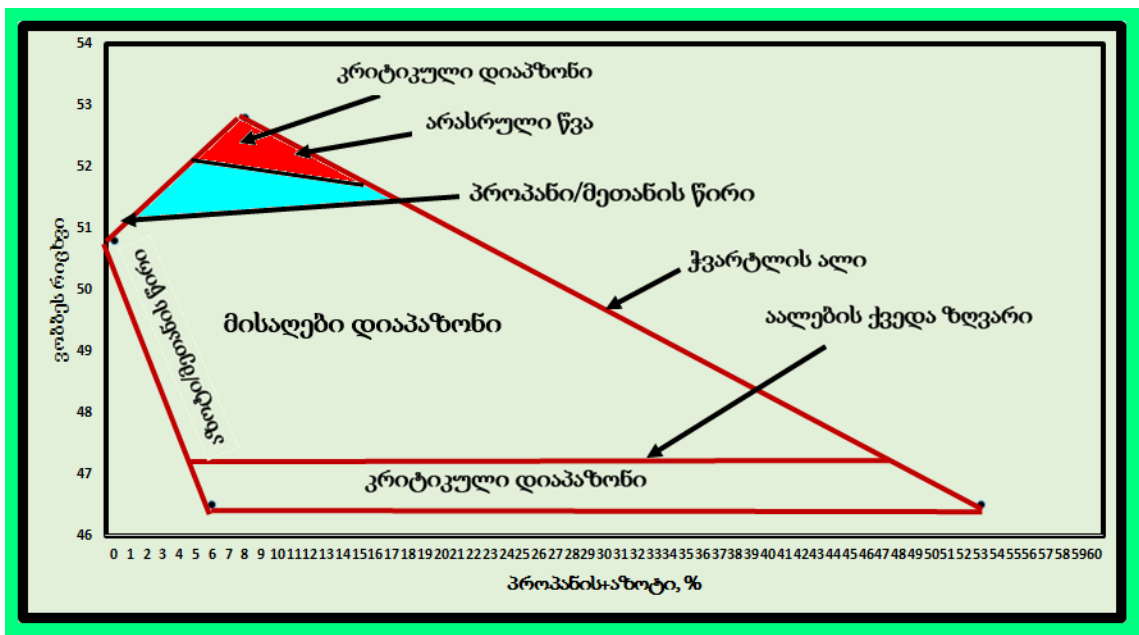
რიცხვების ტოლობა $W_D = \frac{Q_{D1}}{\sqrt{\rho}} = \frac{Q_{D2}}{\sqrt{\rho}}$ მიუთითებს გაზების

ურთიერთჩანაცვლადობას, ე.ი., ერთ ერთ სანთურის მოწყობილობაში მათი გამოყენების შესაძლებლობა ამ უკანასკნელის კონსტრუქციის ცვლლების გარეშე.

განვიხილოთ საქართველოში აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობბეს რიცხვის ანალიზი და თვისებრივი კრიტერიუმები. იმის გამო, რომ ბუნებრივი გაზი სხვადასხვა საბადოებში (ან სხვადასხვა ჭაბურღილებიც) ყოველთვის განსხვავებულია შემადგენლობით, ხოლო მოწყობილობა, რომლებიც გამოიყენება გაზის წვისთვის, წარმოებულია წვის სითბოსა და ინტენსივობის გარკვეული სტანდარტების მიხედვით, მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს სხვადასხვა ბუნებრივი გაზის ერთი სტანდარტით „გათანაბრება“.

დიდ ბრიტანეთში, ვიზულიზაციის გამო, გამოიყენება შემდეგი დიაგრამა აირების ურთიერთჩანაცვლების თვალსაზრისით (ნახ. 10). რიცხვის ვობბე განლაგებულია ორდინატების ღერძის გასწვრივ, ხოლო პროპანისა და აზოტის ეკვივალენტთა ჯამის წილი აბსცისის ღერძზე.

როგორც ჩანს, ნებადართული გაზის პარამეტრების ცვალებადობა საკმაოდ დიდია ("მისაღები დიაპაზონის" არეალი). ვობზეს რიცხვის მნიშვნელობა 46,5-დან 51 მჯ/მ³-მდეა, ხოლო პროპანისა და აზოტის ეკვივალენტის ოდენობა 0%-დან 45%-მდეა. გაზი, აუცილებელ ჩარჩოებში, რჩება აზოტის მაღალი შემცველობით მძიმე ნახშირწყალბადების გამო, რომელსაც გააჩნია მაღალი წვის სითბო. გაზი, რომელიც არ აკმაყოფილებს ამ პარამეტრებს, მუშავდება და იწმინდება საჭირო დონეზე.



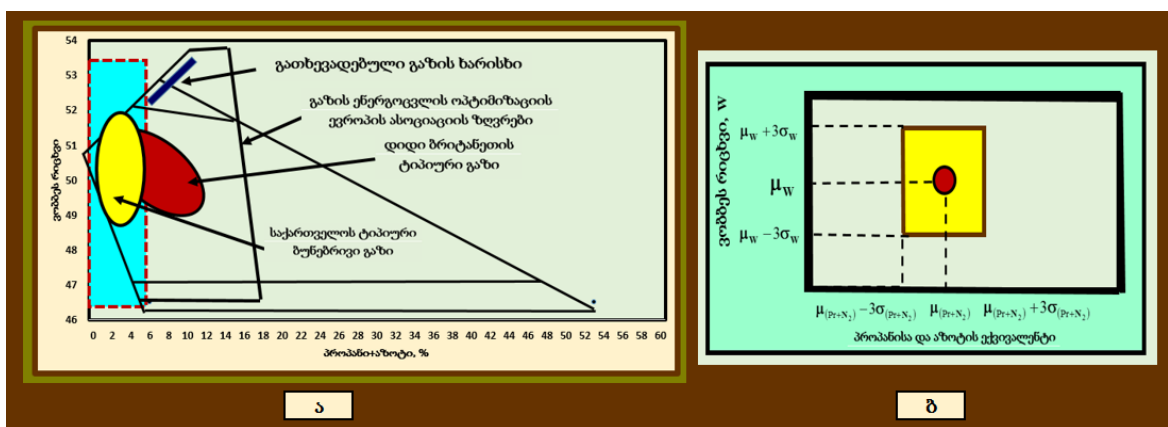
ნახ.10. ბუნებრივი გაზის ურთიერთცანაცვლების დიაგრამა

სინამდვილეში, გაზის ხარისხი იცვლება უფრო მოკრძალებულ ზღვრებში. მოყვანილ დიაგრამაზე ელიფსური ლაქა აღნიშნავს დიდი ბრიტანეთის გაზის ტიპიურ ხარისხს. დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 11ა), რომ ჩარჩოები ფართოა - შესაძლოა იყოს, პროპანის და აზოტის 15% ეკვივალენტის, რომელთაგან აზოტი დაახლოებით 4%. შავი ზოლი აღნიშნავს თხევად ბუნებრივ გაზს (LNG), რომლის თბოუნარიანობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე დასაშვები ბრიტანეთში, ამიტომ ჩვეულებრივ იგი აზოტით განზავებულია 2-5%-ით დაუყოვნებლივ, რეგაზიფიკაციის ტერმინალში, ისე, რომ ის ტექნოლოგიურ დიაპაზონშია.

ენერჯის ინდივიდუალური ფიზიკური პარამეტრები (მაგალითად წვის სითბოს და გაზის მოცულობის მნიშვნელობა) პირდაპირი გაზომვებში არ

იზომება. ამჟამად ბაზარზე დაიწყო ენერჯის პირდაპირი გაზომვის მრიცხველების შემოსვლა, მაგრამ მათი გამოყენება არ არის გაზის გადაცემის დადასტურებული ტექნოლოგია. გაზგამზომ სადგურზე ირიბი განსაზღვრისას, ხდება ისეთი გაზომვების, როგორებიცაა გაზის მოცულობა ან მასა, წვის სითბოს მნიშვნელობა და ისეთი დამატებითი ფიზიკური სიდიდეების რაოდენობა, როგორიცაა ნახშირის დიოქსიდი, სიმკვრივე და ა.შ. მოცულობითი ხარჯი და ენერჯის ოდენობა ჩვეულებრივად რეგისტრირდება გაზომვის წერტილში.

ნახ. 11ბ-ზე მოყვანილია ვობეს რიცხვის დიაგრამის აგების ილუსტრაცია.



ნახ.11. ა. ბუნებრივი გაზის ტიპური ხარისხის დიაგრამა; ბ.. ვობეს რიცხვის დიაგრამის აგების ილუსტრაცია

ერთმანეთთან განსხვავებული გაზების შედარების მიზნით, იყენებენ გაზის ფარდობითი სიმკვრივის ცნებას, რომელიც არის გაზის სიმკვრივის თანაფარდობა ნორმალურ პირობებში (0°C , 1015 პა) ჰაერის ანალოგიური სიმკვრივის მიმართ, სადაც, $\rho = \rho_G / \rho_H$ და ρ_G , ρ_H , არის გაზისა და ჰაერის სიმკვრივეები ნორმალურ პირობებში. ბუნებრივი გაზის სიმკვრივე ნორმალურ პირობებში შეადგენს 0,7-დან 1,0 კგ/მ³-მდე.

ვობეს რიცხვი არის წვის მოცულობითი სითბოს (ე.ი. რამდენ ჯოულს გამოიმუშავებს ერთი კუბური მეტრი გაზი) შეფარდებული გაზის ფრდობითი

სიმკვრივის კვადრატულ ფესვზე: $W = \frac{Q}{\sqrt{\rho}}$. ამ ინდექსის ფიზიკური

მნიშვნელობა ის არის, რომ იმავე წნევის დროს გაზები ერთნაირი ვობეს რიცხვები იძლევიან იმავე ენერჯის შემოდინებას. განზომილება - მჯ / მ³.

საბადოები განსხვავდება მეთანის შემცველობით, მეთანის ჰომოლოგებით და არაჰიდროწყალბადური მინარევებით. ბუნებრივი გაზის შემადგენლობა იყოფა ოთხ ჯგუფად: პირველი ჯგუფი არის მეთანი ((CH_4)), რომელსაც უწოდებენ "მშრალ" გაზს. მეორე ჯგუფია გაზის კონდენსატები, ხოლო მესამე ჯგუფია უფრო მაღალი რიგის შენაერთების კონდენსატები ე.ი. პენტანი და უფრო მაღალი რიგის შენაერთები. მეოთხე ჯგუფი შედგება არაჰიდროწყალბადური მინარევებისაგან (ძირითადად აზოტი და ნახშირორჟანგი), რომლის არსებობა ამცირებს ბუნებრივი აირის წვის სპეციფიკურ თბოუნარიანობას. ოთხივე ჯგუფი ვარირდება გაზში, ასე რომ, გაზის ინდუსტრიაში არსებობს ისეთი რამ, როგორცაა გაზის ურთიერთჩანაცვლება, რომელსაც აკონტროლებს რამდენიმე პარამეტრი. მათგან ყველაზე მნიშვნელოვანია ვობეს რიცხვი.

ამ ინდექსის ფიზიკური მნიშვნელობა არის ის, რომ იმავე წნევისას გაზები იგივე ვობეს რიცხვები ძლევიან იმავე ენერჯის შემოდინებას.

განვიხილოთ ვობეს რიცხვის არეს დიაგრამის შემუშავებელი ალგორითმი:

1. ვიხილავთ ვობეს რიცხვს $W = \frac{Q}{\sqrt{p}}$ -ს, როგორც სტოქასტიკურ სიდიდეს,

რადგანაც სიდიდეები გაზის Q თბოუნარიანობა და გაზის p სიმკვრივე - სტოქასტიკურია;

2. დავადგინოთ გაზის Q თბოუნარიანობისა და გაზის p სიმკვრივეს სიდიდეების ალბათური მახასიათებლები და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციების კანონები $f_1(Q)$ და $f_2(p)$. სტატისტიკური მწკრივების მოიძიება შესაძლოა შპს „საქართველოს გაზის ტრანსპორტირების კომპანიას“ საიტზე მოყვანილი ლაბორატორიის მიერ შექმნილი მონაცემები.

3. დავადგინოთ W ვობეს რიცხვის ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციის კანონი - $g(W)$, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით [10]:

$$g(W) = \int_0^{\infty} f[Q(z); z] \frac{\partial(Q, p)}{\partial(W, z)},$$

სადაც $f(Q, p) = f_1(Q)f_2(p)$, ხოლო იაკობიანი შემდეგია:

$$\frac{\partial(\mathbf{Q}, \boldsymbol{\rho})}{\partial(\mathbf{W}, \mathbf{z})} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial \mathbf{W}} & \frac{\partial \boldsymbol{\rho}}{\partial \mathbf{W}} \\ \frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial \mathbf{z}} & \frac{\partial \boldsymbol{\rho}}{\partial \mathbf{z}} \end{vmatrix}.$$

4. თუ შესაძლოა $\mathbf{g}(\mathbf{W})$ ფუნქციის ანალიზური გამოსახულებისა და შესაბამისი ამ სიდიდეების მათემატიკური მოლოდინისა და საშუალოკვადრატული გადახრების $((\boldsymbol{\mu}_W, \boldsymbol{\sigma}_W)$ დადგენა, ალგორითმი მთავრდება.

5. თუ ფუნქცია $\mathbf{g}(\mathbf{W})$ ძალიან რთულია (ან ინტეგრალი არ იხსნება) და შესაბამისი მათემატიკური მოლოდინისა და საშუალოკვადრატული გადახრების $(\boldsymbol{\mu}_W, \boldsymbol{\sigma}_W)$ დადგენა ასევე ანალიზურად, მაშინ გადავდივართ შემდეგ ბიჯზე;

6. იგივე აღნიშნული საიტის მიხედვით ვიღებთ \mathbf{Q} თბოუნარიანობისა და გაზის $\boldsymbol{\rho}$ სიმკვრივეს სიდიდეების მწკრივებს $\mathbf{Q}_i \{Q_1, Q_2, \dots, Q_N\}$ და $\boldsymbol{\rho}_i \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N\}$.

შესაბამისად ვანგარიშებთ ახალ მწკრივს $\mathbf{W}_i \left\{ \frac{Q_1}{\sqrt{\rho_1}}, \frac{Q_2}{\sqrt{\rho_2}}, \dots, \frac{Q_N}{\sqrt{\rho_N}} \right\}$. შემდეგ

ვაკეთებთ სტატისტიკურ დამუშავებას და შესაბამისად ვპოულობთ ფუნქცია $\mathbf{g}(\mathbf{W})$ -ს და მისი მათემატიკური მოლოდინისა და საშუალოკვადრატული გადახრების $(\boldsymbol{\mu}_W, \boldsymbol{\sigma}_W)$ სიდიდეებს.

7. იგივე აღნიშნული საიტის მიხედვით, ვიხილავთ ბუნებრივი გაზის პროპანისა და აზოტის ექვივალენტობის ჯამური ოდენობის მწკრივს და ვადგინებთ ამ სიდიდეს ექვივალენტის რიცხვის $(Pr+N_2)\%$ სტატისტიკურ მახასიათებლებს: $\mathbf{h}(N_{Pr+n_2}), \boldsymbol{\mu}_{N_{Pr+N_2}}, \boldsymbol{\sigma}_{N_{Pr+N_2}}$.

8. ავავოთ დიაგრამა, რომლის აბსცისზე არის N_{Pr+n_2} , ხოლო ორდინატზე ვობეს რიცხვი \mathbf{W} . მართკუთხედი (ან სხვა ფორმის) არე წარმოადგენს ბუნებრივი გაზის ენერგეტიკულ დიაგრამას (ნახ. 5).

ვობეს რიცხვის ფორმულაში შედის სიდიდეები თბოუნარიანობა \mathbf{Q} და სიმკვრივე $\boldsymbol{\rho}$ და მათ გააჩნიათ ნორმალური კანონი:

$$\left\{ \begin{aligned} f_1(\mathbf{Q}) &= \frac{1}{\sigma_Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\mathbf{Q}-\mu_Q)^2}{2\sigma_Q^2}}; & f_2(\boldsymbol{\rho}) &= \frac{1}{\sigma_\rho \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\boldsymbol{\rho}-\mu_\rho)^2}{2\sigma_\rho^2}}. \end{aligned} \right.$$

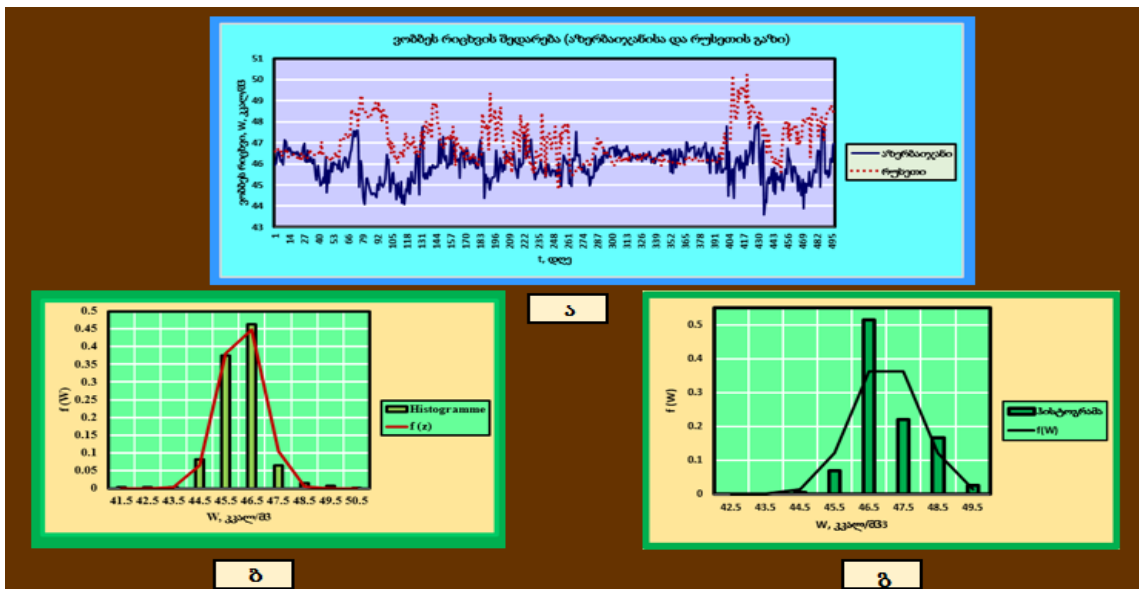
ცხადია, რომ W ვობეს რიცხვი სტოქასტიკურია და განვსაზღვროთ ამ სისდიდის ალბათობის განაწილების სიმკვრივეს ფუნქცია. ცნობილია, რომ W ვობეს რიცხვი ტოლია $W = \frac{Q}{\sqrt{\rho}}$, ამიტომ გვექნება $f(Q, \rho) = f_1(Q)f_2(\rho)$, ანდა

$$f(Q, \rho) = \frac{1}{2\pi\sigma_Q\sigma_\rho} e^{-\frac{(Q-\mu_Q)^2}{2\sigma_Q^2} - \frac{(\rho-\mu_\rho)^2}{2\sigma_\rho^2}}$$

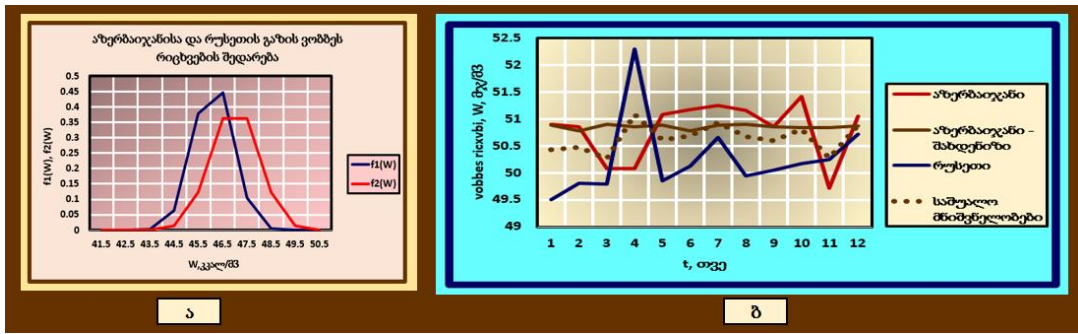
იტერაციის პროცედურა სრულდება და შესაძლებელია ურთიერთჩანცვლადობის დიაგრამის აგება.

განვიხილოთ აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან (ნახ. 12) შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის სტატისტიკური მწკრივები. რადგანაც ცნობილია Q თბოუნარიანების და ρ სიმკვრივის მწკვირვები, მაშინ ფორმულით შეიძლება ვიპოვოთ ვობეს $W = Q/\sqrt{\rho}$ რიცხვის მწკრივი. ამის შემდეგ ხდება ამ მწკრივის სტატისტიკური დამუშავება. (ნახ. 12ბგ).

აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის დინამიკური მწკრივების შემდეგ, შედარებისათვის აგებულია ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციები (ნახ. 13).



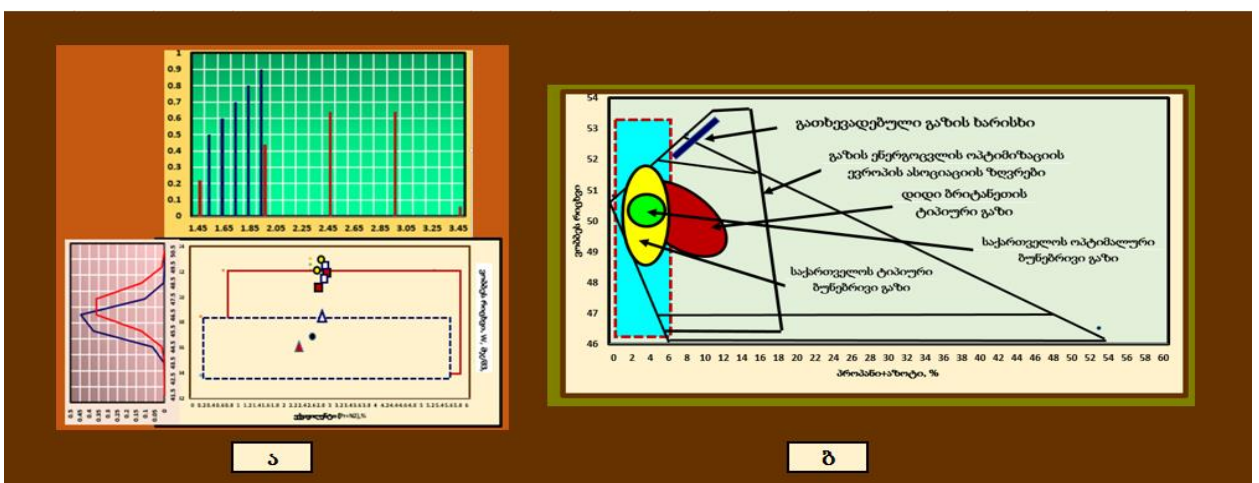
ნახ. 12. ა. აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის დინამიკური მწკრივები; ბ. აზერბაიჯანიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის დინამიკური მწკრივების ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციები; გ. რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვობეს რიცხვის დინამიკური მწკრივების ჰისტოგრამა და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციები



ნახ. 13. აზერბაიჯანიდან და რუსეთიდან შემოსული ბუნებრივი გაზის ვიზუალური რიცხვის დინამიკური მწკრივების ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციების შედარება;
 ნახ. 10. ვიზუალური რიცხვის დინამიკა - 2019 წ (საქართველოს ნავთობისა და გაზის კორპორაცია)

რადგანაც, საბოლოოდ ავსებთ ხარისხის დიაგრამა, ამიტომ განვიხილოთ ბუნებრივი გაზის ქიმიური შემადგენლობის ელემენტების ნაწილი, კერძოდ პროპანისა და აზოტის ექვავიკლენტობის ჯამური ოდენობა. სტატისტიკური ანალიზის ვლელობით (ნახ. 13): პროპანისა და აზოტის ექვავიკლენტობის ჯამური ოდენობის დინამიკური მწკრივების სტატისტიკური დამუშავების შემდეგ ვლელობით შესაბამის ჰისტოგრამებს (ნახ. 13). საბოლოოდ, ყველა აღნიშნული მონაცემის სრული სურათის მისაღებად, მოყვანილია ნახ. 14-ზე, ვიზუალური რიცხვის დიაგრამა.

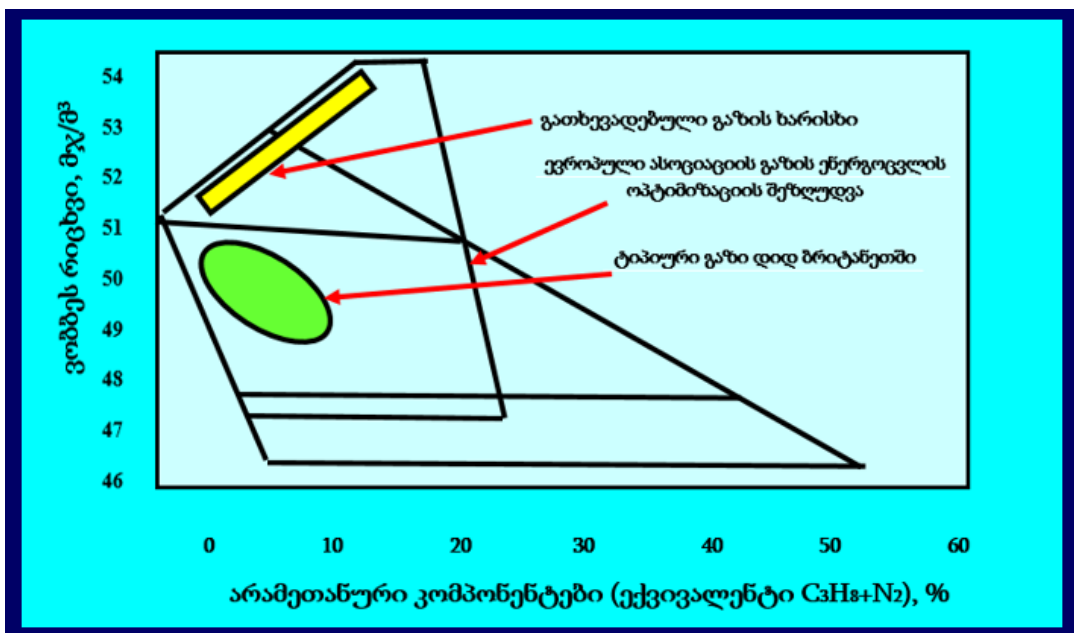
პირველ რიგში, მოვახდინოთ ჩვენს მიერ აღნიშნული თბოუნარიანობისა და სიმკვრივის დინამიკური მწკრივების სტატისტიკური დამუშავება. მიღებული ცხრილების თანახმად, ვლელობით აღნიშნულ დიაგრამას (ნახ. 14).



ნახ. 14. ა. ვიზუალური რიცხვის დიაგრამა; ბ. გაზის კრებსითი დიაგრამის შედარება დიდი ბრიტანეთისა და საქართველოსათვის

მეექვსე თავში განხილულია ბუნებრივი გაზის ტარიფის მსოფლიო გამოცდილება და რეკომენდაციები, ვობბეს რიცხვის გათვალისწინებით, კერძოდ, ენერგიით (თბოუნარიანობით) გაზის ხარჯის გაზომვის მეთოდის უპირატესობა, გაზის ხარჯის მოცულობითი განსაზღვრის მეთოდთან შედარებით. აღნიშნული მეთოდი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც უფრო პერსპექტიული და უნივერსალური. ენერგიის ზუსტი განსაზღვრის მისაღწევად, აუცილებელია რომ გაზის მოცულობა და მისი წვის სითბოს მნიშვნელობა განისაზღვროს ერთი სტანდარტის პირობებში.

სიტუაციის ილუსტრაციისთვის მოყვანილია დიდ ბრიტანეთში ნებადართული გაზის ხარისხის პარამეტრების დიაგრამა. გაზი, რომელიც არ აკმაყოფილებს ამ პარამეტრებს, მუშავდება და იწმინდება საჭირო დონეზე. გაზის გაწმენდა ხდება საბადოებში და საჭირო ხარისხის გაზი მიეწოდება მაგისტრალურ გაზსადენებში.



ნახ. 15. ტიპური გაზის ხარისხი

დასკვნები და რეკომენდაციები

1. მაგისტრალური გაზსადენების საიმედოობის, ენერგოდაზოგვის და ენერგოეფექტურობის პრობლემის კვლევებისას ავტორმა შემუშავა რეკომენდაციები რომლებიც მოიცავს შემდეგს: გაზსადენების ცალკეული უბნების მტყუნებების შესახებ სტატისტიკური ინფორმაციის საფუძველზე, დამუშავდა დროითი დინამიკური მწკრივები (კერძოდ გაზსადენის შიგა წნევის სიდიდეების სტატისტიკური მწკრივები და ამ სიდიდეების ამოვარდნები), დადგინდა მათი ალბათური მახასიათებლების სიდიდეები და შესაბამის ალბათობის ფუნქციები, რაც საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ მტყუნებების ცვლილებების ტენდენციები. შემუშავდა გაზსადენის (მისი ცალკეული უბნების) ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებისა და პროგნოზირების ახალი მეთოდის ფორმირების მექანიზმი, კერძოდ, შესწავლილი იქნა გაზსადენის შიგა წნევის სტატისტიკური მწკრივები და შემუშავდა ამ სიდიდეების ამოვარდნების თეორიაზე დაფუძნებული მეთოდი. მიღებული მეთოდი გვაძლევს მაგისტრალური გაზსადენების პროცესების პროგნოზირების და ნორმატიული მოთხოვნების შესრულების შედეგების ანალიზის საშუალებას, რაც უზრუნველყოფს გაიცეს მაგისტრალური გაზსადენის ექსპლუატაციის პრაქტიკულ რეკომენდაციები და გაახანგრძლევს აღნიშნული ობიექტის დანიშნულ რესურსს.

2. ნაშრომში ჩატარდა მაგისტრალური გაზსადენების გარე და შიგა ფაქტორების გავლენის მოძიება და სტატისტიკური მონაცემების დამუშავება. კერძოდ პირველად შემუშავდა ალბათური მახასიათებლების სიდიდეების და შესაბამის ალბათობის ფუნქციების დადგენა: ბუნებრივი გაზის ფიზიკური სიდიდეები (თბოუნარიანობა, სიმკვრივე, გაზის შემადგენლების კომპონენტების მნიშვნელობები), გაზოდინამიკური ფაქტორები (შიგა წნევა). დადგენილია მათი ალბათური მახასიათებლები და ალბათობის განაწილების ფუნქციები - ნორმალური, ექსპონენციალური და რელეის განაწილებები.

3. პირველად შემუშავებულია სტოქასტიკური მწკრივების ამოვარდნების რაოდენობისა და ამოვარდნების ხანგრძლივობის დადგენის ორიგინალური მეთოდი ნორმალური და რელეის განაწილებისას. კერძოდ, გაზსადენის შიგა

წნევისა და ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობის ამოვარდნების დროს, ამოვარდნების რაოდენობისა და ხანგრძლივობის დადგენა.

4. იდენტიფიცირებულია და გამოვლინდა ისეთი ფაქტორები და კანონზომიერებები, რომლებიც აერთიანებს საექსპლუატაციო მახასიათებლებს მაგისტრალური გაზსადენის საექსპლუატაციო პარამეტრებთან. კერძოდ ბუნებრივი გაზის თბოუნარიანობა, სიმკვრივე, შემადგენლობის ქიმიური ნაერთების ოდენობის სტატისტიკური მახასიათებლები, უშუალო საწვავის წვის ფაქტორების დადგენა, კერძოდ ვობხეს რიცხვთან დაკავშირებით. Q თბოუნარიანობისა და გაზის ρ სიმკვრივეს სიდიდეების ხანგრძლივი პერიოდის მქონე მწკრივების სტატისტიკური დამუშავებისა და მათი ალბათური მახასიათებლების მნიშვნელობების და ფუნქციების შესწავლის საფუძველზე პირველად განხორციელდა ვობხეს რიცხვის არეს დიაგრამის ალგორითმის აგება, რაც საშუალებას გვაძლევს დადგინდეს გაზების ურთიერთანაცვლების ოპტიმალური დიაპაზონი, მათ შორის საქართველოსთვის. აღნიშნული მეთოდი რეკომენდებულია შპს „გაზის ტრანსპორტირების კომპანიისთვის“ ურთიერთანაცვლების დიაგრამის დანერგვისას, რაც შეიძლება გამოყენებულ იქნას წარმოებაში ტიპური ტექნოლოგიური სქემების შემუშავების დროს.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომები:

1. Namgaladze D., Kiziria T., Shatakishvili L., Gvanidze T. Plotting a diagram of natural gas interchangeability for the energy market of Georgia. World Science, RS Global, 2020, №9(61), pp. 60 – 63.
2. ღვანიძე თ. საქართველოში ბუნებრივი გაზის მიწოდებისას დინამიკური ალბათური მახასიათებლების დადგენა. „ენერჯია“, 2020, №2-3(94-95), გვ. 59 – 64.
3. Гванидзе Т. Определение динамических вероятностных характеристик теплоемкости при поставках природного газа в Грузию. Abstracts of 11th International and Practical Internet Conference - „Modern Movement of Science“, 8-9 October 2020, Dnipro, International El. Journal „WayScience“, 2020, P.1, pp. 133 – 136.
4. Намгаладзе Д., Кизирия Т., Шатакишвили Л., Гванидзе Т. Расчет характеристик выбросов внутреннего давления в магистральных газопроводах. World Science, RS Global, 2021, №1(62), сс. 59 – 61.
5. ნამგალაძე დ., ღვანიძე თ. ბუნებრივი გაზის წვის სითბოს სტოქასტიკური მახასიათებლების დადგენა და ურთიერთჩანაცვლების მახასიათებლების (ვობეს რიცხვი) დადგენა. „ენერჯია“, 2021, №4(100), გვ. 83 – 88.

Abstract

Managing the technical condition and integrity of the gas transmission system is an important task. Its effectiveness largely depends on the technical diagnosis of defects and the availability of their parameters over time, on the reliability and efficiency of data mining. Control and monitoring of the technical condition of gas pipeline systems includes periods of early failure, normal and fatigue. The issues of reliable and safe operation of main gas pipelines affect not only the gas transportation system, but also many other industries, and also have a significant impact on the concept of the country's energy development. The current processes on the main gas pipelines are stochastic, stochastic transport and gas supply processes, the composition of natural gas, etc. It is clear that this process is controlled by event trends and average parameters. Therefore, the parameters are usually considered to be deterministic and the mathematical expectations of the parameters are accepted.

The paper considers stochastic events in accordance with natural data: 1. Statistical (probable) results of the heat capacity, density, gas composition and, consequently, the Wobbe number coming to Georgia from Azerbaijan and Russia; 2. Study of the internal pressure in the main gas pipeline of Adjara and, accordingly, the development and analysis of falls of this magnitude.

Object and methods of dissertation examination: The purpose of the dissertation is to study the indications of the quality of the natural gas composition on the main gas pipeline (main gas pipeline North-South, main gas pipeline South and Adjara main gas pipeline). Also study the stochastic parameters these pipelines and components of natural gas (pressure, flow rate, density, heat capacity, Wobbe number). In order for the results to be obtained in the statistic, the functions of probability distribution and analysis of falls of this magnitude are used.

Also, when solving problems set in dissertations, the basic principles of hydrodynamics are used, as well as probability-statistical methods, theory of sequence, methods of solving problems, optimization of the main gas pipeline and others.

The paper discusses the tasks of the study: statistical processing of sequences of natural gas supply - consumption values with a long period of columns based on field data and determination of the values and the corresponding functions of probabilistic characteristics. The stochastic values of the time values of the heat capacity of natural gas and the number of internal pressure drops were processed. In general, and in particular for Georgia, a natural gas interchangeability scheme has been established.

The main results and novelty of the article are: Statistical information on the inaccuracies of certain parts of the pipeline in the process of exploitation presented in terms of time dynamics succession, which allows to assess the tendencies and their changes.

In the dissertation are considered on the basis of natural data Statistical processing of long-term series of supply-demands of natural gas in Georgia and determination of values and functions of probabilistic characteristics (natural gas heat capacity, density, gas composition statistics, internal pressure values). Are identified factors and patterns that combine operational characteristics, in particular, statistical characteristics of the amount of chemical compounds in natural gas. The method of interchangeability of the Wobbe

number of natural gas is established and the corresponding diagram is constructed. An algorithm has been developed for the energy market of the gas sector of Georgia, the existing energy potential, in particular the area of the Wobbe number diagram.

The scope of the obtained results and its implementation: On the basis of the first developed model based on the natural statistics of the main gas pipeline, the mechanism for the formation of a new method and the dependences of the pipeline pressure time indicators, in particular, the statistical series of the internal pressure of the pipeline and the method based on the theory of loss of these values, was studied . The resulting methodology allows us to issue practical recommendations for the main gas pipeline, which will extend the assigned resource of the facility.

Also, for the first time, statistical processing of long-term series of natural gas supplies and costs (indicators of heat capacity, density, gas composition) and the establishment of values and functions of probabilistic characteristics are proposed for the first time.

The characteristics and patterns directly related to the process of fuel combustion, in particular the Wobbe number, are revealed, by means of which the method of interchangeability of the Wobbe number of natural gas in Georgia and the algorithm for calculating the Wobbe number are established.