

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი გაგუა

გაზსადენების საექსპლუატაციო რეჟიმების და ტექნოლოგიური
პარამეტრების გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“
შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2019 წელი

საავტორო უფლება © 2019 წელი, გიორგი გაგუა

თბილისი
2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი გაგუას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „გაზსადენების საექსპლუატაციო რეჟიმების და ტექნოლოგიური პარამეტრების გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

_____ივლისი, 2019

ხელმძღვანელები _____ პროფესორი დ. ნამგალაძე

_____ ასოც. პროფესორი ლ. შატაკიშვილი

რეცენზენტი _____

რეცენზენტი _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: გიორგი გაგუა

დასახელება: „გაზსადენების საექსპლუატაციო რეჟიმების და ტექნოლოგიური პარამეტრების გამოკვლევა“

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____ ივლისი 2019

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთმოყვანილი 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 დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ქალაქების გაზგამორაგების გაზგამანაწილებელი ქსელის ოპტიმიზაციისათვის, სამეცნიერო თეორიული და პრაქტიკული პრობლემების გადასაწყვეტად იყენებენ კომპიუტერული პროგრამებს, ეკონომიკურ და მათემატიკურ მეთოდებს. ძირითად პრობლემას წარმოადგენს ერთეულად დეტერმინისტული და ალბათურად-განუსაზღვრელი თვისებები.

თუმცა, გაზგამანაწილებელი ქსელის ოპტიმიზაციის სფეროში სტატისტიკური მონაცემებით საწყისი მონაცემების ანალიზის შედეგი გვიჩვენებს, რომ დეტერმინისტური მიდგომა - წარმოსახვითია. იგი არ იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ გავითვალისწინოთ ყველა შესაძლო ტექნიკური და ეკონომიკური პარამეტრებს გადახრები ოპტიმალური გადაწყვეტილებების განსაზღვრისათვის.

აუცილებელია შეიქმნას გაზგამანაწილებელი ქსელის პროექტირებისა და რეკონსტრუქციისათვის აუცილებელი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გამოყენება, რათა დავასაბუთოდ ინფორმაციის ცდომილება მისი ობიექტური თვისებების გათვალისწინებით.

მეთოდოლოგიური დებულებების რეალიზაციის გამოყენება, მისი ეკონომიკურ-მათემატიკური ასპექტებით და კომპიუტერული გაანგარიშებით, ალბათობის ანალიზური მეთოდების გამოყენებით მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა.

ნაშრომში შემუშავდა ალბათურ-ანალიზური მეთოდი და პრინციპულად მიღებულია ახალი ანალიზური გამოსახულებები, რომლებიც გვაძლევს სახელმწიფო და გაზმომარაგების სამრეწველო საწარმოების ეკონომიკური ზარალის შეფასების საშუალებას. ამ მეთოდის საშუალებით მომსახურების მასშტაბის პრიორიტეტების განვითარების საშუალება გვეძლევა, რომელიც ადგენს მომხმარებელთა გაზის მიწოდების შეზღუდვის შესაბამისი თანმიმდევრობას, სანამ ზარალი არ მიაღწევს მინიმუმს.

გაზმომარაგების მართვის გაუმჯობესების მიზნით, მაგალითად საოპერაციო პროგნოზირებისათვის გამოყენებულია მათემატიკური მოდელირება, გაზის მოხმარების ალბათური პროცესი ძირითადი ფაქტორებით - ჰაერის გარე ტემპერატურა, ქარის სიჩქარე და გაზსადენით არსებული გაზის მოხმარება; შეიქმნა საწყისი თანმიმდევრული მონაცემების მოკლევადიანი პროგნოზირების ლოგიკურად-კომბინირებული მოდელი, სრიალის და ექსპონენციალური მოდელები და შემუშავდა შესაბამისი კომპიუტერული პროგრამა.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება: შესავალი, ხუთი ძირითადი თავი (შესაბამისი ქვეთავებით), დასკვნა, ნახაზებისა და ცხრილების ნუსხა და გამოყენებელი ლიტერატურის ჩამონათვალი. ნაშრომი მოიცავს გაზგამანაწილებელი ქსელის ალბათობის განაწილების მახასიათებლების დადგენას, გაზმომარაგების უთანაბრო მოხმარების პროგნოზირებას და

ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელში მომსახურების ხარისხისა და რისკის ანალიზს.

მაგისტრალური გაზსადენის ტრასის გასწვრივ მდებარე ქალაქების და სოფლების მოსახლეობის მიერ გაზის მოხმარების რეჟიმი არის ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს გაზის მოხმარების სისტემის მუშაობის რეჟიმს. მომხმარებელი გაზს დიდი რაოდენობით მოიხმარს სხვადასხვა მიზნებისათვის, რაც წინასწარ განსაზღვრავს გაზის მოხმარების სხვადასხვა მეთოდებს. გაზის მოხმარების მკვეთრი ცვლილებები ხშირია, კერძოდ პროცესს განსაზღვრავს შემდეგი ფაქტორები: საწარმოს მუშაობის რეჟიმი და კლიმატური პირობები. აგრეთვე გამოიყოფილია გაზის ნაკადის ცვლილებები: დღე-ღამური, ყოველთვიური და მრავალწლიანი.

ნაშრომში შესრულებულია რამდენიმე მეტად მნიშვნელოვანი ამოცანა: კერძოდ, ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელში საიმედოობის და უსაფრთხოების მეთოდის შესწავლა, რომლისთვისაც დადგენილია კოროზიული დეფექტების ალბათური მახასიათებლები; ბუნებრივი გაზის გაზგამანაწილებელ ქსელებში ტექნოლოგიური ხარჯების და ტექნიკური დანაკარგების შემცირების ღონისძიები; გაზგამანაწილებელი მეურნეობის ნატურული მონაცემების მიხედვით დადგენილია ბუნებრივი გაზის მოხმარების პროგნოზირების მწკრივების გაგლუვების მეთოდი; ასევე მოყვანილია გაზგამანაწილებელი მოწყობილობის დროის ალბათური მახასიათებლების დადგენა. მიღებული მონაცემები ქმნიან საინფორმაციო ბაზას, რომელიც აქამდე არ არსებობდა.

საწყისი ინფორმაციის უზუსტობის ობიექტური ხასიათის არსებობა მოითხოვს გარკვეულ საკითხთა ფუნდამენტურ გადახედვას, რაც იგულისხმობს არა მხოლოდ გაზმომარაგების სისტემების ოპტიმიზაციის საშუალებას არეამედ სხვა ფაქტორებიც.

ნაშრომში განხილულია ქალაქის მომხმარებლების გაზის გამოწვეული დანაკლისის დადგენის პრინციპები და მათი მეთოდიკა.

ლიტერატურის წყაროების მიხედვით, მთავარი პრობლემაა ისა, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელების ოპტიმიზაციის დროს ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები არ ითვალისწინებს პირველადი ინფორმაციის ცდომილებებს და მისი ალბათობის დადგენილ თვისებებს.

ნაშრომში განხილულია გაზგამანაწილებელი ქსელის თვისობრივი ანალიზი, კერძოდ ისიკავას დიაგრამის აგება და მტყუნებების რანჟირება. აღნიშნული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელის მოცემული მტყუნებები განიხილება პირველ რიგში, რათა მოხდეს დაზიანების აღმოფხვრის ღონისძიებები. ჩვენს მიერ ნაჩვენებია, რომ საწარმოს პროცესის სრულყოფის მიზნით, ეტაპობრივად რეალიზაციის ეფექტურობის კრიტერიუმში გამოიყენება დინამიკური კომპლექსური მახასიათებელით. აღნიშნული მეთოდიკისათვის გამოყენებულია ერთეულოვანი მახასიათებლები: საკონტროლო ფურცელი, ისიკავას მიზეზ-შედეგობრივი და პარეტოს დიაგრამა, ჰისტოგრამა, განხვევის დიაგრამა, კონტროლის გრაფიკი და ექსპერტული ანალიზი.

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია და განსაზღვრულია ქალაქების გაზომვარაგების სისტემის რაციონალური განვითარების პრობლემა. ნაშრომში შემუშავდა საგანგებო სიტუაციების (ავარიების) წარმოქმნის პროგნოზირების მეთოდი, რომელიც პრაქტიკულად გამოიყენება. შემუშავებულია პრაქტიკული დანერგვის ალგორითმი, რომლის გაზსადენების ძირითად ეტაპებს შეესაბამება: ავარიების რისკის შეფასების არსებული მეთოდების ძირითადი ეტაპები, და რისკის ანალიზისა და პროგნოზირების ექსპერტებისა და ალბათური მიდგომების სინთეზის საფუძველზე.

Resume

Computer software, economic and mathematical techniques are used to solve the theoretical and practical problems for optimizing the gas distribution network of urban areas. The main problem is both deterministic and probabilistically definite properties.

However, the results of analysis of the initial data in the field of optimization of gas distribution networks using the statistical data shows that the deterministic approach is imaginary. It does not allow us to take into account all possible deviations of technical and economic parameters for optimal solutions.

It is necessary to provide the use of the technical and economic indicators for designing and reconstructing the gas distribution network in order to prove the inaccuracies of information in consideration of its objective properties.

The use of methodological provisions, with its economic-mathematical aspects and computer calculations, using the analytical methods of determination of probabilities gives a substantial economic effect.

A probabilistic analytical method developed in the work and principally new adopted analytical images allow us to assess the economic losses of the state and gas industry enterprises. This method enables us to develop the priority directions in the service and determines the relevant sequence of restriction of gas supply to consumers until the loss is minimized.

In order to improve gas management, e.g. for operational prediction, the mathematical modeling is used, the process of probability of gas consumption by the main factors – outdoor air temperature, wind speed and gas consumption through the pipeline; the logical-combined model of the short-term prediction of the initial successive data, the sliding and exponential models were created, and the appropriate computer software was developed.

The dissertation work consists of: the introduction, five sections (with relevant subsections), conclusion, list of drawings and tables and references. The work includes the characteristics of distribution of probabilities in gas distribution networks, prediction of uneven consumption of gas supply and the quality of service and risk analysis of the natural gas distribution network.

The mode of gas consumption by the population of the cities and villages along the main gas pipeline is a major factor determining the mode of operation of the gas consumption system. Consumers use large quantities of gas for various purposes, which predetermine various methods of gas consumption. The sharp changes in gas consumption are frequent, in particular the process is determined by the following factors: the enterprise operating mode and climatic conditions. Gas flow changes are also taken in consideration: daily, monthly and perennial.

Several important tasks are performed in the work: in particular, the study of reliability and safety method in the natural gas distribution network, for which the probability parameters of corrosive defects are established; measures for reduction of technological costs and technical losses in natural gas supply networks; according to the natural data of the gas distribution industry, the method of

smoothing the prediction series of natural gas consumption is determined; also the probability characteristics of the gas distribution facility are established. The obtained data create the database which has not been yet available.

The objective nature of the inaccuracy of the initial information requires a fundamental review of certain issues, which implies not only the optimization of the gas supply systems, but also other factors.

The work reviews the principles of determining the losses of gas with consumers and their methods.

According to the references, the main problem is that the technical and economic indicators do not provide for the primary information inaccuracies and their probabilities in the optimization of gas distribution networks,

The work deals with the qualitative analysis of the gas distribution network, in particular the construction of the Ishikawa diagram and the ranking of faults. This analysis shows that the faults in the gas distribution network should be considered first of all to implement the damage elimination measures. We've shown that in order to improve the production process, the effectiveness criterion of gradual realization is used with a dynamic complex feature. The following characteristics are used for those methods: checklist, Ishikawa's causal diagram and Pareto chart, histogram, scatter chart, control chart and expert analysis.

The dissertation work considers and identifies the problem of rational development of urban gas supply system. In this work, the method of predicting the occurrence of emergencies (accidents) has been developed, which is practically used. An algorithm of practical implementation is developed, which comprises the following stages: main stages of existing risk assessment methods based on the synthesis of expert and probability approaches to the analysis and prediction.

შინაარსი

88

შესავალი.....	20
თავი 1. საქართველოს ბუნებრივი გაზის სექტორის მიმოხილვა და მოხმარების პროგნოზირების და დაზიანების შესახებ ლიტერატურული წყაროების ანალიზი.....	23
1.1. ბუნებრივი გაზის სექტორის შესახებ ლიტერატურული წყაროების მიმოხილვა და ანალიზი.....	23
1.2. შპს „სოკარ ჯორჯია გაზის“ მიმოხილვა და ანალიზი.....	42
1.3. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზიფიკაციის სისტემის აღწერა....	44
1.3.1. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზიფიკაციის სისტემის აღწერა და დახასიათება.....	44
1.3.2. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზსადენის მშენებლობა პოლიეთილენის მილების გამოყენებით.....	46
1.3.3. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზსადენების გამოცდა და ექსპლუატაციაში მიღება.....	47
თავი 2. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების პროგნოზირება, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე.....	53
2.1. საშუალო წნევის გაზსადენის მოხმარების პროცესის პროგნოზირების ალბათური მახასიათებლების დადგენა.....	53
2.2. ადაპტირებული მეთოდების და მოდელების ანალიზი.....	62
2.3. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების მწკრივების გაგლუვება, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე.....	65
2.4. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების პროგნოზირება ტრენდური მოდელებით, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე.....	79

თავი 3. გაზგამანაწილებელი გმს-ს აღდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური შედეგების დადგენა.....	84
3.1. ვაიბულის განაწილების პარამეტრების დადგენა რიცხვითი მეთოდის საშუალებით.....	84
3.2. გმპ-ს აღდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკა.....	87
თავი 4. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი.....	94
4.1. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ნორმატიული ტექნიკური დანაკარგის რაოდენობრივი ანალიზი.....	94
4.2. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ნორმატიული ტექნიკურის დანაკარგის დადგენის მეთოდი.....	95
4.3. ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგების გაანგარიშების ახალი წესი (2015 წელი) და გაზმანაწილებელი კომპანიების გაზის ბალანსი.....	99
4.4. გაზგამანაწილებელი საშუალო ქსელის ტექნიკური დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი აჭარასა და იმერეთის რეგიონების მაგალითზე.....	107
თავი 5. გაზგამანაწილებელი გაზსადენების არმატურის მტყუნებების აღმოფხვრისას თვისობრივი კრიტერიუმების მეთოდიკის დადგენა.....	127
5.1. მოხმარების კონტროლის ხარისხის შვიდი სტატისტიკური ინსტრუმენტი.....	130
5.1.1. საკონტროლო ფურცელი.....	130
5.1.2. პარეტოს დიაგრამა.....	131
5.1.3. ისიკავას მიზეზობრივ-შედეგობრივი დიაგრამა.....	135
5.1.4. ჰისტოგრამა.....	137
5.1.5. განხვევის დიაგრამა.....	138
5.1.6. კონტროლის გრაფიკი.....	138
5.1.7. ექსპერტული ანალიზი.....	140

5.2. გაზგამანწილებელი ქსელის თვისობრივი კრიტერიუმების დადგენა, ისიკავას დიაგრამის მიხედვით.....	143
5.3. სისტემა „ელექტროამბრავი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორების ისიკავას დიაგრამა და ხარისხობრივი ანალიზი.....	149
დასკვნა	154
გამოყენებული ლიტერატურა.....	157

ცხრილების ნუსხა

83.

ცხრილი 1. გაზგამანაწილებელი ქსელის გაზსადენების მტყუნების საფრთხეს წილი სხვადასხვა ფაქტორებისათვის.....	38
ცხრილი 2. პროგნოზის მოდელის ტიპები.....	62
ცხრილი 3. საშუალო ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელობების ინტერპრეტაცია.....	73
ცხრილი 4. α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური გაგლუვებების ფუნქციები: $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე.....	73
ცხრილი 5. საშუალო შეწონილი სრიალას გაგლუვების ფუნქციები.....	74
ცხრილი 6. საშუალო შეწონილი სრიალას და ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქციების მნიშვნელობები.....	75
ცხრილი 7. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივი, და ცალკეული გაგლუვებული ფუნქციების მნიშვნელობები.....	77
ცხრილი 8. საწყისი მონაცემები და შესაბამისი გაანგარიშება (1-5) ფორმულების შესაბამისად.....	80
ცხრილი 9. რეგრესიის (წრფივი და პარაბოლური) კოეფიციენტები.....	81
ცხრილი 10. საწყისი მონაცემები და შესაბამისი გაანგარიშება.....	81
ცხრილი 11. რეგრესიების ბოლო პროგნოზული მნიშვნელობები და შესაბამისი ფარდობითი ცდომილება.....	83
ცხრილი 12. მექანიკური დაზიანებების შესაბამისი აღდგენის დროების ამონაკრები.....	88

ცხრილი 13. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (მექანიკური დაზიანება).....	89
ცხრილი 14. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (კოროზია).....	90
ცხრილი 15. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (კოროზია).....	91
ცხრილი 16. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (გაჟონვები).....	92
ცხრილი 17. გვპ-ს ალდგენის დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (შემთხვევითი მტყუნებები).....	93
ცხრილი 18. ლიცენზიატების ნორმატიული დანაკარგის ყოველწლიური სამიზნეს მაჩვენებლები წლების მიხედვით.....	93
ცხრილი 19. გაზგამანწილებელი ქსელის ტექნიკური დანაკარგის ძირითადი პარამეტრი: გაზსადენის დიამეტრი, D (მმ), დაზიანების საშუალო დამახასიათებელი ზომა d , (მმ) და საათური დანაკარგი, q -მ3/სთ.....	106
ცხრილი 20. d/D ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია.....	121
ცხრილი 21. q ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია.....	121
ცხრილი 22. სამილსადენო არმატურისა და ამძრავის დამახასიათებელი უწყესივრობები.....	129
ცხრილი 23. მონაცემების პარეტოს დიაგრამის აგება.....	132
ცხრილი 24. ექსპერტული ანალიზი ბალების მიხედვით.....	142
ცხრილი 25. ხარისხობრივი კრიტერიუმის გაანგარიშება.....	142

ცხრილი 26. ფაქტორების დაზიანების სტატისტიკა.....	149
ცხრილი 27. ფაქტორების დაზიანების რანჟირების სტატისტიკა.....	150
ცხრილი 28. პოლიგონებისა და პარეტოს განაწილების წირების აგების სქემა.....	151

ნახაზების ნუსხა

83

ნახ. 1. გაზგამანაწილებელი სადგურის პრინციპიალური სქემა.....	28
ნახ. 2. ქალაქების მაღალი, საშუალო და დაბალი ქსელების ინტერპრეტაცია.....	28
ნახ. 3. ქალაქების ქსელების ინტერპრეტაცია.....	29
ნახ. 4. გაზმომარაგების ერთსაფეხურიანი სისტემის სქემა.....	30
ნახ. 5. გაზმომარაგების ორსაფეხურიანი სისტემის სქემა (საშუალო და დაბალი წნევა).....	31
ნახ. 6. გაზმომარაგების სამსაფეხურიანი სისტემის სქემა.....	32
ნახ. 7. გაზგამანაწილებელი ქსელის გაზსადენების მტყუნების საფრთხე სხვადასხვა ფაქტორებისათვის.....	39
ნახ. 8. გაზმარეგულირებელი სადგურის განზოგადოებული საინფორმაციო მოდელი.....	42
ნახ. 9. აქტიური აბონენტების რაოდენობების დინამიკა დროში.....	43
ნახ. 10. SGG-ს გაყიდვის ბუნებრივი გაზის ზრდის დინამიკა წლების მიხედვით.....	43
ნახ. 11. დანაკარგის ბუნებრივი გაზის შემცირების დინამიკა წლების მიხედვით.....	44
ნახ. 12. ობიექტის გენერალური გეგმა.....	50
ნახ. 13. ობიექტის გენერალური გეგმის ფრაგმენტები.....	52
ნახ. 14. 1.წნევის რეგულატორი GS-80A-AF; 2. გადამყვანი d=200x150 FAF PN PN 16 d=150; 3. ბურთულოვანი ონკანი; 4. 3. ბურთულოვანი ონკანი; 5. ფილტრი d=320 მმ FAF PN16 d=150; 6. მანომეტრი PN16; 7. მანომეტრი PN6; 8. ონკანი	52
ნახ. 15. საათური მოცულობების მწკრივი 2016 წლის 15 იანვრიდან, 1 აგვისტომდე მწკრივის გრაფიკი.....	55
ნახ. 16. 2016 წლის თებერვალის ნატურული მონაცემები.....	56

ნახ. 17. ბუნებრივი გაზის საათური მოხმარების მოცულობების მწკრივის ავტოკორელაციური ფუნქცია.....	59
ნახ. 18. ბუნებრივი გაზის იანვრის დღე-ღამური მიწოდების გრაფიკი.....	60
ნახ. 19. სტარტული ჰორიზონტის დროითი რუკა.....	61
ნახ. 20. ბუნებრივი გაზის დღე-ღამური მოცულობების მწკრივი და SMA და LWMA მეთოდების ინტერპრეტაცია	68
ნახ. 21. გაგლუვების პარამეტრის ფუნქციის გრაფიკი.....	72
ნახ. 22. α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური ფუნქციების გაგლუვებები, $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე.....	76
ნახ. 23. საშუალო შეწონილი სრიალას და ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქციები.....	76
ნახ. 24. ა. 2016 წლის თებერვლის დროითი მწკრივი; ბ. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივები.....	77
ნახ. 25. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივი და გაგლუვებული ფუნქციების გრაფიკები (ექსპონენციალური გაგლუვება პარამეტრით 0,4 მწკრივით იავარი+თებერვალი და შესაბამისი თებერვლის მწკრივი).....	79
ნახ. 26. საწყისი მწკრივი და რეგრესიის წირები.....	82
ნახ. 27. ტექნიკური ელემენტის აღდგენის რემონტების დროების ჰისტოგრამა.....	84
ნახ. 28. β_0 პარამეტრის განსაზღვრის რიცხვით-გრაფიკული მეთოდი.....	87
ნახ. 29. ჰისტოგრამა და შესაბამისი ვაიბულის ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცია.....	89
ნახ. 30. ჰისტოგრამა და შესაბამისი ვაიბულის ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცია.....	90
ნახ. 31. ვაიბულის განაწილების პარამეტრების დადგენა.....	91
ნახ. 32. პარამეტრების დადგენა ვაიბულის პარამეტრების დადგენის მეთოდი.....	93

ნახ. 33. ჰისტოგრამა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია....	103
ნახ. 34. მსხვილი განაწილების ლიცენზიატის მოხმარება და დანაკარგები.....	104
ნახ. 35. ტარიფების გაანგარიშების 2015 წლის დანაკარგების დონე 2016-2020 წლებისათვის.....	104
ნახ. 36. ყველა კომპანია ნორმატიულ დანაკარგს დაუდგინდება $\leq 2\%$ დონეზე.....	105
ნახ. 37. ა. ნორმატიული დანაკარგების სამიზნე; ბ. ნორმატიული დანაკარგის ინტერპრეტაცია.....	105
ნახ. 38. ნორმატიული დანაკარგების დადგენის მაგალითი.....	106
ნახ. 39. ნორმატიული დანაკარგის ინტერპრეტაცია.....	106
ნახ. 40. ლიცენზიატების ნორმატიული დანაკარგის ყოველწლიური სამიზნეს მაჩვენებლები წლების მიხედვით.....	107
ნახ. 41. ტარიფის დადგენა 2015 წლიდან.....	120
ნახ. 42. q და d/D ცვლადების ფაზური სივრცე.....	120
ნახ. 43. q ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია.....	122
ნახ. 44. ფუნქციების გრაფიკები: ა. ფუნქცია $f(x) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{A^2 - x^2}}$; ბ) ფუნქცია $f(x) = A \csc(x)$	122
ნახ. 45. q ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია.....	124
ნახ. 46. შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქციის აპროქსიმაცია.....	125
ნახ. 47. მოხმარების კონტროლის ხარისხის შვიდ სტატისტიკური ინსტრუმენტი.....	130
ნახ. 48. საკონტროლო ფურცელის რეგისტრაციის მაგალითი.....	131

ნახ. 49. პარეტოს დიაგრამა.....	134
ნახ. 50. ABC ანალიზის გრაფიკული ინტერპრეტაცია.....	135
ნახ. 51. ისიკავას „მიზეზობრივ-შედეგობრივი“ დიაგრამის მაგალითი.....	136
ნახ. 52. „მიზეზობრივ-შედეგობრივი“ დიაგრამის სტრუქტურა.....	137
ნახ. 53. მტყუნებების ფაქტორების ხარისხობრივი ანალიზის სქემა.....	137
ნახ. 54. მიზეზობრივ-შედეგობრივი ისიკავას დიაგრამის აგება: „პრობლემების ხე“ ანუ „თევზის ჩონჩხი“	138
ნახ. 55. ჰისტოგრამის აგება დასაშვები ზღვრების შესაბამისად.....	139
ნახ. 56. განხვევის დიაგრამის აგება სხვადასხვა კავშირების შესაბამისად.....	139
ნახ. 57. კონტროლის გრაფიკი.....	139
ნახ. 58. შუხარტის კონტროლის რუკა.....	140
ნახ. 59. ექსპერტების რაოდენობა, დანიშნული ალბათობაზე დამოკიდებულება.....	141
ნახ. 60. ექსპერტული ანალიზის სქემა.....	143
ნახ. 61. გაზგამანწილებელი ქსელის თვისობრივი კრიტერიუმები - ისიკავას დიაგრამა.....	144
ნახ. 62. გაზსადენების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	144
ნახ. 63. გაზგამანწილებელი ქსელის მოწყობილობის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	145
ნახ. 64. „ელექტროამძრავი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	145
ნახ. 65. სისტემის პროცესების დარღვევების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	146
ნახ. 66. სისტემის მასალების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	146

ნახ. 67. სისტემის პროცედურების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	147
ნახ. 68. სისტემის გაზომვის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	147
ნახ. 69. სისტემის მეთოდების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	147
ნახ. 70. პერსონალის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა.....	148
ნახ. 71. გაერთმთლიანობის კრებსითი ისიკავას დიაგრამა.....	148
ნახ. 72. სისტემის „ელექტროამპრაჟი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორების ისიკავას დიაგრამა.....	150
ნახ. 73. ა. მონაცემების პოლიგონი; ბ. მონაცემების რანჟირების პოლიგონი.....	151
ნახ. 74. დიაგრამისა და პარეტოს განაწილების ორი გრაფიკის ერთობლივი სქემა ბალების კოეფიციენტის მიხედვით: ა. მათემატიკური მოლოდინით; ბ. დისპერსიის შესაბამისად.....	152

შესავალი

ბუნებრივი გაზის ტრანსპორტირება, განაწილება და მოხმარება პროცესის კომბინაციაა, რომელიც ქმნის ეკონომიკის ენერგობაზას. მომავალში გაზის მიწოდების გაზრდილი მაჩვენებელი გვიცვენებს ენერგეტიკის მზარდ როლს, რაც განსაზღვრავს გაზის მრეწველობის მიწოდების გააქტიურებას სოციალურ სფეროში. მიუხედავად იმისა, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნიკური მდგომარეობა საკმაოდ მაღალი დონეა, მათი საიმედოობისა და ეფექტურობის უზრუნველყოფის პრობლემა ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალურია და იწვევს საგანგებო მდგომარეობების ზრდას. ამ სიტუაციიდან გამოსავალი, უპირველეს ყოვლისა, წარმოადგენს გაზსადენებისა და გაზმარეგულირებელი პუნქტების რეკონსტრუქციას და ხელახალი ტექნიკური აღჭურვილობას.

თუმცა, აღსანიშნავია, რომ რეკონსტრუქციის განხორციელება მოითხოვს მნიშვნელოვან ფინანსურ და მატერიალურ რესურსებს. ამ პირობებში, ინვესტიციების გარდა, ექსპლუატაციის პროცესების სტატისტიკური მართვის თანამედროვე ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული საიმედოობის მართვის პროცედურებში გათვალისწინებულია გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნოლოგიური საიმედოობის გაუმჯობესების საშუალები.

ახალი მიდგომა ითვალისწინებს გაზგამანაწილებელი ქსელების შეკეთებისა და მათი საიმედოობის გაუმჯობესების ფაქტობრივ ტექნიკური მდგომარეობას. აგრეთვე თითოეული ჯგუფის მახასიათებლების საფუძველზე, საჭიროა გაზგამანაწილებელი ქსელების ელემენტების საიმედოობის ინდიკატორების გათვალისწინება.

ტექნოლოგიური საიმედოობის გაუმჯობესება შეუძლებელია შესაბამისი მეთოდიკების შექმნის გარეშე. ამავდროულად, მეთოდოლოგიური უზრუნველყოფის საკითხები საჭიროებს შემდგომ გაუმჯობესებას, დამაჯერებლობის ახალი ალგორითმებისა და პროგრამების

შემუშავების თვალსაზრისით. განსახილველი პრობლემების კონტექსტში, შემდგომი კვლევა საჭიროა გაზგამანაწილებელი ქსელების ინოვაციურ პოტენციალის გაზრდის ხარისხისა და სანდოობის ასპექტში. ამავე დროს, კომპლექსური დარგებში მნიშვნელოვანია გაზგამანაწილებელი ქსელების დამაჯერებლობის უზრუნველყოფა. მნიშვნელოვანია არა მარტო გაზის მოხმარება საჭიროა სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის საერთო შეფასება და მათი დიფერენცირება ტოპოლოგიურ ნიშნებით.

გაზგამანაწილებელი ქსელების თანამედროვე ტექნოლოგიური პროგნოზირება, იმიტაციური მოდელირება და გეოინფორმაციული ტექნოლოგიების დამაჯერებლობის გაზრდის პრობლემა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, შეიძლება გადაწყდეს თანამედროვე პროგნოზირების ინტეგრირებული ინსტრუმენტების გამოყენების საფუძველზე. ამასთან დაკავშირებით, გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნოლოგიური საიმედოობის გაზრდა ხდება სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე და ქმნის აუცილებელ აქტუალურ ამოცანას.

ამგვარად სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნოლოგიური საიმედოობის გაზრდა სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე.

ამ მიზნის მისაღწევად გადაწყდა შემდეგი კვლევითი პრობლემები გადაჭრა, კერძოდ: გაზმომარაგების ქსელის საიმედოობის კრიტერიუმის შემუშავება; გაზგამანაწილებელი ქსელების ელემენტების საიმედოობის მახასიათებლების სიზუსტის გასაუმჯობესებლად ერთგვაროვანი ჯგუფების არრიცხვის შერჩევა; მტყუნების და ელემენტების გადაუდებელი განაცხადების რაოდენობის პროგნოზირების მეთოდის შემუშავება და გაზგამანაწილებელი ქსელების პროგნოზირება; საავარიო სამუშაოების გაუმჯობესების შესაძლებლობების შესწავლა; გეოინფორმაციული ტექნოლოგიების შესაძლებლობების გამოყენება გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნოლოგიური საიმედოობის გასაუმჯობესებლად.

ნაშრომში მოყვანილი თეორიული და პრაქტიკული დებულებები უზრუნველყოფს საიმედოობის გაზრდას; გაზგამანაწილებელი ქსელების ფუნქციონირებას; მეთოდების უნივერსალური ხასიათი სისტემატურად აკავშირებს გაზგამანაწილებელი ქსელების საიმედოობის პროგნოზირებას და საავარიო სამსახურების მუშაობის ეფექტური მართვის საკითხებს. ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნას გაზმომარაგებისა საწარმოო პრაქტიკაში.

შემოთავაზებულია გაზგამანაწილებელი ქსელების საიმედოობის კრიტერიუმი, რომელიც მომხმარებლებთან გაფორმებულ კონტრაქტებში გაზის მოცულობის და ფაქტობრივად მიწოდებული გაზის მოცულობის თანაფარდობას წარმოადგენს. კრიტერიუმი ინტეგრალურია, იგი მოიცავს გაზსადენების, გაზი მოწყობილობისა და გაზის სამსახურების სანდოობას. ამგვარად იგი გამოიყენება კომპანიასა და მომხმარებელს შორის გაზის მოხმარების ხელშეკრულების ვალდებულებების შესრულებას.

თავი 1. საქართველოს ბუნებრივი გაზის სექტორის მიმოხილვა და მოხმარების პროგნოზირების და დაზიანების შესახებ ლიტერატურული წყაროების ანალიზი

1.1. ბუნებრივი გაზის სექტორის შესახებ ლიტერატურული წყაროების მიმოხილვა და ანალიზი

ბუნებრივი გაზი ფართოდ იპყრობს საერთაშორისო ენერგეტიკულ ბაზარს, თუმცა მისი ტრანსპორტირების, შენახვისა და მოხმარების თავისებურებების გამო, მნიშვნელოვან პრობლემა წარმოადგენს მოხმარებელთა საიმედო გაზმომარაგება. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს გაზის განაწილების არსებული ინფრასტრუქტურის აღდგენა-განახლებას, რაც მეტად მნიშვნელოვანი და აქტუალურია. სარეაბილიტაციო სამუშაოების დაგეგმვა და განხორციელება უნდა მოხდეს ქსელის მდგომარეობის სწორი შეფასების, პრობლემური მონაკვეთების იდენტიფიცირების, რისკების ზუსტი შეფასების და მოხმარების დინამიკის გათვალისწინებით.

პრობლემის გადაწყვეტა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოსათვის, რომელიც განიცდის საკუთარი სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების დეფიციტს.

მიღებული საპროგნოზო პარამეტრები და მეთოდები განსაზღვრულია პროგნოზირების თანამედროვე აპრობირებულ მეთოდების კომპლექსურად გამოყენებით. შერჩეულია მეთოდიკის ისეთი ალგორითმები, რომელიც მაქსიმალური სიზუსტით ასახავს ადეკვატურ მდგომარეობას. იქმნება საკითხის თანამედროვე მოთხოვნების დონეზე დამუშავების მიზნით შესწავლილია გაზის სექტორის გამოცდილება. მის საფუძველზე დასმულია ბუნებრივი გაზის სექტორის პრობლემები და მათი სისტემური გადაჭრის კომპლექსური პროგრამა. გაზიფიკაციის დონით საქართველო იყო ერთ-ერთი მოწინავე ქვეყანა სსრკ-ში: ბუნებრივი გაზის 43%-იანი და თხევადი

გაზის 56%-ის მოხმარებით, ხოლო წლიურმა პიკურმა მოცულობებმა 90-იანი წლებისათვის შეადგინა 6 მლრდ.მ³. ახალი საუკუნის დასაწყისისათვის ბუნებრივი გაზით გაზიფიცირებული იყო 48 ქალაქი და 230 სოფელი.

დამოუკიდებლობის პირველ წლებში საქართველოს ბუნებრივი გაზით მომარაგება კვეთრად გაუარესდა. 1990-2000 წლებში მისი მოხმარება 6 მლრდ მ³-დან 5,5-ჯერ შემცირდა. 2001-2005 წლებში მდგომარეობა გამოსწორდა. 2005 წელს გაზის მიწოდებამ სულ შეადგინა 3,125 მლრდ. მ³, მათ შორის სომხეთისთვის ტრანზიტი 1,685 მლრდმ³. დღეისათვის საქართველო მცირე რაოდენობით იღებს ბუნებრივ გაზს რუსეთიდან. ბუნებრივი გაზი ძირითადად შემოდის აზერბაიჯანიდან. ასევე ქვეყანაში რჩება კონტრაქტით გათვალისწინებული და ოფციური გაზი სამხრეთის მარშრუტის გაზსადენიდან.

თანამედროვე გაზგამანაწილებელი სისტემები თავისი განვითარების მოცემულ ეტაპზე უნდა პასუხობდეს იმ მოთხოვნებს, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოფს: გამანაწილებელი ქსელების ენერგოეფექტურობის მაქსიმალური დონე; გარანტირებული უსაფრთხოება, ექსპლუატაციის მოხერხებულობა და სიმარტივე; მომხმარებლების გაზმომარაგების საიმედოობა (უმტყუნებლობა, ხანგამძლეობა, რემონტვარგისიანობა), მომხმარებლების გაზმომარაგების უწყვეტობა; ტექნიკური მომსახურების, რემონტისა და ავარიულ-აღდგენითი სამუშაოების პირობების შესრულება; გაზმომარაგების რეჟიმების რეგულირება, რაოდენობრივი და ხარისხობრივი მაჩვენებლების მიხედვით; გაზმომარაგების სისტემის ტექნიკური მდგომარეობის პროგნოზირება და დიაგნოსტიკა; გაზის მოხმარების რეჟიმების პროგნოზირება; სისტემის მშენებლობასა და ექსპლუატაციაზე მინიმალური მატერიალური და ფინანსური დანახარჯები; მოქნილი სისტემების მშენებლობა, რომლებიც საშუალებას იძლევა გამოირთოს მხოლოდ მისი ცალკეული მონაკვეთები; ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაცია და ტელემექანიზაცია; სისტემის სიმძლავრის (მწარმოებლობის) რეზერვი, მისი ეკონომიურობის შენარჩუნების პირობით.

ყველა ზემოჩამოთვლილი მოთხოვნა მაქსიმალურად უნდა იქნას გამოყენებული გაზგამანაწილებელი სისტემების პროექტირების დროს; მითითებული მოთხოვნების შესრულების ხარისხი უნდა ფასდებოდეს ისეთი მაჩვენებლებით, როგორებიცაა – ენერგოეფექტურობის დონე, საიმედოობა, უსაფრთხოება, ტექნოლოგიურობა და ეკონომიურობა.

ნაშრომი მოიცავს გაზგამანაწილებელი ქსელის ალბათობის განაწილების მახასიათებლების დადგენას, კერძოდ ქსელის კომპლექსური ალბათური მახასიათებლების კვლევას, გაზმომარაგების უთანაბრო მოხმარების პროგნოზირებას და ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელში მომსახურების ხარისხის და რისკის ანალიზის შესაბამისად.

დასახული პროგრამის შესაბამისად, კვლევის საწყის ეტაპზე ჩატარებული მოხდება მსოფლიო ბუნებრივი გაზის სექტორის მდგომარეობის ანალიზი. მოძიებული იქნება 2010-2018 წლამდე პერიოდში სტატისტიკური მონაცემები და შესრულდა მათი სისტემატიზაცია.

გაზგამანაწილებელ ქსელების ავარიები ხასიათდება მასშტაბურობით და გარემოსა და ადამიანებზე უარყოფითი ზემოქმედების ფორმების მრავალფეროვნებით. გაზგამანაწილებელი ქსელების გაზსადენების უსაფრთხო ექსპლუატაციის უზრუნველყოფა, ექსპლუატაციისას ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან და აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს, რომლის გადაჭრაც უმთავრესად შესაძლებელია სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების დროულად ჩატარების ხარჯზე. დაზიანებებისა და ავარიების გამაფრთხილებელი ადეკვატური ზომების მისაღებად აუცილებელია მათი გამოვლენის რისკის რაოდენობრივი შეფასების სამეცნიერო-მეთოდური ბაზის არსებობა. მნიშვნელოვანია, რომ გარემოსა და ადამიანების დაცვა ხდება ინტეგრირებულად გადაწყვეტილებების მიღების პროცესში, რომლებიც ეკონომიკური დასაბუთების საფუძველზე მინიმიზირებას უკეთებს ნეგატიური ზეგავლენების შედეგებს, ყველაზე რაციონალური გზებით. აღნიშნულის გათვალისწინებით შემუშავებულია გაზმომარაგების ობიექტების რისკ-ფაქტორი და თვისობრივი მოდელის შეფასება.

საშიშროებების იდენტიფიკაცია, რისკის შესამცირებელი რეკომენდაციების შემუშავება, რისკის ანალიზის ჩატარების მოდიფიცირებული მეთოდები და რისკის მაჩვენებლები. ჩვენს მიერ შემუშავებულ იქნება კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტა, მათ შორის გაზსადენის საფრთხის ანალიზის თვისობრივი მეთოდი; გაზომომარაგების ობიექტის საფრთხის პრევენციის მიზნით გადაწყვეტილებების მიღების პროცესის დანერგვა და ოპტიმიზაცია სოციალურ-ეკოლოგიური ფაქტორების გათვალისწინებით.

გაზის სექტორში ლიტერატურის წყაროებში არსებობს სამი ძირითადი ნაშრომი – მათ შორის არის ორი – პირველი გამოშვებული საბჭოთა კავშირში - Ионина А.А. Газоснабжение. 1989, ახალი რუსეთში გამოშვებული წიგნი - Брюханов О.Н., Газоснабжение. М., Академия. 2008. აგრეთვე არსებობს აშშ-ს მეტად მნიშვნელოვანი ნაშრომი - Gas Engineers Handbook. Industrial Press Inc. New York, 2000. [1,2,3].

ამ ნაშრომებში მოყვანილია შემდეგი მონაცემები: გაზის საწვავი, წვის თეორიის საფუძვლები და გაზის მოძრაობა, გაზომომარაგების სისტემების მახასიათებლების აღწერა. გაშუქებულია გაზომომარაგების სისტემების ნორმატიული დოკუმენტების გამოყენება პროექტირების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციისას. აქ მოყვანილია საპროექტო, სამშენებლო, სარემონტო-აღდგენითი სამუშაოების, საავარიო-სადისპეტჩერო სამსახურების უსაფრთხოების ტექნიკა, გაზის მეურნეობის ორგანიზაციის საფუძვლები და ა.შ.. მოყვანილია გაზომომარაგების ახალი ტექნოლოგიები, პროგრესული მეთოდები, გარემოსდაცვის მოთხოვნები და ა.შ.

ნაშრომში [4-18] განიხილება გაზომომარაგების საქალაქო სისტემები. ჯერ განხილულია გაზომომარაგების საქალაქო სისტემების კლასიფიკაცია და სქემები.

ქალაქის გაზომომარაგების განხილვისას, მნიშვნელოვანია მოხდეს გაზსადენების კლასიფიკაცია მათი დანიშნულების და ქსელში გაზის წნევის შესაბამისად. განხილულია ამა თუ იმ სისტემის შერჩევის განსაზღვრის ფაქტორები და გაზით მომარაგების უსაფრთხოების ფაქტორები.

თანამედროვე გაზომვარაგების სისტემები წარმოადგენს ნაგებობათა რთულ კომპლექსს, რომელშიც შედის ძირითადი ელემენტები: დაბალი, საშუალო და მაღალი წნევის გაზის ქსელები; გაზმარეგულირებელი სადგურები, პუნქტები და მოწყობილობა.

გაზომვარაგების სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მომხმარებლების გაზის უწყვეტი მომარაგება, იყოს უსაფრთხო ექსპლუატაციისას, მარტივი და მოსახერხებელი გამოყენებისას; უნდა ითვალისწინებდეს ცალკეული ელემენტების ან გაზსადენების უზნების გამორთვის შესაძლებლობას, სარემონტო და საავარიო სამუშაოების საწარმოებლად [19-24].

გაზსადენები კლასიფიცირდება გაზის წნევითა და დანიშნულებით. გაზის წნევის მიხედვით, გაზის ქსელები იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: დაბალი წნევის ქსელები, გაზის წნევით 5კპა-მდე; საშუალო წნევის ქსელები, გაზის წნევით 5კპა-დან 0,3 მპა-მდე; მეორე კატეგორიის მაღალი წნევის ქსელები, გაზის წნევით 0,3-დან 0,6 მპა-მდე; პირველი კატეგორიის მაღალი წნევის ქსელები, ბუნებრივი გაზისთვის 0,6-დან 1,2 მპა-მდე.

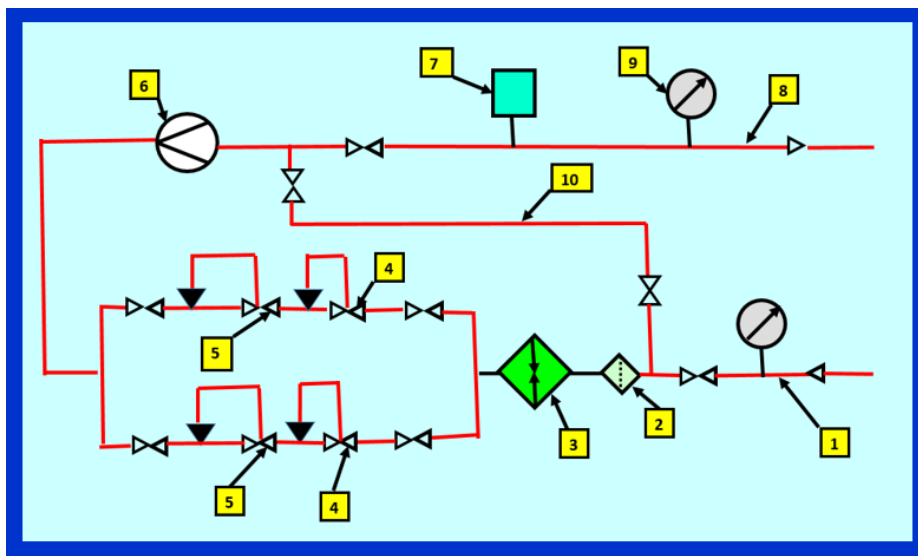
განსაკუთრებულად უნდა იყოს განხილული გაზგამანაწილებელი სადგურები, რომლებიც აიგება მაგისტრალური გაზსადენის ბოლოში, ან თვითნებური ამრინის წინ. მაგისტრალური გაზსადენით მაღალწნევიანი გაზის მოძრაობისას, არ შეიძლება უშუალოდ გაზის მოწოდება მომხმარებელთან, რადგანაც საყოფაცხოვრებო და მრეწველობაში გაზის მოწყობილობა გაანგარიშებულია დაბალ წნევისას. გარდა ამისა გაზი უნდა გაიწმენდოს მექანიკური ნაწილაკების და კონდენსატისგან, რათა მოხდეს მოწყობილობის საიმედო ექსპლუატაცია. შესაძლო გაზის გაჟონვის გამო, უნდა მოხდეს სპეციფიკური სუნის, ოდორანტის შეტანა. აღნიშნულის გამო წნევის შემცირება აუცილებელ დონემდე, გაწმენდა, ოდორიზაცია და ხარჯის გაზომვა ხდება გაზგამანაწილებელი სადგურებზე.

გაზგამანაწილებელი სადგურის პრინციპიალური სქემა ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. შესასვლელი მილსადენიდან (1) გაზი შედის გაზგამანაწილებელ სადგურში. შემდეგ გაზი, თანმიმდევრობით იწმენდება ფილტრში (2), თბება

გამათბებელში (3). გაზი იზომება ხარჯმზომით (6) და ოდორიზირდება (7). გაზის გათბობის აუცილებლობა განპირობებულია რედუცირებასთან, რადგანაც წნევის დროსელირების შემდეგ გაზი ცივდება, რაც ქმნის გაზადენების დაცობას გაზის ჰიდრანტებით. გაზსადენების ხაზოვან ნაგებობებში, როგორც წესი, გამოიყენება სახაზო სფერული ონკანები, ხოლო კონდენსატის ქმნისას გამოიყენება კონდენსატშემკრებები.

გაზმარეგულირებელი პუნქტი (გმპ) - წარმოადგენს ტექნოლოგიურ მოწყობილობას, რომლის დანიშნულებაცაა გაზის წნევის შემცირება და გაზგამანაწილებელ ქსელში მოცემული დონის წნევის შენარჩუნება.

გმპ-ში შედის ტექნიკური მოწყობილობები: არმატურა (ჩამკეტი, მარეგულირებელი, უსაფრთხოების); კომპენსატორები; კონდენსატის შემკრებები; ჰიდროსაკეტები; იზოლირებული ფლანცების შემაერთებლები; გაზის ხარჯის აღრიცხვის პუნქტები; წნევის რეგულატორები; ფილტრები; საკონტროლო-გამზომი ხელსაწყოები.



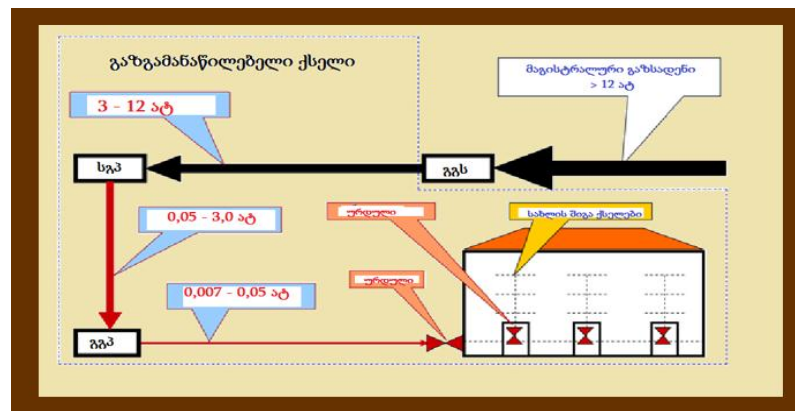
ნახ. 1. გაზგამანაწილებელი სადგურის პრინციპიალური სქემა: 1. შესასვლელი გაზსადენი; 2. ფილტრი; 3. გაზის გამამათბებელი; 4. საკონტროლო სარქველი; 5. წნევის რეგულატორი; 6. გაზის ხარჯმზომი; 7. ოდორიზატორი; 8. გამოსასვლელი გაზსადენი; 9. მანომეტრი; 10. ბაიპასი

გაზგამანაწილებელი ქსელი წარმოადგენს კომპლექსს, რომელიც ტექნოლოგიურად აკავშირებს ელემენტებს ერთმანეთთან: გარე

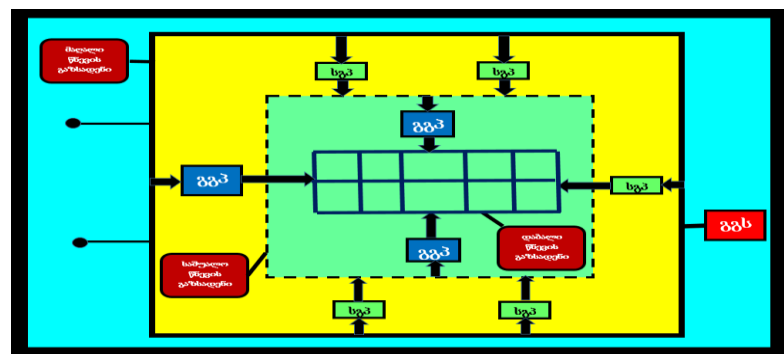
გაზსადენები და შემაერთებული დეტალები; ნაგებობები; გაზგამანაწილებელი სადგურები (გგს), გაზმარეგულირებელი პუნქტები (გმპ) და საშუალო პუნქტები; ელექტროქიმიური დაცვის საშუალებები; გაზის განაწილების ტექნოლოგიური პროცესის მართვის ავტომატიზირების სისტემა.

გაზმომარაგების საქალაქო სისტემა შეიცავს შემდეგ ელემენტებს: გაზგამანაწილებელი სადგურებს (გგს), ნებისმიერი წნევის გაზგამანაწილებელი გაზის ქსელებს, გაზმარეგულირებელი პუნქტები (გმპ). აგრეთვე მოწყობილობა და ნაგებობები, მათ შორის გაზსადენის სიგრძის გასწვრივ არსებული კავშირგაბმულობის და ტელემექანიზაციის საშუალებები.

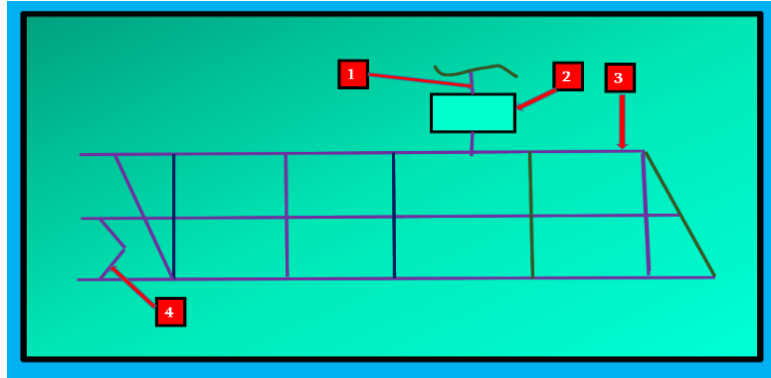
გაზის მიღებული წნევის საქალაქო სისტემების მიხედვით იყოფება ორსაფეხურიანად, სამსაფეხურიანად და მრავალსაფეხურიანად.



ნახ. 2. ქალაქების გაზგამანაწილებელი მაღალი, საშუალო და დაბალი ქსელების ინტერპრეტაცია



ნახ. 3. ქალაქების ქსელების ინტერპრეტაცია



ნახ. 4. გაზომარაგების ერთსაფეხურიანი სისტემის სქემა: 1. მაგისტრალური გაზსადენი; 2. გაზგამანაწილებელი სადგური; 3. რგოლური გაზსადენები; 4. ჩიხური გაზსადენები

გაზომარაგების ერთსაფეხურიანი სისტემა (ნახ. 4) უზრუნველყოფს გაზის მიწოდებას, მხოლოდ მოცემული წნევით, უპირატესად საშუალო და დაბალი წნევით. ასეთი სისტემები გამოიყენება მცირე ქალაქების გაზომარაგება, უპირატესად გაზის ხარჯით კომუნალურ-საყოფოცხოვრების საჭიროებისათვის.

აგრეთვე გამოიყენება დასახლებული პუნქტების გაზომარაგება, რომლის დროს ხდება გაზის კვება უშუალოდ მაგისტრალური გაზსადენისაგან და ერთდება უშუალოდ მომხმარებლებთან.

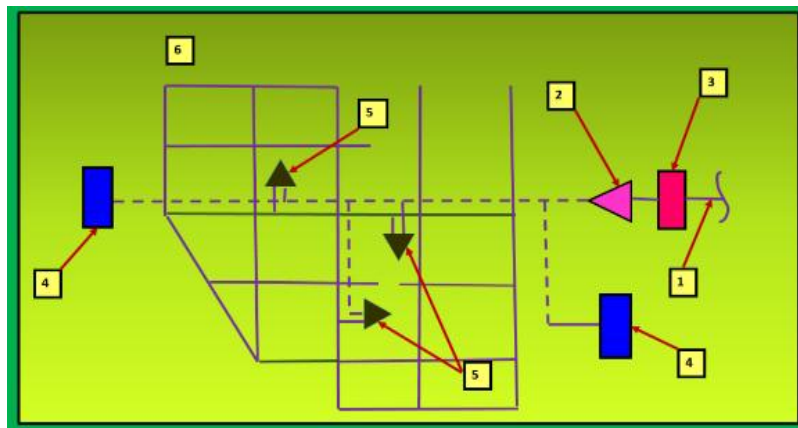
გაზომარაგების ორსაფეხურიანი სისტემა (ნახ. 5) უზრუნველყოფს გაზის მიწოდებას გაზის მომხმარებელთან ორი წნევით, მაგალითად საშუალო და დაბალი, ან მაღალი მეორე კატეგორიის და დაბალი წნევის. გაზომარაგების ასეთი სისტემა, ყველაზე ხშირად, გამოიყენება მნიშვნელოვან ტერიტორიის გაზომარაგება. ამ სქემაში, საშუალო წნევის გაზსადენების პირველი საფეხურის ნაცვლად, შეიძლება გამოვიყენოთ მეორე კატეგორიის მაღალი გაზსადენები. ასეთი ჩანაცვლება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ არეალი ფართეა და გაზსადენსა და შენობებს შორის აკმაყოფილებს აუცილებელ მანძილებს.

გაზომარაგების სამსაფეხურიანი სისტემა (ნახ. 6) უზრუნველყოფს გაზის მიწოდებას გაზის მომხმარებელთან სამი წნევით, მაგალითად მაღალი, საშუალო და დაბალი, ან მაღალი მეორე კატეგორიის, საშუალო და დაბალი წნევა. ასეთი სისტემა გამოიყენება გაზომარაგების მსხვილი ქალაქებისათვის.

გაზმომარაგების მრავალსაფეხურიანი სისტემა უზრუნველყოფს გაზის მიწოდებას გაზის მომხმარებელთან ოთხი წნევით, მაგალითად მაღალი მეორე კატეგორიის, მაღალი პირველი კატეგორიის, საშუალო და დაბალი წნევა. ასეთი სისტემა გამოიყენება მსხვილი ქალაქების გაზმომარაგება მსხვილი სამრეწველო მომხმარებლებითურთ.

სხვადასხვა წნევის გაზსადენებს შორის კავშირი ხორციელდება მხოლოდ გაზმარეგულირებელი პუნქტებით (გმპ), ან გაზმარეგულირებელი მოწყობილობებით (გმმ).

გაზმომარაგებისათვის გამოიყენება რგოლური, ჩიხური და შერეული ქსელები. ქალაქებისათვის, როგორც წესი, გამოიყენება რგოლურ და შერეულ ქსელები. მცირე დასახლებული პუნქტებისათვის გამოიყენება გაზმომარაგების ჩიხური სისტემა. ჩიხური და შერეული სისტემები უზრუნველყოფს გაზმომარაგების საიმედოობას და სხვადასხვა წერტილებში განაწილების თანაბრობას.

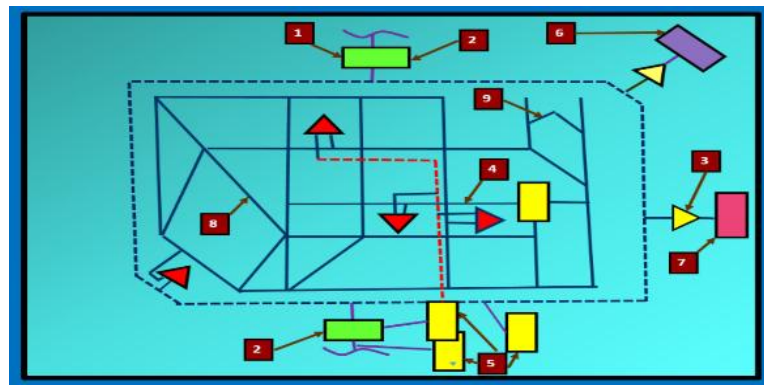


ნახ. 5. გაზმომარაგების ორსაფეხურიანი სისტემის სქემა (საშუალო და დაბალი წნევა): 1. მაგისტრალური გაზსადენი; 2. გაზგამანაწილებელი სადგური; 3. საშუალო წნევის გაზსადენი; 4. გაზის მსხვილი მომხმარებლები; 5. გაზმარეგულირებელი პუნქტები (გმპ); 6. დაბალი წნევის რგოლური გაზსადენები

გაზმომარაგების სისტემების თანამედროვე სქემებს გააჩნია იერარქიულობის სქემები. ზედა იერარქიულ დონე შეადგენს მაღალი წნევის ქსელებს. იგი, როგორც წესი, უნდა იყოს რეზერვებული, ხოლო მცირე სისტემებისთვის შესაძლებელია ჩიხური სქემებით შემოფარგვლა.

რეზერვირება წარმოებს დუბლირება, მეტად მძიმე ჰიდრავლიკური რეჟიმებისას, გამტარუნარიობის აუცილებელი შემოწმებით.

მაღალი წნევის ქსელი ჰიდრავლიკურად უერთდება სისტემის დანარჩენ ნაწილს წნევის რეგულატორებით, რომლებიც აღჭურვილია დამცავი მოწყობილობებით, რაც იცილებს წნევის აწევას რეგულატორების შემდეგ. ამგვარად, სისტემა იყოფა რამოდენიმე იერარქიულ დონედ, ხოლო თვითოეულ დონეზე ავტომატურად მყარდება გაზის მაქსიმალურად დასაშვები წნევა. უფრო დაბალ დონეზე გადასვლისას გაზის წნევა იწევს (დროსელირდება) რეგულატორების სარქველებზე, რომლებიც უნარჩუნებს მუდმივ წნევას, ნორმაზე უფრო ნაკლები სიდიდის შესაბამისად.



ნახ. 6. გაზომარაგების სამსაფეხურიანი სისტემის სქემა: 1. მაგისტრალური გაზსადენი; 2. გაზგამანაწილებელი სადგური; 3. მაღალი მეორე კატეგორიის გაზსადენები; 4. საშუალო წნევის გაზსადენი; 5. ქარხნული გმპ; 6. სამრეწველო საწარმოები; 7. გაზმარეგულირებელი პუნქტები (გმპ); 8. რგოლური გაზსადენები; 9. ჩიხური გაზსადენები

გაზომარაგების სისტემები, რომლებიც გამოიყენება დიდი წნევის საფეხურების რიცხვით, შეიძლება დაიყოს: 1) ერთ საფეხურიანი, რომლებიც უზრუნველყოფს გაზის მიწოდებას მომხმარებლებისათვის ერთი წნევის, როგორც წესი დაბალი გაზსადენით; 2) ორსაფეხურიანი, რომელიც შედგება დაბალი და საშუალო ან საშუალოდან მაღალი წნევის ქსელებისგან (0,6 მპა-მდე);

3) სამსაფეხურიანი, რომელიც მოიცავს დაბალი, საშუალო და მაღალი წნევის (0,6 მპა-მდე) გაზსადენებს; 4) მრავალსაფეხურიანი, რომელშიც

გაზის მიწოდება ხდება ორივე კატეგორიის დაბალი, საშუალო და მაღალი წნევის გაზსადენებით.

დანიშნულებისამებრ გაზსადენები შეიძლება დავყოთ შემდეგ ჯგუფებად: გაზმანაწილებელი გაზსადენები, რომლების საშუალებით ხდება გაზის მიწოდება ტერიტორიის სამრეწველო მომხმარებლებს, კომუნალურს წარმოებს და საცხოვრებელი სახლების რაიონებს. ისინი შეიძლება იყოს მაღალი, საშუალო და დაბალი წნევის, რგოლური და ჩიხური ქსელები, ხოლო მათი კონფიგურაცია დამოკიდებულია ქალაქის და დასახლებული პუნქტის და გეგმარების ხასიათზე; სააბონენტო განშტოებები, რომლებიც აწვდიან გაზსგამმანაწილებელი ქსელებიდან ცალკეულ მომხმარებლებს; სახლშიდა გაზსადენები, რომლითაც ხდება გაზის მიწოდება შენობებს შიგნით და მისი განაწილება ცალკეულ გაზის მოწყობილობებით; დასახლებებს შიგა გაზსადენები, რომლებიც გაყვანილია დასახლებული ტერიტორიის გარეთ.

გაზსადენების სისტემები, მშენებლობის პრინციპით, იყოფა რგოლურები, ჩიხურები და შერეულები. ჩიხური გაზის ქსელებით გაზი მიეწოდება მომხმარებელს ერთი მიმართულებით, ე.ი. მომხმარებლებს გააჩნია ცალმხრივი კვება, რამაც შეიძლება გაუჩნდეს სიძნელეების რემონტები სამუშაოების დროს. ამ სქემის ნაკლია – სხვადასხვა მომხმარებლებთან გაზის განსხვავებული წნევის სიდიდე. თანაც გაზმომარაგების წყაროდან ან გაზისმარეგულირებელი პუნქტიდან დაშორებისას გაზის წნევა ეცემა. ამ სქემებს იყენებენ კვარტალს შიდა და ეზოს შიდა გაზსადენებისთვის.

რგოლური ქსელების საიმედოობა უფრო მაღალია ვიდრე ჩიხურის. რგოლური ქსელები წარმოადგენს შეკრული გაზსადენების სისტემას, რომლის საშუალებითაც მიიღწევა მომხმარებლებთან გაზის წნევის უფრო თანაბარი რეჟიმი და მარტივდება სარემონტო და საექსპლუატაციო სამუშაოების ჩატარება. რგოლური ქსელების დადებითი თვისებაა აგრეთვე ის, რომ რომელიმე გაზმარეგულირებელი პუნქტის მწყობრიდან

გამოსვლისას, მომხმარებელთა გაზითმომარაგება იტვირთავს თავის თავზე სხვა გაზმარეგულირებელი პუნქტებით. შერეული სისტემა შედგება რგოლური გაზსადენებიდან, რომლებიც უერთდება მათ ჩიხური გაზსადენებით, დაბალი და მაღალი (საშუალო) წნევის ქსელებით. მნიშვნელოვანია სამრეწველო ობიექტის ან ქალაქის გაშენების ხასიათის სხვადასხვა ფაქტორები. გაშენება შეიძლება იყოს ძველი კვარტალური ან ახალი მიკრორაიონული, შიდა გასასვლელების მქონე, რაც იძლევა ქუჩის გასასვლელებიდან დაბალი წნევის ქსელის გატანას.

განვიხილოთ გაზსადენების მოწყობილობა [25-32].

ჯერ განვიხილოთ გარე და შიდა გაზსადენები და გაზსადენების გაყვანის დროს გამოყენებული მასალები. გაზსადენების მშენებლობისას, როგორც წესი, იყენებენ ფოლადის მილებს. მათ ამზადებენ კარგად შედუღებადი და მცირე ნახშირბადიანი ფოლადისაგან. გამმანაწილებელი გაზსადენების მინიმალურ დიამეტრს, ჩვეულებრივად იღებენ დაახლოებით 50 მმ-ის დიამეტრის ტოლის, ხოლო მომხმარებლებთან განშტოებებისათვის – 25 მმ-ს. მიწისქვეშა გაზის ქსელების მილების კედლების სისქე უნდა იყოს არანაკლებ 3 მმ, ხოლო მიწისზედა – არანაკლებ 2 მმ. წყლის გადასასვლებებზე მილების კედლების გაანგარიშებული სისქე უნდა იყოს 2 მმ-ზე მეტი, მაგრამ არა ნაკლებ 5 მმ-ის ტოლი. მიწისქვეშა გაზსადენების ფოლადის მილებს იცავს ანტიკოროზიული იზოლაცია. მიწისქვეშა გაზსადენების მშენებლობის ფართეთ იყენებენ პოლიეთილენისა და ვინილ-პლასტმასის მილებს. არალითონის მილების გამოყენება დაიწყო დაახლოებით 35 წლის წინათ. პოლიეთილენის მილების დანერგვა - კაპიტალური მშენებლობის ეფექტურობის აწევის ერთერთი აქტუალური მიმართულებაა, მისი მასალებისა და შრომატევადობის და წნევის ხარჯზე. 100 მმ. დიამეტრის 1 ტონა ლითონის მილებით შეიძლება 80 მეტრამდე სიგრძის მილსადენის გაყვანა, ხოლო 110 მმ დიამეტრის 1 ტონა გარე პოლიეთილენის მილებით შეიძლება დამონტაჟდეს 1 კილომეტრზე მეტი სიგრძის მილსადენი. გაზსადენის სისტემებში ლითონის მილების შეცვლა

იმლევა 5–7 ტონა ლითონის მიღების 1 ტონა პლასტმასის მიღებზე ეკონომიის საშუალებას. პოლიეთილენის მიღებს გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობები [33-36]: მაღალი კოროზიული მდგრადობა თითქმის ყველა მჟავებისა (გარდა ორგანულისა) და ტუტეების მიმართ, რაც გამორიცხავს მათი იზოლაციის და ელექტრო-ქიმიურობის დაცვის საჭიროებას; მდგრადობა ბიოკოროზიის მიმართ; უმნიშვნელო წონა, რაც უზრუნველყოფს სატრანსპორტო ხარჯების და მათ მონტაჟზე გაწეული ხარჯების შემცირება; მაღალი გამტარიუნარიანობა (დაახლოებით 20%-ზე) მათი ზედაპირის სიგლუვის გამო (ახალი ფოლადის კედლის ექვივალენტური ხორკლიანობა ტოლია 0,01 სმ, ხოლო პოლიეთილენის – 0,007 სმ.); მაღალი სიმტკიცე, ელასტიურობისა და მოქნილობისას.

პოლიეთილენური გაზსადენების თავისებურებები, დაკავშირებულია მასალის სპეციფიკასთან. სტატიკური და დინამიკური დატვირთვის დროს პოლიეთილენის გაზსადენების სიმტკიცე უფრო დაბალია, ვიდრე ნახშირბადიანი ფოლადის კონსტრუქციების სიმტკიცე. სიმტკიცის ზღვარი დაბალი და მაღალი სიმტკიცის პოლიეთილენის ერთდერძიანი ან გაჭიმვისას არ აღემატება (500 ÷ 700) მპა, მაშინ როდესაც ფოლადის სიმტკიცის ზღვარი უფრო მაღალია და შეადგენს (500 ÷ 600) მპა. პლასტმასის გაზსადენებმა შეიძლება იმუშაოს ტემპერატურების შედარებით მცირე ინტერვალში.

პოლიეთილენის მიღები დროთა განმავლობაში ძველდება. ეს პროცესი ჩქარდება სინათლის, ტემპერატურების, დამაბულობის და ზედაპირულად აქტიური გარემოს ზემოქმედების შედეგად. პოლიეთილენის მიღების მოხმარების ვადაა – დაახლოებით 50 წელი.

გაზსადენის მშენებლობისას ფოლადის მიღების შეერთების ძირითადი ხერხია – შედუღება, რაც უზრუნველყოფს სიმტკიცეს, სიმკვრივეს, საიმედოობას და გაზსადენების ექსპლუატაციის უსაფრთხოებას. გაზგამანაწილებელი გაზსადენების მშენებლობისას, გავრცელება ჰპოვა ხელის ელექტრო რკალურმა და გაზის შედუღებამ.

პოლიეთილენის მილებს ადულებენ პირაპირული შედუღებით ან ელექტრო შემდუღებელი ქუროს გამოყენებით. შედუღება უნდა გაკეთდეს მხოლოდ იმ პირობით, რომ შესადუღებელი ზედაპირის ტემპერატურა, გაზომილი ზედა ნაწილში, იმყოფება – $5 \pm +35^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში. პოლიეთილენური გაზსადენების ფოლადის გაზსადენებთან მიერთებისას იყენებენ ქარხნულ პირობებში გაკეთებულს გამყოფშეერთების “ფოლადი-პოლიეთილენისგან”.

გაზომარაგების სფეროში ცნობილია მეცნიერების და ინჟინრების ნაშრომები მრავალ ქვეყანებში [37-45]. ამ კვლევებმა დაადგინა გაზგამანაწილების ქსელების პროექტირებისა და ექსპლუატაციასთან დაკავშირებული კომპლექსური გაზის მიწოდების პრობლემები. კვლევებისათვის დადგენილია გაზგამანაწილებელი ქსელის მიახლოებითი მათემატიკური მოდელები, რომლებმაც უკვე წარმატებით გაიარეს ტესტირება რეალურ პირობებში. მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელების ტექნოლოგიური საიმედოობა არის რთული კომპლექსური ამოცანა, რომელიც მოითხოვს გაზგამანაწილებელი ქსელის ელემენტების საიმედოობის კომპლექსურად განხილვას და ტექნოლოგიური სქემების ქსელების განსაკუთრებულებს.

გაზგამანაწილებელი ქსელის მდგომარეობა ნებისმიერ დროს მომენტისათვის, განსაზღვრავს მისი ელემენტების მდგომარეობას. თუ ყველა ელემენტი მუშაუნარიანია, მაშინ სისტემა - წესრიგშია. ზღვრულ მდგომარეობებში, გაზგამანაწილებელი ქსელი შეიძლება იყოს შუალედურ მდგომარეობებში, და გააჩნია ნაწილობრივი მუშაუნარიანობა [40]. გაზგამანაწილებელი ქსელის გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში, დაკავშირებულია მისი ელემენტების აღდგენის ნაკადით. გაზგამანაწილებელი ქსელის ძირითადი ფუნქციაა მომხმარებლისთვის მიწოდების საანგარიშო უზრუნველყოფა, შესაბამისი წნევით. სწორედ მის მახასიათებლად მიიღება ხარისხის ფუნქციონირებად [40]. სისტემის თითოეულ მდგომარეობას ენიჭება გაზის მიწოდების საანგარიშო წილი,

რომლის დროს სისტემას შეუძლია მიაწოდოს გაზი და არ გათიშოს მომხმარებლები ქსელისგან. გაზის მიწოდების მოცულობის შეფარდება - საპროექტოსთან გვადლევს ხარისხის შეფასების შედეგის მნიშვნელობას. ელემენტების საიმედოობა ხასიათდება მტყუნების ნაკადის პარამეტრით.

გაზომარაგების სისტემის საიმედოობის მაჩვენებელი მახასიათებელი განისაზღვრება როგორც რეალური სისტემის ფუნქციონირების მაჩვენებლის შეფარდება, იდეალური სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებლის მახასიათებლთან. [40]:

$$R_{Syst}(t) = \frac{\Phi(t)}{\Phi_0(t)}, \quad (1)$$

სადაც $R_{Syst}(t)$ არის საიმედოობის მახასიათებელი;

$\Phi(t)$ - რეალური სისტემის ფუნქციონირების იდეალური სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებელი;

$\Phi_0(t)$ - იდეალური სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის მაჩვენებელი;

გაზომარაგების სისტემის ფუნქციონირების თვისებრივი მახასიათებლის საფუძველია მომხმარებლის საათობრივი ხარჯის მოხმარება. მსგავსი დანახარჯები დამოკიდებულია მხოლოდ სისტემის მდგომარეობაზე და გვადლევს ამოცანის შესრულების ხარისხის რიცხვით შეფასებას.

თუ სისტემის $\bar{X}(t)$ -ის მდგომარეობაში მომხმარებელთა გარკვეული რაოდენობა გათიშულია, მაშინ გაზის ჯამური დანაკლისი წარმოადგენს ხარისხის ფუნქციონირების მაჩვენებლის შემცირებას.

$$\Phi_x(t) = Q_0 - \Delta Q_x, \quad (2)$$

სადაც Q_0 არის გაზის საანგარიშო ხარჯი, მ³/სთ; ΔQ_x - გათიშული გაზის მომხმარებლების დანაკლისი, მ³/სთ.

სიდიდე ΔQ_x განისაზღვრება ჰიდრავლიკური გაანგარიშების გარეშე, შესაბამისი განხილული საავარიო სიტუაციის გარდა გაზგამანაწილებელი ქსელის საიმედოობის შესამცირებლად, ასეთი მიდგომისას გვაქვს რამდენიმე მნიშვნელოვანი ნაკლი:

- გაითვალისწინება თუ არა სახელშეკრულებო ურთიერთობა? როგორია გაზის მიწოდებელსა და მომხმარებელთა შორის;

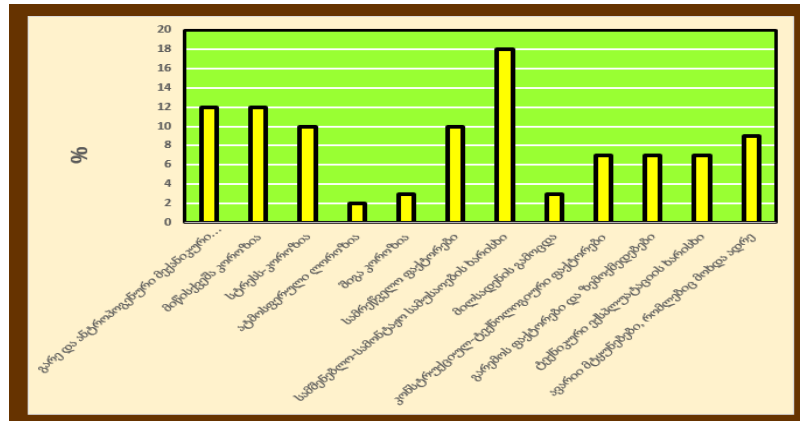
- გაითვალისწინება თუ არა კონტრაქტის შესაბამისად გაზის მიწოდების ცვლილება?

- გაითვალისწინება თუ არა ხელმისაწვდომობა, ურთიერთკავშირი სხვადასხვა საფეხურის წნევის გაზის ქსელებისათვის?

გაზსადენების სიმტკიცისა და ხანგამძლეობის შეფასებისას მიზანშეწონილია განიხილოს იქნას რღვევის ყველაზე სავარაუდო შემთხვევები. ამასთან დაკავშირებით, განხორციელდა ალბათური სტატისტიკის ანალიზი [46], რომელთა შედეგები მოცემულია ცხრილ 1-ში და ნახ. 7-ზე. გამოვლენილია, რომ მიზეზების უმეტესობა წვლილი შეაქვს შესრულების ხარისხს: სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოებს, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია ჩავთვალოთ შედუღებული შეერთების დეფექტები.

ცხრილი 1. გაზგამანაწილებელი ქსელის გაზსადენების მტყუნების საფრთხეს წილი სხვადასხვა ფაქტორებისათვის

№	ფაქტორების ჯგუფის დასახელება	ჯგუფი წილი, %
1	გარე და ანტროპოგენური მექანიკური ზემოქმედება	12
2	მიწისქვეშა კოროზია	12
3	სტრესს-კოროზია	10
4	ატმოსფერული კოროზია	2
5	შიგა კოროზია	3
6	სამრეწველო ფაქტორები	10
7	სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხი	18
8	მილსადენის გამოცდა	3
9	კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური ფაქტორები	7
10	გარემოს ფაქტორები და ზემოქმედებები	7
11	ტექნიკური ექსპლუატაციის ხარისხი	7
12	ავარიი მტყუნებები, რომლებიც მოხდა ადრე	9
		100



ნახ. 7. გაზგამანაწილებელი ქსელის გაზსაძენების მტყუნების საფრთხე სხვადასხვა ფაქტორებისათვის

გაზსაძენის (ან მისი ამრინების) ნებისმიერ წერტილში, სადაც ხდება ქალაქის, დასახლებულ პუნქტში ან საწარმოო ობიექტების გაზის ქსელში მიწოდება აგებენ გაზმარეგულირებელ სადგურს.

მიუხედავად გაზმარეგულირებელ სადგურის ნებისმიერი კონსტრუქციული შესრულებისას, ხდება გაზის მოძრაობა. გარკვეული მიმართულებით. მაგისტრალური გაზსაძენიდან p_H წნევით გაზი შედის ჩართვის ბლოკში, რომელიც შეიცავს: გაზსაძენის შესასვლელი და გამოსასვლელის გაზსაძენები; შემომვლელი ხაზები; შესასვლელი და გამოსასვლელი გაზსაძენები, რომლებიც შეიცავს ჩამკეტ არმატურას (ონკანები, ურდულები); დამცავი სარქველები, შეიცავს გადამრთველ სამცვლიანი ონკანით თვითოეულ გაზსაძენზე, იზოლირების ფლანცები, მაღალი წნევის გაზსაძენის გაზის გადაგდების სანთლები.

ტექნოლოგიური სქემით გათვალისწინებულია გაზის მომხმარებლების არახანგრძლივი მიწოდება მომვლელი ხაზებით, გაზმარეგულირებელ სადგურის ავლის გზით. ეს იძულებითი ზომა გამოწვეულია გაზმარეგულირებელი სადგურის ავარიებით ან სარემონტო სამუშაოებით. ამ დროს გაზის დროსელირება ხდება ხელის ონკანებით. თვითეული მომვლელი ხაზი შეიცავს ორ მიმდევრობით განლაგებულ ჩამკეტ მოწყობილობას (პირველი: გაზის მიმართულებით - ჩამკეტი, მეორე - რეგულირება ხელით). გაზმარეგულირებელი სადგურის ნორმალური

ექსპლუატაციისას, მომვლელი ხაზების ჩამკეტი ორგანოები უნდა იყოს ჩაკეტილი.

დაუშვებელი წნევის ზრდა, მომხმარებლების დაცვისაგან, გამოსასვლელი გაზსადენების გაზმარეგულირებელ სადგურში დაყენებულია ზამბარიანი სარქველები. თვითეულ გასასვლელ გაზსადენზე უნდა იყოს არა ნაკლებ ორი, გამტარუნარიანობის ტოლი, ზამბარიანი დამცველი სარქველი, თვითეულს ერთი ხაზის რედუცირებისას გაზმარეგულირებელი სადგურის შესასვლელზე, გაზის მაქსიმალური წნევისას.

ჩართვის ბლოკის მიერთებისას, ზეთიან მტვერდამჭერებით ან ფილტრებით გაზი მიდის გაწმენდაზე. გაზმარეგულირებელი სადგურის გაზის გაწმენდის კვანძი გათვალისწინებულია მექანიკური მინარევების და სითხეების ტექნოლოგიური და გაზმარეგულირებელი მოწყობილობაში მოხვედრა, აგრეთვე კონტროლის და ავტომატიკის საშუალებების მოხვედრა, გაზმარეგულირებელ სადგურში.

შემდეგ გაზი შედის მომხმარებლების გაზის წნევის რეგულირების ბლოკში, სადაც ხდება გაზის შემცირება P_k -ს მოცემულ სიდიდემდე და მისი მნიშვნელობა ავტომატურად ხდება ამ დონეზე. გაზის წნევის რეგულირების კვანძი, გაზმარეგულირებელი სადგურის გამტარუნარიანობის მიხედვით, შეიცავს ორ, სამ, ოთხის, ან რამდენიმე რედუცირების ხაზს, მათ შორის ერთი სარეზერვო. თვითეული რეგულირების ხაზი გაანგარიშებულია ერთსა და იმავე გამტარუნარიანობაზე და შეიცავს მარეგულირებელი დროსელური ორგანოებით და ჩამკეტი მოწყობილობებით.

ამის შემდეგ გაზი შედის მომხმარებლების გამოსასვლელ გაზსადენებში ხარჯის აღრიცხვის კვანძის და ოდორიზაციის ბლოკით.

გაზმარეგულირებელი სადგურის შემდეგ, გაზი შემოდის გამოსასვლელ კოლექტორში, ხოლო შემდეგ შემოდის ქალაქის გაზმარეგულირებელ პუნქტში. გაზმარეგულირებელი პუნქტების მოქმედების პრინციპი ანალოგიურია გაზმარეგულირებელი

სადგურისათვის, კერძოდ ხდება გაზის წნევის შემცირება და ერთი, ან რამდენიმე საფეხურით გაზის წნევის ავტომატური რეგულირება. გაზმარეგულირებელი პუნქტის ორსაფეხურიანი გაზის წნევის შემცირება ხდება 0,6-დან 0,3 მპა-მდე.

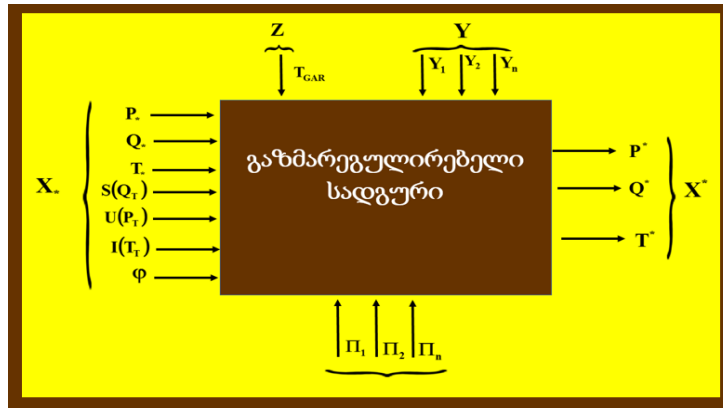
საქალაქო ქსელების გაზის განაწილების ტექნოლოგიური პროცესის მსვლელობა ხასიათდება უწყვეტად ცვლადი პარამეტრებით, რომლებიც ვარირებს მათი საშუალო სიდიდეების ირგვლივ.

შესასვლელ კოორდინატებზე დამოკიდებულია ტექნოლოგიური შემოსაზღვრულობები, რომლებსაც გააჩნია შემდეგი ტექნოლოგიური მოთხოვნები: $p_{*}^{H.GMS}$ - გაზის წნევა გმს-ის შესასვლელზე; p_{*}^{GMP} - გაზის წნევა გმპ-ის შესასვლელზე; Δp_{*}^{GMS} - წნევის ვარდნილი გმს-ის შესასვლელზე; t_G - სრული გაზსადენის უბნის ჰიდრატის შექმნის ტემპერატურა; Q_{*}^{GMS} - გაზის ხარჯი გმს-ის შესასვლელზე; Q_{*}^{GMP} - გაზის ხარჯი გმპ-ის შესასვლელზე;

გამოსასვლელი პარამეტრები შემდეგია: $p_{*}^{K.GMS}$ - გაზის წნევა გმს-ის შესასვლელზე; $Q_{*}^{H.GMS}$ - გაზის ხარჯი გმს-ის შესასვლელზე; C_{ODOR} - გაზის ოდორანტის კონცენტრაცია.

ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია გაზმარეგულირებელი სადგურის საინფორმაციო მოდელი. ძირითადი შესასვლელი მასალების და ენერგეტიკული ნაკადები ხასიათდება პარამეტრებით X_{*} , გამოსასვლელი X^{*} . გარდა ამისა გამოსასვლელი პარამეტრები ხასიათდება ძირითადი მოწყობილობის მდებარეობის და მდგომარეობის Π პარამეტრებით (გაზმარეგულირებელი სადგურის კომუნიკაციური სქემა და მისი მახასიათებელი); მართვადი შეშფოთების Z პარამეტრები (გარემოს ტემპერატურა) და მართვადი ზემოქმედების Y პარამეტრები (აგრეგატების მარეგულირებელი ორგანოების სიდიდის დაყენება, მართვადი პარამეტრი).

გაზმარეგულირებელი სადგურის შიგნით ძირითადი ნაკადი (ბუნებრივი გაზი) - იტოტება პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული აგრეგატებით.



ნახ. 8. გაზმარეგულირებელი სადგურის განზოგადოებული საინფორმაციო მოდელი

1.2. შპს „სოკარ ჯორჯია გაზის“ მიმოხილვა და ანალიზი

შპს „სოკარ ჯორჯია გაზი“ (SGG) წარმოადგენს შპს „სოკარ ენერჯი ჯორჯიას“ შვილობრივ კომპანიას, რომლის თანადამფუძნებელია აზრბაიჯანის რესპუბლიკის სახელმწიფო ნავთობის კომპანია. საქართველოს ტერიტორიაზე გაზიფიკაციის პროგრამის დანერგვის მიზნით დაიწყო 2007 წლიდან.

კომპანიის მოღვაწეობა შეადგენს ბუნებრივი გაზის იმპორტს, გაყიდვას, განაწილებას და დაბალი და საშუალო ქსელების ოპერირება.

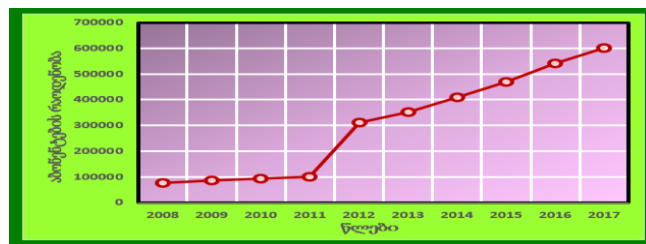
მოხდა საქართველოს სახელმწიფო ძველი ქსელების პრივატიზაცია: 29 კომპანიები 2008 წელს; გაზის საშუალო დანაკარგი - 29%; მოხმარებული გაზის აკრეფა - 60%; 1800 კმ ძველი ქსელები აშენებულია წინა საუკუნის 60-80 წლებში; კომპანიის აბონენტების რაოდენობა ტოლია 78 000, ხოლო თანამშრომლების რაოდენობა - 1000.

ამიტომ პირველ რიგში მოხდა ადამიანური რესურსების მართვა, კერძოდ: ადამიანების ინვესტირება; საქართველოს აღმოსავლის და დასავლეთ საქართველოში შეიქმნა ტრენინგის ორი ცენტრი; მუშაობა დაიწყო საერთაშორისო სტანდარტების მქონე 200 სერტიფიცირებული შემდუღელი; მოხდა კომპანიის საშუალო და ზედა მენეჯმენტის 80%-ის შეცვლა;

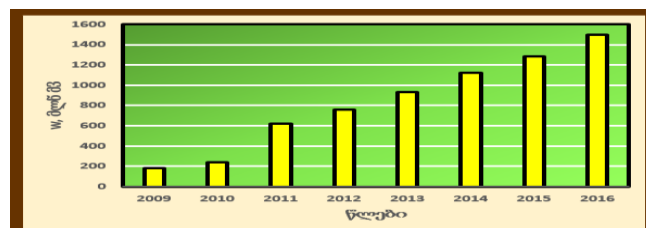
მიღებულია ტექნიკური გადაწყვეტილებები: კერძოდ, ძნელადგილებში გაჟონების გამოვლენის ლაზერული დეტექტორების შეძენა; ტექნიკური პერსონალის შესწავლა და ეკიპირება გაზოანალიზატორებით; მიწისქვეშა გაზსადენების ზუსტი ადგილმდებარეობების ლითონ-დეტექტორების შეძენა; გაზის მიწოდების ერთსაფეხურიანი სისტემა (მხოლოდ საშუალო წნევით); გაზსადენების პოლიეთილენის მილების მშენებლობა; საკონტროლო მრიცხველი 500 აბონენტზე; მრიცხველების აღრიცხვის ბლოკური სისტემა.

SGG-ში ჩატარდა სამშენებლო და სარეაბილიტაციო სამუშაოები, კერძოდ: რეაბილიტირდა 500-მდე კმ-ის ამორტიზირებული გაზსადენები; ძველ ქსელებზე შეიცვალა დაახლოებით 8 000-მდე დამველებელი ონკანი და ურდული, 1 300-მდე მეტი ძველი ტიპის რეგულატორი გაზგამანაწილებელ სადგურებში (გგს); გამოტანილ იქნა შენობებიდან 72 000-ზე მეტი ძველი მრიცხველი და შეიცვალა ახალი ELSTER ტიპის თერმოკორექტული მრიცხველები.

მოხდა ბუნებრივი გაზის ბაზრის განვითარება: ახალი ქსელების მშენებლობა (5 500 კმ); აქტიური აბონენტების რაოდენობების ხუთჯერ გაზრდა (410 000) (ნახ. 9); გაზის გაყიდვის ექვსჯერ გაზრდა (1,5 მლრდ მ³) (ნახ. 10).

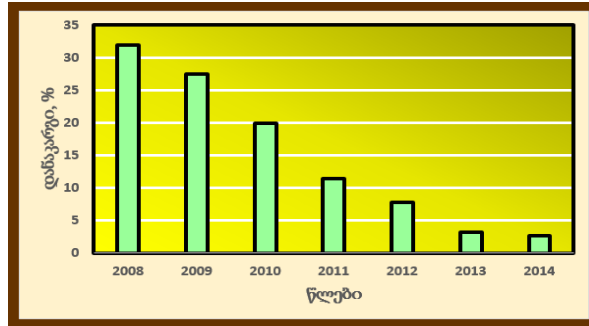


ნახ. 9. აქტიური აბონენტების რაოდენობების დინამიკა დროში



ნახ. 10. SGG-ს გაყიდვის ბუნებრივი გაზის ზრდის დინამიკა წლების მიხედვით

ამგვარად შედეგად: გაზის დანაკარგი შემცირდა 32%-დან 2,6%-მდე (ნახ. 11); მოხმარებული გაზის გადარიცხვა გაიზარდა 60%-დან 100%-მდე და ა.შ.



ნახ. 11. დანაკარგის ბუნებრივი გაზის შემცირების დინამიკა წლების მიხედვით

1.3. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზიფიკაციის სისტემის აღწერა

1.3.1. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზიფიკაციის სისტემის აღწერა და დახასიათება

ვარკეთილის, ვაზისუბნის დასახლებებსა და თბილისის ზღვას შორის მდებარე ოლიმპიური სოფლის და ს.ს. „Hualing international special economic zone“-ის სასტუმროს, ბიზნეს ცენტრისა და სავაჭრო პავილიონების გაზმომარაგების პროექტის მიზნით შპს „სოკარ ჯორჯია გაზის“ დაკვეთით, მოხდა გაზგამანაწილებელი ქსელის აშენება.

პროექტირება ითვალისწინებდა ოლიმპიური სოფლის 18 საცხოვრებელი კორპუსის, სასტუმროს, ფიტნეს ცენტრის, სასადილოს და სავაჭრო პავილიონების გაზმომარაგებას. აქვე საშუალო წნევის გაზსადენი მიყვანილი იქნა 18 საცხოვრებელ კორპუსთან (ოლიმპიური სოფლის I კვარტალი) და დანარჩენი ზემოთჩამოთვლილი ობიექტების საქვამებამდე.

მთლიანი კომპლექსი, რომელიც რამდენიმე ათეული ჰექტარისაგან შედგენილია დაყოფილი სექტორებად, სულ გვაქვს 54 სექტორი. აქედან 15

სექტორი არის რეკრიაციული ზონა, თუმცა ამ ზონებშიც შეიძლება აშენდეს რამდენიმე სასტუმრო და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები. გარდა ამისა ჩინური კომპანიის ს.ს. „Hualing international special economic zone“-ის ხელმძღვანელობის ინიციატივით მთლიანობაში აღნიშნულ ტერიტორიაზე უნდა აშენდეს 4,0 მილიონი მ² ფართი, აქედან 2 000 000 მ² საცხოვრებელი და 2 000 000 მ² სხვა დანიშნულების ობიექტები (სასტუმროები, სავაჭრო ცენტრები, სკოლები, საავადმყოფოები, საბავშვო ბაღები და ა.შ.).

მიღებული იქნა გადაწყვეტილება რომ კომპლექსის გაზიფიცირება განხორციელდეს დამოუკიდებელი ახალი გაზსადენის ქსელით, რომელიც კვებას აიღებს საქართველოს „გაზის ტრანსპორტირების კომპანიის“ მაგისტრალური $\Phi 700$ მმ გაზსადენიდან, რომელიც ობიექტიდან დაშორებულია 2,5 კმ-ით.

გაზსადენის მაგისტრალთან მიერთება, გაზმარეგულირებელი სადგურის, ოდორიზაციის კვანძისა და აღრიცხვის კვანძის პროექტი დამუშავებული იქნა მშენებარე კომპლექსამდე ასაშენებელი გაზსადენის ტრასა.

პროექტი, რომელიც ითვალისწინებს – ოლიმპიური სოფლის, სასტუმროს, ფიტნეს ცენტრის, სასადილოსა და სავაჭრო პავილიონების გაზმომარაგებას პერსპექტივაში მიმდებარე ობიექტების ხარჯების გათვალისწინებით. ამიტომ ოლიმპიური სოფლის (საცხოვრებელი კორპუსების) წინა მხარეს ცენტრალურ ქუჩაზე გათვალისწინდა მაღალი წნევის ($P=6$ კგ/სმ²) გაზსადენის მშენებლობა $d=315$ მმ PE100 SDR11 პოლიეთილენის მილებისაგან. პროექტის მიხედვით ყველა მომხმარებლამდე მიყვანა ხდება საშუალო წნევის $P=3$ კგ/სმ² გაზსადენის მიყვანა. საცხოვრებელი კორპუსის ერთ-ერთ კუთხეში მიყვანილი განშტოება ამოდის მიწიდან 1,5 – 2,0 მეტრის სიმაღლემდე, მასზე ყენდება ფოლადის ბურთულოვანი გამომრთველი ონკანი და უკეთდება თავში ფოლადის დამხშობი გაზსადენის დიამეტრის ტოლი, მიწიდან ამოსვლის ადგილას

ყენდება პოლიეთილენ-ფოლადზე გადამყვანი. ასეთი მეთოდია გამოყენებული ყველა განშტოების დაბოლოებაზე.

საერთოდ ქუჩებში განთავსებული ყველა გამომრთველი არმატურა ჩაყენდა რკინა-ბეტონის ჭებში.

საშუალო წნევის ($P=3\text{კგ/სმ}^2$) გაზსადენების მშენებლობა უნდა განხორციელდეს PE100 SDR17 მარკის პოლიეთილენის მილებისაგან.

აღნიშნული კომპლექსის სრული გაზიფიცირებისათვის საჭიროა 35-40 ათასი მ³ ბუნებრივი გაზი ერთი საათის განმავლობაში, რის გარანტიასაც იძლევა აშენებული გაზსადენის ქსელი, რომელიც გაივლის განაშენიანების ცენტრალურ ქუჩებში.

1.3.2. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზსადენის მშენებლობა პოლიეთილენის მილების გამოყენებით

პროექტით გათვალისწინებულია $d=315\text{მმ}$ პოლიეთილენის ზომიანი მილების გამოყენება. პოლიეთილენი მილების მარკაა PE100 SDR11. მიწისქვეშა პოლიეთილენის მილების გრუნტში ჩაწყობის მინიმალური სიღრმე მიღებულია 1,0 მ-ის ტოლად მიწის ზედაპირიდან მილის ზედა მსახველამდე. პოლიეთილენის მილის ერთი დიამეტრიდან მეორე დიამეტრზე გადასვლა, გაზსადენის მოხვევები, ასევე პოლიეთილენ-ფოლადზე გადასვლა მოხდა პოლიეთილენის მილის შემაერთებელი საშუალებით.

გაზსადენის ტრასის მშენებლობისათვის ტრანშეის გათხრის სამუშაოები გათვალისწინებული იყო ძირითადად მექანიზმებით. გამონაკლისს წარმოადგენს კომუნიკაციების გადაკვეთის ადგილები და საავტომობილო გზების გადაკვეთა.

ტრანშეის მინიმალური სიგანე ტრანშეის ძირზე იყო არანაკლებ 0,5 მ-ის, ხოლო ტრანშეის სიღრმე განისაზღვრება გაზსადენის დიამეტრიდან გამომდინარე და იგი შეადგენს 1,2მ-ს. ტრანშეის საბოლოო შევსება ხრემის

საფარიან გზებზე მოხდა 20სმ სისქის ხრეშის ფენით. ხოლო სრულყოფილსაფარიან გზებში შესაძლებელი გახდა 20სმ ფენის ღორღის საფუძვლის მოწყობა, შემდეგ 7სმ მსხვილმარცვლოვანი და ბოლოს კი 3,0სმ წვრილმარცვლოვანი ასფალტის საფარის ფენის მოწყობა.

ტრანშეაში მილების ჩაწყობის სამუშაოები წარმოებდა არაუმეტეს +30°C ტემპერატურის დროს. ცხელ პერიოდში ტრანშეაში მილის ჩაწყობისას მილსადენში ნარჩენი დამაბულობების აღმოფხვრის მიზნით გაზსადენის ჩაწყობის სამუშაოები იწარმოა დღე-ღამის უფრო ცივ პერიოდში.

ტემპერატურული ცვლილებების შედეგად გაზსადენი ექსპლუატაციის დროს დამაბულობების შემცირების მიზნით +10°C მაღალი ტემპერატურის დროს მილსადენის ტრანშეაში ჩაწყობისას ეწყობოდა კლაკნილად, ხოლო გრუნტის ძირა წარმოებდა დღე-ღამის მინიმალური ტემპერატურის დროს. 0°C-ზე დაბალი ტემპერატურის დროს გაზსადენის გრუნტის მიყრა ხდებოდა დღე-ღამის ყველაზე თბილ პერიოდში.

გაზსადენის მონტაჟი ხდებოდა ტრანშეის კიდეზე ცალკეული მილებისაგან სექციებად ან რგოლებად. მილებისა და დეტალების ზედაპირების გარეგნული სახე განისაზღვრა ვიზუალურად, გამადიდებელი ხელსაწყოების გამოყენების გარეშე. დეფექტების სიღრმე განისაზღვრა საათის ტიპის ინდიკატორის საშუალებით, დანაყოფის ფასით 0,01 მმ.

პოლიეთილენის გაზსადენების შედუღებისას ჩასაყენებელი გამახურებლებიანი შემაერთებელი დეტალებით იწარმოა გარემომცველი ჰაერის არანაკლებ -5°C და არაუმეტეს +35°C დროს. სხვა ტემპერატურაზე შედუღების სამუშაოების აუცილებლობის შემთხვევაში შედუღება იწარმოა დახურულ სათავსოში.

1.3.3. ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის გაზსადენების გამოცდა და ექსპლუატაციაში მიღება

გაზსადენების გამოცდა მოხდა წყლით და ჰაერით. მიწისქვეშა გაზსადენების ჰერმეტიულობაზე გამოცდის დაწყებამდე ჰაერის ტემპერატურა მილში

უტოლდებოდა გრუნტის ტემპერატურას. $p=3,0$ კგმ/სმ² საშუალო წნევა შეადგენდა 6,0 კგმ/სმ², ხოლო ჰერმეტიულობაზე გამოცდისას - 3 კგმ/სმ².

სიმტკიცეზე გამოცდის ხანგრძლივობა შეადგენდა ერთ საათს. გამოცდის შედეგი ჩაითვლებოდა დადებითად, თუ გამოცდის პერიოდში წნევა იყო უცვლელი (არ იყო ხილული წნევის დაცემა მანომეტრზე). ჰერმეტიულობაზე გამოცდის ხანგრძლივობა შეადგენდა 24 სთ-ს. გამოცდის შედეგი ჩაითვლებოდა დადებითად თუ ფაქტიური წნევის დაცემა იყო ნაკლები დასაშვებზე.

წნევის დასაშვები დაცემა განისაზღვრა შემდეგი ფორმულით:

$$P_{Das} = \frac{20T}{D}, \quad (3)$$

სადაც P_{Das} არის წნევის დასაშვები დაცემა, მმ. წყ.სვ; D - გაზსადენის შიგა დიამეტრი, მმ; T - გაზსადენი შიგა ტემპერატურა, °C

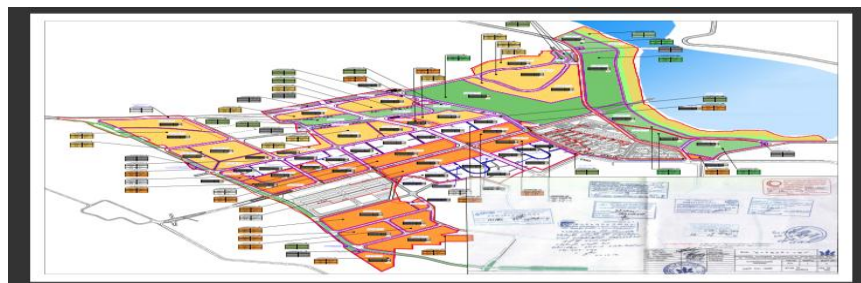
გამოცდის შედეგად აღმოჩენილი დეფექტების აღმოფხვრა მოხდა მხოლოდ გაზსადენში წნევის ატმოსფერულამდე შემცირების შემდეგ, ხოლო შემდეგ - გამოცდა მოხდა განმეორებით. გაზსადენები ჰაერით შევსების შემდეგ გამოცდის დაწყებამდე მოხდა შეყოვნა გამოსაცდელი წნევის ქვეშ გაზსადენის შიგა ჰაერისა და გრუნტის ან გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურების გათანაბრებამდე. პოლიეთილენის გაზსადენების გამოცდა იწარმოა ბოლო პირაპირის შედუღებიდან არაუადრეს 24 საათისა.

ობიექტი ითვალისწინებდა ვარკეთილის, ვაზისუბნის დასახლებებსა და თბილისის ზღვას შორის ოლიმპიური სოფლის, სასტუმროს და სავაჭრო ცენტრის გაზმომარაგებას, რომლის პროექტი შესრულდა ს.ს. „საქორგაზის“ დავალების საფუძველზე.

ამგვარად, პროექტის ჩატარების საფუძველად უდევს შემდეგი საწყისი მონაცემები და მასალები: 1. ს.ს. „საქორგაზის“ ტექნიკური დავალება ოლიმპიური სოფლის, სასტუმროსა და სავაჭრო ცენტრის გაზმომარაგების სისტემის პროექტირებაზე; 2. გაზმომარაგების წყაროდან ოლიმპიურ სოფლამდე გაზსადენის ტრასის განვლადობის ტოპო-გეოდეზიური კვლევების მასალები; 3. გაზმომარაგების წყაროდან ოლიმპიურ სოფლამდე

გაზსადენის ტრასის განვლადობის საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების ანგარიში; 4. საქართველოს გაზის ტრანსპორტირების კომპანიის მიერ გაცემული 2014წ. 12 სექტემბრის N42 ტექნიკური პირობა ოლიმპიური სოფლის გაზმომარაგების წყაროს განსაზღვრის შესახებ; 5. ინფორმაცია გაზმომარაგების სისტემის მშენებლობის დროს წარმოქმნილი ზედმეტი გრუნტის გაზიდვის ადგილმდებარეობისა და ზიდვის მანძილის შესახებ; 6. ინფორმაცია გაზმომარაგების სისტემის მშენებლობის დროს საჭირო ინერტული მასალების (ქვიშა, ხრეში, ღორღი) კარიერის ადგილმდებარეობისა და ზიდვის მანძილის შესახებ. პროექტით გათვალისწინებულია ერთი ცალი გაზის გამანაწილებელი სადგურის, 95 გრძ.მ მაგისტრალური გაზსადენის განშტოების, 2620 გრძ.მ საშუალო წნევის გაზსადენის ტრასის, 3 ც. გამომრთველი მოწყობილობების, გაზსადენების დამცავი ნაგებობებისა და სხვა ნაგებობათა მშენებლობა.

ოლიმპიური სოფლის გაზმომარაგების წყარო განსაზღვრულია საქართველოს გაზის ტრანსპორტირების კომპანიის 2014 წლის 12 სექტემბრის N43 ტექნიკური პირობის საფუძველზე, რომლის თანახმადაც გაზმომარაგების წყაროდ მიღებულია „ვლადიკავკაზი-თბილისის“ d=720მმ მაგისტრალური გაზსადენი. ოლიმპიური სოფლის მკვებავი გაზსადენის მიერთება „ვლადიკავკაზი-თბილისის“ მაგისტრალურ გაზსადენთან მოხდება ამ უკანასკნელის 211,18კმ-ზე.



ნახ. 12. ობიექტის გენერალური გეგმა

განვიხილოთ გაზმომარაგების მიღებული სქემის აღწერა (ნახ. 12 და 13). როგორც იყო აღნიშნული, ოლიმპიური სოფლის გაზმომარაგების

წყაროდმიღებულია „ვლადიკავკაზ–თბილისის“ $d=720\text{მმ}$ მაგისტრალური გაზსადენი. მიღებული იქნა გადაწყვეტილება გაზომომარაგების წყაროდან ოლიმპიურ სოფლამდე გაზის მიწოდება მოხდეს საშუალო წნევის გაზსადენის ტრასით. ამ გადაწყვეტილების განხორციელება შეიძლება შუალედური რგოლის – გაზის გამანაწილებელი სადგურის (გგს) მეშვეობით. გგს-ში მოხდება $P=12\text{კგ/სმ}^2$ წნევის გაზის რედუცირება საშუალო წნევამდე ($P=3\text{კგ/სმ}^2$).

გგს-ის მშენებლობისათვის შერჩეული იქნა შენობა–ნეგებობებისაგან თავისუფალი ტერიტორია მიერთების წერტილიდან ჩრდილო–აღმოსავლეთ მხარეზე, ამ წერტილიდან 80მ -ის მოშორებით. გაზომომარაგების წყაროდან გგს-დე გაზის მიწოდებას ვითვალისწინებთ $d=150\text{მმ}$ ფოლადის გაზსადენით. მიერთების წერტილიდან გაზის გამანაწილებელ სადგურამდე მაგისტრალური გაზსადენის მშენებლობას ვითვალისწინებთ საჰაერო მიწისზედა გატარებით. მიწისზედა გაზსადენზე უნდა ჩაყენდეს ორი ცალი ფოლადის ბურთულოვანი $d=150\text{მმ}$ ონკანი, ონკანები შემოიღობოს კუტიკარით აღჭურვილი $h=1,5\text{მ}$ სიმაღლის ფოლადის მავთალბადით.

მაგისტრალური გაზსადენის განშტოებაზე ასევე ვითვალისწინებთ $d=300\text{მმ}$ $L=6,0\text{მ}$ ფოლადის მილის ჩაყენებას მიწაში. ეს მილი ე.წ. კოლექტორი გათვალისწინებულია მასზე პერსპექტიული გაზის მომხმარებლების მიერთებისათვის. კოლექტორის ორივე მხარეზე, თავსა და ბოლოში მოეწყოს იგივე დიამეტრის სფერული დამხშობები. მაგისტრალური გაზსადენის განშტოება გგს-ის უშუალო სიახლოვეს ამოდის მიწის ზემოთ, მიწის დონიდან $h=1,0\text{მ}$ სიმაღლეზე და შედის გგს-ში, შესვლის წინ ყენდება ფოლადის გადამყვანი $d=150\times 200\text{მმ}$.

საშუალო წნევის გაზსადენი გაზის გამანაწილებელი სადგურიდან გამოდის ღიად $d=200\text{მმ}$ ფოლადის მილის სახით, რომელზედაც PK0+01 წერტილში ვითვალისწინებთ გაზის მიწოდების გამომრთველი სფერული ონკანის ($d=200\text{მმ}$ PN16) დამონტაჟებას. ამავე გაზსადენზე PK0+03 წერტილში ვითვალისწინებთ გაზის ხარჯმზომი კვანძის მოწყობას.

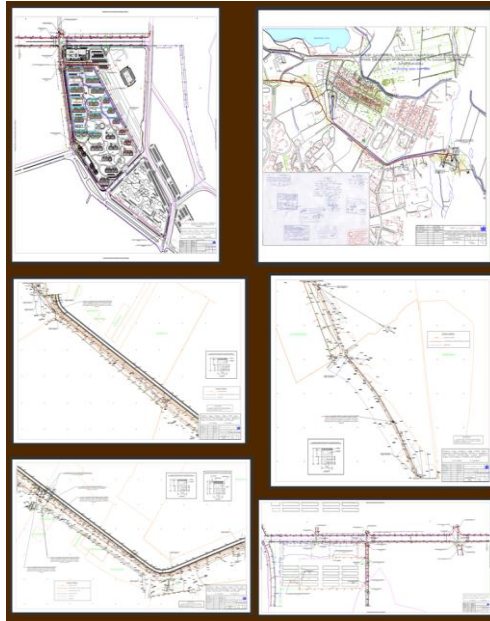
მიწისქვეშა კომუნიკაციების გადაკვეთისას გაზსადენი გატარდეს არსებული კომუნიკაციების ქვეშ. მინიმალური ვერტიკალური მანძილი სიოში გაზსადენსა და გადაკვეთ კომუნიკაციებს შორის მიღებულ იქნას არანაკლებ 0,2მ-ისა, ხოლო გაზსადენსა და ელექტროგადამცემ კაბელს შორის არანაკლებ 0,5მ-ისა. კომუნიკაციების გადაკვეთის ადგილებში მიწის სამუშაოები იწარმოოს ხელით, კომუნიკაციის მფლობელი ორგანიზაციის წარმომადგენლის თანდასწრებით.

გარცმის მიღები ეწყობა, ასევე გაზსადენების მიწაში ჩასვლა–ამოსვლის ადგილებში. $d=150\text{მმ}$ გაზსადენზე ვითვალისწინებთ $d=250\text{მმ}$ $h=1,0\text{მ}$ გარცმის მილის, ხოლო $d=315\text{მმ}$ გაზსადენზე $d=500\text{მმ}$ $h=1,0\text{მ}$ გარცმის მილების მოწყობას.

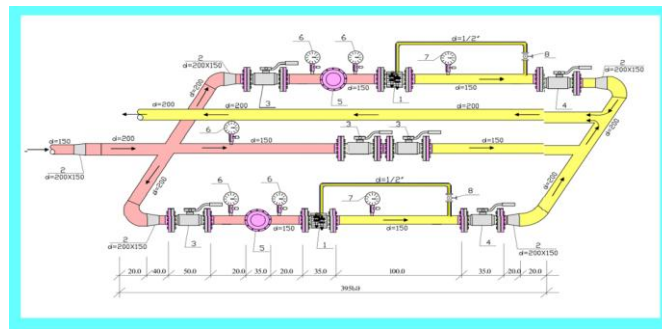
განვიხილოთ გაზის გამანაწილებელი სადგურის დანიშნულება და პრინციპიალური სქემა. გაზმომარაგების წყაროდან ოლიმპიურ სოფლამდე გაზის მიწოდება გათვალისწინებული გვაქვს გაზის გამანაწილებელი სადგურის მეშვეობით (ნახ. 14).

გაზის გამანაწილებელი სადგურის დანიშნულებაა $P=12\text{კგ/სმ}^2$ წნევის გაზის რედუცირება $P=3\text{კგ/სმ}^2$ წნევამდე და ამ წნევის შენარჩუნება გაზის ყოველგვარი მოხმარების პირობებში.

გაზის გამანაწილებელი სადგურის დადგმას ვითვალისწინებთ სწორ ადგილზე, ხრემის საფარიან საფუძველზე დადებულ რკინა–ბეტონის ფილაზე, სადგური უნდა მოთავსდეს ლითონის კარადაში, ხოლო ყველა ტექნოლოგიური დანადგარი უნდა შემოიღობოს ჭიმკრით აღჭურვილი ლითონის მავთულბადით. გაზის მარეგულირებელი სადგური გათვალისწინებული გვაქვს რედუცირების ორი ხაზით $d=6''$ რომელიც გაზის ფილტრის, ოდორიზაციის ბალონის და გაზის ხარჯმზომ მრიცხველთან ერთად განთავსებული იქნება ერთ კონტეინერში. გგს-ის დასამონტაჟებლად წინასწარ უნდა მოეწყოს მოედანი ზომით $10\times 5\text{მ}$, რომლის პერიმეტრის შემოღობვა მოხდება ლითონის მავთულბადით. მავთულბადის დამაგრებას ვითვალისწინებთ ფოლადის მილებისაგან დამზადებულ საყრდენებზე.



ნახ. 13. ობიექტის გენერალური გეგმის ფრაგმენტები



ნახ. 14. 1.წნევის რეგულატორი GS-80A-AF; 2. გადამყვანი d=200x150 FAF PN PN 16 d=150; 3. ბურთულოვანი ონკანი; 4. 3. ბურთულოვანი ონკანი; 5. ფილტრი d=320 მმ FAF PN16 d=150; 6. მანომეტრი PN16; 7. მანომეტრი PN6; 8. ონკანი

გმს-ის დამონტაჟებას ვითვალისწინებთ შემოღობილი პერიმეტრის შიგნით მოწყობილ 3x5x0.2მ ბეტონის ფილაზე. (ბეტონის ფილის დამზადება შესაძლებელია ადგილზე).

გგს-ის დამონტაჟების შემდეგ უნდა მოხდეს შემოღობილი ფართობის მოხრეშვა. გგს უნდა აღიჭურვოს მეხამრიდით. მეხამრიდისა და რედუცირების კვანძი კი დამიწდეს. ყოველივე ზემოთ აღნიშნული განხორციელდეს პროექტზე თანდართული ტიპური პროექტების მიხედვით.

**თავი 2. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების პროგნოზირება, ქ.
თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე**

**2.1. საშუალო წნევის გაზსადენის მოხმარების პროცესის პროგნოზირების
ალბათური მახასიათებლების დადგენა**

გაზომარაგება წარმოადგენს მეურნეობის დარგს, რომელიც ეფუძნება აალებადი (ბუნებრივი და ხელოვნური) აირების ზრდის გამოყენებას და იგი ხასიათდება უფრო მაღალი ტემპებით, სხვა ენერგომატარებელთა სახეობთან შედარებით. ბუნებრივი გაზი არის კლასიკური საწვავის საუკეთესო სახეობა, ამიტომ მისი გამოყენება მეტად მიზანშეწონილია ტექნიკურად და ეკონომიკურად. მაგალითად ბუნებრივი გაზის წილი მსოფლიო საწვავის ბალანსში დაახლოებით 60%-ს შეადგენს, რადგანაც ბუნებრივი გაზი წარმოადგენს მაღალკოეფიციენტურ ენერგომატარებელს. ეკონომიკური კრიზისის პირობებში, გაზიფიკაციამ შეიძლება შეადგინოს სხვადასხვა რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების საფუძველი, უზრუნველყოს მოსახლეობის შრომისა და ყოფაცხოვრების პირობები და აგრეთვე გარემოს დაბინძურების შემცირება.

ნაშრომის საგანი და შესაბამისად თემა წარმოადგენს ბუნებრივი გაზის მოხმარების ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას, მის რაციონალური მოხმარებას. თანამედროვე გაზგამანაწილებელი სისტემები თავისი განვითარების მოცემულ ეტაპზე უნდა პასუხობდეს იმ მოთხოვნებს, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ: გამანაწილებელი ქსელების ენერგოეფექტურობის მაქსიმალური დონე; გარანტირებული უსაფრთხოება; მოხმარებლების გაზომარაგების საიმედოობა, მოხმარებლების გაზომარაგების უწყვეტობა; გაზის მოხმარების რეჟიმების პროგნოზირება; ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაცია, მათ შორის გაზის აღრიცხვის სისტემების; სისტემის მწარმოებლობის რეზერვი, მისი ეკონომიურობის შენარჩუნების პირობით.

დღეისათვის საქართველოში ნაკლებად არის მნიშვნელოვანი სამეცნიერო ნაშრომები, რომელიც ეხება ბუნებრივი გაზის სექტორს. გაზგამანაწილებელი ქსელების გაზსადენების მიწოდების შედეგების პროგნოზირება, თავიდან აცილება და შესაბამისი ღონისძიებების დაგეგმვისათვის აუცილებელისათვის საჭიროა მეცნიერულად დასაბუთებული, დასრულებული, მეთოდოლოგიურად გამართლებული, ნატურულ მონაცემებზე და თეორიაზე დამყარებული მეთოდი რომელიც დღეისათვის არ არსებობს. ამიტომ, ნაშრომის აქტუალობა. მეტად მნიშვნელოვანია.

ნაშრომის მიზანია შეიქმნას მეცნიერულად დასაბუთებული, ნატურულ მონაცემებზე დაყრდნობილი თეორია, რომლის საშუალებით შესაძლებელია გაზგამანაწილებელი ქსელების გაზსადენების მიწოდება-მოხმარების პროგნოზირება, საიმედოობის გაზრდა, რისკების პროგნოზირება, შესაბამისი ღონისძიებების შემუშავება და ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლება.

ნაშრომის შესრულებისას გამოყენებულია გაზმომარაგების მოხმარების დროითი მწკრივებისა ალბათური თეორიისა და კორელაციური ანალიზის მეთოდები [47-49].

საშუალო წნევის გაზსადენის ბუნებრივი გაზის მოხმარების მოცულობების აღრიცხვა სტანდარტულ პირობებამდე წარმოებს მრიცხველის კორექტირების კოეფიციენტით. ამ შემთხვევაში გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: w_c - სტანდარტული მოცულობა, 1000 მ³; w_p - მოცულობა კორექტირებამდე, 1000 მ³; w_{p0} - მოცულობა კორექტირებამდე, 1000 მ³; p - გაზის წნევა; t - გაზის ტემპერატურა; K - კუმშვადობის კოეფიციენტი; K_K - კორექტირების კოეფიციენტი; სტანდარტული ტემპერატურა t_{st} - 20⁰C; სტანდარტული წნევა p_{st} - 101,325 კპა.

განვიხლით გაზის გაერთიანებული კლაპეირონის განტოლება:

$$\frac{p_{st} w_{st}}{T_{st}} \frac{1}{K_{st}} = \frac{pv}{T} \frac{1}{K}, \quad (4)$$

სადაც $K_{St} = 1$. (4)-დან გვექნება:

$$\frac{p_{St} w_c}{t_{St} + 273,15} = \frac{p w_p}{t + 273,15} \frac{1}{K} \quad (5)$$

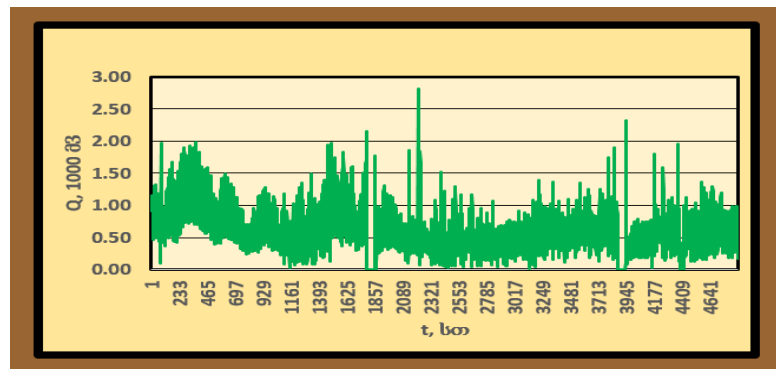
$$K_K = \frac{p}{p_{St}} \frac{273,15 + t_{St}}{273,15 + t} \frac{1}{K} \quad (6)$$

საბოლოოდ გაზის სტანდარტული მოცულობა ტოლია

$$w_c = K_K w_p \quad (7)$$

ამგვარად, ჩვენს მიერ, მიღებულია მრიცხველი მიერ გაზომილი გაზის საათური სტანდარტული მოცულობების მწკრივი 2016 წლის 15 იანვრიდან, 1 აგვისტომდე, ნებისმიერ დღის 00 საათიდან 24 საათის განმავლობაში.

მოვახდინოთ მიღებული მწკრივის სტატისტიკური დამუშავება, (ნახ. 15), სადაც ნაჩვენებია გაზის საათური სტანდარტული მოცულობების მწკრივი (აღნიშნული 2016 წლის 15 იანვრიდან, 1 აგვისტომდე).



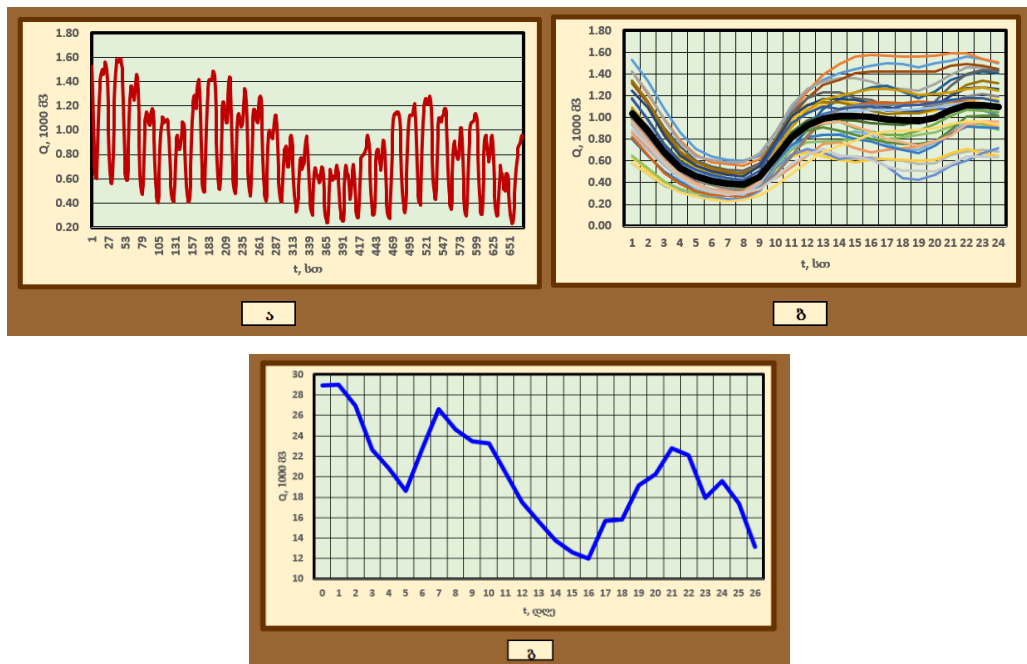
ნახ. 15. საათური მოცულობების მწკრივი 2016 წლის 15 იანვრიდან, 1 აგვისტომდე მწკრივის გრაფიკი

ნახ. 16 (ა)-ზე, მაგალითისათვის, ნაჩვენებია 2016 წლის თებერვალის თვის მწკრივის საათური მოცულობების მწკრივის გრაფიკი; ნახ 16 (ბ)-ზე მოყვანილია თებერვალის თვის თვითეული დღის საათური მწკრივების გრაფიკები, ხოლო ნახ 16 (გ)-ზე ნაჩვენებია თებერვალის თვის დღე-ღამური მოცულობების მწკრივის გრაფიკი.

დროებითი მწკრივის სხვადასხვა ტიპის კომპონენტებისათვის შეიძლება გვექონდეს პერიოდული მწკრივი. ზოგადად, პერიოდული

დამოკიდებულება შეიძლება განისაზღვროს, როგორც გარკვეული კორელაციური დამოკიდებულება მწკრივის i -ურ და $(i-n)$ -ურ ელემენტებს შორის, ვიზუალურად პერიოდულობა კი - როგორც მწკრივის წევრების ქმედება სხვადასხვა დროში. დროებითი მწკრივის პერიოდული მდგენელები შეიძლება განისაზღვროს კორელოგრამების საშუალებით ან, სხვანაირად რიცხვითი ფუნქციის თანამიმდევრობა - ბიჯებით, გარკვეული დიაპაზონისათვის [4-6].

სტატისტიკაში არსებობს ავტოკორელაციის $K(n)$ თეორიული მნიშვნელობის შერჩევითი შეფასება, სასრული დროებითი მწკრივის პროცესით, n დაკვირვების მიხედვით. ყველაზე პოპულარულია არაციკლური ავტოკორელაციის კოეფიციენტი, დაგვიანების მიხედვით. თუ გვაქვს მწკრივი Q_i , მაშინ ავტოკორელაციის კოეფიციენტი K_k განისაზღვრება შემდეგნაირად [47]:



ნახ. 16. 2016 წლის თებერვალის ნატურული მონაცემები: ა. თვის მწკრივის საათური მოცულობების მწკრივის გრაფიკი; ბ. თვის თვითეული დღის საათური მწკრივების გრაფიკების ანსამბლი (მსხვილი გრაფიკი გვიჩვენებს მონაცემების საშუალო მნიშვნელობების გრაფიკი); გ. თვის დღე-ღამური მოცულობების მწკრივის გრაფიკი.

$$K_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} Q_t Q_{t+k} - \sum_{t=1}^{n-k} Q_t \sum_{t=k+1}^n \frac{Q_t}{n-k}}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^{n-k} Q_t^2 - \frac{\left(\sum_{t=1}^{n-k} Q_t\right)^2}{n-k} \right] \left[\sum_{t=k+1}^n Q_t^2 - \frac{\left(\sum_{t=k+1}^n Q_t\right)^2}{n-k} \right]}}. \quad (8)$$

ამგვარად, ავტოკორელაციის კოეფიციენტი გვიჩვენებს მჭიდრო ბმას $Q(1), Q(2), \dots, Q(n-1)$ -ს და $Q(n-k), Q(n-k+1), \dots, Q(n)$ -ს დონეებს შორის.

შერჩევითი ავტოკორელაციური ფუნქცია მჭიდროდაა დაკავშირებული მწკრივის სტრუქტურასთან. სტაციონარული მწკრივისათვის ავტოკორელაციური ფუნქცია სწრაფად მცირდება n -თან ერთად. მწკრივის ტრენდის არსებობის დროს ავტოკორელაციური ფუნქცია ხასიათდება სწრაფად კლებადი მრუდით. თუ მწკრივში გამოყოფილია გრაფიკის ჯერადი სეზონურობა, მაშინ ავტოკორელაციურ ფუნქციას ახასიათებს დაგვიანების ამოვარდნები, რომლებსაც მაინც გააჩნიათ მცირე შემფოთებები, რაც იწვევს გარკვეულ ტრენდს.

ორ ცვლადს შორის ბმის გაზომვისათვის იყენებენ ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტს:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (9)$$

სადაც \bar{x} და \bar{y} წარმოადგენს მათ მათემატიკურ მოლოდენებს.

განვიხილოთ ავტოკორელაციური ფუნქცია, რომელსაც ახასიათებს ზომიერი ტრენდი და მკვეთრი სეზონურობა (ნახ. 17). ამგვარად ავტოკორელაციურ ფუნქციას, აშკარა გააჩნია სეზონური დეტერმინატა (პიკები) და გვაქვს პიკები დაახლოებით 24 საათიანი პერიოდით.

მიღებული შედეგების საშუალებით შესაძლოა ბუნებრივი გაზის საათური მიწოდების მაქსიმალური ზუსტი პროგნოზი, რაც შესაძლებელია მწკრივის გასაგლუვებლად.

საქართველოს საერთოდ არ გააჩნია სამრეწველო მნიშვნელობის ბუნებრივი გაზი, ამიტომ იძულებულია იგი სხვა ქვეყნებიდან შემოიტანოს. ხშირად არის შემთხვევები, როცა ადგილი აქვს გაზის მოხმარების უთანაბრობა, განსაკუთრებით წლის სეზონურ დროს, მათ შორის გაზომომარაგების სისტემის პიკური დატვირთვისას დროს. ექსტრემალურ პირობებში შეიძლება საერთოდ წყდებოდეს გაზის მიწოდება და ქვეყანა დიდ მატერიალურ ზარალს განიცდის.

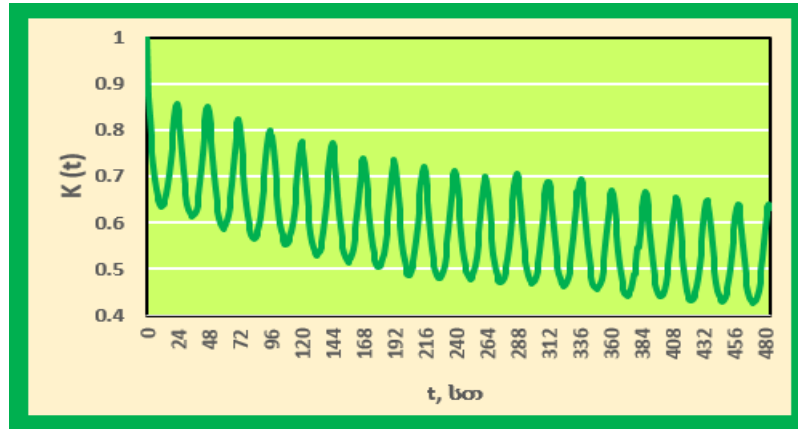
შედეგების გამოყენების სფერო წარმოადგენს გაზგამანაწილებელი ქსელის საშუალო წნევის გაზსადენის პროგნოზირება, ქვეყნის ენერგორესურსებით პოტენციალის შესაძლებლობების უზრუნველყოფა.

ამგვარად, შედეგად დადგენილია ბუნებრივი გაზის დროითი მწკრივის კორელაციური მახასიათებლები, რისთვისაც შესაძლოა პროგნოზირების მართვა და პროგნოზის გაცილებით ზუსტი შედეგების მიღება.

ამ შემთხვევაში ვლდებულობთ გაზმარეგულირებელი სადგურიდან გამოსული გაზის ხარჯის ავტოკორელაციური ფუნქცია გვიჩვენებს, რომ გვაქვს ამ ფუნქციის პერიოდულობა, ხანგრძლივობით ერთი დღე. ამგვარად, ამ დროს კორელაციური კავშირი გვაქვს მაქსიმალურ მნიშვნელობებისათვის. მომვლელს ასევე გააჩნია რხევითი პროცესი, რომელიც დაახლოებით გვაქვს მაქსიმუმი დაახლოებით ერთ კვირაში, ხოლო ეს წანაცვლება თანხვდება ერთ კვირას. ამგვარად გვაქვს აშკარად სეზონური პროცესი, რომლის შემდეგ მიღებული ავტოკორელაციური ფუნქცია გვამღევს შემდგომი პროგნოზის ანალიზის.

ნახ. 17-დან აშკარად ჩანს, რომ გვაქვს მიღევადი ფუნქცია, პერიოდული ხასიათის და აშკარად გამომჟღავნული დეტერმინანტით. ამიტომ, შესაძლებელია აღნიშნული მიწოდების გაზის ფუნქციის პროგნოზირების გაგლუვება. მაგალითისათვის განვიხილოთ მხოლოდ იანვრის მსვლელობა, ხოლო შემდგომში გვექნება ანალოგიური მსჯელობა. ცხადია, რომ ანალოგიური ავტოკორელაციის ფუნქციისათვის საათობრივი

მწკრივებისათვის, იქნება ანალოგიურად. ნახ. 18 -ზე მოყვანილია ბუნებრივი გაზის ერთი თვის (იანვრის) დღე-ღამური მოხმარების გრაფიკი.

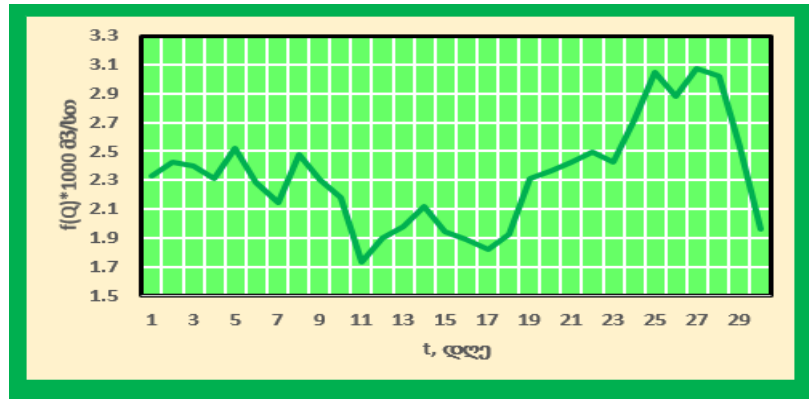


ნახ. 17. ბუნებრივი გაზის საათური მოხმარების მოცულობების მწკრივის ავტოკორელაციური ფუნქცია

განვიხილოთ მიღებული ფუნქციის გაგლუვება, რისთვისაც განვიხილოთ პრაქტიკისათვის მისაღებირამდენიმე მეთოდი [50-52].

პირველ რიგში განვიხილოთ პროგნოზირების მეთოდები. პროგნოზირების მათემატიკური მეთოდები მდგომარეობს შემდეგში: დროითი მწკრივების ექსტაპოლაციური სიმპლექსური მეთოდები; სტატისტიკური მეთოდები, მათ შორის კორელაციური და რეგრესიული ანალიზი; კომბინირებული მეთოდები, რომლებიც შეიცავს პროგნოზის სხვადასხვა ვარიანტების სინთეზს. პირველი ტიპის პროგნოზი (პროგნოზი ვიწრო არსით) ხდება პირობა, რომ ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც პროგნოზირებული პროცესისათვის განმსაზღვრელია განვითარებისათვის და არ ხდება ძირითადი ცვლილებები. პროგნოზი ვიწრო არსით ხორციელდება დროითი მწკრივების საფუძველზე სიმლექსური ან სტატისტიკური მეთოდებით.

პროგნოზი სრულდება ორ ეტაპად: ძირითადი ფაქტორების საპროგნოზო შეფასების მიღება და საკუთრივ პროცესის განვითარების სცენარული პროგნოზი.



ნახ. 18. ბუნებრივი გაზის იანვრის დღე-ღამური მიწოდების გრაფიკი

ზოგადად, გამოსაკვლელი მახასიათებლის პროცესის მოდელი, შეიცავს სამ შემადგენელს; პროგნოზის საშუალო სიდიდე (ტრენდი); პროგნოზის შემადგენელი, რომელიც ასახავს სეზონურ რხევებს (სეზონური ტალღა); შეცდომების შემთხვევითი სიდიდეები ანუ ნარჩენი (თეთრი ხმაური) [53-55].

გამოსაკვლელი პროცესების განვითარების ძირითადი ტენდენციის გამოაშკარევა და წინასწარი საპროგნოზების შეფასების მიღება, შეიცავს შემდეგ ამოცანებს [56-58]:

1) დროითი პერიოდის ფუნქციონირების დასაბუთების მოდელი, რომელშიც შედის ორი შემადგენელი: დაკვირვების პერიოდი (წინა პროგნოზის ინტერვალი); პროგნოზის შემდგომი პერიოდი (წინსწრები პერიოდი).

2) მონაცემების პირველადი დამუშავება და დროითი მწკრივის შედგენა;

3) დროითი მწკრივის მახასიათებლების გაანგარიშება;

4) დროითი მწკრივის გრაფიკული ასახვა და მოდელის ვიზუალური ტიპის განსაზღვრა.

5) მწკრივის განვითარების ტენდენციის გამომჟღავნა და მახასიათებლები მცოცავი საშუალო მეთოდით და სეზონური ვარიაციის გამოკვლევა. სეზონური ტალღის არსებობისას უნდა დადგინდეს:

აპროქსიმაციისას, განტოლების ტიპი და პარამეტრების შერჩევა; განისაზღვროს სეზონური კომპონენტა.

6) დროითი მწკრივის ანალიზური გაგლუვება, მიღებული დესეზონონარსებული მონაცემების მიღება: ტრენდის მოდელის ტიპის დადგენა; ტრენდის მოდელის პარამეტრების დადგენა, უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით;

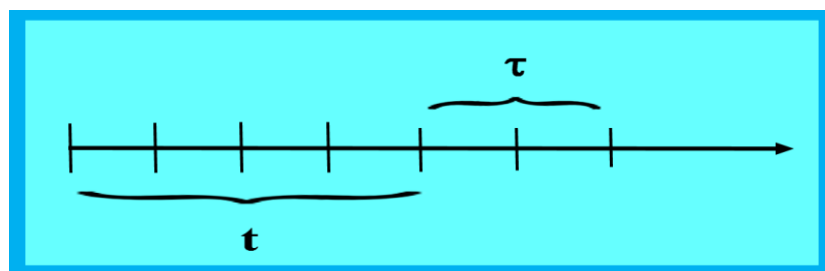
7) შემთხვევითი სიდიდის შეცდომის გაანგარიშება (ნარჩენი);

8) საუკეთესო მოდელების სიმრავლეების შერჩევა, აბსოლუტური საშუალო ან საშუალოკვადრატული გადახრისათვის;

9) წინასწარი პროგნოზის შედგენა მოცემული დონის მნიშვნელობისათვის, პროგნოზის ნდობის ინტერვალის სტიუდენტის კრიტერიუმის საშუალებით განსაზღვრა.

შევარჩიოთ პროგნოზირების სიღრმე. აღვნიშნოთ, რომ $T = t + \tau$ არის ზოგადი დროითი ჰორიზონტი; t - დაკვირვების პერიოდი (წინასაპროგნოზო ინტრევალი); τ - პროგნოზის პერიოდი (წინსწრების ინტრევალი), საკუთრივ პროგნოზის სიღრმე. პრაქტიკაზე მიღებულია, რომ $\frac{t}{\tau} \geq 3 \Rightarrow t \geq 3\tau$. ამგვარად, თუ სასურველი პერიოდის პროგნოზი გვაქვს $\tau = 1$ წელი, მაშინ დაკვირვების პერიოდი შეიცავს $t \geq 3$ წელი და შესაბამისად $T \geq 4$ წელი გვაქვს დროითი ჰორიზონტი. თუ $\tau = 2$ -ს მაშინ $t \geq 6$ და $T \geq 8$ და ა.შ. ნახ. 19-ზე ნაჩვენებია სტარტული ჰორიზონტის დროითი რუკა.

ამგვარად, განვსაზღვრულია საპროგნოზო მოდელის შემდეგი ტიპები, რაც მოყვანილია ცხრილ 2-ში.



ნახ. 19. სტარტული ჰორიზონტის დროითი რუკა

ცხრილი 2. პროგნოზის მოდელების ტიპები

	ადიტიური კომპონენტები	მულტიპლიკატური კომპონენტები
მოდელი სეზონური კომპონენტით	I $\hat{y}_n = y_n + v_n + \varepsilon_n$ $y_n = y_n + \varepsilon_n$	II $y_n = \hat{y}_n \times v_n \times \varepsilon_n; \hat{y}_n = \hat{y}_n \times v_n + \varepsilon_n;$ $y_n = \hat{y}_n \times \varepsilon_n$
მოდელი სეზონური კომპონენტის გარეშე	III $\hat{y}_n = y_n + \varepsilon_n$	IV $y_n = \hat{y}_n \times \varepsilon_n$

ამ ცხრილისათვის მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: y_n - არის გამოსაკვლევი დროითი მწკრივის საპროგნოზო სიდიდეები; v_n - პროგნოზის შემადგენელი, რომელიც ასახავს სეზონურ რხევებს (სეზონური ტალღა); ε_n - შემთხვევითი სიდიდის შეცდომა ანუ ნარჩენი [59-65].

2.2. ადაპტირებული მეთოდების და მოდელების ანალიზი

დღეისათვის, ერთგანზომილიანი დროითი მწკრივების მწკრივების გამოკვლევის და პროგნოზირებისას, პერსპექტიული ყველაზე მიმართულებაა - ადაპტიური მეთოდები.

დროითი მწკრივების დამუშავებისას, როგორც წესი, ყველაზე ღირებულია ბოლო პერიოდის ინფორმაცია, ე.ი. აუცილებელია დადგინდეს თუ როგორ ვითარდება ტენდენცია. ამგვარად ტენდენცია კი არა ვითარდება ტენდენცია აწმყო მომენტისას, არამედ თუ როგორ ვითარდება ტენდენცია განსახილველი საშუალო პერიოდის განმავლობაში. ადაპტიური მეთოდები გვაძლევს საშუალებას გავითვალისწინოთ დროითი მწკრივის დონეების სხვადასხვა ინფორმაციული ღირებულება, „მომველებული“ მონაცემების ხარისხით.

ექსტრაპოლაციის პროგნოზირების მეთოდით ცვლილების წირები შეიცავს ადაპტაციის გარკვეულ ელემენტს, რადგანაც „ახალი“: ფაქტიური მონაცემების მიღებისას, ხდება მათი გაანგარიშება. ადაპტაციურ მეთოდებში,

მათი მონაცემების „დაძველების“ ღირებულების დონეების მიხედვით, ხდება წონების სისტემის შესაბამისი დონეებით.

ადაპტაციურ მოდელში, კოეფიციენტების შეაფსება ხორციელდება რეკურენტული მეთოდებით, რომლებიც ფორმალურად განსხვავებულია უმცირეს კვადრატების მეთოდთან, მაქსიმალურ დამაჯერებლობასთან და სხვა მეთოდებთან.

ამგვარი ადაპტაციური მოდელი განხილება მეტად მნიშვნელოვანია, რადგანაც მათი თვითკორექტირებული მოდელების აგება ითვალისწინებს პროგნოზის შედეგს შემდგომი ბიჯებისათვის. თუ მოდელი იმყოფება გარკვეულ მდგომარეობაში და მისთვის განსაზღვრულია მისი კოეფიციენტების მიმდინარე მნიშვნელობები, მაშინ ამ მოდელზე დაყრდნობით შეიძლება მოხდეს პროგნოზი. ფაქტიური მნიშვნელობის შემოსვლისას, ხდება პროგნოზის შეცდომის შეფასება (განსხვავება ამ და მოდელით მიღებული მნიშვნელობებს შორის). პროგნოზის შეცდომა, უკუკავშირის საშუალებით, შედის მოდელში და ითვალისწინებს (მიღებული პროცედურით) გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან - მეორეში. შედეგად, ხდება „კომპენსირების“ ცვლილებების შემუშავება. შემდეგ გაანგარიშდება პროგნოზის შეცდომა დროის შემდეგ მომენტში და პროცესი კვლავ მეორდება.

ამგვარად, ადაპტაცია ხორციელდება იტერაციურად, თვითეული წერტილის მისაღებად. მოდელი მუდმივად „იწოვს“ გარკვეულ ახალ ინფორმაციას, ადაპტირებს და ასახავს განვითარების ტენდენციას მოცემული მომენტისათვის.

დინამიკაში პროცესის ცვლილებებზე მოდელის რეაქციის სიჩქარეს ახასიათებს ე.წ. ადაპტაციის პარამეტრს. იგი უნდა შეიცავს ისეთნაირად, რომ ხორციელდეს ტენდენციის ადეკვატური ასახვა, ერთდროული შემთხვევითი გადახრების ფილტრაციისას. ადაპტაციის პარამეტრის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული მონაცემების საშუალებით, ან ანალიზური ხერხებით.

ადაპტაციის პარამეტრის ოპტიმალური კრიტერიუმის შესარჩევად, როგორც წესი, მიიღება პროგნოზის შეცდომების საშუალო კვადრატის კრიტერიუმის მინიმუმად.

პროგნოზირების მეთოდებს იმიტომ დაერქვა ადაპტაციური, რომლებიც წარმოადგენს: თვითკორექტული მოდელები, რომლებსაც შეუძლიათ ოპერატიულად რეაგირებს პროგნოზის შედეგის გათვალისწინების პირობები ცვლილების გზით, შემდეგ ბიჯზე და მწკრივის ღირებულების დონეებით სხვადასხვა საინფორმაციო გათვალისწინებით. ამ აღნიშნული თვისებების გამო ადაპტაციურ მოდელებს წარმატებით გამოიყენება ხანმოკლე პროგნოზისას.

განვიხილოთ წრფივი რეგრესიული ტრენდი. იგი წარმოადგენს შემდეგ განტოლებას: $Q_t = a_0 + a_1 t$, სადაც a_0 წარმოადგენს დროითი მწკრივის საწყის დონეს; a_2 - მწკრივის დონეების აბსოლუტურ ცვლილებას. განტოლებების ნორმალურ სისტემა შემდეგია:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n Q_{it} \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n Q_{it} t_i \end{cases} \quad (10)$$

სადაც

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{n(n-1)}{2}; \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}. \end{cases} \quad (11)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც გვაქვს მეორე რიგის პარაბოლა $Q_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$, მაშინ სიტემა კოეფიციენტებისათვის გვექნება:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n t_i + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n Q_{it}; \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^3 = \sum_{i=1}^n Q_{it} t_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n t_i^4 = \sum_{i=1}^n Q_{it} t_i^2 \end{cases} \quad (12)$$

არსებობს გაანგარიშების გამარტივების მიდგომა, რომლის მიხედვით ხდება კოორდინატთა სათავე წაინაცვლება დინამიკური მწკრივის შუაში. ეს ამარტივებს თვით ნორმალური განტოლებებს. მაგალითად, თუ კოორდინატთა სათავე წაინაცვლებამდე იყო $t_i = 1;2;3;...$, მაშინ წანაცვლების შემდეგ მწკრივის წევრთა რაოდენობის ლუწია, მაშინ $t_i = ... - 5; -3; -1; 1; 3; 5; ...$, ხოლო კენტისათვის გვექნება $t_i = ... - 3; -2; -1; 0; 1; 2; 3; ...$

კოორდინატთა სათავეს წანაცვლების შემდეგ, კენტი ხარისხების ჯამი უტოლდება ნულს: $\sum t^k = 0$, რაც არსებითად ამარტივებს ნორმალურ სისტემას.

საბოლოოდ გვექნება:

წრფივი რეგრესიისათვის:

$$\begin{cases} a_0 = \frac{\sum Q_t}{n}; \\ a_1 = \frac{\sum Q_t t}{\sum t^2}. \end{cases} \quad (13)$$

კვადრატული (პარაბოლური) რეგრესიისათვის:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\sum(Q_t t)}{\sum t^2}; \\ a_2 = \frac{n \sum(Q_t t^2) - \sum t^2 \sum Q_t}{n \sum t^4 - (\sum t^2)^2}; \\ a_0 = \frac{\sum Q_t}{n} - a_2 \frac{\sum t^2}{n}. \end{cases} \quad (14)$$

2.3. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების მწკრივების გაგლუვება, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე

განვიხილოთ ტექნიკური ანალიზის გავრცელებული ინდიკატორი - საშუალო სრიალა (moving average, ანუ MA). საშუალო სრიალა, ეს ხერხია, რომლის საშუალებით ხდება მონაცემების რხევების გაგლუვება დროში. საშუალო სრიალა წარმოადგენს ტრენდულ ინდიკატორს. მის საშუალებით

შესაძლოა დავადგინოთ ახალი ტრენდის დაწყება და დამთავრება. საშუალო სრიალა - მარტივი ინდიკატორია, თუმცა იგი წარმოადგენს ტექნიკური ანალიზის საბაზო ინდიკატორს. იგი გვამლევს ძირითად ბაზას სტრატეგიების სხვადასხვა ინდიკატორებს.

გაგლუვება საშუალო სრიალის მიხედვით დაფუძნებულია იმაზე, რომ ხდება საშუალო სიდიდეების შემთხვევითი გადახრების ჩაქრობა. ეს ხდება იმისათვის, რომ ხდება დროებითი მწკრივის წინა დონეების ჩანაცვლება, დროის შიგა ინტერვალში. შემდეგ ხდება ერთი დაკვირვების ჩანაცვლება და საშუალოს გაანგარიშების განმეორება. დროებითი მწკრივის გაგლუვებისას საშუალო სრიალის მიხედვით, გაანგარიშებისას მონაწილეობს მწკრივის ყველა დონეები. რაც უფრო დიდია გაგლუვების ინტერვალი, მით უფრო გლუვი მიიღება ტრენდი. გაგლუვების მწკრივი უფრო მოკლეა $(n-1)$ დაკვირვებაზე, სადაც n არის გაგლუვების ინტერვალი. დიდი მნიშვნელობებისას n -ის გაგლუვების რხევადობა მნიშვნელობლად მცირდება.

ამგვარად, საშუალო სრიალის მეთოდი მდგომარეობს დინამიკური მწკრივის ფაქტიური დონეების შეცვლა გაანგარიშებით, რასაც გააჩნია გაცილებით ნაკლები რხევადობა, ვიდრე საწყისს.

ყველა მეთოდებისათვის პრინციპები ჩადებულია ერთი და იგივე, თუმცა საანგარიშო ფორმულები - სხვადასხვაა. ბუნებრივია, რომ თვითოეულ მეთოდს გააჩნია თავისი პლუსები და მინუსები. განვიხილოთ მათი არსი უფრო დაწვრილებით, ბუნებრივი გაზის მოხმარების დღე-ღამური მწკრივის მაგალითზე.

მარტივი საშუალო სრიალა (Simple Moving Average, ანუ SMA). ამ მეთოდის გასაანგარიშებლად გამოიყენება შემდეგი ფორმულა [66-73]:

$$SMA = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}. \quad (15)$$

სადაც Q_i არის განხილული გაზის მოცულობა; n - საშუალო სრიალის პერიოდი, მას ხშირად გაგლუვების სიგრძე ეწოდება.

აღნიშნული მეთოდის უარყოფიდად ითვლება ის, რომ გაანგარიშება სრულდება დროის ფიქსირებული მონაკვეთისათვის, და არა ყველა მოცულობებისათვის - მას ენიჭება ერთნაირი მნიშვნელობა. აგრეთვე გვაქვს მოცემული ინდიკატორის დაგვიანება, რადგანაც გაზის მოხმარებას არ გააჩნია ტრენდული მოძრაობის დიდი ნაწილი. უპირატესობა გვაძლევს იმას რომ SMA-ს გააჩნია დაბალი მგრძობიარობა, არ გააჩნია ცრუ სიგნალები, რისთვისაც პოზიციაში დაგვიანებული სიგნალი არის მგრძობიარე.

წრფივად-შეწონილი საშუალო სრიალა (Linear-Weighted Moving Average – LWMA): უკვე ნათქვამია, რომ ადრე გაანგარიშებისას გვაქვს „ერთნაირი შეწონილი“ გაზის მოცულობები. ასეთი ხარვეზები. იგი აღმოფხვრილია წინა მეთოდში [74]:

$$LWMA = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} . \quad (16)$$

სადაც Q_i არის მოცულობის მნიშვნელობა i -პერიოდების უკან; W_i - გაზის მოცულობების წონა i -პერიოდების უკან.

ამ მეთოდის არსი იმაშია, რომ შეწონილი საშუალო სრიალას აგებისას, გაზის მოცულობას გააჩნია გარკვეული წონა, ისე რომ ახლო მოცულობებს გააჩნიათ მეტი წონა, ვიდრე წარსულები.

მაგალითად განვსაზღვროთ წრფივად-შეწონილი საშუალო სრიალა, 5 პერიოდისათვის. გვექნება:

$$LWMA (5) = \frac{5Q_1 + 4Q_2 + 3Q_3 + 2Q_4 + Q_5}{5 + 4 + 3 + 2 + 1} = \frac{5Q_1 + 4Q_2 + 3Q_3 + 2Q_4 + Q_5}{15} . \quad (17)$$

წრფივად-შეწონილი საშუალო სრიალას ხარვეზი შემდეგშია: გვაქვს დაგვიანებული სიგნალები ტრედში შესვლა და გამოსვლისას, თუმცა წონების არსებობისას გვაქვს სწრაფი რეაგირების ცვლილება, ვიდრე მარტივი საშუალო სრიალა.

მაგალითისათვის, სამი პერიოდისათვის შეიძლება შემდეგი ფორმულების გაანგარიშება:

$$LWMA(3) = \frac{Q_1 + 2Q_2 + Q_3}{1 + 2 + 1} = \frac{Q_1 + 2Q_2 + Q_3}{4}$$

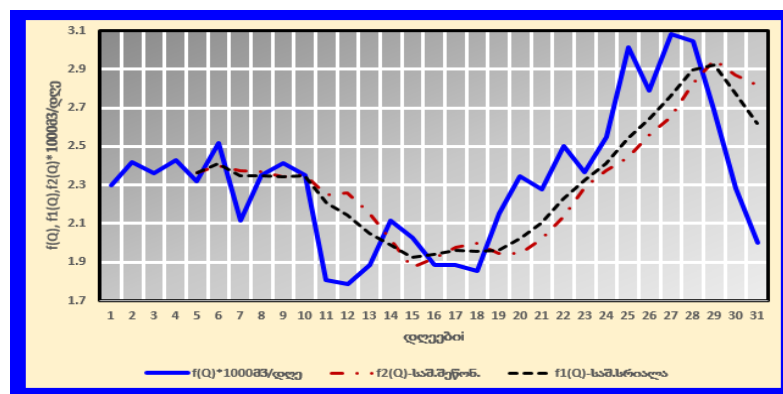
9180

ნახ. 20-ზე ნაჩვენებია ბუნებრივი გაზის დღე-ღამური მოცულობების მწკრივი და SMA და LWMA მეთოდების ინტერპრეტაცია.

შემდეგი ეტაპი, კერძოდ ექსპონენციალური გაგლუვების მეთოდი მეტად პოპულარულია ხანგრძლივი მწკრივების პროგნოზირებისათვის. განვიხილოთ მარტივი ექსპონენციალური გაგლუვება: დროითი მწკრივის მარტივი და პრაგმატული მოდელი შემდეგია: $Q_t = b + \epsilon_t$, სადაც b არის კონსტანტა, ხოლო ϵ_t - შემთხვევითი შეცდომაა.

კონსტანტა b ფარდობით სტაბილურია თვითეულ დროით ინტერვალზე, მაგრამ შეიძლება მდოვრად იცვლებოდეს დროში. ინტუიციურად იგი გვიჩვენებს, რომ b -ს გამოყოფი გვიჩვენებს, რომ ბოლო დაკვირვება გვაძლევს უფრო დიდ წინას, ვიდრე წინას-ბოლო; წინას-წინას-ბოლოსათვის - წინას-ბოლოს და ა.შ.

ამგვარად, უფრო ძველი დაკვირვებები გვაძლევს ექსპონენციალურად შემცირების წონებს, თანაც განსხვავებით საშუალო სრიალა გათვალისწინებულია წინა დაკვირვებები [75-82].



ნახ. 20. ბუნებრივი გაზის დღე-ღამური მოცულობების მწკრივი და SMA და LWMA მეთოდების ინტერპრეტაცია

ექსპონენციალურად გაგლუვების მარტივი ფორმულა გვიჩვენებს შემდეგ გამოსახულებას:

$$S_t = \alpha Q_t + (1 - \alpha) S_{t-1}. \quad (19)$$

როდესაც ეს ფორმულა რეკურსივულად გამოიყენება, ამიტომ ყოველივე ახალი გაგლუვებული სიდიდე (რომელიც აგრეთვე წარმოადგენს პროგნოზს) გამოითვლება როგორც მიმდინარე დაკვირვების შეწონილი საშუალო და გაგლუვებულ მწკრივს. ცხადია, რომ გაგლუვების შედეგი დამოკიდებულია α პარამეტრზე.

თუ $\alpha = 1$ და $\alpha = 0$, მაშინ ხდება წინა დაკვირვებების სრული იგნორირება. α -ს მნიშვნელობები 0-დან 1-მდე გვადლევს საშუალოდ შედეგებს. ემპირიული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ ასეთი მარტივი ექსპონენციალურად გაგლუვება გვადლევს საკმაოდ კარგ პროგნოზს.

გავარჩიოთ გაგლუვების პარამეტრის შერჩევის თეორიული და ემპირიული არგუმენტები. უკვე ცნობილია, რომ აღნიშნული ფორმულიდან, α უნდა მოხვდეს ინტერვალში 0-დან 1-მდე.

პრაქტიკულად, გაგლუვების პარამეტრი ხშირად მოიძებნება ბადის მოძიებით. პარამეტრის შესაძლო მნიშვნელობები განიხილება ბადეზე გარკვეული ბიჯით. მაგალითად განიხილება ბადე $\alpha = 0$ -დან და $\alpha = 1$ -მდე, ბიჯით 0,1. შემდეგ აირჩევა ისეთი α , რომლისათვის ნარჩენების კვადრატების ჯამი - მინიმალურია [83].

ექსპონენციალური გაგლუვება წარმოადგენს ერთგვარად ფილტრს, რომლის შესასვლელზე შედის საწყისი მწკრივის თანმიმდებრული წევრები, ხოლო გამოსასვლელზე ფორმირდება ექსპონენციალური გაგლუვების მნიშვნელობები.

ამგვარად საბოლოოდ ჩამოვყაბილოთ შემდეგი: თუ გვაქვს დროითი მწკრივი $Q\{Q_1, Q_2, \dots, Q_T\}$, მაშინ მწკრივის ექსპონენციალური გაგლუვება ხორციელდება შემდეგი რეკურენტული ფორმულით:

$$S_t = \alpha Q_t + (1 - \alpha) S_{t-1}. \quad (20)$$

რაც ნაკლებია α , მით უფრო ხარისხით ფილტრდება საწყისი მწკრივის რხევები და ხმაური.

ექსპონენციური გაგლუვების მეთოდი ყველაზე უფრო ეფექტურია ხანმოკლე პოგნოზების შემუშავების და იგი მისაღებია მხოლოდ ერთი წინა პერიოდის პროგნოზი. მისი ძირითადი ღირსებაა გამოანგარიშების პროცედურის სიმარტივე და საწყისი ინფორმაციის წონების აღრიცხვის შესაძლებლობა.

ნაშრომში გამოყენებული იქნა მარტივი პროცედურა Excel-ში. თუ უჯრიდან **B2**-ში იწყება საწყისი მწკრივიდან, მაშინ საშუალო ექსპონენციალური გაგლუვების მწკრივი იწყება უჯრიდან **C2**. პირველი საწყისი მნიშვნელობად მიღებულია **C2 = B2**, ხოლო შემდეგი გაგლუვებული მწკრივი განისაზღვრება შემდეგი პროცედურით: **C3 = α * C2 + (1 - α) * B3**.

α -სიდიდე დამოკიდებულია, თუ როგორ ხდება წინასწრები გავლენის წონების სისწრაფე. რაც მეტია α , მით უფრო ნაკლებია წინა დროების გავლენა. თუ α ახლოსაა ერთი, მაშინ ეს გვეუბნება, რომ პროგნოზისას გვაქვს მხოლოდ წინა გავლენის დაკვირვებები. თუ α ახლოსაა ნულთან, მაშინ დროითი მწკრივის დონეები იწონება წონების მიხედვით, მცირედება ნელა, ე.ი. პროგნოზის დროს ხდება ყველა აღრიცხულ წინა დაკვირვებებს.

აქ S_t არის საშუალო ექსპონენციალურ მნიშვნელობას, დროის t მომენტში. α - გაგლუვების პარამეტრი, $\alpha = \text{const}$, $0 < \alpha, 1$. $\beta = 1 - \alpha$.

თუ გამოვიყენებთ საშუალო ექსპონენციალურ მნიშვნელობას S_t , მაშინ შეიძლება ვიპივოთ დროითი მწკრივის შემდეგი დონეების მნიშვნელობები. ამ დროს $n \rightarrow \infty$ [84-89].

$$S_t = \alpha \sum_{i=1}^n (\beta_i Q_{t-i}). \quad (21)$$

ამგვარად, სიდიდე S_t წარმოადგენს მწკრივის ყველა წევრების შეწონილ ჯამს. ამ დროს მწკრივის ცალკეული დონეების წონა მცირდება წარსულის მიმართულებით, ექსპონენციალური ფუნქციის მიხედვით (დაკვირვების „ასაკზე“ დამოკიდებულებით). ამიტომ სიდიდე S_t -ს ეწოდება

საშუალო ექსპონენციალურად.

ბრაუნიმ [86] გვიჩვენა, რომ საშუალო ექსპონენციალურ დისპერსია σ_{Exp}^2 , ნაკლებია დროის საწყისი მწკრივის σ_Q^2 -ზე ნაკლებზე.

$$\sigma_{\text{Exp}}^2 = \frac{\alpha}{2 - \alpha} \sigma_Q^2. \quad (22)$$

აქედან გვექნება:

$$(1 - \alpha) \sigma_{\text{Exp}}^2 = \alpha \sigma_Q^2; \quad (23)$$

$$\sigma_{\text{Exp}}^2 - \alpha \sigma_{\text{Exp}}^2 = \alpha \sigma_Q^2; \quad (24)$$

$$\alpha (\sigma_{\text{Exp}}^2 + \sigma_Q^2) = \sigma_{\text{Exp}}^2; \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{\text{Exp}}^2}{\sigma_{\text{Exp}}^2 + \sigma_Q^2}. \quad (26)$$

აღსანიშნავია, რომ α -ს მაღალი მნიშვნელობა საშუალო ექსპონენციალურის მწკრივისათვის განსხვავებულია ძირითადი საწყისი მწკრივისაგან. ამგვარად, საშუალო ექსპონენციალურის მწკრივი ასრულებს გარკვეულად „ფილტრის“ როლს, რაც იწვევს დროითი მწკრივის რხევების შთანთქმას.

ამგვარად, ერთი მხრივ, აუცილებელია წონის გაზრდა უფრო ახალი დაკვირვებების მიღება α -ს გასაზრდელად, ხოლო შემთხვევითი გადახრების სიდიდის გაგლუვების α -ს შესამცირებლად.

ეს ორი მდგომარეობა ურთიერთწინააღმდეგობაა. სწორედ გაგლუვების პარამეტრის α -ს კომპრომისული სიდიდეს მოძიება შეადგენს მოდელის ოპტიმიზაციის ამოცანას.

ამგვარად, თუ გვაქვს გარკვეული დამაჯერებლობა, რომ საწყისი პირობები რომლის მიხედვით ხდება პროგნოზი, დამაჯერებელია და საჭიროა მცირე გაგლუვების პარამეტრის გამოყენება ($\alpha \rightarrow 0$). თუ გაგლუვების პარამეტრი მცირეა, მაშინ გამოსაკვლევ ფუნქციის მიმდინარეობა ხდება როგორც საწყისი პირობების პროგნოზირებისას. ხოლო, თუ არ არის დამაჯერებელი ნდობა, მაშინ საწყისი პირობებში უნდა

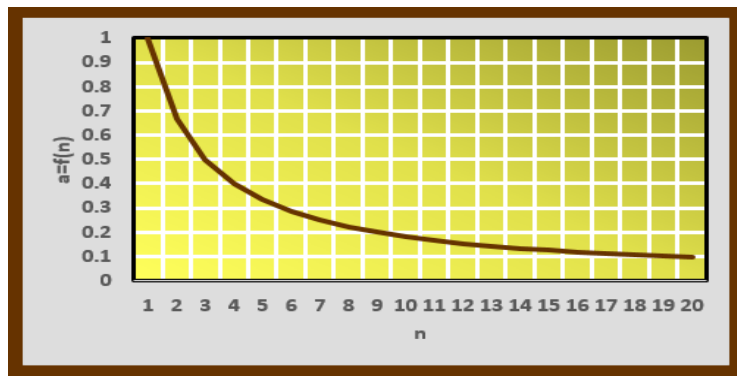
გამოვიყენოთ α -დიდი სიდიდე, რაც მოგვცემს ძირითადად ბოლო დაკვირვების გავლენის აღრიცხვს.

გაგლუვების პარამეტრის ოპტიმალური სიდიდის შერჩევის ზუსტი მეთოდი - არ არსებობს. ბრაუნის მიხედვით [86], α -სიდიდეს განსაზღვრა ხდება გაგლუვების ინტერვალის სიგრძის მიხედვით (ნახ. 21):

$$\alpha = \frac{2}{n+1},$$

(270)

სადაც n არის გაგლუვების ინტერვალში შესული დაკვირვების რაოდენობა.



ნახ. 21. გაგლუვების პარამეტრის ფუნქციის გრაფიკი

თვითეულ შემთხვევაში, პროგნოზის სიზუსტე წარმოადგენს დამაკმაყოფილებელს, რადგანაც საშუალო ფარდობითი ცდომილება ხდება $5 \div 20\%$ ინტერვალში.

საშუალო ფარდობითი ცდომილება განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{|Q_F - \hat{Q}|}{Q_F} 100 \right]. \quad (28)$$

საშუალო ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელობების ინტერპრეტაცია პროგნოზის სიზუსტის შეფასების შესახებ, მოყვანილია ცხრილ 3-ში.

ცხრილი 3. საშუალო ფარდობითი ცდომილების მნიშვნელობების ინტერპრეტაცია

საშუალო ფარდობითი ცდომილება (ϵ), %	ინტერპრეტაცია
<10	პროგნოზის მაღალი სიზუსტე
10-20	კარგი სიზუსტე
20-40	დამაკმაყოფილებელი სიზუსტე
>50	არადამაკმაყოფილებელი სიზუსტე

მაგალითისათვის განვიხილოთ ექსპონენციალური გაგლუვების პარამეტრის დინამიკა, რიცხვითი ექსპერიმენტით. ვიხილავთ ბუნებრივი გაზის დღე-ღამური მოხმარების მოცულობების მწკრივს, 2016 წლის იანვრის თვისათვის. ცხრილ 3-ში მოყვანილია შესაბამისი გაანგარიშება, საშუალო შეწონილი სრიალას გაგლუვების ფუნქციებისათვის. ცხრილ 4-ში მოყვანილია α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური გაგლუვებების ფუნქციების გაგლუვებები, $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე. ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური გაგლუვებების ფუნქციების გაგლუვებები, $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე.

ცხრილი 4. α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური გაგლუვებების ფუნქციები: $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე

	$f(Q)*1000\text{მ}^3/\text{დღე}$	საშუალო სრიალა (3 ბიჯით)	საშუალო სრიალა (4 ბიჯით)	საშუალო სრიალა (5 ბიჯით)
1	2.298			
2	2.417			
3	2.363	2.359333333		
4	2.43	2.403333333	2.377	
5	2.319	2.370666667	2.38225	2.3654
6	2.519	2.422666667	2.40775	2.4096
7	2.118	2.318666667	2.3465	2.3498
8	2.353	2.33	2.32725	2.3478
9	2.412	2.294333333	2.3505	2.3442
10	2.351	2.372	2.3085	2.3506
11	1.806	2.189666667	2.2305	2.208
12	1.787	1.981333333	2.089	2.1418
13	1.885	1.826	1.95725	2.0482
14	2.115	1.929	1.89825	1.9888

15	2.025	2.008333333	1.953	1.9236
16	1.888	2.009333333	1.97825	1.94
17	1.887	1.933333333	1.97875	1.96
18	1.856	1.877	1.914	1.9542
19	2.152	1.965	1.94575	1.9616
20	2.347	2.118333333	2.0605	2.026
21	2.277	2.258666667	2.158	2.1038
22	2.504	2.376	2.32	2.2272
23	2.369	2.383333333	2.37425	2.3298
24	2.549	2.474	2.42475	2.4092
25	3.014	2.644	2.609	2.5426
26	2.789	2.784	2.68025	2.645
27	3.085	2.962666667	2.85925	2.7612
28	3.048	2.974	2.984	2.897
29	2.69	2.941	2.903	2.9252
30	2.282	2.673333333	2.77625	2.7788
31	2	2.324	2.505	2.621

ცხრილი 5. α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური გაგლუვებების ფუნქციები: $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე

	$f(Q)*1000\delta/დღე$	Exp (0.1)	Exp (0.2)	Exp (0.3)	Exp (0.4)
1	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298
2	2.417	2.3099	2.3218	2.3337	2.3456
3	2.363	2.31521	2.33004	2.34249	2.35256
4	2.43	2.326689	2.350032	2.368743	2.383536
5	2.319	2.32592	2.343826	2.35382	2.357722
6	2.519	2.345228	2.37886	2.403374	2.422233
7	2.118	2.322505	2.326688	2.317762	2.30054
8	2.353	2.325555	2.331951	2.328333	2.321524
9	2.412	2.334199	2.347961	2.353433	2.357714
10	2.351	2.335879	2.348568	2.352703	2.355029
11	1.806	2.282891	2.240055	2.188692	2.135417
12	1.787	2.233302	2.149444	2.068185	1.99605
13	1.885	2.198472	2.096555	2.013229	1.95163
14	2.115	2.190125	2.100244	2.04376	2.016978
15	2.025	2.173612	2.085195	2.038132	2.020187
16	1.888	2.145051	2.045756	1.993093	1.967312
17	1.887	2.119246	2.014005	1.961265	1.935187
18	1.856	2.092921	1.982404	1.929685	1.903512
19	2.152	2.098829	2.016323	1.99638	2.002907
20	2.347	2.123646	2.082459	2.101566	2.140544
21	2.277	2.138982	2.121367	2.154196	2.195127
22	2.504	2.175484	2.197893	2.259137	2.318676

23	2.369	2.194835	2.232115	2.292096	2.338806
24	2.549	2.230252	2.295492	2.369167	2.422883
25	3.014	2.308626	2.439193	2.562617	2.65933
26	2.789	2.356664	2.509155	2.630532	2.711198
27	3.085	2.429497	2.624324	2.766872	2.860719
28	3.048	2.491348	2.709059	2.851211	2.935631
29	2.69	2.511213	2.705247	2.802847	2.837379
30	2.282	2.488292	2.620598	2.646593	2.615227
31	2	2.439462	2.496478	2.452615	2.369136

რადგანაც ვირჩევთ საუკეთესო პარამეტრს $\alpha = 0,4$, ამიტომ ნახ. 23-ზე და ცხრილ 5-ში მოყვანილია საშუალო შეწონილი სრიალას და ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქციები.

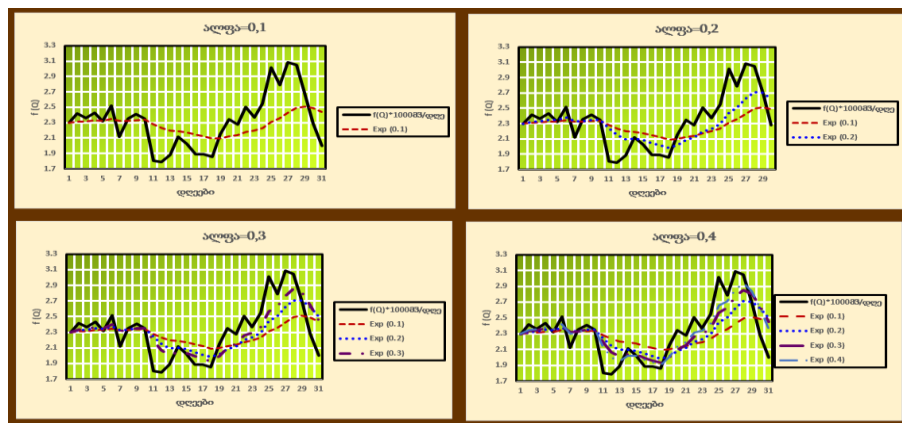
ცხრილი 6. საშუალო შეწონილი სრიალას გაგლუვების ფუნქციები

	$f(Q)*1000\text{მ3/დღე}$	საშუალო შეწონილი ბიჯით 5	ექსპონენციალური გაგლუვება პარამეტრით - 0,4
1	2.298		2.298
2	2.417		2.3456
3	2.363		2.35256
4	2.43		2.383536
5	2.319	2.3654	2.357722
6	2.519	2.4096	2.422233
7	2.118	2.3498	2.30054
8	2.353	2.3478	2.321524
9	2.412	2.3442	2.357714
10	2.351	2.3506	2.355029
11	1.806	2.208	2.135417
12	1.787	2.1418	1.99605
13	1.885	2.0482	1.95163
14	2.115	1.9888	2.016978
15	2.025	1.9236	2.020187
16	1.888	1.94	1.967312
17	1.887	1.96	1.935187
18	1.856	1.9542	1.903512
19	2.152	1.9616	2.002907
20	2.347	2.026	2.140544
21	2.277	2.1038	2.195127
22	2.504	2.2272	2.318676
23	2.369	2.3298	2.338806
24	2.549	2.4092	2.422883

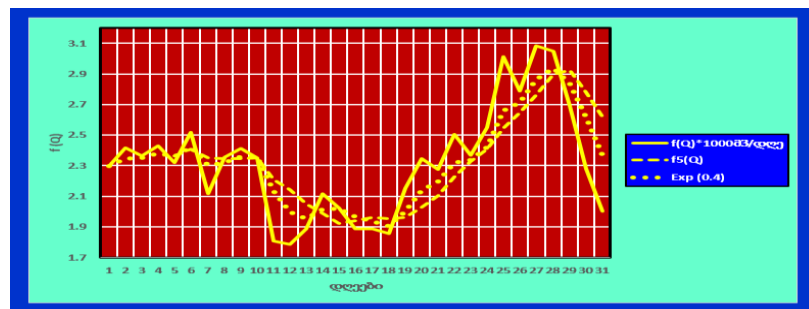
25	3.014	2.5426	2.65933
26	2.789	2.645	2.711198
27	3.085	2.7612	2.860719
28	3.048	2.897	2.935631
29	2.69	2.9252	2.837379
30	2.282	2.7788	2.615227
31	2	2.621	2.369136

ვინაიდან, გარდა ვიზუალურადაც, ცდომილება უკეთესია ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქცია, ვიდრე საშუალო შეწონილი სრიალა. ამიტომ შემდგომში ჩვენ გამოვიყენებთ აღნიშნული ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქციების გამოყენებას.

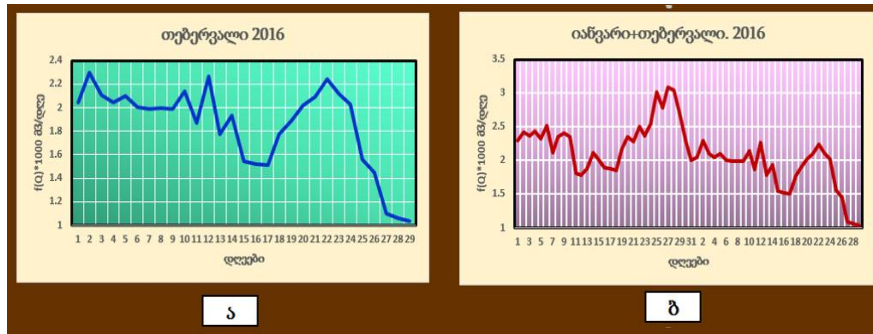
შემდეგი რიცხვითი ექსპერიმენტის ტესტია ორი მწკრივის გაგლუვების შედარება: პირველი 2016 წლის თებერვლის დროითი და 2016 წლის იანვრის პლუს თებერვლის მწკრივები (ნახ. 24 ა და ბ).



ნახ. 22. α პარამეტრის შესაბამისი ექსპონენციალური ფუნქციების გაგლუვებები, $\alpha = 0,1$ -დან $\alpha = 0,4$ -მდე



ნახ. 23. საშუალო შეწონილი სრიალას და ექსპონენციალური გაგლუვების ფუნქციები



ნახ. 24. ა. 2016 წლის თებერვლის დროითი მწკრივი; ბ. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივები

ჩავატაროთ ანალოგიური პროცედურა. გაანგარიშების თანახმად, მოყვანილი ცხრილ 7-ში.

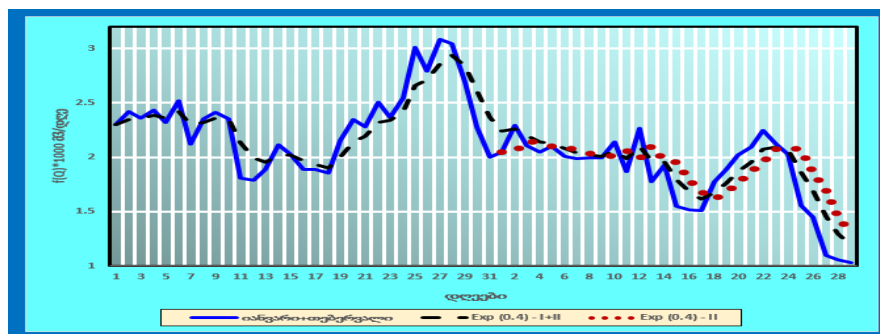
ცხრილი 7. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივი, და ცალკეული გაგლუვებული ფუნქციების მნიშვნელობები

	მწკრივი: იანვარი+თებერვალი	ექსპონენციალური გაგლუვება (0,4)- იანვარი+თებერვალი	ექსპონენციალური გაგლუვება (0,4)- თებერვალი
	1	2	3
1	2.298	2.298	
2	2.417	2.346	
3	2.363	2.353	
4	2.43	2.384	
5	2.319	2.358	
6	2.519	2.422	
7	2.118	2.301	
8	2.353	2.322	
9	2.412	2.358	
10	2.351	2.355	
11	1.806	2.135	
12	1.787	1.996	
13	1.885	1.952	
14	2.115	2.017	
15	2.025	2.020	
16	1.888	1.967	
17	1.887	1.935	
18	1.856	1.904	
19	2.152	2.003	
20	2.347	2.141	

21	2.277	2.195	
22	2.504	2.319	
23	2.369	2.339	
24	2.549	2.423	
25	3.014	2.659	
26	2.789	2.711	
27	3.085	2.861	
28	3.048	2.936	
29	2.69	2.837	
30	2.282	2.615	
31	2	2.369	
1	2.047	2.240	2.047
2	2.296	2.263	2.047
3	2.107	2.200	2.147
4	2.048	2.139	2.131
5	2.102	2.124	2.098
6	2.008	2.078	2.099
7	1.99	2.043	2.063
8	1.994	2.023	2.034
9	1.992	2.011	2.018
10	2.138	2.062	2.007
11	1.871	1.985	2.060
12	2.267	2.098	1.984
13	1.777	1.970	2.097
14	1.93	1.954	1.969
15	1.548	1.791	1.954
16	1.518	1.682	1.791
17	1.511	1.614	1.682
18	1.775	1.678	1.614
19	1.888	1.762	1.678
20	2.019	1.865	1.762
21	2.096	1.957	1.865
22	2.247	2.073	1.957
23	2.119	2.092	2.073
24	2.026	2.065	2.092
25	1.557	1.862	2.065
26	1.45	1.697	1.862
27	1.096	1.457	1.697
28	1.059	1.298	1.457
29	1.032	1.191	1.298

ნახ. 25-ზე მოყვანილია 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივი, და ცალკეული აღნიშნული გაგლუვებული ფუნქციების გრაფიკები (ექსპონენციალური გაგლუვება პარამეტრით 0,4 მწკრივით იავარი+თებერვალი და შესაბამისი თებერვლის მწკრივი).

ავიღოთ საკონტროლო მნიშვნელობა, რომელიც წარმოადგენს 2016 წლის პირველი მარტის მოხმარებას, კერძოდ $1,413 \cdot 10^3$ მ³/დღე. გამოვიანგარიშოთ შესაბამისი ცდომილებები, გვექნება - გაგლუვებული ბოლო მნიშვნელობები (29 თებერვალი), იგივე რეალურ მონაცემთან შედარების ტოლია: იანვარი+თებერვალი: $S_{I+II} = 15,4\%$; $S_{II} = 25,7\%$. მეორე შემთხვევაში განვიხილოთ შესაბამისი ცდომილებები პირველი მარტისათვის, კერძოდ: $S'_+ = 15,7\%$; $S' = 8,1\%$.



ნახ. 25. 2016 წლის იანვრის და თებერვლის მწკრივი და გაგლუვებული ფუნქციების გრაფიკები (ექსპონენციალური გაგლუვება პარამეტრით 0,4 მწკრივით იავარი+თებერვალი და შესაბამისი თებერვლის მწკრივი)

ამგვარად, საუკეთესო შედეგი მიღებულია ისეთი შემთხვევისათვის, როდესაც გვაქვს უფრო გრძელი მწკრივი და ექსპონენციალურად გაგლუვება ხდება შესაბამისი პარამეტრით 0,4.

2.4. ბუნებრივი გაზის მიწოდება-მოხმარების პროგნოზირება ტრენდური მოდელებით, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფლის საშუალო ქსელის მაგალითზე

იმისათვის, რომ ჩავატაროთ რიცხვითი ექსპერიმენტი, მაგალითისათვის კვლავ განვიხილოთ აღნიშნული დროითი მწკრივი (2016

წელი, იანვარი). სიმარტივისათვის განხილულია საწყისი მწკრივი, და შესაბამისი გაგლუვებული მწკრივი. ცხრილ 8-ში მოყვანილია ფაქტიური მონაცემები და შესაბამისი გაანგარიშება (1-5) ფორმულების შესაბამისად.

ცხრილი 8. საწყისი მონაცემები და შესაბამისი გაანგარიშება (1-5) ფორმულების შესაბამისად

t, დღე	Q*1000 მ ³ /დღე	t*	Qt	t ²	Qt ²	t ⁴
N	1	2	3	4	5	6
1	2.298	-15	-34.47	225	517.05	50625
2	2.417	-14	-33.838	196	473.732	38416
3	2.363	-13	-30.719	169	399.347	28561
4	2.43	-12	-29.16	144	349.92	20736
5	2.319	-11	-25.509	121	280.599	14641
6	2.519	-10	-25.19	100	251.9	10000
7	2.118	-9	-19.062	81	171.558	6561
8	2.353	-8	-18.824	64	150.592	4096
9	2.412	-7	-16.884	49	118.188	2401
10	2.351	-6	-14.106	36	84.636	1296
11	1.806	-5	-9.03	25	45.15	625
12	1.787	-4	-7.148	16	28.592	256
13	1.885	-3	-5.655	9	16.965	81
14	2.115	-2	-4.23	4	8.46	16
15	2.025	-1	-2.025	1	2.025	1
16	1.888	0	0	0	0	0
17	1.887	1	1.887	1	1.887	1
18	1.856	2	3.712	4	7.424	16
19	2.152	3	6.456	9	19.368	81
20	2.347	4	9.388	16	37.552	256
21	2.277	5	11.385	25	56.925	625
22	2.504	6	15.024	36	90.144	1296
23	2.369	7	16.583	49	116.081	2401
24	2.549	8	20.392	64	163.136	4096
25	3.014	9	27.126	81	244.134	6561
26	2.789	10	27.89	100	278.9	10000
27	3.085	11	33.935	121	373.285	14641
28	3.048	12	36.576	144	438.912	20736
29	2.69	13	34.97	169	454.61	28561
30	2.282	14	31.948	196	447.272	38416
31	2	15	30	225	450	50625
ჯამი	71.935	0	31.422	2480	6078.344	356624

ცხრილ 9 და 10-ში მოყვანილია საწყისი მწკრივი, რეგრესიის (წრფივი და პარაბოლური) კოეფიციენტები და უშუალოდ რეგრესიის რიცხვითი მონაცემები.

ცხრილი 9. რეგრესიის (წრფივი და პარაბოლური) კოეფიციენტები

წრფე	პარაბოლა
$a_0 = 2,3205$	$a_0 = 2,1525$
$a_1 = 0,003$	$a_1 = 0,0127$
	$a_2 = 0,0021$

ცხრილი 10. საწყისი მონაცემები და შესაბამისი გაანგარიშება

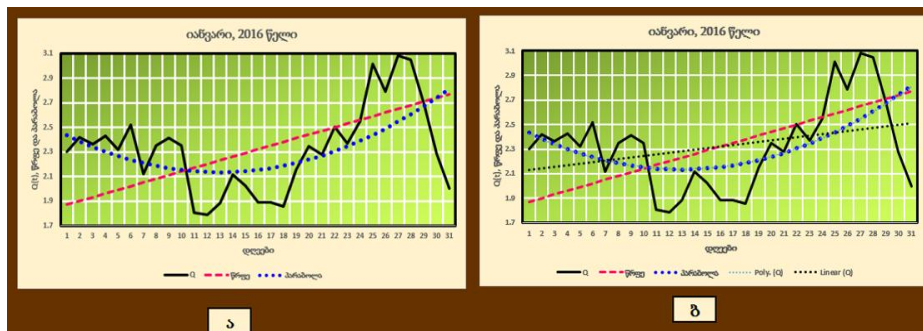
t, დღე	Q*1000 მ ³ /დღე	წრფე	პარაბოლა
1	2.298	1.8706	2.4345
2	2.417	1.9006	2.3863
3	2.363	1.9306	2.3423
4	2.43	1.9606	2.3025
5	2.319	1.9906	2.2669
6	2.519	2.0206	2.2355
7	2.118	2.0506	2.2083
8	2.353	2.0806	2.1853
9	2.412	2.1106	2.1665
10	2.351	2.1406	2.1519
11	1.806	2.1706	2.1415
12	1.787	2.2006	2.1353
13	1.885	2.2306	2.1333
14	2.115	2.2606	2.1355
15	2.025	2.2906	2.1419
16	1.888	2.3206	2.1525
17	1.887	2.3506	2.1673
18	1.856	2.3806	2.1863
19	2.152	2.4106	2.2095
20	2.347	2.4406	2.2369
21	2.277	2.4706	2.2685
22	2.504	2.5006	2.3043
23	2.369	2.5306	2.3443
24	2.549	2.5606	2.3885
25	3.014	2.5906	2.4369
26	2.789	2.6206	2.4895
27	3.085	2.6506	2.5463

28	3.048	2.6806	2.6073
29	2.69	2.7106	2.6725
30	2.282	2.7406	2.7419
31	2	2.7706	2.8155

ნახ. 26-ზე ნაჩვენებია საწყისი მწკრივი და რეგრესიის წირები (წრფივი და პარაბოლური). განსხვავება რეგრესიის ბოლო წერტილებს შორის განსხვავებაა 1,6%. ამიტომ ამ შემთხვევაში საკმარისია წრფივი რეგრესიის გამოყენება.

ხშირად ტრენდის ასაგებად გამოიყენება სპეციალური პროგრამა Excel-ში. ამ მეთოდის ნაკლოვანება მდგომარეობს იმაში, რომ პროგრამა იძლევა გრაფიკს, მაგრამ არ იძლევა ფუნქციის რიცხვით მნიშვნელობებს. ცხადია, რომ თუ ხდება პროგნოზი, მაშინ პროგრამული შედეგი - უზუსტოა. თუმცა ამ ნაკლოვანების ანალიზისათვის, კიდევ ჩავატაროთ ერთი რიცხვითი ექსპერიმენტი.

მაგალითისათვის, განვიხილოთ შემთხვევა, რომელიც განხილულია ნახ. 26-ზე. განვიხილოთ შესაბამისი გრაფიკები: ძირითადი მწკრივი, ორი სახის წრფივი რეგრესია და ორი სახის პარაბოლური რეგრესიები. ორივე პარაბოლური რეგრესია - პრაქტიკულად ემთხვევა ერთმანეთს. რაც ეხება წრფის რეგრესიებს - ისინი განსხვავებული. მოყვანილია ცხრილი 11, რომელშიც გვაქვს მოღებული რეგრესიების ბოლო მნიშვნელობები (ბოლო პროგნოზული მნიშვნელობები) და შესაბამისი ფარდობითი ცდომილებები.



ნახ. 26. საწყისი მწკრივი და რეგრესიის წირები

ცხრილი 11. რეგრესიების ბოლო პროგნოზული მნიშვნელობები და შესაბამისი ფარდობითი ცდომილები.

	წრფივი რეგრესია-1	წრფივი რეგრესია-2	პარაბოლური რეგრესია
პროგნოზის ბოლო მნიშვნელობები	2,7706	2,5	2,8155
ფარდობითი ცდომილებები, %	9,76 (წრფივი რეგრესიებს შორის)	1,59 (წრფივი რეგრესიებს 1 და პარაბოლურს შორის)	11,2 (წრფივი რეგრესიებს 2 და პარაბოლურს შორის)

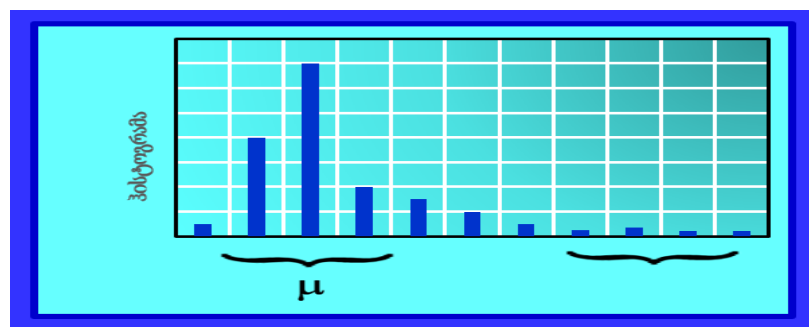
ამგვარად, თუ განვიხილავთ წრფივ რეგრესიებს და განვსაზღვრავთ ძირითად მწკრივს, მასინ წრფივი რეგრესიების კვადრატული გადახრების ჯამი მეტად მცირეა. განსხვავება რეგრესიებს და მწკრივებს შორის ფარდობითი ცდომილება 0,8%-ია. თუმცა განსხვავება პროგნოზულს შორის, წრფივ რეგრესიებს მწკრივებს შორის სხვადასხვაა: პირველი წრფე რეგრესიისას 9,765-ია, ხოლო პარაბოლური რეგრესიებსა და წრფივ რეგრესიებს შორის შესაბამისად არის: 1,59 და 11,2%.

ამგვარად, შედეგად შესაძლოა მივიღოთ სხვადასხვა რეგრესიები, რომლებიც შეესაბამება კონკრეტული მწკრივის საწყისი ანალიზის დროს.

თავი 3. გაზგამანაწილებელი გმს-ს აღდგენის (რემონტების) დროების
სტატისტიკური შედეგების დადგენა

3.1. ვაიზულის განაწილების პარამეტრების დადგენა რიცხვითი მეთოდის
საშუალებით

განვიხილოთ გაზგამანაწილებელი ელემენტის, კვანძის ან სისტემის დაზიანება ან ავარია, ხოლო დაზიანების შემდეგ ხდება აღდგენა (რემონტი). გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, შესაძლებელია აღდგენის რემონტების დროების ამონაკრების დადგენა. ამონაკრების მიხედვით, ცნობილი სტატისტიკური ფორმულების შესაბამისად, შეიძლება დავადგინოთ მათემატიკური მოლოდინი μ და საშუალოკვადრატული გადახრა σ . თუ ავაგებთ ტექნიკური ელემენტის ჰისტოგრამას, ვნახავთ, რომ გვექნება ნახ. 27-ზე ნაჩვენები დიაგრამა. ეს დიაგრამა აგებულია თვალსაჩინოებისათვის ჯგუფთება მათემატიკური μ მოლოდინის ირგვლივ. თუმცა, გვაქვს გარკვეული იშვიათი ხდომილება, რომლებიც ჯგუფთება ჰისტოგრამის ბოლოში. ამას გააჩნია გარკვეული მიზეზი. პირველი ჯგუფისათვის, გვაქვს გარკვეული შემთხვევითი ხდომილებები, რომლების აღდგენა ხდება შედარებით მოკლე პერიოდისათვის, ხოლო მეორე ჯგუფისათვის გვექნება შედარებით იშვიათი, მაგრამ ძალიან მძიმე ავარიები და მათი აღდგენა უფრო რთულია.



ნახ. 27. ტექნიკური ელემენტის აღდგენის რემონტების დროების ჰისტოგრამა ჰისტოგრამიდან ჩანს, რომ ამონაკრების გარკვეული რაოდენობა

საიმედოობის შემდგომი ანალიზისათვის, საჭიროა აღდგენების დროების ალბათობის განაწილების სიმკვრივის აპროქსიმაციის ფუნქციის დადგენა. შესაბამისად, ვეძებთ აღნიშნული ფუნქცია - ვაიბულის განაწილების ფუნქციის მიხედვით, რომლის ფორმა ვიზუალურითაც კი ჩანს. ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ვაიბულის ფუნქციის გამოსახულება შემდეგია:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}. \quad (29)$$

სადაც θ არის რესურსის პარამეტრი, ხოლო β ფორმის მასშტაბი. ამ პარამეტრების განსაზღვრისათვის განიხილება შემდეგი ფორმულებით:

$$\begin{cases} \mu = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \\ \sigma^2 = \theta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) + \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]. \end{cases} \quad (30)$$

სადაც $\Gamma(x)$ არის გამა-ფუნქცია, რისთვისაც არსებობს შესაბამისი ცხრილები, ან ვიყენებთ ონლაინ-კალკულატორით.

ამგვარად, თუ ცნობილია ამონაკრები, შეიძლება დავადგინოთ მათემატიკური მოლოდინი μ და საშუალოკვადრატული გადახრა σ . განტოლებების (30) სისტემა გვამლევს ორ უცნობიან სისტემას, რომლის ამოხსნა ცხადი სახით შეუძლებელია.

ამასთან დაკავშირებით, განვიხილოთ θ და β პარამეტრების ორიგინალური ალგორითმი დადგენის მეთოდი, რომლის რეალიზაცია ხდება რიცხვითი მეთოდით Excel-ში.

$$\text{განვსაზღვროთ სისტემა (30) პირველი განტოლებიდან } \theta = \frac{\mu}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$$

და შევიტანოთ მეორეში. გვექნება:

$$\sigma^2 = \frac{\mu^2}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (31)$$

აქედან

$$\frac{\sigma^2}{\mu^2} = \frac{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (32)$$

$$\frac{\sigma^2}{\mu^2} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} - 1 \quad (33)$$

ამგვარად, პირველი განტოლების მარცხენა მხარეს გვაქვს მუდმივი სიდიდე, ხოლო მეორე განტოლება წარმოადგენს β პარამეტრების ფუნქციას:

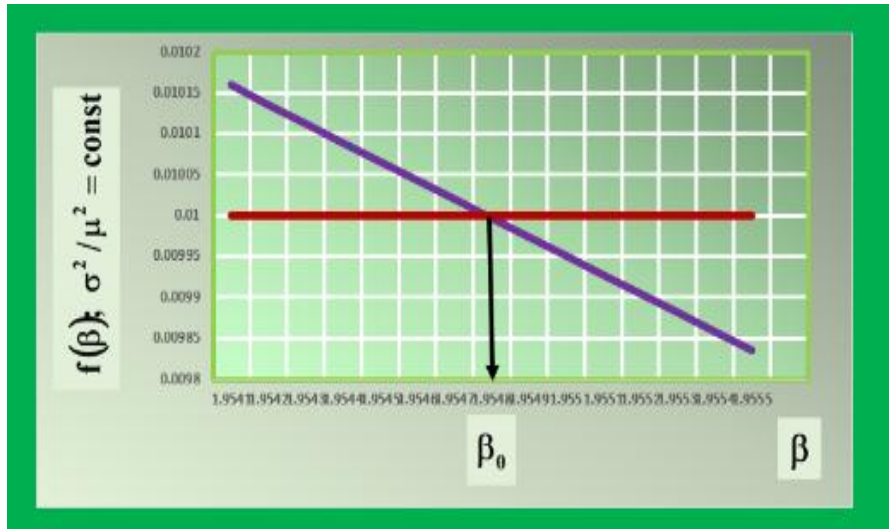
$$\begin{cases} \frac{\sigma^2}{\mu^2} = \text{const}; \\ f(\beta) = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} - 1. \end{cases} \quad (34)$$

შევადგინოთ $f(\beta)$ -ს გრაფიკი, რისთვისაც შევადგინოთ მარტივი პროგრამა Excel-ში. ამგვარად ორი გრაფიკის გადაკვეთა მოგვცემს β პარამეტრის განსაზღვრას. θ -ს დადგენა უკვე შესაძლებელია ფორმულიდან

$$\theta = \frac{\mu}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}. \quad \text{მაგალითისათვის და თვალსაჩინოებისათვის ნახ. 28-ზე}$$

ნაჩვენებია β_0 პარამეტრის განსაზღვრის მეთოდი, როდესაც $\frac{\sigma^2}{\mu^2} = 0,01$.

ამგვარად მიღებულია რიცხვით-გრაფიკული მეთოდი, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ვაიბულის განაწილების θ და β პარამეტრების დადგენა. მეთოდი მარტივია და შედეგის სიზუსტე საკმარისია.



ნახ. 28. β_0 პარამეტრის განსაზღვრის რიცხვით-გრაფიკული მეთოდი

3.2. გმპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკა

განვიხილოთ გაზგამანაწილებელი გმპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკა იმ შემთხვევაში, როდესაც ვიხილავთ მექანიკურ დაზიანებებს, გვაქვს $N = 369$ ცალი შესაბამისი მტყუნება (დაზიანება) და შესაბამისად რემონტის ალდგენები. სტატისტიკის თანახმად ამონაკრების მიხედვით, ჰისტოგრამის ინტერვალების რაოდენობა შემდეგია: $k = 3,31 \lg N + 1 = 3,3 \cdot 2,567 = 9,4 \approx 10$. მათემატიკური მოლოდინი $\mu = 7,82$ სთ და საშუალოკვადრატული $\sigma = 6,2$ სთ (ცხრილი 12). ავაგოთ ჰისტოგრამა და ჰისტოგრამის თანახმად განვიხილოთ ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცია ვაიბულის ფუნქციით (ნახ. 10) [90-92]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta}.$$

(35)

სადაც θ არის რესურსის პარამეტრი, ხოლო β ფორმის მასშტაბი.

საბოლოოდ განტოლებათა (30)-ის ამოხსნის შემდეგ ვპოულობთ:

$$\begin{cases} \beta = 2,1; \\ \theta = 3,51. \end{cases} \quad (3)$$

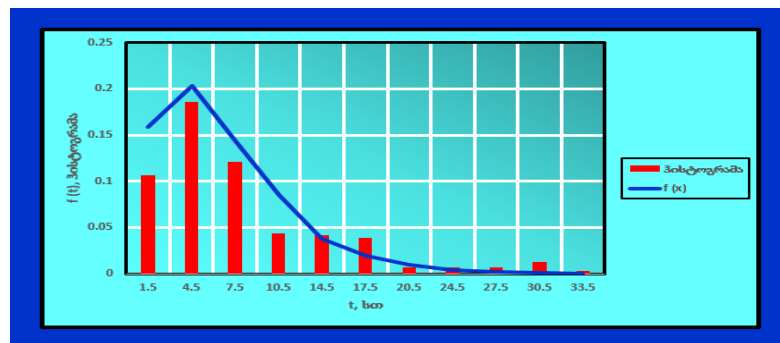
ცხრილი 12. მექანიკური დაზიანებების შესაბამისი ალდგენის დროების ამონაკრები

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	3	4	7	16	4	2.1	4	3.8
2	1.7	0.4	1.5	6.6	19.2	5.1	2.7	4	4.4
3	1.7	2.4	1.1	8	22	3.5	2.6	3.3	3
4	2.3	2.5	2.3	1.3	25.7	12	2.5	5.5	3.9
5	2.4	1	1.4	2.2	28	12.8	2.5	5.2	4.4
6	8.6	1	1.4	1.5	5	12.4	1.4	3.4	3.3
7	6	0.6	2.2	0.9	7.3	3.8	2.6	5.8	3.6
8	6.5	6.1	2.2	0.9	7.2	5.3	3	3.2	7.4
9	6	5.4	8.3	2.8	6.6	5.9	4.1	3.6	7.8
10	7.2	5	6.8	1.7	4	5.7	6.9	4.2	6.8
11	7	4.4	9.5	9.7	4.5	5.6	6	5.3	7.7
12	7.1	3	5	2.6	4.9	5.3	7.4	5	6.6
13	6.1	5.7	5.8	2.6	4	12.9	13.2	4.5	8.8
14	6.4	5.4	5.2	1.7	3.7	9.5	13	14	12.5
15	5.9	5.7	5	15	16	9.9	8.8	7.4	8.3
16	3.7	3	3.8	15.2	15.3	3	8.8	8.6	6.4
17	5	3.8	8	30.2	32.5	3.2	6.2	8	6.3
18	3.5	5.5	7.7	6.7	7.2	3.3	6.6	10.5	6.8
19	3.8	3.2	8	7.6	8.9	3	8	10.7	8.4
20	4.3	4.3	7	8.3	8.1	3.5	6.6	11.5	8.5
21	17.7	15.4	16.4	17.3	17.5	2.8	8.3	13.5	8.1
22	15.8	5.4	6.3	3.3	5	32.9	5.1	14.8	6.8
23	20	5.5	6.4	3.3	4.4	0.5	3.7	14.6	8.8
24	23.1	4.2	6.4	3.8	3.4	1.1	3.2	16.5	7.7
25	24.7	4.3	6.6	3.2	5	1.1	5.8	16.4	6
26	27.3	5.5	6.5	3.3	5.2	2.5	3.3	16.4	8.1
27	21	5	23	4.4	4.7	1.5	5.8	5.9	4.4
28	24.2	3.2	26.1	6.1	6.3	7.5	8.2	7.4	8.5
29	3.7	4.2	6.6	10	11	9	9.2	7	7.4
30	27	3.3	29	17	28.1	9.4	10.7	8.4	6.3
31	13.5	13.8	14.1	20.5	14.9	14.2	11.7	6.2	10.4
32	2	15.5	2.6	1.8	1.6	2	15	9.3	9.8
33	1.4	17	6.9	8.9	7.1	13.2	18	4	11.5
34	2.5	4	2.7	11	6.8	14.5	10.7	11.2	11
35	2.4	1.9	1.5	14.5	12.1	28.4	11.5	11	11.4
36	2.6	2.2	2.4	14	7	15	10.1	3	4
37	2.7	2.2	2	29.1	14.3	12.3	14.4	8.9	4
38	1.8	1.6	2	3.7	12	4	10.1	8	4
39	0.5	2	2.5	4.6	4.4	4.9	2	6	5.7
40	17	17.3	17.4	17.8	17.9	4.8	5	17.3	16
41	4.8	4.5	5	17.3	5.2	4	4.2	5.7	15.4

საბოლოოდ, ცხრილ 13-ში და ნახ. 29-ზე მოყვანილია ჰისტოგრამა და შესაბამისი ვაიბულის ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცია.

ცხრილი 13. გმპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (შექანიკური დაზიანება)

ინტ-ის ცენტრი	f(x)	n	ჰისტოგრამა
1.5	0.1589	66	0.1068
4.5	0.20275	115	0.1861
7.5	0.14372	75	0.1214
10.5	0.08557	27	0.0437
14.5	0.0378	26	0.0421
17.5	0.0194	24	0.0388
20.5	0.00967	4	0.0065
24.5	0.00369	4	0.0065
27.5	0.00176	4	0.0065
30.5	0.00083	8	0.013
33.5	0.00039	2	0.0032
		N=355	



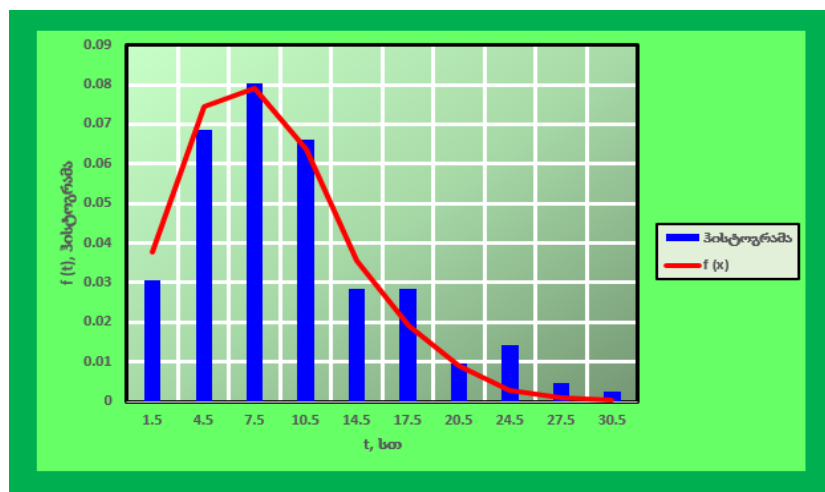
ნახ. 29. ჰისტოგრამა და შესაბამისი ვაიბულის ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცია

შემდგომში განვიხილოთ გაზგამანაწილებელი გმპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკა იმ შემთხვევაში, როდესაც ვიხილავთ კოროზიით გამოწვეულ დაზიანებებს, გვაქვს $N = 355$ ცალი შესაბამისი მტყუნება (დაზიანება) და შესაბამისად რემონტის (ალდგენა). სტატისტიკის თანახმად ამონაკრების მათემატიკური მოლოდინი $\mu = 8,42$ სთ და საშუალოკვადრატული $\sigma = 1,6$ სთ. ავაგოთ ჰისტოგრამა (ცხრილი 14, ნახ. 30).

შემდეგ შემთხვევაში გვაქვს ანალოგიური პროცედურა, გაჟონვების შემთხვევაში. გვაქვს $N = 369$; $\mu = 7,82$ სთ; $k = 3,31\lg N + 1 = 7,93 \approx 8$. პარამეტრების დადგენის შემდეგ მივიღებთ (ცხრილი 16, ნახ. 31) $\beta = 1,754$; $\theta = 2,371$.

ცხრილი 14. გვპ-ს აღდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (კოროზია)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7.8	8	7.4	7.6	8.1	11.9	2.8	2.5	1.3	18
2	7.6	8.1	27.5	8.5	6.2	9.5	2.5	11.4	10.3	9.8
3	4.4	10.7	4.5	8.2	6.4	9.7	10	17.7	9.4	11.7
4	4.5	7.8	4.7	7.3	10.3	6.6	10.2	15.3	17.2	9.1
5	7.6	7.3	4.2	6.2	11.5	17.2	2.2	2.7	10	0.7
6	11.2	8.2	4	10.3	8.2	8.4	2.8	2.8	5.7	12.5
7	7.7	8.4	9.1	1.8	8.4	8.5	2.8	16	5.1	13.8
8	9.4	7.7	6.6	6.3	8.5	4.5	11.2	9.7	10.6	19
9	1.6	6.6	10.3	1.1	10.2	3	9.1	11.4	21	5.4
10	1.7	11.2	7.4	8	1.2	4.8	2.9	0.8	5.3	5.3
11	6.4	11.4	23	20	10.6	4.5	12.6	5.3	17.3	2
12	22	14.7	14.5	10.7	2.4	2.5	22.5	2.1	6.2	10.3
13	15.1	14.1	2.7	23.1	20.5	16.7	25	15.8	13.4	26
14	16	17.3	5.3	2.8	12.5	17	5.4	23.8	14	5.7
15	5.1									

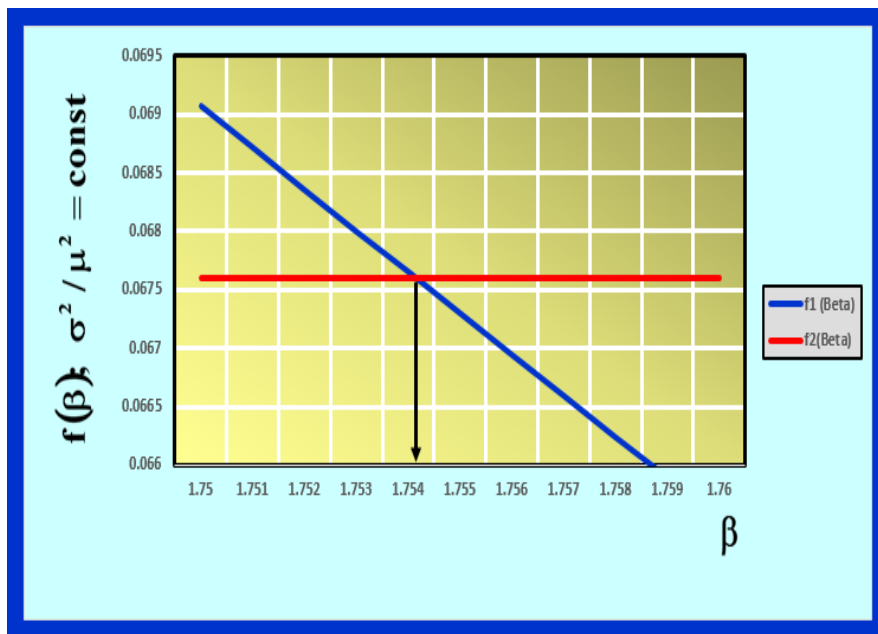


ნახ. 30. ჰისტოგრამა და შესაბამისი ვაიბულის ალბათობის სიმკვრივის განაწილების აპროქსიმაციის ფუნქცი

ცხრილი 15. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (გაჟონვა)

ინტ-ის ცენტრი	f (x)	n	ჰისტოგრამა
1.5	0.0378	13	0.0307
4.5	0.0746	29	0.0685
7.5	0.07907	34	0.0804
10.5	0.0638	28	0.0662
14.5	0.0356	12	0.0284
17.5	0.0192	12	0.0284
20.5	0.009	4	0.0095
24.5	0.0027	6	0.0142
27.5	0.001	2	0.0047
30.5	0.0003	1	0.0024
		141	

საბოლოოდ, შემთხვევითი დაზიანების შედეგად მივიღებთ ამონაკრებს (ცხრილი 17), პარამეტრების მნიშვნელობებს ($\mu = 18,5$ სთ; $\sigma = 3,1$ სთ; $\beta = 4,194$; $\beta - 2,43$), (ნახ. 32), შესაბამის ჰისტოგრამასა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქციას (ნახ. 33).



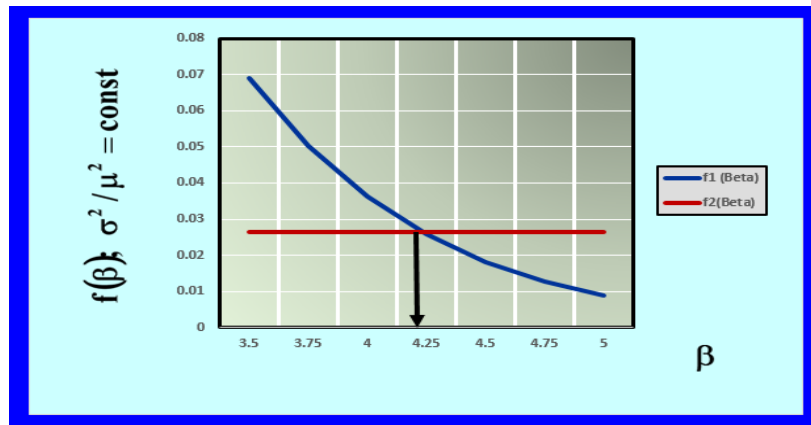
ნახ. 31. ვაიბულის განაწილების პარამეტრების დადგენა

ცხრილი 16. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (გაჟონვები)

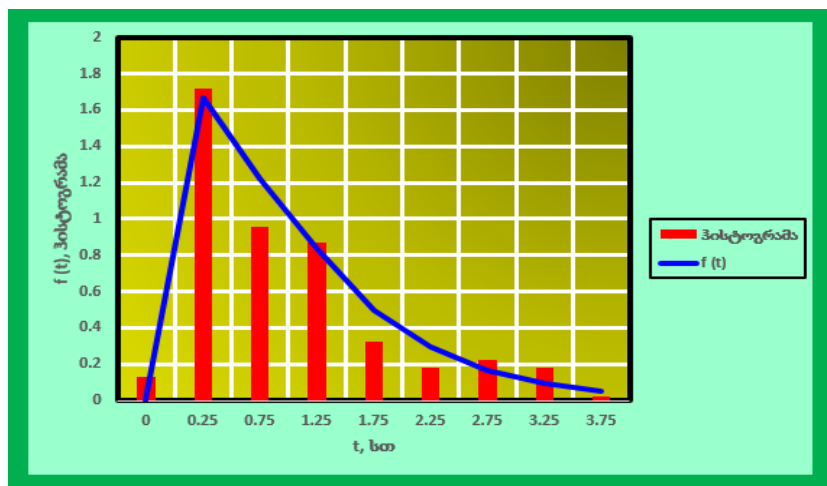
ინტ-ის ცენტრი	n	ჰისტოგრამა	f (t)
0	7	0.1267	0
0.25	95	1.7195	1.6655
0.75	53	0.9593	1.2222
1.25	31	0.87	0.8396
1.75	18	0.3258	0.4961
2.25	10	0.181	0.2925
2.75	6	0.2234	0.1684
3.25	7	0.1789	0.0937
3.75	1	0.0181	0.0502
N=221			

ცხრილი 17. გვპ-ს ალდგენის (რემონტების) დროების სტატისტიკური მონაცემები, შესაბამისი ამონაკრების მიხედვით (შემთხვევითი მტყუნებები)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.27	0.34	0.34	0.42	0.37	0.77	3.3	1.83	1.35	1.48
2	1.42	0.31	0.22	0.35	0.46	0.88	3.8	2.6	1.38	1.27
3	1.35	0.45	0.28	0.44	0.71	0.9	0.9	2.8	0.46	1.83
4	0.45	0.12	0.34	0.34	0.9	0.81	4.2	2.8	0.45	1.71
5	0.34	0.44	0.45	0.45	0.84	0.71	0.85	0.23	0.27	2.5
6	1.26	0.42	0.34	0.34	0.88	0.9	0.9	0.12	1.3	2.2
7	1.3	0.35	0.12	0.23	0.71	0.84	0.71	0.12	2.5	0.12
8	1.26	0.31	0.25	0.45	0.8	1.25	3.5	1.8	2.7	1.26
9	0.35	0.25	0.34	0.45	0.7	1.27	4	1.9	0.35	1.48
10	0.45	1.22	0.12	0.27	3	1.3	3.1	1.27	0.31	1.27
11	0.27	0.35	0.45	0.34	4.4	1.25	0.77	1.28	0.25	1.27
12	1.25	0.45	0.44	0.27	2.3	0.77	0.7	0.1	0.31	4.8
13	1.28	1.45	0.12	0.45	1.3	0.96	0.78	0.12	1.74	4
14	1.26	1.4	0.35	0.12	2.3	0.88	0.77	0.25	1.78	0.45
15	1.37	0.42	0.34	0.34	4	0.88	0.84	0.34	0.25	0.27
16	0.27	0.34	0.45	0.45	4.1	0.77	1.8	1.75	0.12	0.99
17	0.46	0.45	0.34	0.43	3.1	0.9	1.78	1.83	0.3	0.34
18	0.45	1.25	0.75	0.34	0.77	1.78	1.74	0.46	0.9	0.46
19	0.35	1.26	0.34	0.27	0.71	1.77	3.2	0.35	0.75	0.2
20	0.45	1.42	0.25	0.42	0.77	1.74	1.78	1.74	0.76	0.34
21	0.77	0.99	0.12	0.46	0.44	0.34	3.3	0.34	4.6	1.78
22	0.77	2.5	0.45	0.2	3.4	2.4	2.2	1.74	3.3	4.2
21	0.88									



ნახ. 32. პარამეტრების დადგენა ვაიბულის პარამეტრების დადგენის მეთოდი



ნახ. 33. ჰისტოგრამა და განაწილების ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია

თავი 4. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ტექნიკურის დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი

4.1. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ნორმატიული ტექნიკურის დანაკარგის რაოდენობრივი ანალიზი

1990-2000 წლებში, უსახსრობის გამო, საქართველოს დასახლებული პუნქტების ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელებში, სარემონტო, ავარიულ-აღდგენითი და სარეაბილიტაციო სამუშაოები არ ჩატარებულა, რის გამოც მკვეთრად გაიზარდა ბუნებრივი გაზის დანაკარგები და გამანაწილებელ ქსელებში ავარიების რაოდენობა. შედეგად ბუნებრივი გაზის საერთო დანაკარგმა უმრავლესი დასახლებული პუნქტის გაზგამანაწილებელ ქსელში მიაღწია დაუშვებელ სიდიდეს. ბუნებრივი გაზის ზენორმატიული დანაკარგი იმდენად დიდი გახდა, რომ ის არსებითად აუარესებს გაზგამანაწილებელი მეურნეობების ფინანსურ მაჩვენებლებს, ზოგიერთ შემთხვევებში კი გადააქცევს მას არარენტაბელურ საწარმოდ.

ბუნებრივი გაზის დანაკარგის დონე დასახლებული პუნქტების გაზგამანაწილებელ ქსელებში არსებით გავლენას ახდენს ბუნებრივი გაზის განაწილების ტარიფზე, ამიტომ ტექნიკური დანაკარგის ნორმირება ძალზე მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს.

გაზგამანაწილებელი ქსელებიდან და მოწყობილობებიდან ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის ზუსტი განსაზღვრა თითქმის შეუძლებელია. ვინაიდან გაზგამანაწილებელი ქსელის და მისი მოწყობილობების ჰერმეტიულობის დარღვევა უამრავი ფაქტორით არის განპირობებული, გაზგამანაწილებელი მეურნეობების ქსელებიდან ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის განსაზღვრა დიდ და ზოგიერთ შემთხვევაში გადაულახავ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. დსთ-ს ქვეყნებში არსებულ და მოქმედ გაზგამანაწილებელ ქსელებში ბუნებრივი გაზის დანაკარგის

განსაზღვრის მეთოდები მეტად რთულია, ხოლო დანაკარგების განსაზღვრული კონკრეტული სიდიდეები იცვლება დიდ დიაპაზონში. საბჭოთა კავშირში დასახლებული პუნქტების გაზგამანაწილებელ ქსელებში ბუნებრივი გაზის დანაკარგების საშუალო დონე მიიღებოდა მიწოდებული ბუნებრივი გაზის მაქსიმალური რაოდენობის 1-1,5%-ის ტოლად, ხოლო აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებში 3-5%.

გაზგამანაწილებელ ქსელებში ბუნებრივი გაზის ტექნიკურ დანაკარგის გამომწვევი ძირითადი მიზეზები შემდეგია: საქართველოს ბუნებრივი გაზის თითქმის ყველა გაზგამანაწილებელი ქსელის ტექნიკური მდგომარეობა არაადამაკმაყოფილებელია. კოროზიისაგან ელექტროქიმიური დაცვის დანადგარები გაძარცვულია და არ მუშაობს; საამორტიზაციო ვადა – 40 წელი გაუვიდა ასობით კილომეტრ გაზსადენს და მოითხოვს შეცვლას. გარდა ამისა, ბუნებრივი გაზის გაზგამანაწილებელ ქსელებში არსებობს კიდევ შემდეგი სახის დანაკარგები: ბუნებრივი გაზის გაჟონვები გაზსადენებში, ნაგებობებსა და მოწყობილობებში ჩვეულებრივ პირობებში; დანაკარგები შენობების გაზგაყვანილობებში; დანაკარგები გაზსადენის დაცლისას შეჭრითი სამუშაოების წარმოებისათვის; დანაკარგები გაზმარეგულირებელი პუნქტების დამცავ-საგდები სარქველებიდან ღამის საათებში, ბუნებრივი გაზის მოხმარების მკვეთრად შემცირების დროს; დანაკარგები მოწყობილობის რეგულირებისას და სხვა.

4.2. გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ნორმატიული ტექნიკურის დანაკარგის დადგენის მეთოდი

გაზგამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის სიდიდე დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე – გაზის წნევაზე, გაზსადენის დიამეტრსა და სიგრძეზე, მის ტექნიკურ მდგომარეობაზე, გაზმარეგულირებელი პუნქტების რაოდენობაზე და ა.შ. ამჟამად საქართველოში არ არსებობს ნორმატიული დოკუმენტი, რომლის

საშუალებითაც შესაძლებელი იქნებოდა ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის ნორმატიული ტექნიკური ზუსტი დანაკარგის გაანგარიშება. ასეთ პირობებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება გაზგამანაწილებელი ქსელებიდან ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის განსაზღვრის მეთოდის შემუშავებას, რაც საშუალებას მოგვცემს გარკვეული საინჟინრო გაანგარიშებებისათვის საჭირო სიზუსტით გავსაზღვროთ ამა თუ იმ გაზგამანაწილებელ ქსელში ბუნებრივი გაზის დანაკარგების რაოდენობა.

ბუნებრივი გაზის გაზგამანაწილებელი ქსელების ბოლო წლების ავარიების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელების ჰერმეტიკობის დარღვევა ძირითადად გამოწვეულია ელექტროქიმიური კოროზიით. თეორიიდან ცნობილია ბუნებრივი გაზის გაზსადენიდან გამოდინების საანგარიშო ფორმულები [93], რომელთა საშუალებით შესაძლებელია გამოითვალოს ხვრეტიდან გამოსული ბუნებრივი გაზის რაოდენობა. საჭიროა აღინიშნოს, რომ აღნიშნული ფორმულების გამოყენება მიწისქვეშა გაზსადენებისათვის არ იძლევა ზუსტ შედეგს, რადგანაც მიწაში ჩალაგებულ გაზსადენში გაჩენილი ხვრეტიდან ბუნებრივი გაზის გამოდინება ჰაერში კი არ ხდება, არამედ სხვადასხვა სიმკვრივის გრუნტში, ამიტომ ბუნებრივი გაზის დანაკარგის გაანგარიშება უნდა ხდებოდეს განსხვავებული მეთოდით. [94,95] ნაშრომების მიხედვით, ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგის წნევაზე დამოკიდებულება გამოიხატება ხარისხოვანი კანონით. ხარისხის მაჩვენებლით ორი და არა 0,5 ხარისხით, როგორც ადრე იყო მიღებული:

$$Q = \frac{17,64DLP^2K_1K_2\tau}{TZ^2} \text{ მ}^3/\text{წელ},$$

(37)

სადაც **Q** - არის გაზსადენიდან ბუნებრივი გაზის გაჟონვის მოცულობა (მ³/წელ); **D** - გაზსადენის საშუალო დიამეტრი (მ); **L** - გაზსადენის მთლიანი სიგრძე (კმ); **P** - საშუალო წნევა (კგმ/სმ²); **K₁** - გაზსადენების ექსპლუატაციის პირობების კოეფიციენტი; **K₂** - გაზსადენების მუშაობის

ეფექტურობის კოეფიციენტი; τ - გაზსადენების მუშაობის პერიოდი (დღე-ღამე); T - გაზის საშუალო ტემპერატურა ($^{\circ}\text{K}$); Z - ბუნებრივი გაზის კუმშვის საშუალო კოეფიციენტი.

ცხადია, რომ ქსელში წნევის ზრდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბუნებრივი გაზის ტექნიკურ დანაკარგზე. მიუხედავად იმისა, რომ ლიტერატურიდანაც [96,97] და პრაქტიკიდანაც ძირითადად ცნობილია მიწაში ჩალაგებული მილსადენების დაზიანების მიზეზები და ხვრეტების სავარაუდო ფორმები, რეალურად დაკარგული ბუნებრივი გაზის რაოდენობის თეორიული განსაზღვრა შეუძლებელია, ვინაიდან გარდა ზევით მოყვანილი მიზეზებისა, არსებობს მრავალი ისეთი პირობა და მიზეზი, რომელთა გაუთვალისწინებლობა სასურველ შედეგს არ მოგვცემს (მაგალითად ხვრეტების რაოდენობა, მათი დიამეტრი, ფუნქციონირების დრო, ქსელის კონფიგურაცია და სხვა).

ამასთან ერთად, აღსანიშნავია, რომ წნევის რეჟიმი ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელებში ცვალებადია დღე-ღამის განმავლობაში და დამოკიდებულია მიწოდებისა და ხარჯის რეჟიმზე. ამიტომ წნევის პარამეტრების დადგენაც დაკავშირებულია მრავალ სირთულესთან. ცხადია, რომ ცვალებადი წნევის რეჟიმი, გრუნტის სხვადასხვა სიმკვრივისა და ბუნებრივი გაზის ქსელების და მოწყობილობების სხვადასხვა მდგომარეობის და კონფიგურაციის პირობებში, შეუძლებელია განისაზღვროს პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით.

როგორც ზემოთ უკვე აღვნიშნეთ, დანაკარგის გაანგარიშება და ნორმების დადგენა დიდ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული და მათი რეალური სიდიდის განსაზღვრა თეორიულად პრაქტიკულად შეუძლებელია. სასურველი შედეგის მიღწევა შეუძლებელია ისეთი სხვა ქვეყნების გამოცდილების გამოყენებითაც, რომელთა გაზგამანაწილებელი კომპანიების ქსელების დღევანდელი მდგომარეობა ანალოგიურია საქართველოს გაზგამანაწილებელი კომპანიების ქსელების დღევანდელი მდგომარეობისა [98-103].

თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ტექნიკური დანაკარგის განსაზღვრის ერთიანი მეთოდის არ არსებობას, აგრეთვე განაპირობებს ის ფაქტი, რომ საქართველოში ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელი მეურნეობები ოპერირებენ გაზის მნიშვნელოვნად განსხვავებული მოცულობებით. კერძოდ ქ. თბილისზე მოდის ბუნებრივი გაზის წლიური მოხმარების დაახლოებით 78%, გაზგამანაწილებელი მილსადენების სიგრძის დაახლოებით 38% და აბონენტების რაოდენობის დაახლოებით 65%. გარდა ამისა საქართველოს ბევრ მეურნეობაში ბუნებრივი გაზის წლიური მოხმარება ერთ მილიონ კუბურ მეტრზე ნაკლებია, ხოლო ზევითმოყვანილი ტექნიკური დანაკარგების განსაზღვრის მეთოდები, სამართლიანია დაახლოებით 10 მილიონ კუბურ მეტრზე მეტი წლიური მოხმარების მეურნეობებისათვის.

აღმოსავლეთ ევროპისა და დსთ-ს ქვეყნებში ტექნიკურ დანაკარგთან დაკავშირებული მდგომარეობა შემდეგია: ესტონეთი: მოხმარებული ბუნებრივი გაზის 1%; რუმინეთი მოხმარებული გაზის 1+2%; აზერბაიჯანი: მოხმარებული გაზის 2+3%; სომხეთი: მოხმარებული გაზის 3+4%, ლიტვა: მოხმარებული გაზის 2+3%; ლატვია: მოხმარებული გაზის 2+3%; პოლონეთი: პოლიეთილენისა და ფოლადის მილებში - მოხმარებული გაზის 2%, რკინის მილებში - მოხმარებული გაზის 3%. ამგვარად მოპოვებული სტატისტიკური მონაცემები მეტყველებენ, რომ დსთ-ს და აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნების პრაქტიკაში - ტექნიკური დანაკარგის ნორმა დადგენილია პროცენტებში, რაც უფრო მიზანშეწონილია და ხელსაყრელია მცირე მოხმარების გაზის მეურნეობებისათვის.

ნაშრომში მოყვანილია ძველი ნორმატიული დოკუმენტი საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების ეროვნულ კომისიისათვის:

$$Q = a + b \left(1 - \frac{x}{L} \right), \quad (38)$$

სადაც \mathbf{a} და \mathbf{b} კოეფიციენტებია; \mathbf{x} - ქსელის ძველი ნაწილის სიგრძე; \mathbf{L} - ქსელის სრული სიგრძე.

ცხადია, რომ როდესაც $\mathbf{x} = \mathbf{0}$, მაშინ $\mathbf{Q} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$, ხოლო როდესაც $\mathbf{x} = \mathbf{L}$, მაშინ $\mathbf{Q} = \mathbf{a}$. ე.ი. დანაკარგი დიაპაზონია \mathbf{a} -დან $\mathbf{a} + \mathbf{b}$ -მდე. დოკუმენტში მიღებული იყო, რომ $\mathbf{a} = 1$, ხოლო $\mathbf{b} = 4$ და დიაპაზონი იყო $(1 \div 4)\%$ -ია.

4.3. ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგების გაანგარიშების ახალი წესი (2015 წელი) და გაზმანაწილებელი კომპანიების გაზის ბალანსი

2015 წელს, სემეკის მიერ შემუშავდა ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგების გაანგარიშების წესი. განვიხილოთ რამდენიმე მნიშვნელოვანი მუხლი.

გაზმანაწილებელი კომპანიების გაზის ბალანსი წარმოდგენილია მიწოდებული და მოხმარებული გაზის განტოლების სახით [104-108]:

$$Q = Q_{Sak.sach} + Q_{Teqn} + Q_{Avar} + Q_{Teqn.dan} + Q_{Real} \quad (39)$$

სადაც Q არის გაზის მიწოდებლისგან მიწოდებული გაზის ოდენობა;

$Q_{Sak.sach}$ – გაზის საკუთარი საჭიროების დახარჯული ოდენობა;

Q_{Teqn} – გაზის ტექნოლოგიური დანახარჯების ოდენობა;

Q_{Avar} – ავარიული მუშაობისას დახარჯული ოდენობა;

$Q_{Teqn.dan}$ – გაზის ტექნიკური დანაკარგის ოდენობა;

Q_{Real} – გაზმანაწილებელი კომპანიის მიერ საწარმო მომხმარებლის და მოსახლეობის რეალიზებული გაზის ოდენობა.

$$\Delta Q = Q - (Q_{Sak.sach} + Q_{Teqn} + Q_{Avar} + Q_{Teqn.dan} + Q_{Real}) \quad (40)$$

გაზის ტექნიკური დანაკარგის ოდენობა $Q_{Teqn.dan}$ განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\text{Teqn.dan}} = Q_{\text{Shem}} - Q_{\text{Real}} \quad (41)$$

სადაც Q_{Shem} არის მომწოდებლიდან ყოველთვიურად მიწოდებული მომწოდებლით და გაზგამანაწილებელი დამოწმებული ორმხრივი აქტით.

Q_{Real} – გაზის რეალიზებული ოდენობა.

გაზის რეალიზებული ოდენობა $Q_{\text{რეალ}}$ განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_{\text{Real}} = Q_{\text{Sac.momx}} + Q_{\text{Mosax}} \quad (42)$$

სადაც $Q_{\text{Sac.momx}}$ არის საწარმო მომხმარებლის მიერ გაზის რეალიზებული ოდენობა ყოველთვიურად, დამოწმებული ორმხრივი აქტით.

Q_{Mosax} – მოსახლეობის მიერ რეალიზებული გაზის ოდენობა, რაც განისაზღვრება მრიცხველებით.

გაზის დანაკარგები გაზგამანაწილების სისტემებში შეიძლება დაიყოს „წარმოსახვით“ და ჭეშმარიტ (რეალური) დანაკარგებად.

„წარმოსახვითი“ დანაკარგები წარმოადგენს გაზის ოდენობას, რომელიც გამოიყენება სასარგებლო გაზი მომხმარებლებისათვის, მაგრამ აულრიცხავია, რის გამოც არასრულყოფილება კონტროლის მეთოდები და გაზის ხარჯის აღრიცხვა. ჩვეულებრივად, „წარმოსახვითი“ გაზის ხარჯი გამოწვეულია მომხმარებლების გაზის მრიცხველების არარსებობა და გაზის ხარჯის აღრიცხვა გასაშუალება ნორმატივებით, ამის გამო, ამ დროს წარმოქმნილი გაზის გადაზრდა (ისევე როგორც მომხმარებლის მიერ არსებული გაზის ფაქტიური დეფიციტი) საერთოდ არ აღირიცხება და გადაანგარიშება გაზის მიმწოდებლისა და მომხმარებელთან შორის არ ხდება.

გარდა გაზის „წარმოსახვითი“ დანაკარგები (ისევე როგორც გაზგამანაწილებელი კომპანიები, ისე როგორც მომხმარებლებიც), აგრეთვე შეიძლება წარმოიქმნოს გაზის მრიცხველების არსებობისას, ბუნებრივი საპასპორტო ცდომილების ხარჯზე.

„წარმოსახვითი“ დანაკარგების რეალური შემცირება შეიძლება მოხდეს მიღწევა გაზის ხარჯის ხელსაწყობური მეთოდების გავრცელებული

განხორციელება ხარჯზე და ისეთი გაზის მრიცხველების გამოყენება, რომლებსაც გააჩნიათ მინიმალური ცდომილება.

განვიხილოთ ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგების დადგენის წესი, რისთვისაც გამოიყენება საერთაშორისო პრაქტიკაში მიღებული წამახალისებელი რეგულირების პრინციპები, რომლებიც: ემყარება გადაცემის ან განაწილების კონკრეტული ლიცენზიატის ბუნებრივი გაზის ქსელში რეგულირების პერიოდში ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯების ასახვას მომდევნო რეგულირების პერიოდის ბუნებრივი გაზის ნორმატიულ დანაკარგებში; ლიცენზიატს აძლევს ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის შემცირების მოტივაციას. ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგის დადგენა ხდება ყოველი რეგულირების პერიოდისათვის, რომელიც ტრანსპორტირებისა და განაწილების თითოეული ლიცენზიატისათვის განისაზღვრება კომისიის მიერ ინდივიდუალურად. შესაბამისად, ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგის დადგენა ხდება რეგულირების პერიოდის დაწყების წინა წელს – ტარიფების გაანგარიშების წელს (t). რეგულირების პერიოდისათვის ნორმატიული დანაკარგი დგინდება სატესტო წლის ($t-1$) ბაზაზე, შემდეგი წესით:

ა) განისაზღვრება სატესტო წლის ($t-1$) წინა სამი წლის ($q_{t-2}^F, q_{t-3}^F, q_{t-4}^F$) ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის პროცენტული მაჩვენებლების საშუალო არითმეტიკული (\bar{t}^F) შემდეგი ფორმულით:

$$\bar{t}^F = \frac{1}{3}(q_{t-2}^F + q_{t-3}^F + q_{t-4}^F) \quad (43)$$

ბ) განისაზღვრება სატესტო წლის ($t-1$) წინა სამი წლის ($q_{t-2}^F, q_{t-3}^F, q_{t-4}^F$) ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის პროცენტული მაჩვენებლების საშუალო წლიური ტრენდის (ცვლილების ტენდენცია) მაჩვენებელი (\bar{T}) შემდეგი ფორმულით

$$\bar{T} = \frac{1}{2} \left[\frac{q_{t-4}^F - q_{t-3}^F}{q_{t-4}^F} + \frac{q_{t-3}^F - q_{t-2}^F}{q_{t-2}^F} \right], \quad (44)$$

გ) განისაზღვრება სატესტო წლის $(t-1)$ -ის ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის პროცენტული მაჩვენებლების მოსალოდნელი შედეგი (q_{t-1}^M) საშუალო წლიური ტრენდის მაჩვენებლის მიხედვით:

$$q_{t-1}^M = (1 - \bar{T}) * \bar{q}^F, \quad (45)$$

- სატესტო წლის $(t-1)$ ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის მოსალოდნელი შედეგი (q_{t-1}^M) შეედრება ამავე წლის ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის მაჩვენებელს (q_{t-1}^F) და მათ შორის უმცირესი აირჩევა მომავალი რეგულირების პერიოდის ნორმატიულ დანაკარგად (სამიზნე მაჩვენებელი):

$$q_{RP}^N = \text{MIN}(q_{t-1}^M, q_{t-1}^F). \quad (46)$$

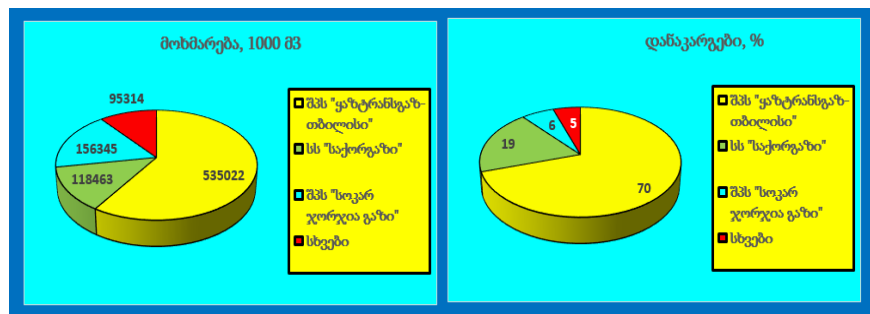
- იმ შემთხვევაში, თუ სატესტო წლის $(t-1)$ წინა სამი წლის $(q_{t-2}^F, q_{t-3}^F, q_{t-4}^F)$ ტრენდი (ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის ცვლილების ტენდენცია) აღმავალია ან ტრენდის საშუალო მაჩვენებელი ნულის ტოლია, ან ქსელურ კომპანიას არ აქვს საქმიანობის წინა სამი წლის ისტორია, ან ქსელის სტრუქტურა ან/და დატვირთვები მნიშვნელოვნად შეიცვალა, მომავალი რეგულირების პერიოდის ბუნებრივი გაზის ნორმატიული დანაკარგის განსაზღვრისათვის გამოიყენება შემდეგი წესი:

ა) სატესტო წლის ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანახარჯის მოსალოდნელი შედეგი (q_{t-1}^M) განისაზღვრება შედარებითი ანალიზის (ბენჩმარკინგის) მეთოდით (სხვა მსგავსი კომპანიის ან იმავე საწარმოს ისტორიული მონაცემების (ბუნებრივი გაზის ფაქტობრივი დანაკარგების ტრენდის მაჩვენებლის გამოყენებით, ამ მუხლის მე-2 პუნქტის “გ” ქვეპუნქტით გათვალისწინებული ფორმულით);

ბ) ბუნებრივი გაზის ტექნიკური დანაკარგები და საკუთარი მოხმარება (q_{t-1}^{TSM}) იანგარიშება სტანდარტიზებული მეთოდოლოგიით ან სერტიფიცირებული პროგრამული პროდუქტით.

2014 წელს საქართველოში იყო 34 ბუნებრივი გაზის განაწილების ლიცენზიატი, ხოლო კომპანიებზე მიწოდებული ბუნებრივი გაზის ჯამური მოცულობა 965 055 540 მ³ შეადგინა (ქვეყნის მთლიანი მოხმარების დაახლოებით ნახევარი). განაწილებელ ქსელში დანაკარგების ჯამური მოცულობა იყო 105 მლნ. მ³, ანუ 11%.

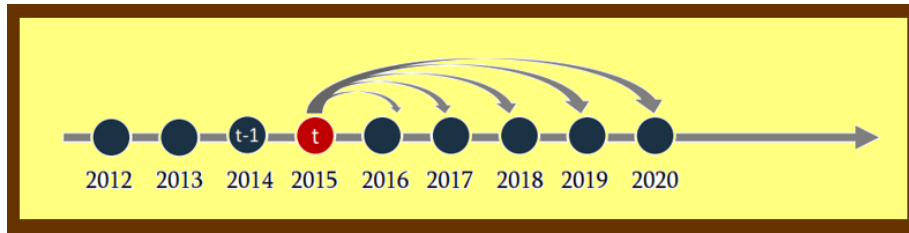
2013 წელს, ძირითადი მსხვილი განაწილების ლიცენზიატი (შპს „ვაზტრანს-თბილისი“, შპს „სოკარ ჯორჯია გაზი და შპს „საქორგაზი“) მთლიანი მოხმარების 89%, ხოლო დანაკარგების 95%-ს (ნახ. 34).



ნახ. 34. მსხვილი განაწილების ლიცენზიატის მოხმარება და დანაკარგები

საქართველოს ანალოგიური ქვეყნების გვაქვს შემდეგი მდგომარეობა; სლოვენიაში გათვალისწინებულია არაუმეტეს 2%-მდე; ავსტრია - 1-2% გაითვალისწინება საოპერაციო დანახარჯებში, თუ კომპანია გადააჭარბებს ასეთ შემთხვევაში მოუწევს ახსნა-განმარტება მარეგულირებელ კომისიასთან, რომელმაც შესაძლოა არ გაითვალისწინებს წარმოდგენილ არგუმენტებს; რუმინეთი - ჯერ კიდევ 2004 წელს საოპერაციო დანახარჯებში გაითვალისწინებოდა დანაკარგების მხოლოდ 1-2%.

ამ წესების ნორმატიული დანაკარგები დადგინდა ახალი მეთოდოლოფიით ბუნებრივი გაზის განაწილების ტარიფების დადგენის პარალელურად. ტარიფების გაანგარიშების 2015 წელს დადგინდება დანაკარგების დონე 2016-2020 წლებისათვის, სატესტო წლის (2014) და წინა წლის მონაცემების გათვალისწინებით (ნახ.35)



ნახ. 35. ტარიფების გაანგარიშების 2015 წლის დანაკარგების დონე 2016-2020 წლებისათვის

ამგვარად, წესი მოქმედების ვადა განისაზღვრება 2016 წლიდან 2020 წლამდე, ხოლო ნორმატიული დანაკარგები უნდა მიისწრაფოდეს ერთი წერტილისკენ. 2020 წლის შემდეგ ყველა კომპანიას დაუდგინდება ნორმატიული დანაკარგის $\leq 2\%$ დონეზე (ნახ. 36).



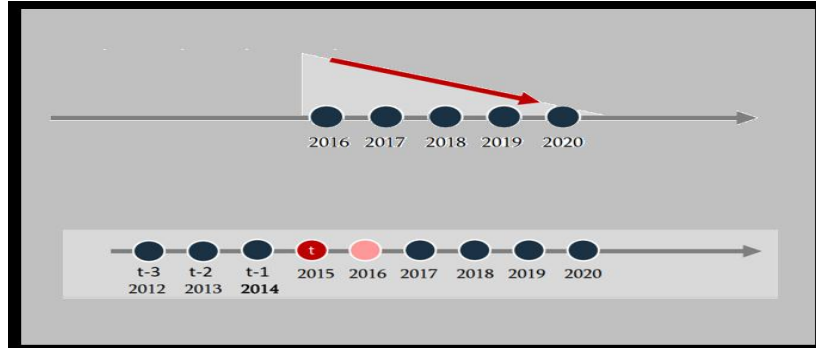
ნახ. 36. ყველა კომპანია ნორმატიულ დანაკარგს დაუდგინდება $\leq 2\%$ დონეზე

2016 წელს განაწილების ლიცენზიატებს დაუწესდებათ ნორმატიული დანაკარგები ფაქტობრივი დანაკარგების საფუძველზე. ასევე დადგინდება ნორმატიული დანაკარგების სამიზნე მაჩვენებლები ამ წესების მოქმედების პერიოდზე, ყველა კომპანიისათვის ინდივიდუალურად (ნახ. 37ა). 2016 წლის ნორმატიული დანაკარგი დადგინდება: 2012-2014 წლებში ლიცენზიატის მინიმალური ჯამური ფაქტობრივი დანაკარგის მაჩვენებელსა და სატესტო (2014) წელს მთლიან გამანაწილებელ ქსელში საშუალო შეწონილი დანაკარგის პროცენტულ მაჩვენებელს შორის მინიმუმის დონეზე (ნახ. 37ბ).

2016 წლიდან შემდგომი წლების ნორმატიული დანაკარგი იანგარიშება წინა პერიოდის ნორმატიულ დანაკარგზე დაყრდნობით შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{cases} h_{t+j} = h_{t+j-1} - \log_A(h_{t+j-1}); \\ A = \max[2,5, (h_{t+1}^u - j) - h_{t+j-1}]; \\ j = 2,3,4,5. \end{cases} \quad (47)$$

სადაც h_{t+j} წარმოადგენს $(t+j)$ პერიოდის ნორმატიული დანაკარგის პროცენტული მაჩვენებელი (%):

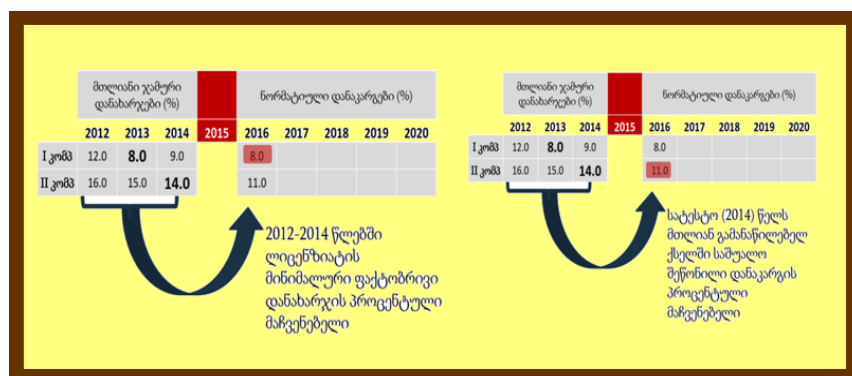


ნახ. 37. ა. ნორმატიული დანაკარგების სამიზნე; ბ. ნორმატიული დანაკარგის ინტერპრეტაცია

ნახ. 38-ზე ნაჩვენებია ნორმატიული დანაკარგების დადგენის მაგალითი.

h_{t+j-1} - t პერიოდის ნორმატიული დანაკარგის პროცენტული მაჩვენებელი (%):

h_{t+1}^u - $(t+1)$ წლის ყველაზე მაღალი ნორმატიული დანაკარგის მქონე ლიცენზიატის ნორმატიული დანაკარგი (%):



ნახ. 38. ნორმატიული დანაკარგების დადგენის მაგალითი

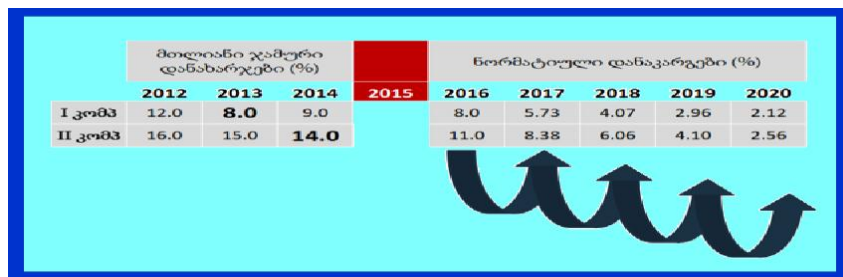
ნაკლები A ნიშნავს კლების უფრო სწრაფ ტემპს. მაღალი დანაკარგების მქონე კომპანიისათვის კლების ტემპი არის უფრო მაღალი.

კლების ტემპის განსაზღვრავს $(t+1)$ წლისათვის დადგენილი ყველაზე მაღალი ნორმატიული დანაკარგის დონის ყოველწლიურად j პროცენტული ერთეულით შემცირებული მაჩვენებლისგან განსხვავება (ნახ. 39).

ნახ. 40-ზე და ცხრილ 18-ში ნაჩვენებია ნორმატიული დანაკარგის ყოველწლიური სამიზნეს მაჩვენებლები წლების მიხედვით იმ ლიცენზიატებისათვის, რომლების მინიმალური ფაქტობრივი დანაკარგი 2012-2014 წლებში იყო

ცხრილი 18. ლიცენზიატების ნორმატიული დანაკარგის ყოველწლიური სამიზნეს მაჩვენებლები წლების მიხედვით

2010 წლის ნორმატივი, %	ყოველწლიური შემცირება, %			
	2017	2018	2019	2020
11	2,62	2,32	1,97	1,54
10	2,51	2,20	1,82	1,34
9	2,4	2,06	1,65	0,89
8	2,27	1,91	1,16	0,66
7	2,12	1,39	0,99	9,49
6	1,63	1,14	0,88	0,34
5	1,16	0,94	0,75	0,14
4	0,86	0,72	0,42	0
3	0,61	0,39	0	0



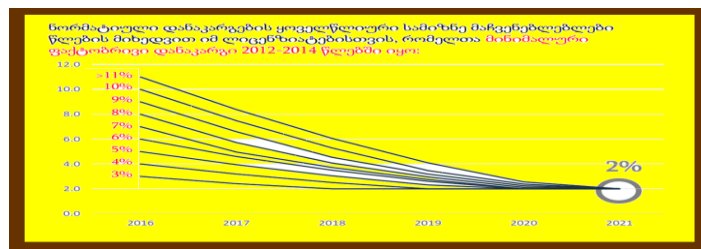
ნახ. 39. ნორმატიული დანაკარგის ინტერპრეტაცია

საბოლოოდ გვაქვს:

$$G_{t+j} = \min \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^3 G_{t+j-i}^F}{3} \right), G_{t+j-i}^F \right], \quad (48)$$

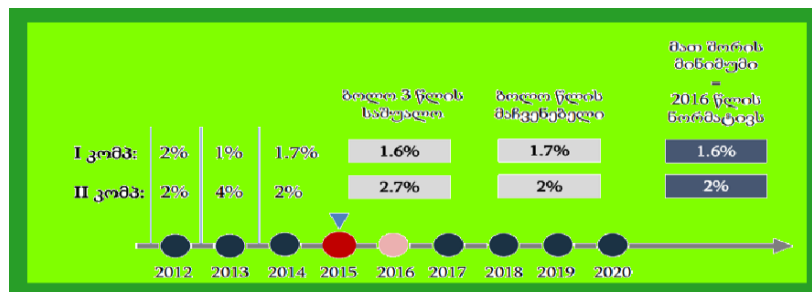
სადაც $j = 1, 2, 3, 4, 5$;

G_{t+j}^F - $(t-j)$ წელს ლიცენზიატის გამანაწილებელ ქსელში ფაქტობრივი დანაკარგების პროცენტული მაჩვენებელი (%); G_{t+j-i}^F - $(t+j-1)$ წელს ლიცენზიატის გამანაწილებელ ქსელში ფაქტობრივი დანაკარგების პროცენტული მაჩვენებელი (%);



ნახ. 40. ლიცენზიატების ნორმატიული დანაკარგის ყოველწლიური სამიზნეს მაჩვენებლები წლების მიხედვით

2015 წელს მომდევნო წლისათვის ტარიფი დადგინდება წინა წლის მონაცემების საფუძველზე (ნახ. 41).



ნახ. 41. ტარიფის დადგენა 2015 წლიდან

4.4. გაზგამანაწილებელი საშუალო ქსელის ტექნიკური დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი აჭარასა და იმერეთის რეგიონების მაგალითზე

განვიხილოთ გაზგამანაწილებელი ქსელის ტექნიკური დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი, კონკრეტულად აჭარისა და

იმერეთის რეგიონების მოძიებული მონაცემები, ორი წლის განმავლობაში. ასეთი რეგიონების ქსელები განხილულია, რადგანაც ქსელები შედარებით ძველია და დანაკარგების ოდენობა საკმაოდ დიდია. შპს „საქორგაზის“ მიხედვით შექმნილია ტექნიკური დანაკარგის სპეციალური ცხრილური ფორმა, სადაც დაწვრილებით მოყვანილია: ავარიის ადგილი (მუნიციპალიტეტი და მისამართი), თარიღი, გაზსადენის ტიპი რომელზეც მოხდა ავარია (ფოლადი საჰაერო, ფოლადი მიწისქვეშა, პოლიეთილენი), დიამეტრი (მმ), გაზის ჭარბი წნევა მილში ავარიის მომენტში (ატმ), დაზიანებული ადგილის აღწერა - ფორმა (მრგვალი, ოვალური, ოთხკუთხა), ზომები (მმ), საათური დანაკარგი (მ³/სთ), რამდენ ხანს იკარგებოდა გაზი (სთ). გაკდა ამისა განხილულია დანაკარგების მიზეზები: კოროზია, დაუდგენილი მიზეზი, სტიქია და ა.შ. რადგანაც ტექნიკური დანაკარგი მეტად მრავალფეროვანია, ამიტომ განვიხილოთ ე.წ. „შავი ყუთის“ პრინციპს და ვიხილავთ ტექნიკური დანაკარგის ინტეგრალურ ეფექტს. ცხრილ 19-ში მოყვანილია მოყვანილია სამი ძირითადი პარამეტრი: გაზსადენის დიამეტრი, **D** (მმ), დაზიანების საშუალო დამახასიათებელი ზომა **d**, (მმ) და საათური დანაკარგი, **q**-მ³/სთ.

ცხრილი 19. გაზგამანწილებელი ქსელის ტექნიკური დანაკარგის ძირითადი პარამეტრი: გაზსადენის დიამეტრი, **D (მმ), დაზიანების საშუალო დამახასიათებელი ზომა **d**, (მმ) და საათური დანაკარგი, **q**-მ³/სთ.**

№	გაზსადენის დიამეტრი, D - მმ	დაზიანების საშუალო ზომა, d-მმ	საათური დანაკარგი, q-მ ³ /სთ
1	530	4	56
2	530	3	31.8
3	530	45	5600
4	530	5	88.5
5	530	12	510
6	530	4	56.6
7	530	4	56.6
8	530	14	560
9	530	160	28393
10	530	7	226.4
11	530	22	1415

12	530	2	14.2
13	530	3	31.8
14	40	2	4.7
15	90	60	5306
16	125	100	11795
17	32	3	10.6
18	160	60	3459
19	110	40	1887.1
20	32	32	170
21	40	25	625.61
22	110	30	375.33
23	110	30	410.1
24	40	20	83.4
25	50	25	2554
26	50	30	512.5
27	50	20	255.05
28	40	25	330.19
29	63	50	417
30	32	32	301.54
31	25	25	695.14
32	110	40	1779.33
33	63	2	55.44
34	63	20	110.88
35	63	12	28
36	530	110	44930.15
37	110	50	486.64
38	32	32	1585.76
39	40	10	13.9
40	110	100	1390.16
41	63	10	160
42	110	32	150.81
43	110	40	311.38
44	50	15	50.05
45	63	30	125.11
46	63	30	110.1
47	32	15	50.05
48	63	25	156.4
49	40	40	133.45
50	63	53	368.01
51	100	20	665.3
52	63	50	347.6
53	40	20	199.59
54	32	5	48.65
55	32	25	86.49
56	63	10	333.6

57	32	10	125.66
58	90	12	100.08
59	40	20	266.12
60	100	15	344.12
61	50	20	997.95
62	40	40	222.41
63	40	40	222.42
64	40	15	37.54
65	63	15	521.35
66	40	25	170.05
67	20	20	55.44
68	40	25	695.13
69	50	50	347.6
70	90	35	136.04
71	50	50	556.16
72	32	32	150.82
73	90	90	3306.09
74	63	15	206.47
75	32	15	680.2
76	110	110	3684.56
77	50	50	347.6
78	25	25	69.51
79	63	10	166.8
80	50	40	444.84
81	32	25	188.51
82	32	5	13.9
83	40	15	122.01
84	32	25	3401
85	50	50	347.6
86	63	25	130.35
87	63	20	815.76
88	40	20	998.9
89	63	32	175.94
90	32	32	136.04
91	50	25	165.53
92	40	15	43.79
93	32	32	376.99
94	63	25	260.16
95	32	20	133.18
96	40	3	1.25
97	25	25	314
98	40	40	202
99	40	40	48
100	273	2,3,20	1420
101	90	25	86

102	63	63	300
103	63	5	66
104	40	25	90
105	25	25	46
106	50	50	90
107	50	3	144
108	40	40	25
109	32	32	442
110	80	3	3
111	40	5	2
112	50	1,1	1
113	50	2	0.5
114	150	2,1	3
115	40	1	1
116	100	2,1	1
117	40	1	1
118	76	2	3
119	25	1	2
120	219	5	3
121	219	5	2
122	150	2	52
123	150	5	1
124	150	2	1.5
125	100	2,1	1
126	25	1	2
127	25	1	2
128	40	1	2
129	80	1	2
130	40	1	2
131	100	5	3
132	150	10	1000
133	89	5	2.5
134	80	20	30
135	63	1	8
136	40	2	6
137	125	1	4
138	110	6	150
139	80	1	3.5
140	40	1	2
141	110	8	35
142	250	10.5	65
143	20	7	25
144	50	4	10
145	20	6	5
146	20	5	5

147	250	12	75
148	20	6	5
149	25	7	6
150	25	4	8
151	25	3	4
152	160	10	55
153	25	6	5
154	250	9	45
155	63	4	8
156	63	4	6
157	90	6	15
158	32	7	25
159	20	3	5
160	20	4	5
161	90	7	20
162	20	7	5
163	50	5	10
164	25	7	20
165	90	6	15
166	50	5	10
167	50	3	5
168	50	4	8
169	250	5	10
170	50	10	10
171	80	7	5
172	63	7	22
173	63	6	20
174	80	7	5
175	25	3	5
176	90	3	5
177	50	8	30
178	63	3	5
179	50	4	6
180	40	3	5
181	90	2	2
182	60	6	15
183	160	17	140
184	63	3	5
185	32	6	15
186	90	6	17
187	20	3	6
188	20	3	6
189	32	2.5	5
190	20	2.5	5
191	20	2.5	5

192	20	3	6
193	25	2.5	5
194	90	5.5	15
195	90	5.5	15
196	50	3	5
197	50	1	15
198	50	2	10
199	200	4	150
200	150	3	45
201	100	3	85
202	80	2	40
203	90	2	25
204	25	1	15
205	150	3	3
206	50	4	20
207	63	3	3
208	50	2	1.5
209	20	3	30
210	500	3	8
211	80	3	1
212	500	3	3
213	100	3	2
214	200	2	1.6
215	25	3	25
216	110	4	20
217	90	6	30
218	200	4	410
219	25	5	25
220	32	2	1.5
221	25	6	10
222	160	4	145
223	20	3	65
224	90	4	40
225	63	2	2
226	63	1	1.5
227	300	3	3
228	32	4	35
229	20	2	2
230	32	1	0.5
231	32	2	5
232	50	1	150
233	300	2	1.5
234	90	4	35
235	20	1	5
236	80	2	8

237	50	3	35
238	50	1	3
239	25	1	3.3
240	100	3	3.5
241	300	6, 2	7
242	63	20	51.3
243	63	20	51.3
244	50	9	10.1
245	25	5	3.1
246	50	5	3.1
247	20	4	2
248	63	3	5
249	20	4	2
250	20	4	2
251	15	3	1.1
252	50	10	12.5
253	63	5	3.1
254	20	3	1.1
255	32	4	2
256	15	2	0.5
257	15	15	28.6
258	32	5	3.1
259	50	4	2
260	40	5	3.1
261	32	5	3.1
262	25	4	2
263	63	8	7.9
264	40	3	1.1
265	40	5	3.1
266	32	7	6
267	15	5	3.1
268	25	4	2
269	63	5	3.1
270	40	3	1.1
271	32	6	4.4
272	90	5	3.1
273	90	10	12.5
274	20	10	55.1
275	90	7	6
276	40	4	2
277	80	8	7.9
278	40	5	3.1
279	32	3	1.1
280	32	5	3.1
281	32	3	1.1

282	63	5	3.1
283	20	2	0.56
284	25	5	3.1
285	32	4	2
286	63	3	1.1
287	15	4	2
288	15	3	1.1
289	70	3	1.1
290	15	3	1.1
291	25	6	4.4
292	50	5	3.1
293	25	3	1.1
294	32	10	12.5
295	32	2	0.5
296	25	3	1.1
297	20	2	0.5
298	40	25	77.7
299	50	2	0.5
300	25	4	2
301	32	3	1.1
302	50	3	1.1
303	63	5	3.1
304	25	5	3.1
305	25	10	12.5
306	32	5	3.1
307	15	3	1.1
308	90	3	1.1
309	32	2	0.5
310	15	8	7.9
311	50	3	3.1
312	20	2	0.5
313	32	4	2
314	20	5	3.1
315	40	3	1.1
316	25	4	2
317	25	3	1.1
318	32	5	3.1
319	15	5	3.1
320	32	3	1.1
321	25	3	1.1
322	25	3	1.1
323	15	2	0.5
324	40	5	3.1
325	50	3	1.1
326	40	2	0.5

327	40	3	1.1
328	40	6	4.4
329	25	6	4.4
330	50	25	77.7
331	50	6	4.4
332	32	40	198
333	15	2	0.5
334	20	10	12.5
335	63	3	1.1
336	50	2	0.5
337	25	5	3.1
338	50	5	3.1
339	15	5	3.1
340	20	3	1.1
341	25	3	1.1
342	63	4	2
343	50	2	0.5
344	15	10	12.5
345	150	50	308
346	40	2	0.5
347	50	2	0.5
348	50	40	198
349	32	10	12.5
350	50	15	28.6
351	50	8	7.9
352	15	6	4.4
353	15	4	2.4
354	40	3	1.1
355	32	15	24.8
356	25	20	51.3
357	25	20	62.9
358	50	20	62.9
359	32	20	62.9
360	25	20	51.3
361	25	15	32
362	90	15	35
363	40	10	13.9
364	32	9	11.3
365	25	10	12.5
366	50	4	2
367	63	15	28.6
368	20	8	7.9
369	20	20	51.3
370	25	7	3.1
371	40	5	5

372	50	5	5
373	50	2	2
374	50	5	3
375	80	25	77
376	50	25	35
377	100	10	65
378	25	25	410
379	100	15	6
380	32	4	11
381	50	2	1
382	25	1	1
383	50	50	308
384	40	3	4
385	50	50	378
386	25	15	30
387	50	8	9
388	32	12	127
389	50	8	8
390	50	5	4
391	80	80	722
392	90	5	16
393	63	63	1.8
394	50	2	8
395	70	40	198
396	25	25	78
397	40	40	198
398	15	5	33
399	40	5	4
400	25	10	13
401	32	20	52
402	100	6	5
403	25	2	5
404	100	5	4
405	20	2	102
406	32		112
407	40	2	3
408	80	6	5
409	50	8	8
410	50	50	308
411	50	8	8
412	50	2	4
413	50	5	4
414	50	40	332
415	50	40	198
416	15	15	28

417	90	8	40
418	32	32	127
419	90	32	800
420	63	50	308
421	50	50	308
422	80	20	51
423	25	1	
424	50	40	221
425	63	25	410
426	20	20	52
427	25	25	193
428	20	20	227
429	25	15	28
430	50	10	13
431	25	2	310
432	50	3	5
433	20	1	8
434	50	50	300
435	50	50	136
436	25	10	55
437	25	1	2
438	63	50	154
439	63	4	10
440	50	5	3
441	32	32	127
442	80	80	397
443	32	32	127
444	32	32	127
445	25	5	12
446	32	10	13
447	20	10	62
448	50	15	29
449	25	25	410
450	25	10	62
451	80	10	13
452	50	1	3
453	50	50	80
454	90	25	465
455	50	50	85
456	40	1.5	56
457	110	50	871
458	20	20	52
459	160	15	773
460	25	15	233
461	25	5	62

462	100	10	43
463	63	25	247
464	100	5	360
465	100	3	210
466	150	4	47
467	80	5	45
468	63	6	51
469	80	8	528

მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს გაზსადენიდან გაზის გამოდინების ხარჯის ანალიზური ფორმულა (და მათი მოდიფიცირება), მიღებული შედეგების დამაჯერებლობა - ნაკლებია. ამის მიზეზი ბევრია, კერძოდ გვაქვს ძირითადად ორი ფაქტორი: ხვრეტის ფორმა (და შესაბამისად მათი ხარჯის კოეფიციენტი) და ხვრეტზე წნევის მნიშვნელობა. ამიტომ ინტეგრალური შედეგის მისაღებად ჩატარდა კორელაციური ანალიზი და განისაზღვრა კორელაციური კავშირი პარამეტრებს q -სა და d/D -ს შორის, კერძოდ კორელაციის კოეფიციენტი.

დროებითი მწკრივის სხვადასხვა ტიპის კომპონენტებისათვის შეიძლება ადგილი ჰქონდეს პერიოდულ მწკრივს. ზოგადად, პერიოდული დამოკიდებულება შეიძლება განისაზღვროს, როგორც გარკვეული კორელაციური დამოკიდებულება მწკრივის i -ურ და $(i-n)$ -ურ ელემენტებს შორის, ვიზუალურად პერიოდულობა კი - როგორც მწკრივის წევრების ქმედება სხვადასხვა დროში. დროებითი მწკრივის პერიოდული მდგენელები შეიძლება განისაზღვროს კორელოგრამების საშუალებით ან, სხვანაირად რიცხვითი ფუნქციის თანამიმდევრობით - ბიჯებით, გარკვეული დიაპაზონისათვის.

დროებითი მწკრივებისათვის საკმარისი აღარ არის მათემატიკური მოლოდინი და დისპერსიის განსაზღვრა, რადგანაც შეიძლება გარკვეულ ბიჯზე ადრე ან გვიან წარმოიქმნას შემთხვევითი სიდიდეები. ამ შემთხვევაში, პროცესის შეფასება ხდება ავტოკორელაციური ანალიზის საშუალებით.

სტატისტიკაში არსებობს ავტოკორელაციის $r(n)$ თეორიული მნიშვნელობის შერჩევითი შეფასება, სასრული დროებითი მწკრივის პროცესით n დაკვირვების მიხედვით. ყველაზე პოპულარულია არაციკლური ავტოკორელაციის კოეფიციენტი, დაგვიანების მიხედვით.

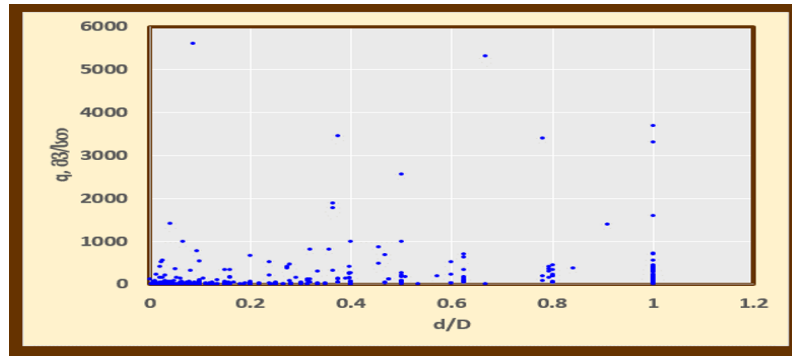
შერჩევითი ავტოკორელაციური ფუნქცია მჭიდროდ დაკავშირებულია მწკრივის სტრუქტურასთან. როგორც წესი, დიაპაზონში ნულიდან 0,3-მდე კორელაცია სუსტია, 0,3 – 0,7 დიაპაზონში - ზომიერი, ხოლო 0,7 – 1,0-მდე – ძლიერი. 0,3 სიდიდის ათვლის კორელაციის კოეფიციენტი, როგორც დეტერმინაციის ინფორმაციის ზომა, წარმოადგენს დისპერსიას 10%-მდე. კორელაცია 0,70 შეადგენს დაახლოებით დისპერსიის 50%-ს. კორელაციის კოეფიციენტის დიაპაზონია -1 -დან $+1$ -მდე [109]. ორ ცვლადს შორის ბმის გაზომვისათვის იყენებენ ურთიერთკორელაციის

კოეფიციენტს:
$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$
, სადაც \bar{x} და \bar{y} წარმოადგენს მათ

მათემატიკურ მოლოდენებს (ანუ საშუალოებს) [109-111].

აღმოჩნდა, რომ პარამეტრებს φ -სა და d/D -ს შორის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია $r_n = 0,0542$, რაც გვიჩვენებს რომ ამ სიდიდეებს შორის კორელაციური კავშირი მეტად სუსტია. ამიტომ გადავიდეთ თვისობრივ ანალიზზე.

ამასთან დაკავშირებით დავადგინოთ φ და d/D პარამეტრების ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქციები. ნახ.42-ზე მოყვანილია φ და d/D ცვლადების ფაზური სივრცე. ცხრილებში 20 და 21-ში მოყვანილია ჰისტოგრამის დასადგენოდ მნიშვნელობები.



ნახ. 42. q და d/D ცვლადების ფაზური სივრცე

ცხრილი 20. d/D ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია

ინტერვალი	ინტერვალის ცენტრი	n_i	n_i / N	ჰისტოგრამა	$f(d/D)$
1	2	3	4	5.000	6
0 - 0,1	0.05	128	0.280088	2.801	2.023534
0,1 - 0,2	0.15	76	0.166302	1.663	1.06378
0,2 - 0,3	0.25	38	0.083151	0.832	0.772811
0,3 - 0,4	0.35	40	0.087527	0.875	0.6573
0,4 - 0,5	0.45	16	0.035011	0.350	0.625
0,5 - 0,6	0.55	15	0.032823	0.328	0.65696
0,6 - 0,7	0.65	15	0.032823	0.328	0.65696
0,7 - 0,8	0.75	14	0.030635	0.306	0.771918
0,8 - 0,9	0.85	30	0.065646	0.656	1.061453
0,9 - 1	0.95	97	0.212254	2.123	2.013661
		N=469			

ცხრილი 21. q ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია

ინტერვალი	ინტერვალის ცენტრი	n_i	n_i / N	ჰისტოგრამა	$f(q)$
1	2	3	4	5.0000	6
0 - 100	50	332	0.768519	0.0077	0.006691
100 - 200	150	40	0.092593	0.0009	0.001917
200 - 300	250	13	0.030093	0.0003	0.000549
300 - 400	350	25	0.05787	0.0006	0.000157
400 - 500	450	10	0.023148	0.0002	4.51E-05
500 - 600	550	6	0.013889	0.0001	1.29E-05
600 - 700	650	6	0.013889	0.0001	3.7E-06
		N=469			

q ხარჯის ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია განისაზღვრება მარტივად - ეს არის ექსპონენციალური ფუნქცია, პარამეტრებით: მათემატიკური მოლოდინი $\mu = 80,15$ მ³/სთ, ინტენსივობა $\lambda = 1/\mu = 0,0125$ (1/მ³/სთ) და საბოლოოდ (ცხრილი 19 და ნახ. 43):

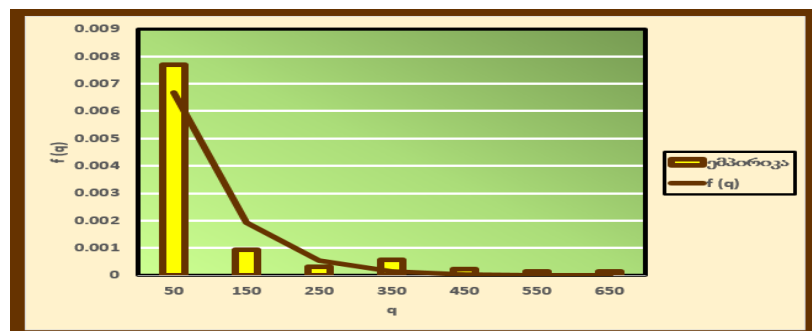
$$f(q) = \lambda e^{-\lambda q} = 0,0125 e^{-0,0125q}. \quad (49)$$

რაც შეეხება პარამეტრს d/D , იგი შესაბამისი ჰისტოგრამისათვის - არასტანდარტულია და საჭიროა სპეციალური ფუნქციის მოძებნა.

საწყის ეტაპზე გადავწყვიტეთ შემდეგი ორი ფუნქცია (ნახ. 44):

$$f(d/D) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{A^2 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}}; \quad (50)$$

$$f(d/D) = A \operatorname{csc}\left(\frac{d/D}{\pi}\right). \quad (51)$$



ნახ. 43. q ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია

ცხადია, რომ ფუნქცია $f(x) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{A^2 - x^2}}$, უფრო მოქნილია და

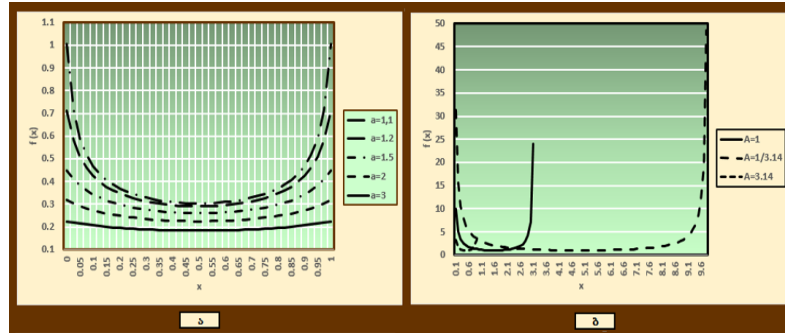
მარტივია მათემატიკური ანალიზისათვის. ამიტომ შევარჩიეთ კოსეკანსის კანონი და აღვნიშნოთ, რომ $x = \frac{d}{D}$. ამიტომ

$$z = f(x) = A \operatorname{csc}\left(\frac{x}{\pi}\right). \quad (52)$$

აუცილებელია, რომ $f(x)$ ფუნქციის ნორმირება, ე.ი. $\int_0^1 f(x)dx = 1$ და საჭიროა

A კოეფიციენტის დადგენა:

$$A \int_0^1 \csc\left(\frac{x}{\pi}\right) dx = 1. \quad (53)$$



ნახ. 44. ფუნქციების გრაფიკები: ა. ფუნქცია $f(x) = \frac{1}{\pi \sqrt{A^2 - x^2}}$; ბ) ფუნქცია $f(x) = A \csc(x)$

ჩავთვალოთ, რომ $AI = 1$, სადაც

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{0.99} \csc\left(\frac{x}{\pi}\right) dx = \left| \begin{array}{l} y = \frac{x}{\pi}; \quad dx = \frac{1}{\pi} dx. \quad x_1 = 0; \quad y_1 = 0 \\ x_2 = 1. \quad y_2 = \frac{1}{\pi} \end{array} \right| = \pi \int_{0.01}^{1/\pi} \csc(y) dy = \\ &= \pi \left[\ln \left| \operatorname{tg}\left(\frac{y}{2}\right) \right| \right]_{0.01}^{1/\pi} = \left| \begin{array}{l} \operatorname{tg}(0,01) = 0,01. \quad \operatorname{tg}(1/\pi) = 0,3297. \\ \ln(0,01) = -4,6052. \quad \ln(0,3297) = -1,1095. \end{array} \right|. \end{aligned} \quad (54)$$

საბოლოოდ ნორმირების კოეფიციენტი ტოლია:

$$A = \frac{1}{I} = \frac{1}{1,1404\pi} = 0,2792, \quad (55)$$

ხოლო ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია საბოლოოდ იღებს შემდეგ სახეს:

$$f(d/D) = 0,2792 \csc\left(\frac{d/D}{\pi}\right). \quad (56)$$

განვსაზღვროთ მიღებული ფუნქციის მათემატიკური მოლოდინი, ე.ი.

გვაქვს:

$$\mu = \int_0^1 \left(\frac{d}{D}\right) f\left(\frac{d}{D}\right) d\left(\frac{d}{D}\right) = 0,2792 \int_0^1 \left(\frac{d}{D}\right) \csc\left(\frac{d/D}{\pi}\right) d\left(\frac{d/D}{\pi}\right). \quad (57)$$

რადგანაც $\csc(x) = \frac{1}{\sin(x)}$, ამიტომ გვექნება:

$$\int_0^1 x \csc\left(\frac{x}{\pi}\right) dx = \left| \begin{array}{l} y = \frac{x}{\pi} \\ x_1 = 0; y_1 = 0 \\ x_2 = 1; y_2 = 1/\pi \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} dx = \pi dy \\ \int_0^{1/\pi} y \csc(y) dy = \pi \int_0^{1/\pi} \frac{y}{\sin y} dy \end{array} \right|$$

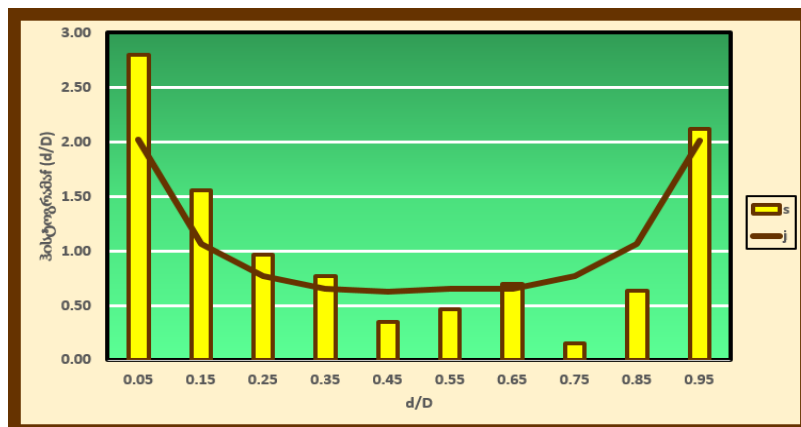
$$\int \frac{x dx}{\sin x} = \left(x + \frac{x^3}{3 \cdot 3!} + \frac{7x^5}{3 \cdot 5 \cdot 5!} + \frac{31x^7}{3 \cdot 7 \cdot 7!} + \frac{127x^9}{3 \cdot 5 \cdot 9!} + \dots \right) + \frac{2(2^{2n-1} - 1)}{(2n+1)!} B_n x^{n+1} + \dots$$

(58)

რადგანაც მიღებული შედეგი მეტად რთულია, ამიტომ მათემატიკურ მოლოდინს ვპოულობთ რიცხვითი მეთოდებით, კერძოდ ონლაინ-კალკულატორით [113]. ამ შემთხვევაში მათემატიკური მოლოდინია $\mu = 1,1271$, ხოლო ნორმირების შემდეგ $A = 1,4851$. საბოლოოდ გვექნება

(ნახ. 45): $f(d/D) = 1,4851 \csc\left(\frac{d/D}{\pi}\right)$.

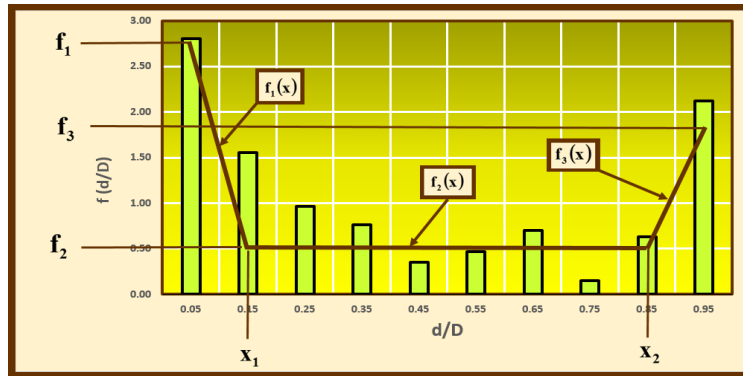
მიღებული შედეგი შესაძლოა გამარტივდეს, ამისათვის მოვახდინოთ კოსეკანსის ფუნქციის აპროქსიმაცია შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქციით. თუ გავითვალისწინებთ ნახ. 46-ზე მოყვანილ აღნიშვნებს მივიღებთ:



ნახ. 45. φ ცვლადების ჰისტოგრამის და ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1\left(\frac{d}{D}\right) = f_1 - \frac{(f_1 - f_2) d}{x_1 D}; \quad (0 \leq x \leq x_1). \\ f_2\left(\frac{d}{D}\right) = f_2 = \text{const}; \quad (x_1 \leq x \leq x_2). \\ f_1\left(\frac{d}{D}\right) = f_2 - \frac{x_2(f_3 - f_2)}{1 - x_2} + \frac{f_3 - f_2}{1 - x_2} \frac{d}{D}; \quad (x_2 \leq x \leq 1.) \end{array} \right. \quad (59)$$

ჩვენ შემთხვევაში, გაანგარიშების შემდეგ მივიღებთ პარამეტრებს: $x_1 = 3,1$; $x_2 = 0,84$; $f_1 = 3,1$; $f_2 = 0,71$; $f_3 = 2,0$. ცხადია, რომ შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქციის ფართობით შემოსაზღვრული სიდიდე უნდა იყოს ერთის ტოლი. ამ შემთხვევაში გვაქვს:



ნახ. 46. შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქციის აპროქსიმაცია

$$S = \frac{(f_1 - f_2)x_1}{2} + x_1 f_2 + (x_2 - x_1)f_2 + f_2 \frac{(f_3 - f_2)(1 - x_2)}{2} + (1 - x_2)f_2 = 1. \quad (60)$$

აქვე აღვნიშნავთ, რომ რადგანაც $\frac{d}{D}$ სიდიდის სრული ინტერვალი ერთის ტოლია, ამიტომ მათემატიკური მოლოდინი რიცხობრივად S ტოლია ($\mu = S / \Delta = S$).

რეალურად, ნორმირების ფართობი ტოლია $S = 1,0044$, ხოლო შესაბამისი მათემატიკური მოლოდინი უდრის $\mu = 1,0044$ (ინტერვალი ერთის ტოლია) და ცდომილება კოსეკანსისა და შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქციებს შორის დაახლოებით 10,89%-ის ტოლია. ამგვარად, გაცილებით უკეთესი შედეგია შუმანის ნაჭრებად-ტეხილი ფუნქცია.

ჩავატაროთ რაოდენობრივ-თვისობრივი ანალიზი. ალბათობა იმისა, თუ როგორ ხდება ფუნქციების ტეხილები შესაბამისად ინტერვალში, ტოლია: 0,31, 0,48 და 0,21. დამრგვალების შემდეგ წილები შემდეგია: 0,3, 0,5 და 0,2.

განვიხილოთ გაჟონვის ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ფუნქცია $f(q) = \lambda e^{-\lambda t} = 0,0125 e^{-0,0125q}$. ამიტომ განვსაზღვროთ ალბათობის განაწილების ინტერვალური მნიშვნელობები. გვექნება:

$$P(q) = \lambda \int_{q_1}^{q_2} e^{-\lambda q} dq = \left| \begin{array}{l} -\lambda q = y; \quad dy = -\lambda dq; \quad dq = -\frac{dy}{\lambda}; \\ y_1 = -\lambda q_1; \quad y_2 = -\lambda q_2. \end{array} \right| = \lambda \cdot \left(-\frac{1}{\lambda} \right) \int_{-\lambda q_1}^{-\lambda q_2} e^y dy =$$

$$= -[e^y]_{-\lambda q_1}^{-\lambda q_2} = -(e^{-\lambda q_2} - e^{-\lambda q_1}) = e^{-\lambda q_1} - e^{-\lambda q_2} \quad (61)$$

რადგანაც მიღებული ალბათობები ტოლია $P_1 = 0,3; P_2 = 0,5; P_3 = 0,2$, ამიტომ შესაბამისად q გვექნება:

$$\begin{cases} q_1 = -\frac{\ln(1 - P_1)}{\lambda}; \\ q_2 = -\frac{\ln(e^{-\lambda q_1} - P_2)}{\lambda}; \\ q_3 = -\frac{\ln(e^{-\lambda q_2} - P_3)}{\lambda}. \end{cases} \quad (62)$$

ამიტომ, შესაბამისად გვექნება: $q_1 = 28,5$ მ³/სთ; $q_2 = 128,8$ მ³/სთ; $q_3 = 792,28$ მ³/სთ.

მიღებული შედეგი ლოგიკურია: მცირე d/D -თვის, შესაბამისად გვაქვს მცირე ხვრეტები, თუმცა ამ სიდიდეებისათვის დანაკარგის ჯამური სიდიდე - საკმაოდ დიდია; ასევე დიდი სიდიდეებისათვის, d/D ახლოსაა ერთთან (შესაძლოა სრული გაგლეჯაც) და თუმცა ხარჯები დიდია - მაინც იშვიათია.

ამგვარად, შესაძლოა პირობითად დავყოთ ჯამური დანაკარგის ოდენობა (და აგრეთვე შესაბამისად დაზიანების მახასიათებელი ზომა) და დაჯგუფება. კერძოდ სამი ჯგუფი შესაბამისი ალბათობით 0,3; 0,5 და 0,2, ალბათობის ინტერვალებს შეესაბამება 30 მ³/სთ, 130 მ³/სთ და 800 მ³/სთ გაჟონვის სიდიდეები.

თავი 5. გაზგამანაწილებელი გაზსადენების არმატურის მტყუნებების აღმოფხვრისას თვისობრივი კრიტერიუმების მეთოდის დადგენა

გაზგამანაწილებელი ქსელის ნაკადების გადანაწილებისას, მნიშვნელოვანია დაზიანებებისა და მძიმე ავარიების შედეგები, ქსელის მოწყობილობის მტყუნების გამო.

გაზსადენების არმატურის მტყუნებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გამოვლინებული ჩამკეტი არმატურის მტყუნებების 50%-მდე წარმოადგენს „კორპუსი-სახურავის“ მილტუჩის გართვის ჰერმეტიულობას და ჩოხალის შესქელებას. ცნობილია, რომ ჩამკეტი არმატურის მტყუნებების ძირითადი მიზეზები შემდეგია: წნევის ქვეშე მყოფი მოწყობილობის კორპუსის სხმული დეტალების დეფექტები; გარე წნევის ქვეშე მყოფი გამორთვის კონსტრუქციის შეერთების დეფექტები და უწივერები; მოწყობილობის გართვის შეერთების შესქელების მასალების ტექნოლოგიის დარღვევა; მოწყობილობის ქარხნული დეფექტები; ძირითადი ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დეტალების ლითონის კოროზიული ზემოქმედება.

გამოვლილი მტყუნებების მიზეზების პრევენცია და აღმოფხვრა წარმოადგენს ჩამკეტი არმატურის საიმედოობის მნიშვნელოვან მიმართულებას.

გაზსადენების არმატურის საიმედოობა შეიქმნება კვანძებისა და დეტალების შესაძლო პოტენციალურად კონსტრუქციული საწარმოო მტყუნებებისას, მათი კრიტიკულობის გათალისწინებით [114,115] და ჰერმეტიულობის დაკარგვა გარე გარემოს მიმართ: ა) რღვევა, ატმოსფეროში გაზის გამოფრქვევა; ბ) შესქელებელი ელემენტის რღვევა; დ) ჰერმეტიულობის დაკარგვა აღმოფხვრელობის მოჭიმვისას.

ჩოხალის შესქელების ჰერმეტიულობის დაკარგვა გარე გარემოს მიმართ, წარმოადგენს:

ე) რღვევა ან ჩოხალის ჰერმეტიული თვისებების დაკარგვა, ატმოსფეროში გარე გარემოს გამოფრქვისას;

ბ) ჩოხალში ჰერმეტიკული დაკარგვა, აღმოუფხვრელობის მოჭიმვისას; ჰერმეტიკულობის დაკარგვა, საკეტში ზედმეტი ზღვრებისას; ფუნქციების „გახსნა-ჩაკეტვის“ შეუსრულებლობა; ამუშავების დროის არათანადობა, დადგენილი ნორმატიული დოკუმენტაციის დროა.

მტყუნება წარმოადგენს არმატურის გარკვეული ელემენტის მწყობრიდან გამოსვლას. მტყუნებები დაყოფილია როგორც სრული, რომლებიც გამორიცხულია ნაკეთობის მუშაობა აღმოუფხვრამდე, და ნაწილობრივი, რომლებიც შესაძლოა მუსაობის ნაწილობრივად გამოყენება.

ჩამკეტი არმატურის სრული მტყუნება შემდეგია: შეუძლებელია „ღია-დაკეტილი“ პოზიციების გადაადგილების შეუძლებლობა; ობიექტების საკეტით მუშაობის შეუძლებლობა გაზის გადატარებისას; გაზის გატარება გარე შესქელებლით (ჩოხალი, ფლანცები) ან ძირითადი ლითონით (სვიშები), რომლებიც ქმნის საშიშროებას პერსონალისათვის ან იწვევს მოწყობილობის არაადგენის ცვეთას.

პრევენციული არმატურისა: სარქველების არაამუშავება წნევის დადგენილი ზღვრების გაზრდა; სარქველების ჩაუკეტვა წნევის შემცირებისას დადგენილი ზღვრებისას, რის გამოც შეუძლებელია დაცული ობიექტების ფუნქციონირება.

მარეგულიების არმატურისათვის: უწესივრები, რომლებიც იწვევს ობიექტების პარამეტრების ცვლილების და რეგულირების მახასიათებლების პირობების რეგულირების შეუძლებლობა.

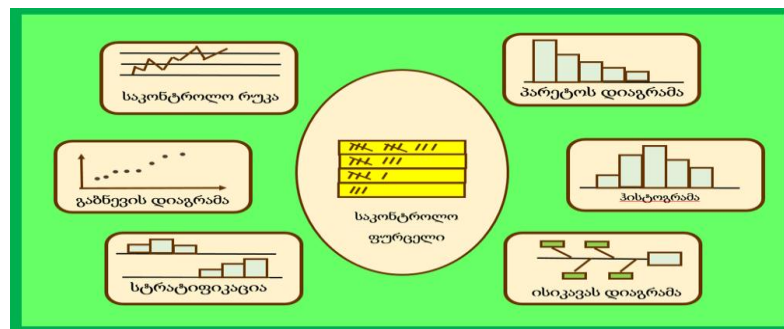
ნაწილობრივი მტყუნები: გაზის გადატარება საკეტით, რაც იწვევს მუშაობის არა ეკონომიურობას, მაგრამ არ აფერხებს ობიექტების ფუნქციონირებას და ა.შ (ცხრილი 22).

ცხრილი 22. სამილსადენო არმატურისა და ამძრავის დამახასიათებელი უწყესივრობები

უწყესივრობა	შესაძლო მიზეზი
გარემოს გადატარება არმატურის ჩამკეტი ორგანოს ჩაკეტვისას	1. ჰერმეტიკის რღვევა ცვეთის, დაზიანების, კორპუსის და ჩამკეტი ორგანოს ზედაპირის შემასქელებლების (თეფში, სოლი, დისკი) გამო
	2. არასაკმარისი ძალვა მქნევარაზე (საანგარიშოზე მეტი)
	3. ამძრავის მიერ განვითარებული უსაკმარისო მბრუნავი მომენტი
ჩოხალის მიერ გარემოს გადატარება	1. ჩოხალის შესქელება დატენის უსაკმარისი
	2. ჩოხალის დატენის ცვეთა
	2. შპინდელის (ჭოკის) ზედაპირის დაზიანება
კორპუსის დეტალების ჟონვა ან შენამვა	სხმულის დეფექტები. სიცარიელის, ფორების, ნიჟარების, ბზარების, სვიშების დეფექტები
კორპუსსა და სახურავს შორის შეერთებაში გარემოს გადატარება	1. შპილის შეერთების უსაკმარისი მოჭიმვა, ჰერმეტიკის დაკარგვისთან დაკავშირებით
	2. საშორის დაზიანება
	3. კორპუსსა და სახურავის მილტუჩის დაზიანებული ზედაპირის შესქელებლები
ჩამკეტი (მარეგულირებელი) ორგანოს დაგვიანებითი გადაადგილება და გაზრდილი მომენტი	1. მიმართული სოლების (დისკი, შიბერი) დაზიანება
	2. მილისის ტრაპეციული კუთხვილის ან შპინდელის დაზიანება
	3. მიმართველებში მყარი ნაწილაკების დალექვა
ჩამკეტი (მარეგულირებელი) ორგანოს გადაადგილების სრული არარსებობა	ამძრავის მართვის საკეტის დეტალის (შპინდელის, სავალი ქანჩის, კბილანის და ა.შ.) დამტვრევა

5.1. მოხმარების კონტროლის ხარისხის შვიდი სტატისტიკური ინსტრუმენტი

განვიხილოთ ჩვენს მიერ შემუშავებულია მოხმარების კონტროლის ხარისხის მეთოდის პრაქტიკული სისტემა, რომელიც შეიცავს შვიდ მეთოდს (ნახ. 47) [116].



ნახ. 47. მოხმარების კონტროლის ხარისხის შვიდი სტატისტიკური ინსტრუმენტი

5.1.1. საკონტროლო ფურცელი

გაზგამანაწილებელი ქსელების ექსპლუატაციის ხდება გარკვეული ნორმალური პროცესის გადახრები, რისთვისაც აუცილებელია საჭიროა მოწყობილობის კონკრეტული გაზომვები, შემუშავდეს მონაცემების შეკრებისა და რეგისტრაციის მეთოდი. პრაქტიკაში გამოიყენება შემდეგი სახის საკონტროლო ფურცელები: საწარმოო პროცესში გასაზომი პარამეტრის რეგისტრაციის საკონტროლო ფურცელები; სხვადასხვა არათანადობის სახეობის საკონტროლო ფურცელები; ტექნოლოგიური პროცესის მუშაუნარიანობის შეფასების საკონტროლო ფურცელები და აშ.

საკონტროლო ფურცელების გამოყენების მიზანია შემდეგში: 1. საწარმოო პროცესის კონტროლი და რეგულირება; 2. დადგენილი მოთხოვნების გადახრების ანალიზი.

ნახ. 48-ზე მოყვანილია საკონტროლო ფურცელის რეგისტრაციის მაგალითი:

ხდომილების რაოდენობა	რეგისტრაცია
1	I
2	II
3	III
4	IIII
5	IIII I
6	IIII II
7	IIII III
8	IIII IIII
9	IIII IIII I
10	IIII IIII II
11	IIII IIII III

ნახ. 48. საკონტროლო ფურცელის რეგისტრაციის მაგალითი

5.1.2. პარეტოს დიაგრამა

დ.მ. ჯურანმა [116] გამოიყენა დაზიანების მიზეზების დიფერენცირების პარეტოს დიაგრამა, სადაც წარმოჩინდება არაარსებითი და იშვიათი, თუმცა მეტად მნიშვნელოვანი არსებითი დაზიანები. აღმოჩნდა, რომ პრევალირებული დაზიანებები დაკავშირებულია დანაკარგებთან, რის გამო წარმოიქმნება მიზეზების ფარდობითი რაოდენობა.

პარეტოს დიაგრამა წარმოადგენს ისეთ ინსტრუმენტს, რომელიც გვაძლევს შექმნილი პრობლემის გადაწყვეტილების განაწილებას და გამოავლინოს ძირითადი პრობლემა [116]. პარეტოს დიაგრამის ღირსება მდგომარეობს იმაში, რომ იგი გვიჩვენებს თვითეული მიზეზის გავლენა პრობლემის ზოგად სურათს. პარეტოს დიაგრამის აგების ეტაპები შემდეგშია (განიხილება რეალური შემთხვევა, კერძოდ გაზსადენების არმატურის დაზიანების შემთხვევები, ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფელის მაგალითზე):

1. გროვდება მონაცემები (მაგალითად ერთი წლის პერიოდი), რომლისთვისაც გამოვლინდება თვითეული ელემენტის დაზიანებები, ხოლო შემდეგ გაანგარიშდება დანაკარგების ჯამს თვითეულისათვის ცალკე-ცალკე. მონაცემების შეგროვება შესაძლოა განხორციელდეს სპეციალურად შექმნილი საკონტროლო ფურცლის მიხედვით.

2. შემუშავდება ცხრილის ბლანკი (ცხრილი 23), სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებისათვის.

3. ცხრილში დაზიანების სახეები ლაგდება დანაკარგის ჯამის შემცირებით, ისე რომ ბოლოში იყოს ისეთი სახეები რომლებსაც შეესაბამება ნაკლები დანაკარგები. სულ ბოლოში განიხილება ისეთი სახის დაზიანებები, რომლებში შედის ჯგუფში სათაურით „სხვადასხვა“, რადგანაც დანაკარგის ზარალი უფრო ნაკლებია, ვიდრე ცალკე შექმნილი ერთტიპიური დაზიანებების სიმცირე ცალკე ჯგუფში.

4. შეივსება ცხრილი (ცხრილი 23).

ცხრილი 23. მონაცემების პარეტოს დიაგრამის აგება

წუ- ნის სა- ხე	დაზიანე- ბების რა- ოდენობა	წუნის დანა- კარგი ერთი ერთეული- სათვის, 100\$	დაზიანების მოცემული სახის საერთო ჯამი, 100\$	დანაკარგის წილის დანა- კარგის წილი საერთო რაოდენობაში, %	კუმულატიური (ინტეგრალუ- რი) დანაკარგი, %
1	10	15,9	159	13	53
2	5	10,2	51	17	70
3	8	4,5	36	12	82
4	6	4	24	8	90
5	5	2,4	12	4	94
სხვ ად ასხ ვა	4	-	18	6	100
ჯამ ი	38	-	300	100	-

5. ავაგოთ ერთი ჰორიზონტალური და ორი ვერტიკალური ღერძი: ჰორიზონტალური ღერძი დავყოთ ინტერვალებათ, ჯგუფების ტიპის დაზიანებების რაოდენობის შესაბამისად (ინტერვალების სიგანე უნდა იყოს ერთნაირი, თუმცა, ზოგადად, ამ ზომას მნიშვნელობა არ გააჩნია); მარცხნივ ვერტიკალურ ღერძზე დავიტანოთ შკალა ინტერვალებით 0-დან შესაბამის წუნის დანაკარგის საერთო ჯამის რაოდენამდე; მარჯვნივ ვერტიკალურ ღერძზე დავიტანოთ შკალა ინტერვალებით 0-დან 100%-მდე;

6. ავადკეთი სვეტური დიაგრამა (ჰისტოგრამა), სადაც დაზიანების ტიპს შეესაბამება საკუთარი მართკუთხედი, რომლის სიმაღლე შეესაბამება ამ ტიპის დაზიანების დანაკარგის ზარალს (სვეტი 4, ცხრილი 22).

7. ცხრილი 22-ის მე-6 სვეტის შესაბამისად აიგება კუმულატური წირი.

8. დიაგრამაზე დატანილია დაზიანების დანაკარგის ზარალის პროცენტი კუმულატურ წირზე.

პარეტოს დიაგრამის აგების მაგალითი ნაჩვენებია ნახ. 49-ზე.

პარეტოს დიაგრამა წარმოადგენს პრობლემის ისეთი გადაწყვეტილების ინსტრუმენტის ძალისხმევას, რომლის დროს უნდა განისაზღვროს კვანძური გადახრები. წესი „80-20“ - წარმოადგენს პარეტოს გრაფიკის საფუძველს და გვიჩვენებს, რომ მიზეზების 20% შეესაბამება 80%-ის დანარჩენ პრობლემებს.

აღნიშნული პრობლემა იწყება მიზეზების წარმოქმნის დალაგება სხვადასხვა დაზიანებისათვის, იმისათვის რომ გამოვავლინოთ არსებითი დაზიანებები, ანუ ისეთები რომლებიც გვაძლევს უდიდეს დანახარჯებს. ამისათვის აიგება პარეტოს დიაგრამა და ხდება მისი ანალიზი.

განასხვავენ პარეტოს დიაგრამის ორ სახეს:

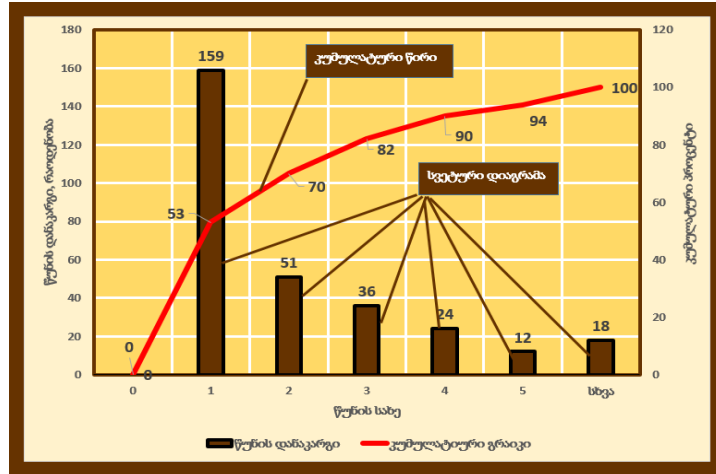
1. საქმიანობის შედეგების მიხედვით:

აღნიშნული პრობლემა გამოიყენება იმისათვის, რომ გამოვავლინოთ ძირითადი პრობლემა და დავაკავშიროთ საქმიანობის უარყოფითი შედეგების ასახვასთან: პროდუქტის ან მომსახურეობის ხარისხი (დაზიანებები, მტყუნებები, დეფექტები, შეცდომები და ა.შ.); მომსახურეობის ხარისხი (დანახარჯები, დანაკარგის მოცულობა); მიწოდების ვადების ხარისხი; საწარმო მუშაობის უსაფრთხოება (შეცდომები, ავარიები, უბედური შემთხვევები და ა.შ.).

2. მიზეზების მიხედვით (ფაქტორები):

ეს დიაგრამა გვიჩვენებს გადახრების ისეთ მიზეზებს, რომლებიც წარმოიქმნება წარმოებაში: ბრიგადა, კვალიფიკაცია, ასაკი, მუშაობის გამოცდილება, ინდივიდუალური მანასიათებლები; მოწყობილობა

(ინსტრუმენტები, დაზგები, აგრეგატები, მოდელები და ა.შ.); მასალები და ნედლეული; გაზომვები: სიზუსტე, განმეორებადობა, სტაბილურობა, გამზომი ხელსაწყო მუშაობა და ა.შ.



ნახ. 49. პარეტოს დიაგრამა

პარეტოს დიაგრამას ანალიზი წარმოებს ე.წ. ABC ანალიზის საშუალებით. ანალიზის მიზანია: წარმოჩინდეს პირველი რიგის, პრევალირებული გადაწყვეტილება, პრიორიტეტების მიხედვით. ჯგუფების რაოდენობა ABC-ანალიზისათვის შეიძლება იყოს ნებისმიერი, თუმცა ყველაზე ხშირია სამი ჯგუფის ერთობლიობა: A, B და C (ABC Analysis).

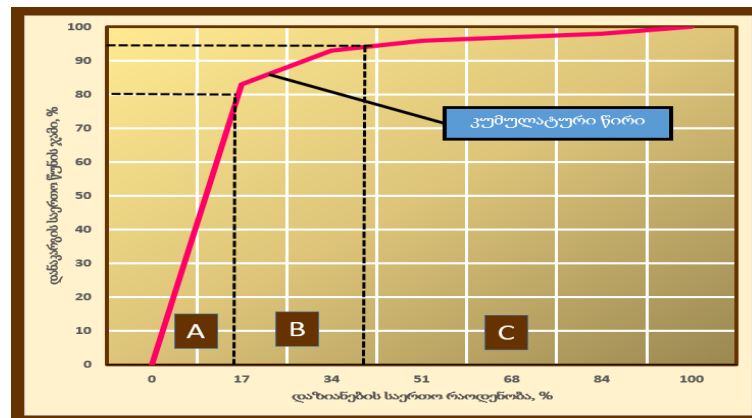
ჯგუფი A - დაზიანების ტიპების რაოდენობა - უმნიშვნელოა და მათზე მოდის ყველაზე მეტი დანაკარგები. ჯგუფი B - ჯგუფის საშუალო რაოდენობა, რომელსაც შეესაბამება საშუალო ჯამურ ზარალს; ჯგუფი C - დაზიანების ტიპების რაოდენობის ზარალი მეტია, თუმცა ჯამური დანაკარგები უმნიშვნელოა.

რომ ჩავატაროთ ღირებულებითი ანალიზი მივიღებთ, რომ A ჯგუფში მოდის სრული დანახარჯების 70-80%, B ჯგუფში - 10-25%, ხოლო C ჯგუფში - 5-10%. ამგვარად ლოგიკურია, რომ კონტროლი (ანუ შესაბამისი გადაწყვეტილება) A ჯგუფისათვის უნდა იყოს მაქსიმალურად ხისტი, ხოლო C ჯგუფისათვის - მაქსიმალურად გამარტივებული (ნახ. 50)

ABC ანალიზის ეკონომიკური არსი იმაშია, რომ მაქსიმალური ეფექტი მიიღება ჯგუფი A-ს პრობლემის გადაწყვეტა. ABC ანალიზის გრაფიკული ინტერპრეტაცია ნაჩვენებია ნახ. 50-ზე.

5.1.3. ისიკავას მიზეზობრივ-შედეგობრივი დიაგრამა

ნებისმიერი ტექნიკური ობიექტის ექსპლუატაციის საბოლოო შედეგი დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომელთა შორის არსებობს „მიზეზობრივ-შედეგობრივი“ დამოკიდებულება. სისტემატური დაკვირვებების მეთოდის გამოყენებით, შესაძლოა განვსაზღვროთ ამ დამოკიდებულების ხასიათი და სტრუქტურა, იმ ფაქტორების დადგენა, რომლის გავლენით მიიღება ისიკავას „მიზეზობრივ-შედეგობრივის“ დიაგრამები. ამ დიაგრამას ხშირად „თევზის ჩონჩხი“ ეწოდება [116].



ნახ. 50. ABC ანალიზის გრაფიკული ინტერპრეტაცია

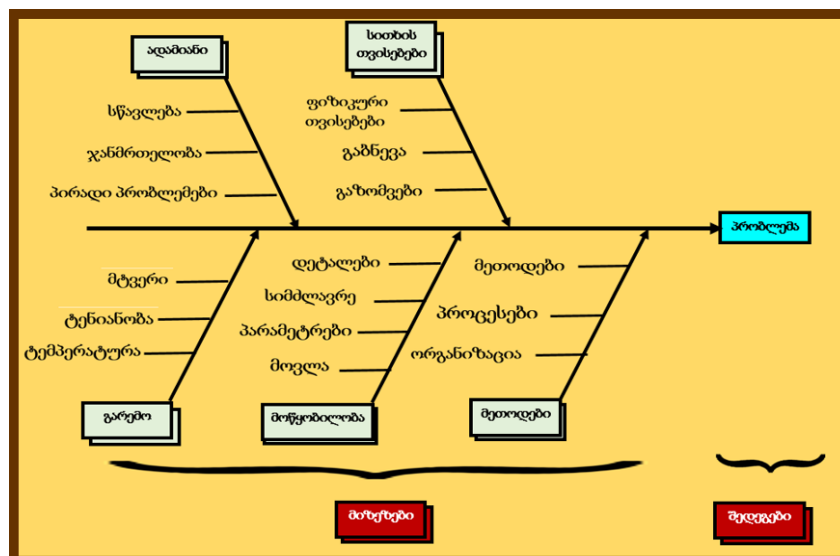
ისიკავას დიაგრამების შექმნა გვიჩვენებს საბოლოო შედეგის თვისობრივ მახასიათებლს და ფაქტორულ მახასიათებლებს (მაგალითი, ნახ. 51).

განვიხილოთ აღნიშნული დიაგრამის აგება:

1. აუცილებელია შემუშავდეს პრობლემის მკაფიო ფორმულირება;
2. ძირითადი ჰორიზონტალური ხერხემალი მიმართულია ჰორიზომტალი წრფეს გასწვრივ;

3. დაიტანება მთავარი მიზეზები (პირველი რიგის დონეები), რომლებსაც გააჩნია გავლენა პრობლემაზე - „დიდი ძვლები“. ისინი დაიტანება ჩარჩოებში და შეერთებულია დახრილი ისრებით „ხერხემალთან“;

4. შემდეგ დაიტანება მეორადი მიზეზები (მეორე რიგის დონეები), რომლებსაც გააჩნია გავლენა მეორადი მიზეზების შედეგებზე. მეორადი მიზეზები ჩაიწერება და მდებარეობს „საშუალო ძვლების“ სახით, როლმებიც ერთდება „დიდთან“. მესამე რიგის დონეები, რომლებსაც გააჩნია გავლენა მეორე რიგის დონეებზე და ერთდება „მცირე ძვლების“ შეერთება „საშუალოებთან“ და ა.შ.



ნახ. 51. ისიკავას „მიზეზობრივ-შედეგობრივი“ დიაგრამის მაგალითი

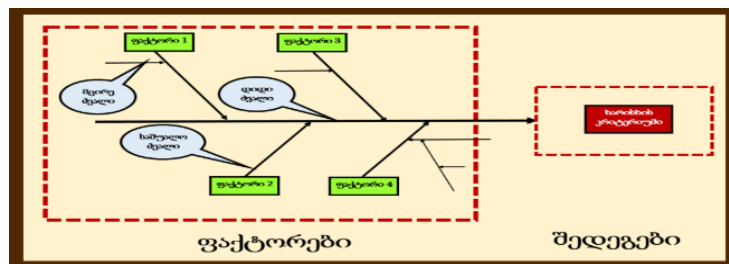
5. ანალიზისას, უნდა წარმოჩინდეს და დაფიქსირდეს ყველა ფაქტორი, მათ შორის უმნიშვნელო ფაქტორი, რადგანაც სქემის მიზანია მოიძებნოს ყველაზე „ჭეშმარიტი“ გზა და პრობლემის გადაწყვეტის ეფექტური ხერხი.

6. მიზეზები (ფაქტორები) შეფასდება და რანჟირდება მნიშვნელობის მიხედვით, გამოიყოფა რა ყველაზე მნიშვნელოვანი, რაც გვაძლევს საუკეთესო თვისობრივ მახასიათებელზე.

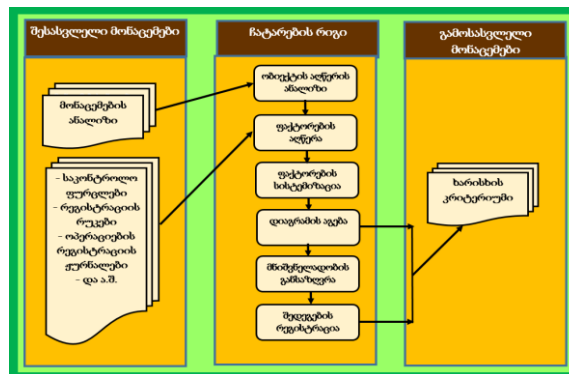
თვისობრივი ანალიზისათვის მოვყანილია ნახ. 52, 53 და 54.

5.1.4. ჰისტოგრამა

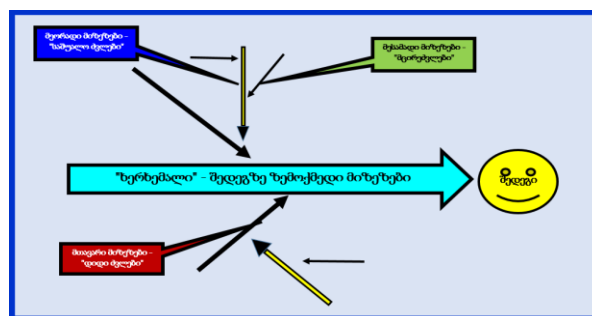
პროცესის დაკვირვების პარამეტრების ცვლილების თვალსაჩინო გამოყენება წარმოდგენს სტატისტიკური მონაცემების გრაფიკულ წარმოსახვას. ყველაზე გავრცელებული გრაფიკი, რომლისათვისაც გამოიყენება შემთხვევითი სიდიდის განაწილებას, რომლის დროს ხდება თვისობრივი კონტროლს - ჰისტოგრამა (ნახ. 55).



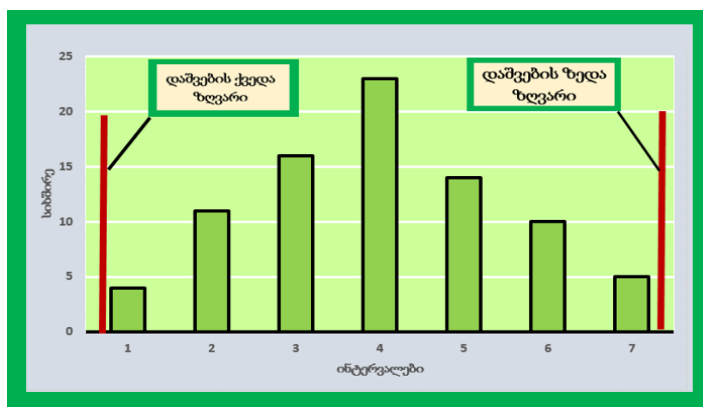
ნახ. 52. „მიზეზობრივ-შედეგობრივი“ დიაგრამის სტრუქტურა



ნახ. 53. მტყუნებების ფაქტორების ხარისხობრივი ანალიზის სქემა



ნახ. 54. მიზეზობრივ-შედეგობრივი ისიკავას დიაგრამის აგება: „პრობლემების ხე“ ანუ „თევზის ჩონჩხი“



ნახ. 55. ჰისტოგრამის აგება დასაშვები ზღვრების შესაბამისად

5.1.5. განხვევის დიაგრამა

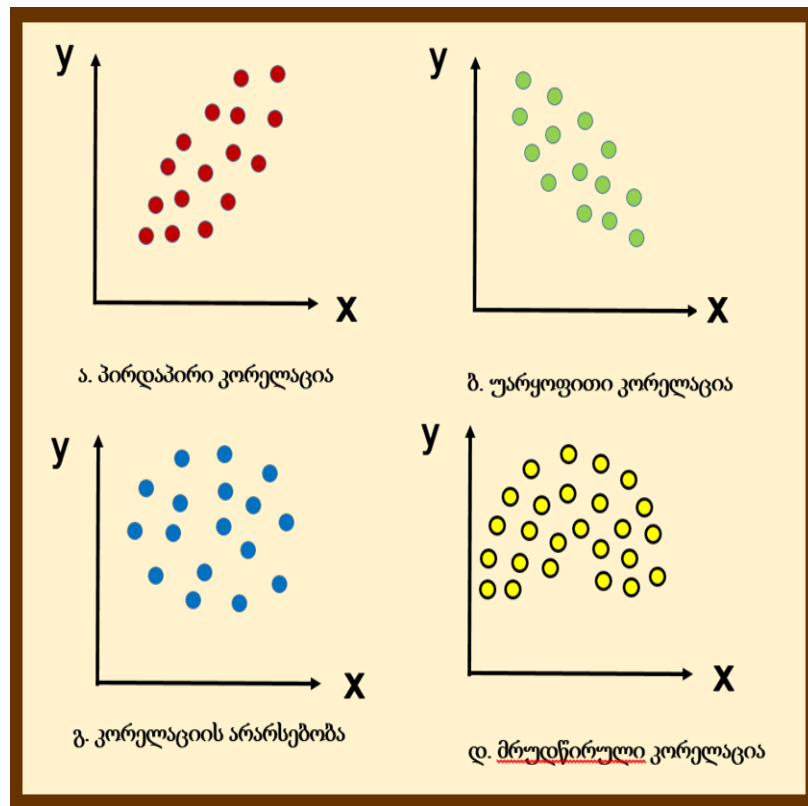
განხვევის დიაგრამა წარმოადგენს თვისების კონტროლის ინსტრუმენტს, რომლებიც წარმოჩინდება ორი სახის მონაცენებს შორის ურთიერთკავშირი. ასეთი დიაგრამა განხვევის საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს გარკვეული თვისობრივი პარამეტრის დამოკიდებულება და შემოქმედება ფაქტორზე.

კორელაციის ხარისხი, ანუ კავშირი მონაცემებს შორის გვაქვს ოთხნაირი: პირდაპირი კორელაცია: თუ X იზრდება, მაშინ Y იზრდება; უარყოფითი კორელაცია: თუ X იზრდება, მაშინ Y მცირდება; კორელაციის არარსებობა, კავშირი არარსებობა; მრუდწირული კორელაცია. ცვლადების არაწრფივი ცვლილება - პირველი ცვლადის ცვლილების ტემპი უფრო სწრაფია, ვიდრე მეორე (ნახ. 56).

5.1.6. კონტროლის გრაფიკი

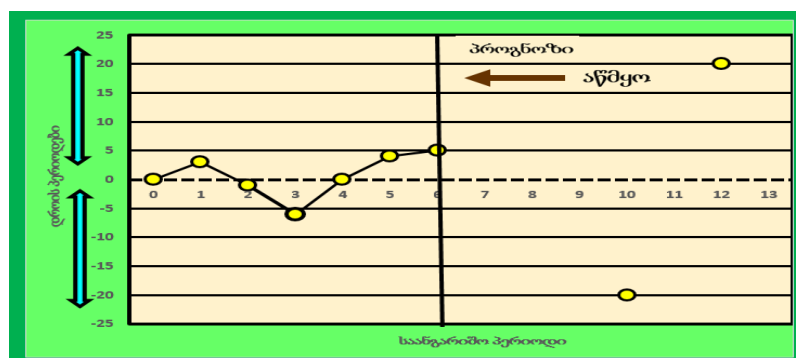
კონტროლის გრაფიკი წარმოადგენს წრფივ გრაფიკს, რომელიც გამოიყენება მიმართულებების აუცილებლობა ან პროცესის შესრულებული ქმედების გარკვეული დროის პერიოდში. ამ დროს გამოიყენება დაკვირვება

გადახრების გავლენის პროცესის მდგრადობაზე, გარკვეულ ზღვრებში [117,118].



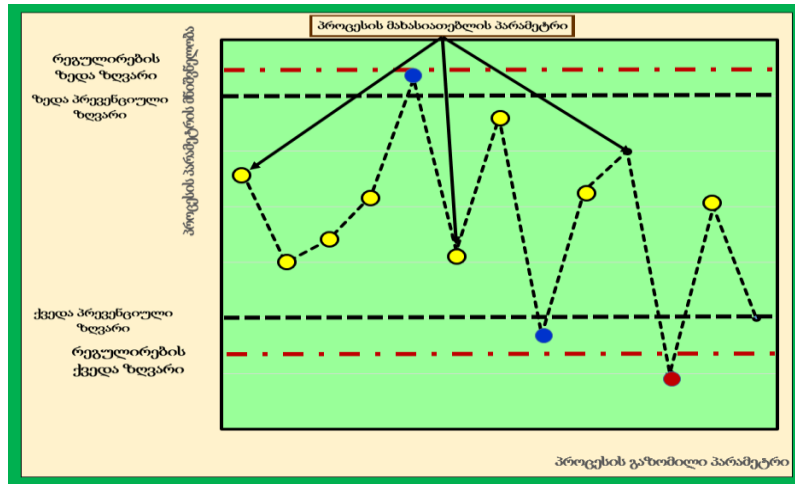
ნახ. 56. განხვევის დიაგრამის აგება სხვადასხვა კავშირების შესაბამისად

გრაფიკები კარგად გვიჩვენებს რაოდენობრივი მონაცემების ვიზუალს და ამარტივებს მათ ანალიზს (ნახ. 57).



ნახ. 57. კონტროლის გრაფიკი

ნახ. 58-ზე ნჩვენებია კონტროლის რუკა.



ნახ. 58. შუხარტის კონტროლის რუკა

5.1.7. ექსპერტული ანალიზი

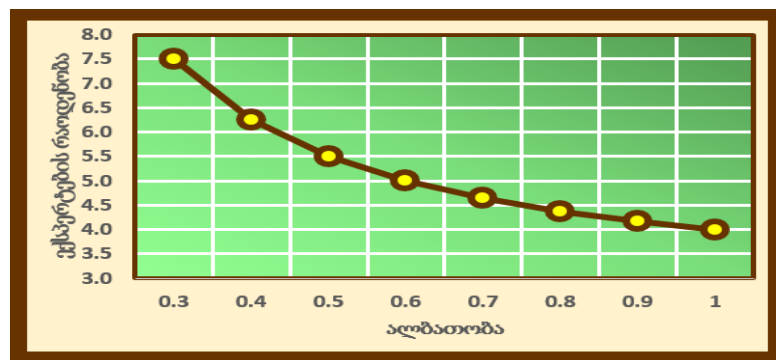
ნებისმიერი ტექნიკური ობიექტის თვისობრივი მართვა (ხარისხის კრიტერიუმები), შემოქმედით პროცესს წარმოადგენს. იმისათვის, რომ მივიღოთ ადეკვატური შედეგი, ამიტომ აუცილებელია ობიექტის ყველა სამსახურები მუშაობდეს მკაფიოდ და აუცილებელია ყველა მონაცემების აღწერა. თუმცა, პროცესის აღწერისას შესაძლოა აპრიორი მოხდეს გარკვეული ფაქტორის უგულვებელყოფა. გარდა ამისა, უნდა მოხდეს სავარაუდო კვალიფიციური ექსპერტების მოწვევა. მაგალითად, თუ ვიხილავთ გაზგამანაწილებელ ქსელს და არ გავითვალისწინოთ ბუნებრივი გაზის ოდორანტის დამატებას, იგი შეიძლება სქემაში ფაქტორის შეტანა, ან არა. იგივე ოდორანტის შერევა ხდება ტრანსპორტირების სისტემის პრეროგატივაა, თუმცა გაზის ხარისხის კონტროლი სასურველია [119]. ამგვარად, ჩვენი მიზანია მოვახდინოთ სისტემის ფაქტორების რანჟირება, ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორების გამოყოფა, რომლების მართვა უნდა მოხდეს პირველ რიგში, ხოლო დანარჩენები (შესაბამისი რანჟირებით) გეგმიური დათვალეირებით. არსებობს საექსპერტო შეფასების ორი ჯგუფი: ინდივიდუალური შეფასებები - დაფუძნებული ერთმანეთისაგან, დამოუკიდებელი ცალკეული ექსპერტების თვალსაზრისზე; კოლექტიური

შეფასებები დაფუძნებულია ექსპერტების კოლექტიურ თვალსაზრისზე. ერთობლივი თვალსაზრისებს გააჩნია უფრო სიზუსტე, ვიდრე ცალკეული სპეციალისტების ინდივიდუალური თვალსაზრისი. ასეთი მეთოდი გამოიყენება ხარისხობრივი მახასიათებლებისა და თვისებების რაოდენობრივი შეფასების მისაღებად. ექსპერტების რაოდენობა უნდა გავითვალისწინებთ: თუ ექსპერტების რაოდენობა მცირეა, მაშინ ამ რაოდენობას გააჩნია ზედმეტი შეფასება თვითთელი ექსპერტისათვის; ხოლო თუ ექსპერტების რაოდენობა დიდია, მაშინ ძნელია შემუშავდეს ისეთი ექსპერტების რაოდენობა, რომელიც ხშირად ამცირებს შეცდომას. ექსპერტების რაოდენობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით (ნახ. 59) [120]:

$$N = 0,5 \cdot (3/b + 5), \tag{63}$$

როდესაც $b = 0,7$, მაშინ $N = 4,65 \approx 5$.

შერჩეული ექსპერტების კანდიდატები, მიუხედავად დამოუკიდებელი შერჩეული ხერხისა, უნდა შესაბამობდეს გარკვეულ მოთხოვნებს, კერძოდ: პროფესიანულური კომპეტენტობა და მართვის პრაქტიკული და თეორიული გამოცდილება; კრეატიულობა (შემოქმედითი ამოცანების ამოხსნის თვისება), სამეცნიერო ინტუიცია; საექსპერტო სამუშაოს ობიექტური შედეგების ინტერესი; აზროვნების დამოუკიდებლობა; მოქმედების მოტივაცია, კომუნიკალობა; ობიექტურობა; არა კონფორმიზმი; საერთო მაღალი ერუდიცია.



ნახ. 59. ექსპერტების რაოდენობა, დანიშნული ალბათობაზე დამოკიდებულება

მარტივი რანჟირების მეთოდი მდგომარეობს იმაში, რომ თვითეული ექსპერტი ახდენს საკუთარი განლაგებას ფაქტორების თვისებას (ცხრილი 24)

ცხრილი 24. ექსპერტული ანალიზი ბალების მიხედვით

	1	2	...	j	...	m	S_m
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}	$\sum_1^m a_{1m} / m$
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}	$\sum_1^m a_{2m} / m$
...
i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{im}	$\sum_1^m a_{im} / m$
...
n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nm}	$\sum_1^m a_{nm} / m$

სადაც a_{ij} არის ექსპერტის შეფასება; n - თვისებების (ფაქტორების) რაოდენობა; m - ექსპერტების რაოდენობა; S_m - ფაქტორის მნიშვნელადობის საშუალო მნიშვნელობა.

განვიხილოთ საექსპერტო შეფასების დამაჯერებლობის განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ინფორმაციის დამუშავების მეთოდზე [121-123].

ექსპერტი, თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების თანახმად, ღებულობს ბალებს, 0-დან 10-მდე. საექსპერტო ჯგუფის შეფასებები სისტემატიზირდება და მიიღება ხარისხობრივი კრიტერიუმის დასადგენად (ცხრილი 25):

ცხრილი 25. ხარისხობრივი კრიტერიუმის გაანგარიშება

ფაქტორი	ექსპერტის შეფასება $N(y_i)$					$\sum_{i=1}^n y_i$	\bar{y}	$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	D	K
	1	2	3	...	n					

ხარისხობრივი კრიტერიუმის მნიშვნელობა განისაზღვრება

ფორმულით [123]:

$$K = 10 \lg \left(\frac{\bar{y}^2}{D} \right), \quad (64)$$

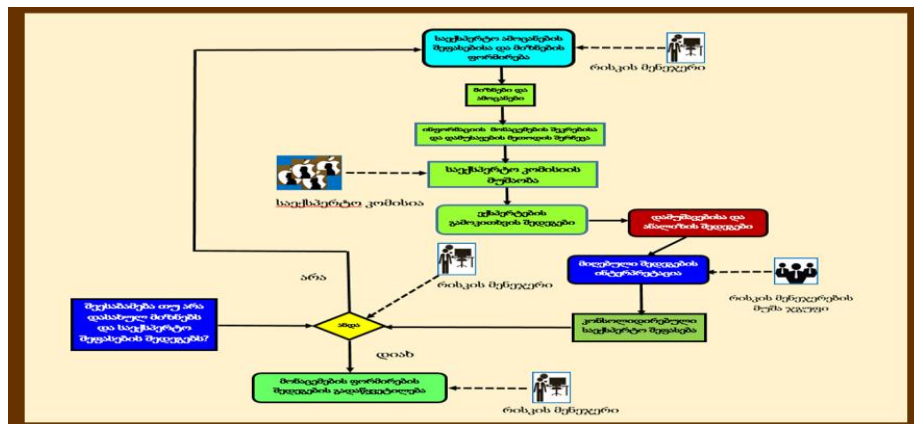
სადაც \bar{y} არის მათემატიკური მოლოდინი; D - დისპერსია, რომელიც განისაზღვრება

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (65)$$

სადაც y_i არის ექსპერტის შეფასება; n - ექსპერტების რაოდენობა.

რაც უფრო მეტია კრიტერიუმი, მით უფრო მნიშვნელოვანია ხარისხის მართვა და კონტროლი.

საბოლოო, მიღებულია ექსპერტული ანალიზის სქემა, რომლის საშუალებით გათვალისწინებულია ყველა, შესაძლო სიტუაცია (ნახ. 60).

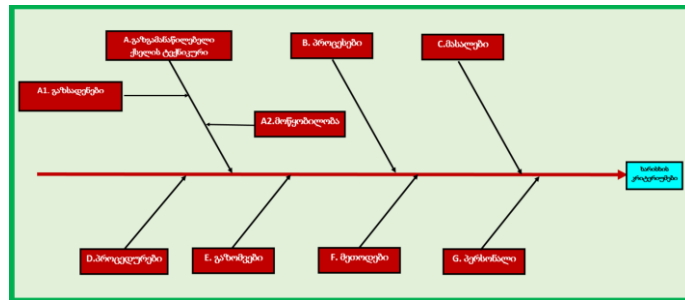


ნახ. 60. ექსპერტული ანალიზის სქემა

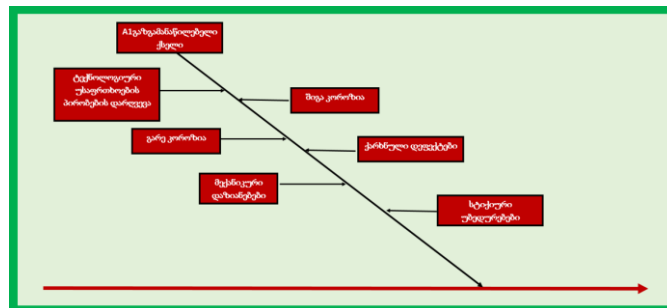
5.2. გაზგამანწილებელი ქსელის თვისობრივი კრიტერიუმების დადგენა, ისიკავას დიაგრამის მიხედვით.

ისიკავას დიაგრამის მიხედვით, გაზგამანწილებელი ქსელის თვისობრივი კრიტერიუმების დადგენისათვის, „თევზის ჩონჩხის“ ხერხემალის შესაბამისად უნდა დავიტანოთ ყველა შესაძლო ძირითადი

ფაქტორი, რაც წარმოადგენს (ნახ. 61): A. გაზგამანწილებელი ქსელის ტენიკური მდგომარეობა: A1. გაზსადენები; A2. მოწყობილობები; B. პროცესები; C. მასალები; D. პროცედურები; E. გაზომვები; F. მეთოდები (ტექნოლოგიები). G. პერსონალი;



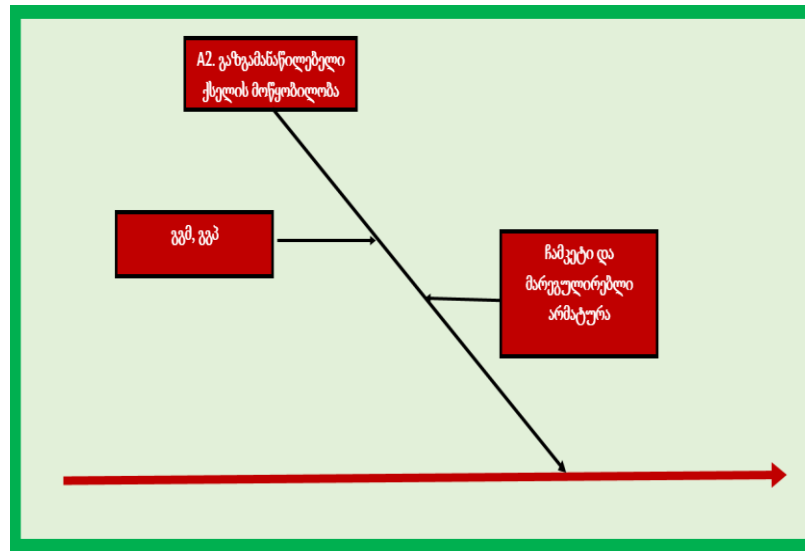
ნახ. 61. გაზგამანწილებელი ქსელის თვისობრივი კრიტერიუმები - ისიკავას დიაგრამა



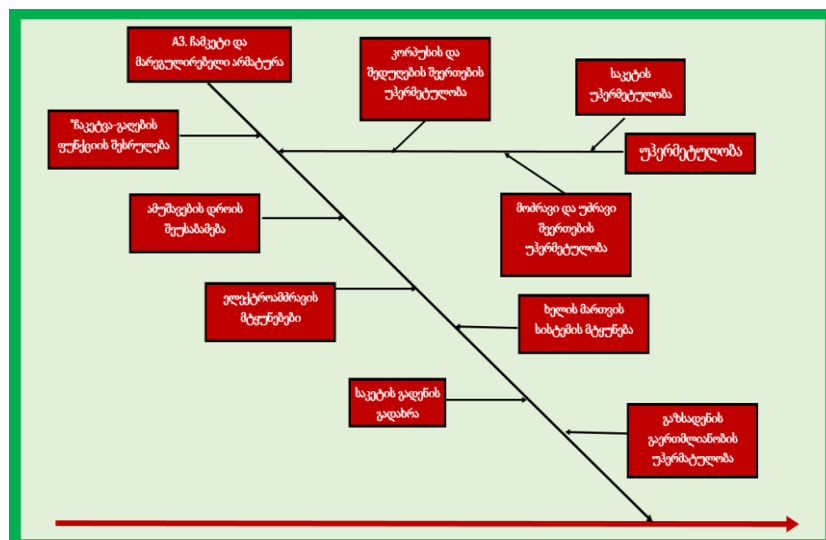
ნახ. 62. გაზსადენების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

ჩავატაროთ ყველა ფაქტორის ჩაშლა, გვექნება: A1. გაზსადენები (ნახ. 62): a11. ტექნოლოგიური უსაფრთხოების პირობების დარღვევა; a12. შიგა კოროზია; a13. გარე კოროზია; a14. ქარხნული დეფექტები; a15. მექანიკური დაზიანებები; a16. სტიქიური უბედურებები. A2. გაზგამანწილებელი ქსელის მოწყობილობა (ნახ. 63): a21. გაზგამანწილებელი სადგურები, გაზგამანწილებელი პუნქტები; a22. ჩამკეტი და მარეგულირებელი არმატურა. A3. გაზგამანწილებელი ქსელის „ელექტროამძრავი- ჩამკეტი არმატურის“ ფაქტორები (ნახ. 64): a31. კორპუსის დეტალებისა და შედუღების შეერთებების უჭერმეტულობა; a32. მოძრავი და უძრავი შეერთებების უჭერმეტულობა; a33. საკეტის უჭერმეტულობა; a34. საკეტის გადენის გადახრა, რომელიც

დამოკიდებულია ექსპლუატაციის ნორმატული პირობები; **a35.** „ჩაკეტვა-გაღების“ ფუნქციის შეუსრულება, რეგლამენტის გაუთვალისწინებისას; **a36.** ამუშავების დროის შეუსაბამობა; **a37.** ელექტროამბრავის მტყუნება; **a38.** ხელის მართვის სისტემის მტყუნება; **a39.** მილსადენის გაერთმთლიანობის (შემოკრის) უპერმეტულობა.

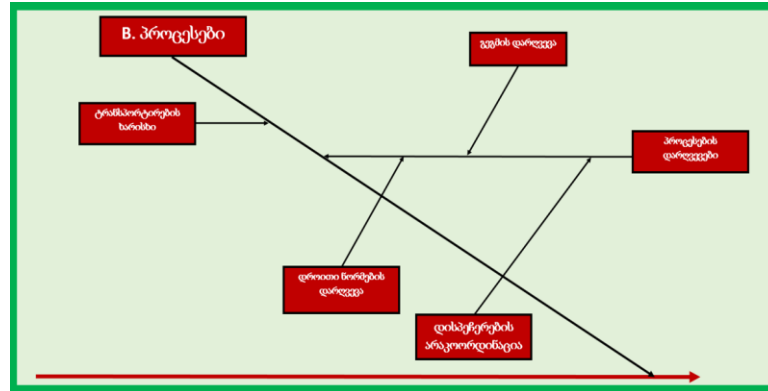


ნახ. 63. გაზგამანწილებელი ქსელის მოწყობილობის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა



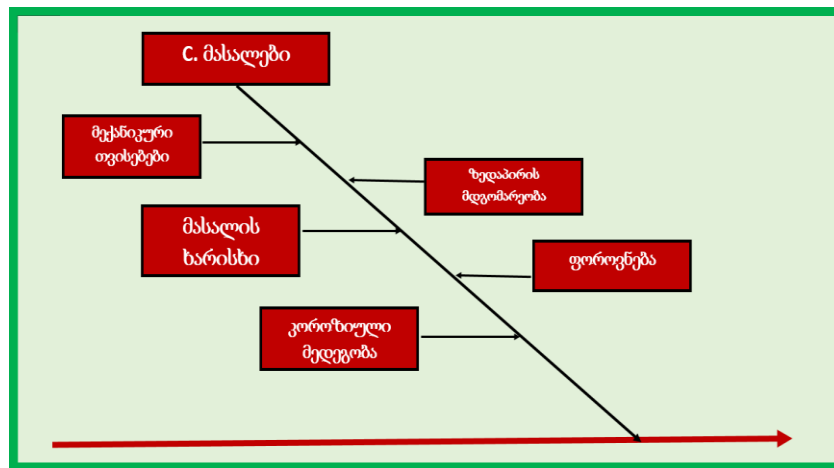
ნახ. 64. „ელექტროამბრავი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

B. პროცესები (ნახ. 65): b_1 ტრანსპორტირების ხარისხი; b_2 პროცესის დარღვევები; b_3 დროითი ნორმების დარღვევა; b_4 გეგმის დარღვევა; b_5 დისპეჩერების არაკოორდინაცია.



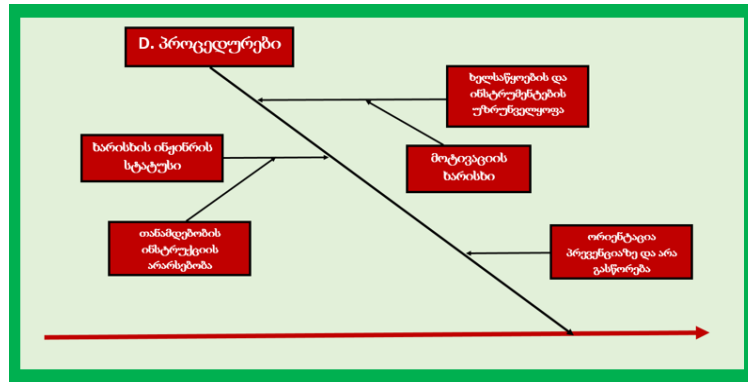
ნახ. 65. სისტემის პროცესების დარღვევების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

C. მასალები (ნახ. 66): c_1 მექანიკური თვისებები; c_2 ზედაპირის მდგომარეობა; c_3 მასალის ხარისხი; c_4 ფოროვნება; c_5 კოროზიული მედეგობა.



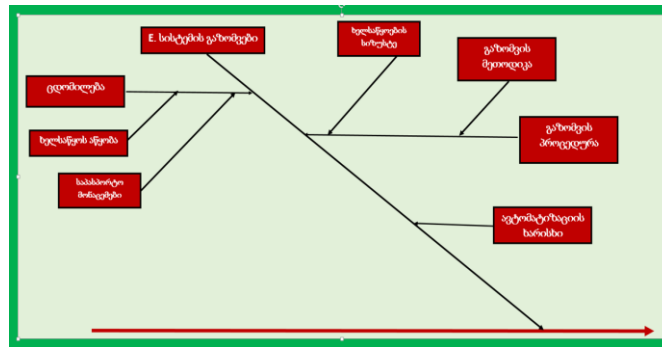
ნახ. 66. სისტემის მასალების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

D. პროცედურები (ნახ. 67): d_1 ხელსაწყოების და ინსტრუმენტების უზრუნველყოფა; d_{11} მოტივაციის ხარვეზი; d_2 ხარისხის ინჟინრის სტატუსი; d_{21} თანამდებობის ინსტრუქციის არარსებობა; d_3 ორიენტაცია პრევენციაზე და არა გამოსწორება.



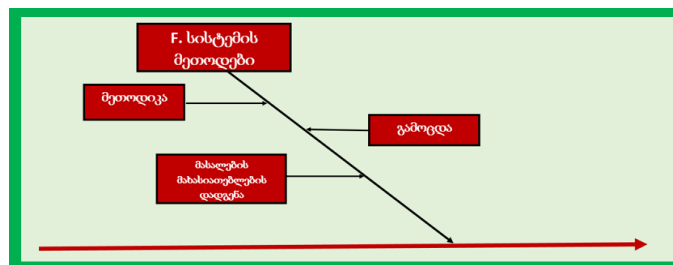
ნახ. 67. სისტემის პროცედურების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

E. გაზომვები (ნახ. 68): e_1 ცდომილება; e_{11} საპასპარტო მონაცემები; e_{12} ხელსაწყოთა აწყობა; e_2 გაზომვის მეთოდიკა; e_2 ხელსაწყოების სიზუსტე; e_{22} გაზომვის ჩატარების მეთოდიკა; e_3 ავტომატიზაციის დონე.



ნახ. 68. სისტემის გაზომვის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

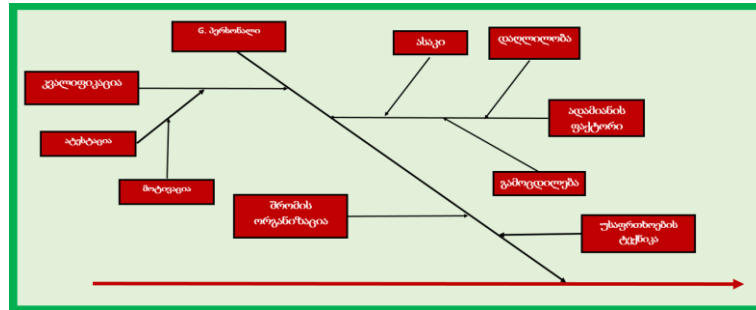
F. სისტემის მეთოდები (ნახ. 69): f_1 მეთოდიკა; f_2 გამოცდა; f_3 მასალების მახასიათებლის დადგენა.



ნახ. 69. სისტემის მეთოდების ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

G. პერსონალი (ნახ. 70): g_1 კვალიფიკაცია; g_{11} ატესტაცია; g_{12} მოტივაცია; g_2 . ადამიანის ფაქტორი; g_{21} ასაკი; g_{21} დადლილობა; g_{23} გამოცდილება; g_3 უსაფრთხოების ტექნიკა; g_4 შრომის ორგანიზაცია.

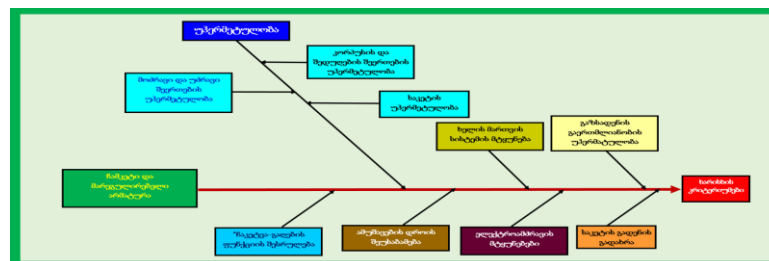
აღნიშნული ფაქტორების გაერთმთლიანობის შემდეგ, მივიღებთ კრებსით ისიკავას დიაგრამას (ნახ. 70).



ნახ. 70. პერსონალის ფაქტორები - ისიკავას დიაგრამა

ისიკავას დიაგრამის მიხედვით, გვაქვს დაახლოებით 50-მდე ფაქტორი, რის გამოც, პრაქტიკულად, მეტად ძნელია მრავალფაქტორიანი ანალიზის ჩატარება. ამის გამო უნდა მოიძებნოს შემდეგი გზა: ვიხილოთ, რომელიმე კვანძურ ფაქტორს, მაგალითად პერსონალის ან სისტემის გაზომვის ფაქტორებს და მათთვის ცალკე უნდა ჩატარდეს ხარისხობრივი ანალიზი. შემდეგ, ცალკე ყველა კომპლექსური ფაქტორის დაიტანება ისიკავას დიაგრამაზე, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე, თუმცა უკვე მიღებული კომპლექსური ფაქტორები საკუთარი ხარისხობრივი კრიტერიუმებით, ხოლო შემდეგ საერთო ანალიზი.

შემდგომში, მაგალითისათვის, აღნიშნული ანალიზის შესაბამისად, განვიხილოთ რომელიმე კომპლექსური ფაქტორი, ვთქვათ „ელექტროამბრავი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორების ისიკავას დიაგრამა (ნახ. 71) და ჩავატაროთ ხარისხობრივი ანალიზი.



ნახ. 71. სისტემის „ელექტროამბრავი- ჩამკეტი არმატურა“ - ფაქტორების ისიკავას დიაგრამა

5.3. სისტემის „ელექტროამძრავი- ჩამკეტი არმატურა“ ფაქტორების ისიკავას დიაგრამა და ხარისხობრივი ანალიზი

განვიხილოთ ნახ. 72-ზე ნაჩვენები დიაგრამა და განვიხილოთ აღნიშნული ფაქტორები [124-126]. გვექნება: 1. კორპუსის დეტალებისა და შედულების შეერთებების უჭერმეტულობა; 2. მოძრავი და უძრავი შეერთებების უჭერმეტულობა; 3. საკეტის უჭერმეტულობა; 4. საკეტის გადენის გადახრა, რომელიც დამოკიდებულია ექსპლუატაციის ნორმატული პირობებისას; 5. „ჩაკეტვა-გაღების“ ფუნქციის შეუსრულება, რეგლამენტის გაუთვალისწინებისას; 6. ამუშავების დროის შეუსაბამობა; 7. ელექტროამძრავის მტყუნება; 8. ხელის მართვის სისტემის მტყუნება; 9. მილსადენის გაერთმთლიანობის (შემოკრის) უჭერმეტულობა.

მოვახდინოთ სისტემის „ელექტროამძრავი-ჩამკეტი არმატურის“ დაზიანების სტატისტიკა და ჩავტაროთ ეტაპურად და მოვახდინოთ მიღებული მონაცემების დამუშავება. (ცხრილი 26).

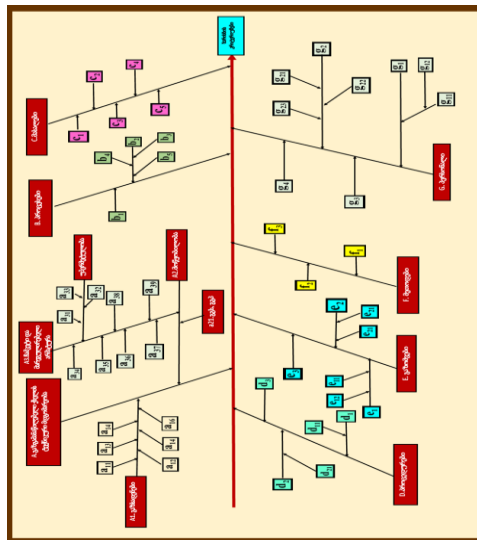
ცხრილი 26. ფაქტორების დაზიანების სტატისტიკა

ფაქტორები	დაზიანების რაოდენობა
1	12
2	8
3	42
4	22
5	12
6	8
7	22
8	15
9	9

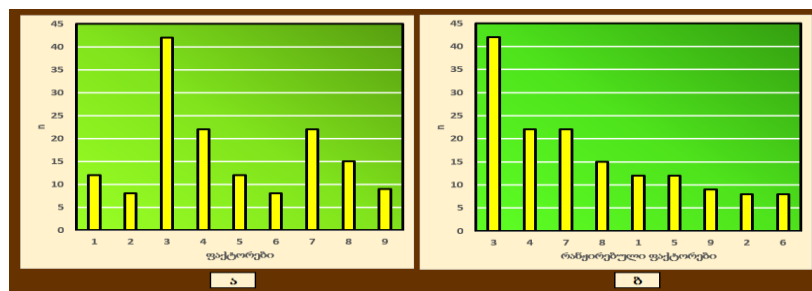
ავაგოთ ამ მონაცემების შესაბამისი პოლიგონი (ცხრილი 27), რაც ნაჩვენებია ნახ. 73ა-ზე.

ცხრილი 27. ფაქტორების დაზიანების რანჟირების სტატისტიკა

ფაქტორები	დაზიანების რანჟირებული რაოდენობა
3	42
4	22
7	22
8	15
1	12
5	12
9	9
2	8
6	8



ნახ. 72. გაერთმობლიანობის კრებსითი ისიკავას დიაგრამა



ნახ. 73. ა. მონაცემების პოლიგონი; ბ. მონაცემების რანჟირების პოლიგონი

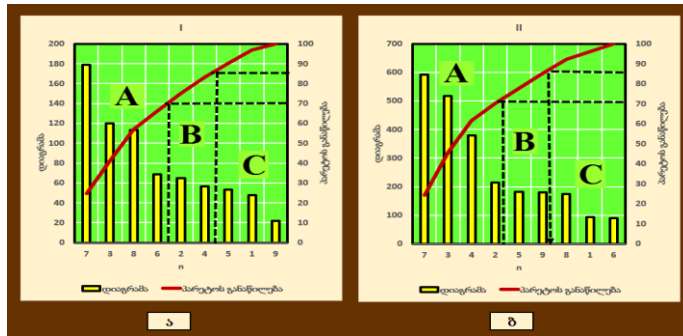
მოვახდინოთ კუმულატიური ფუნქციის (პარეტოს განაწილების წირის) აგება. ამისათვის შევავსოთ ცხრილი 28, რომელშიც მოყვანილია ყველა ადრე მოყვანილი ოპერაცია.

ცხრილი 28. პოლიგონებისა და პარეტოს განაწილების წირების აგების სქემა

ექსპერტის შეფასება	ფაქტორების რაოდენობა								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	9	2	3	4	9	9	7	2
2	7	9	3	1	3	8	7	7	2
3	5	8	3	3	6	10	8	8	3
4	4	8	3	2	5	8	9	9	4
5	2	7	3	3	4	9	8	8	2
6	3	9	3	3	5	8	8	7	3
7	3	7	3	3	4	8	8	7	1
მათემატიკური მოლოდინი \bar{y}	4.00	8.14	2.86	2.57	4.43	8.57	8.14	7.57	2.43
დისპერსია $D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	2.67	0.13	0.48	0.12	0.61	5.41	0.13	3.96	0.06
$\frac{\bar{y}^{-2}}{D}$	6.00	491.45	17.14	53.51	32.38	13.58	491.45	14.49	98.78
$\lg\left(\frac{\bar{y}^{-2}}{D}\right)$	0.78	2.69	1.23	1.73	1.51	1.13	2.69	1.16	1.99
$G = 10 \lg\left(\frac{\bar{y}^{-2}}{D}\right)$	7.78	26.91	12.34	17.28	15.10	11.33	26.91	11.61	19.95
n_i	12	8	42	22	12	8	22	15	9
K_1	48.00	65.14	120.00	56.57	53.14	68.57	179.14	113.57	21.86
K_2	93.38	215.32	518.31	380.25	181.24	90.64	592.12	174.15	179.52

საბოლოოდ, ავაგოთ ორი სქემა: 1. დიაგრამისა და პარეტოს განაწილების ორი გრაფიკის ერთობლივი სქემა როდესაც ბალების კოეფიციენტი K_1 მიღებულია მათემატიკური მოლოდინის მიხედვით (\bar{y}); 2.

იგივე, ოღონდ მიღებულია $G = 10 \lg\left(\frac{\bar{y}^{-2}}{D}\right)$ -ს საშუალებით და გვაქვს K_2 (ნახ.



ნახ. 74. დიაგრამისა და პარეტოს განაწილების ორი გრაფიკის ერთობლივი სქემა ბალების კოეფიციენტის მიხედვით: ა. მათემატიკური მოლოდინით; ბ. დისპერსიის შესაბამისად

ჩავატაროთ ნახ. 71-ის დაწვრილებითი ანალიზი. უკვე აღნიშნული იყო, რომ ხარისხობრივი ანალიზისას, საჭიროა შემოქმედითი შესაძლებლობა, კომპეტენტობა, ინტუაცია და ა.შ. მიუხედავად ამისა, შემუშავებული მეთოდიკა მაქსიმალურად გვადლევს ადექვატურ შედეგს. ამისათვის, ჯერ განვიხილოთ ნახ. 71-ის „ა“ სქემას. ადრე მიღებული ანალიზის გამო, ჩანს, რომ ჩვეულებრივი პოლიგონის ანალიზისას ჩანს, რომ დაზიანების მაქსიმალური რაოდენობის შესაბამისად გვაქვს რიგი: 3, 4, 7, 8 და ა.შ (ე.ი. პირველ რიგში სწრაფად უნდა მოხდეს შემდეგი დაზიანების აღმოფხვრა (3. საკეტის უპერმეტულობა; 4. საკეტის გადენის გადახრა; 7. ელექტროამძრავის მტყუნება; 8. ხელის მართვის სისტემის მტყუნება და ა.შ. (ნახ. 71).

შემდეგის ეტაპია, ბალების გათვალისწინება და მიღებული დაზიანების რაოდენობები მრავლდება ექსპერტების მიერ დაწერილი ბალების საშუალო რაოდენებაზე (ცხრილი 24, \bar{y}). მიღებული რანჟირების შედაგად, ახალი პოლიგონისათვის მივიღებთ ახალ რიგს (ნახ. 71ა), რომელსაც შეესაბამება რიგი 7,3, 8, 6 და ა.შ. ამ დროს **A** არეალში (სწრაფი აღმოფხვრა) გვაქვს რიგი: 7. ელექტროამძრავის მტყუნება; 3. საკეტის უპერმეტულობა; 8. ხელის მართვის სისტემის მტყუნება; 6. მუშავების დროის შეუსაბამობა. **B** ზონაში გვაქვს რიგი 2,4 (2. მოძრავი და უძრავი შეერთებების უპერმეტულობა; 4. საკეტის გადენის გადახრა;), ხოლო **C** აეალში - რიგი 5, 1, 9 (5. „ჩაკეტვა-გაღების“ ფუნქციის შეუსრულება; 1. კორპუსის დეტალებისა

და შედეგების შეერთებების უპერმეტულობა; 9. მილსადენის გაერთმთლიანობის (შემოკვრის) უპერმეტულობა).

შემდეგი ეტაპი, დავაზუსტოთ მეთოდი და გამოვიყენოთ კრიტერიუმი

$G = 10lg\left(\frac{y^{-2}}{D}\right)$ (ცხრილი 24). ამ დროს მიიღება დაზუსტებული რიგი: **A**

არეალი (ნახ. 71ბ): 7, 3, 4, 2 (7. ელექტროამძრავის მტყუნება; 3. საკეტის უპერმეტულობა; 4. საკეტის გადენის გადახრა; 2. მოძრავი და უძრავი შეერთებების უპერმეტულობა. **B** ზონაში გვაქვს რიგი 5 და 9 (5. „ჩაკეტვა-გაღების“ ფუნქციის შეუსრულება; 9. მილსადენის გაერთმთლიანობის (შემოკვრის) უპერმეტულობა).

მიღებული ანალიზი კვლავ გვიჩვენებს, რომ მიღებული ანალიზი სულაც კი არ არის დაზიანებათა დიდ რაოდენობას, არამედ ის თუ რამდენად მნიშვნელობადობია ფაქტორის დაზიანების მიზეზი.

ამგვარად, მეთოდის მიზანი გამოიყენება გაზგამანაწილებელი ქსელის ეფექტურობის შემუშავებისა და განუწყვეტელი სრულყოფა. ისიკავას დიაგრამა წარმოადგენს ინსტრუმენტს, რომელიც უზრუნველყოფს პრობლემისადმი ფიზიკური მიზეზების წარმოქმნის სისტემურ მიდგომას.

მეთოდის მიზანია შევისწავლოთ, ავსახოთ და უზრუნველვყოთ ჭეშმარიტი მიზეზების მოძებნის ტექნოლოგიის პრობლემის ეფექტური მოგვარება. მეთოდის არსი: მიზეზობრივ-შედეგობითი დიაგრამა, რომელიც წარმოადგენს შექმნილი პრობლემების გადაწყვეტილების გასაღებს. დიაგრამა გვამღევს მარტივი და ხელმისაწვდომი ფორმით განსახილველი პრობლემის ყველა პოტენციალური მიზეზების სისტემატიზირებას, გამოიყოს ძირითადი არსებითი და მოხდეს საწყისი მიზეზების მოძებნა დონეების მიხედვით.

მოქმედების გეგმა: ცნობილი პარეტოს პრინციპის მიხედვით, არსებული მრავალი პოტენციალური მიზეზებს შორის (მიზეზების ფაქტორები ისიკავას მიხედვით), გამოწვეული პრობლემების მხოლოდ ორისამი არის არსებითი - მათი ძებნა უნდა მოხდეს ორაგანიზებულად.

ამისათვის უნდა განხორციელდეს შემდეგი: ყველა მიზეზების შეკრება და სისტემატიზირება, რომლებიც ხდება პირდაპირად ან ირიბად გამოსაკვლევ პრობლემის მიმართ; ამ მიზეზების დაჯგუფება არსებითი და მიზეზობრივ-შედეგობითი ბლოკების მიხედვით; რანჟირება, თვითეული ბლოკის შიგნით; მიღებული სურათის ანალიზი.

ისიკავას დიაგრამას გააჩნია შემდეგი უპირატესობანი: იგი საშუალებას გვაძლევს ავსახოთ გამოსაკვლევ პრობლემასა და მიზეზებს შორის ურთიერთკავშირი და ამ პრობლემის გავლენა; გვაძლევს შესაძლებლობის ჩაატარების არსებითი ურთიერთკავშირი მიზეზების ჯაჭვის ანალიზს და გავლენას ახდენს პრობლემაზე; არის მოსახერხებელი და მარტივი და გასაგები პერსონალისათვის. ისიკავასთან დიაგრამასთან მუშაობა არ საჭიროებს თანამშრომლების მაღალ კვალიფიკაციას და არ არის საჭირო გრძელვადიანი ტრენინგის ჩატარება.

დასკვნა

1. შემოთავაზებულია გაზგამანაწილებელი ქსელების საიმედოობის კრიტერიუმი, რომელიც მომხმარებლებთან გაფორმებულ კონტრაქტებში გაზის მოცულობის და ფაქტობრივად მიწოდებული გაზის მოცულობის თანაფარდობას წარმოადგენს. კრიტერიუმი ინტეგრალურია, მასში შედის გაზსადენების, მოწყობილობისა და კომპანიის საექსპლუატაციო მომსახურების საიმედოობა და გაზის მოხმარების სახელშეკრულებო ვალდებულებების შესრულება.

2. გაზგამანაწილებელი ქსელების ელემენტების სტატისტიკური ანალიზი განხორციელდა ქ. თბილისის ოლიმპიური სოფელის მაგალითზე. ანალიზის შედეგების საფუძველზე ჩამოყალიბდა აღრიცხვის მონაცემები; წნევა; დიამეტრი; ჩალაგების ტრასა და ტოპოლოგია; ასაკი 5 წლის ინტერვალით, ნიადაგის კოროზიულობა და ა.შ.

3. პირველად შემუშავდა გაზგამანაწილებელი ქსელების მოხმარების პროგნოზირების მათემატიკური მოდელი თეორიის საფუძველზე, ანალიტიკური გაანგარიშებით და სიმულაციური მოდელირების პროგრამით. შემოთავაზებული მოდელი წარმოადგენს საავარიო სამსახურების მუშაობის გაუმჯობესების საფუძველს.

4. პირველად შესრულდა გაზგამანაწილებელი ქსელების გაზის ტექნიკური დანაკარგების თვისობრივი კვლევა და მოდელის შეფასება. პირველად დადგენილია მტყუნების აღდგენების ალბათობის განაწილების სიმკვრივის ალბათობის ფუნქცია, რომელიც აღიწერება სეკანსის კანონის ფუნქციით, ან მონაკვეთებით-ტეხილი შუმანის ფუნქციით.

5. ისიკავას დიაგრამის აგება და მტყუნებების რანჟირება გვიჩვენებს, რომ გაზგამანაწილებელი ქსელის მოცემული მტყუნებები განიხილება პირველ რიგში, რათა მოხდეს დაზიანების აღმოფხვრის ღონისძიებები. ჩვენს მიერ ნაჩვენებია, რომ საწარმოო პროცესის სრულყოფის ეტაპების რეალიზაციის ეფექტურობის კრიტერიუმით გამოიყენება დინამიკური

კომპლექსური მახასიათებელით. აღნიშნული მეთოდიკით და გამოყენებული ერთეულოვანი მახასიათებლებით: საკონტროლო ფურცელი, ისიკავას მიზეზ-შედეგობრივი და პარეტოს დიაგრამა, ჰისტოგრამა, განხვევის დიაგრამა, კონტროლის გრაფიკი და ექსპერტული ანალიზი.

6. ნაშრომში შემუშავებულია რეკომენდაციები და კონკრეტული წინადადები შპს “სოკარ ჯორჯია გაზის” და სხვა ორგანიზაციებისათვის. კვლევების შედეგების პრაქტიკაში დანერგვა საშუალებას იძლევა შემუშავებულ იქნას, მეცნიერულად დასაბუთებული გეგმა სხვადასხვა ორგანიზაციებისათვის. წარმოდგენილი შედეგები რეკომენდირებულია გაზგამანაწილებელი ქსელების ობიექტებზე, უსაფრთხოების უზრუნველყოფის შესაბამისი საქართველოს ნორმატიული დოკუმენტაციის მათ შორის, უსაფრთხოების ტექნიკური რეგლამენტის და გაზგამანაწილებელი ქსელების უსაფრთხოების წესების შექმნისათვის.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Ионин А.А. Газоснабжение. М., Стройиздат. 1989. 439 с.
2. Брюханов О.Н., Жила В.А., Плужников А.И. Газоснабжение. М., Изд. Академия. 2008. 448 с.
3. Gas Engineers Handbook. Industrial Press Inc. New York, 2000. p 1406
4. Скафтымов М.А. Основы газоснабжения. Л.: Недра. 1975. 343 с.
5. Баясанов Д.Б., Ионин А.А. Распределительные системы газоснабжения. -М.: Стройиздат. 1977. 407с.
6. Ионин А.А., Фастов Л.М. Техничко-экономическое обоснование систем промышленного газоснабжения. В сб.: Экономика, организация и управление в газовой промышленности. Л.: Недра. 1972. №10 . сс. 17-24
7. Куприянов М.С. Рациональные системы газоснабжения городов. М.: Стройиздат. 1999. 145с.
8. Голик В.Г., Курицын Б.Н. Техничко-экономическое обоснование систем газоснабжения. Саратов: Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та. 1997. 82с.
9. Ляуконис А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения. Л.: Недра. 2004. 302 с.
10. Багдасаров В.А. Внутридомовые газовые сети и оборудование. Изд. 2-е перераб. и доп. JL: "Недра", Ленингр. Отделение. 2005. 152с.
11. Ревин А.И., Адинсков Б.П. Регулирующее и предохранительное оборудование для современных систем газоснабжения. Саратов: СГУ. 2015. 136 с.
12. Рекомендации по выбору оптимальных параметров при проектировании систем газоснабжения. Саратов: Гипрониигаз. 2013. 58с
13. Сафронова И.П. Эффективная схема газораспределения// Полимергаз. 1998. №2. с. 35-36.
14. Карякин Е.А. Промышленное газовое оборудование. М., Недра. 2006. с 118
15. СНиП 42-012002. Газораспределительные системы. М., 2002. с 67.

16. Рекомендации по проектированию и строительству систем газоснабжения малых и средних городов и населенных пунктов сельской местности. Саратов: Гипрониигаз. 1985. 144с.
17. Distribution. Book D-1. System Design. (Gas Engineering and Operating Practice Serries). USA: American Gas Association, A.G.A., 1999, 356 p
18. Corrosion Control/System Protection. Book TS-1. (Gas Engineering and Operating Practice Serries). USA: AmericanGasAssociation, A.G.A. 2011, 209 p
19. Горелов С.А., Горяинов Ю.А. Сооружение и реконструкция распределительных систем газоснабжения. М.: ООО “Недра-бизнесцентр. 2002. 294с.
20. Марков С.А. Определение экономических параметров городских газовых сетей. Киев: Госстройиздат УССР. 2000. 62с.
21. Рэпс Г.С. Экономические проблемы распределения газа. Л.: Недра.2007. 231с.
22. Кучин Б.Л. Научно-техническое прогнозирование развития систем газоснабжения. М.: Недра. 2004. 255с.
23. Смирнов В.А. Техничко-экономическое обоснование схем газоснабжения.- М.: Стройиздат. 2012. 220 с.
24. Смирнов В.А., Ляхова Р.П. Оптимальные перепады давления в газопроводах. В кн.: Использование газа в народном хозяйстве. Саратов: “Коммунист”. 1998. с 26-90
25. Баясанов Д.Б. Автоматическое регулирование и управление в городских газовых сетях. М.: Стойиздат. 1990. 192 с.
26. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. К вопросу оптимизации расчетных перепадов давления между участками газовой сети// Специализированный журнал “Газ”, №2, 2006. Саратов: ООО “Газ-медиа”. с. 26-28.
27. Левин А.М. Определение оптимального количества ГРП на газовых сетях низкого давления// Новое в эксплуатации и проектировании газового хозяйства городов. Киев. 1997. с. 99-109.
28. Левин А.М. Расчетные режимы давления газа в сетях низкого давления. Газовая промышленность. 2012, №4. с. 24-30.

29. Самойленко Н.И., Сенчук Н.И., Адекватность математических моделей функциональной надежности городских трубопроводных сетей. Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник № 95. 2008. сс 27-33
30. СП 42-1012003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических полиэтиленовых труб. М., Госстрой. 2004. с 78
31. ПБ 12-52903. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. М., 2003. с 112
32. ნამგალაძე დ. ენერგეტიკული ობიექტების მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის სპეციალური ამოცანები. თბილისი: “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2008, 106 გვ.
33. Берхман Е.И. Экономика систем газоснабжения. JL: Недра. 1995. 375 с.
34. Смирнов В.А. Оптимальные перепады давления в газопроводах// Использование газа в народном хозяйстве. Саратов: Коммунист. 1995. с. 26-33.
35. Rosenblueth E. Optimum reliability's and optimum design. Structural safety. *Proc. ASCE*. USA: 1996, Vol.3, No.1. pp 69-83
36. გურგენიძე დ., ნამგალაძე დ. ენერგეტიკული ობიექტების ეკოლოგიური დაცვა. თბილისი: “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2006, 178 გვ.
37. Абусев Р.А., Лумельский Я.П. Несмещенные оценки и задачи классификации многомерных нормальных совокупностей /Теория. вероятностей и ее применении.1980.-№ 2. с.381-389
38. Гордюхин А.И. Газовые сети и установки.М.: Стройиздат, 1967.33 8 с.
39. Ионин А.А. Газоснабжение. М. Стройиздат, 1989. 439с.
40. Ионин А.А. и др. Надежность городских систем газоснабжения. М.: Стройиздат, 1980. 230с.
41. Куприянов М.С. Рациональные системы газоснабжения городов. М.: Стройиздат, 1971.143с
42. Скафтымов Н.А. Влияние температурных изменений на городские газопроводы. Строительство трубопроводов.1964. № 9. с.24- 25.

43. Грачев В.В., Гусейнзаде М.А., Яковлев Е.И. и др. Сложные трубопроводные системы. М.:Недра, 1982. 410с.
44. Справочник работника магистрального газопровода. Под ред. С.Ф. Бармина. Л., Недра, 1974. 431с.
45. Стаскевич Н.Л. Справочное руководство по газоснабжению. Л., Гостоптехиздат, 1960. 865с.
46. Красных Б.А.и др. Анализ аварий и несчастных случаев на объектах газового надзора. М. Газнадзор, 2003.75с.
47. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Академия. 2005. 576 с
48. Гурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Высшее образование. 2006. 479 с
49. Кремер Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика. М.: 2007. 551 с
50. Bhattacharyya S.C., Timilsina G.R. Energy Demand Models for Policy formulation: A comparative Study of Energy Demand Models. Policy research Working Paper 4866. 2009. The World Bank
51. Cleveland C., kaufman R.K. and Stern D.I. Aggregation and the role of energy in the economy Ecological Economics 32. 2000. pp 301-317
52. Jebaraj S., Iniyani S. A Review of Energy models. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2006. Vol. 10. pp 281-311
53. Научно-методические рекомендации по вопросам диагностики социальных рисков и прогнозирования вызовов, угроз и социальных последствий. Российский государственный социальный университет. Москва. 2010;
54. Владимирова Л.П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учеб. пособие. М.: Издательский Дом «Дашков и Ко», 2001;
55. Новикова Н.В., Поздеева О.Г. Прогнозирование национальной экономики: Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2007;
56. Слуцкий Л.Н. Курс МБА по прогнозированию в бизнесе. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006.

57. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М., ИНФРА-М, 2003. 544 с
58. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003.
59. Бартлетт М.С. Введение в теорию случайных процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 384 с.
60. Колмогоров А.Н. Интерполяция и экстраполяция стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1941. Т. 5. №3. С. 18 - 24.
61. Юл Дж., Кендалл М. Теория статистики. - М.: Госстатиздат, 1960. 780 с.
62. Хеннан Э. Анализ временных рядов. М.: Статистика, 1964. 215 с.
63. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М: Мир, 1976. 523 с.
64. Гусаров В.М. Статистика М.: Финансы и статистика, 2008.
65. Голуб Л.А. Социально-экономическая статистика, 2009.
66. Гинзбург А.И. Теория статистики, 2008.
67. Годин А.М. Статистика, 2009.
68. Кашьяр Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М.: Наука. 1983. - 384 с.
69. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1978. - 618 с.
70. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1971. 488 с.
71. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2008
72. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988. 187 с.
73. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М.: Мир, 1974. 406 с.

74. დ. ნამგალაძე, გ. გაგუა. საშუალო წნევის გაზსადენის გაზის მოხმარების პროგნოზირების ალბათური მახასიათებლების დადგენა. "ენერჯია", 2017, №1(81), გვ. 18-23.
75. Бартлетт М.С. Введение в теорию случайных процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 384 с.
76. Колмогоров А.Н. Интерполяция и экстраполяция стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1941. Т. 5. №3. С. 18 - 24.
77. Юл Дж., Кендалл М. Теория статистики. М.: Госстатиздат, 1960. 780 с.
78. Хеннан Э. Анализ временных рядов. М.: Статистика, 1964. 215 с.
79. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М: Мир, 1976. 523 с.
80. Гусаров В.М. Статистика М.: Финансы и статистика, 2008.
81. Кашьяр Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М.: Наука. 1983. 384 с.
82. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1978. 618 с.
83. დ. ნამგალაძე, გ. გაგუა. საშუალო წნევის გაზგამაწილებელი ქსელის ტექნიკური დანაკარგის თვისობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი. "ენერჯია", 2018, №4(88), გვ. 5-10.
84. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1971. 488 с.
85. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2008
86. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988. 187 с.
87. Социально-экономическая статистика, под ред. Г.Л. Громыко. Изд. МГУ, 2006.
88. Практикум по теории статистики / Под ред. Р.А. Шмойловой. М.: Финансы и статистика, 2010.
89. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М.:Наука, 1979. - С. 212.

90. Таблица гамма-функций. http://cde.osu.ru/demoversion/course8/app_b.html
91. Гамма-функция-калькулятор. <http://planetcalc.com/4520/>
92. Value of Gamma Function.
<http://www.efunda.com/math/gamma/findgamma.cfm>
93. Методика определения и нормирование расходов газа на технические потери при эксплуатации магистральных газопроводов. Министерство газовой промышленности. Всесоюзное промышленное объединение по добыче газов УССР. Харьков: “УКРНИИГАЗ”, 1981, 49 с
94. მაგისტრალური გაზსადენები ბუნებრივი გაზის ტრანსპორტირებისას ტექნოლოგიური დანაკარგების ნორმატივი. დარგობრივი ნორმატივი OD.3.04.97. თბილისი: სათბობ-ენერგეტიკის სამინისტრო, 1998, 18 გვ.
95. მესტვირიშვილი, შ. გიორგობიანი ო. და სხვ. მაგისტრალურ გაზსადენებში აკუმულირებული გაზის რაოდენობით გამოწვეული ტექნოლოგიური დანაკარგები. „ენერჯია“, 2002, №1(21), გვ. 47-53.
96. Багдасаров В.А. Потери газа в городском газовом хозяйстве. Л.: Недра. 1972, 264 с
97. Белодворский Ю.М. Утечки газа, их причины и устранения. М.: Недра, 1968, 259 с
98. Методика определения расходов газа на технологические нужды предприятий газового хозяйства и потерь в системах распределения газа. РД 153-39.4-079-01. Саратов: Гипрониигаз, 2001, 55 с
99. Методика определения производственно-технологических потерь природного газа во время его транспортировки газораспределительными сетями. Украина, Киев: Гипрониигаз, 2003, 48 с
100. Методика расчета расхода природного газа на технологические нужды и технические потери в распределительных сетях. Молдова, Кишинев: Гипрониигаз, 2001, 47 с
101. ნამგალაძე დ., ქავთარაძე ი., ლომიძე ი. ბუნებრივი გაზის გამანაწილებელ ქსელში ტექნიკური დანაკარგის წნევების მიხედვით გადანაწილების მეთოდი. „ენერჯია“, 2010, №1 (53), გვ 15-19.
102. Намгаладзе Д., Самхарадзе З., Данелия С.. Определение параметров внутренней и внешней потери металла для нефтепроводов, находящихся в

эксплуатации, на основании натуральных исследований. Тбилиси: GEN. 2000, № 4.
83 71-78

103. Намгаладзе Д., Самхарадзе З., Данелия С. Влияние агрессивности грунта на омовориеозовношнох корозоних западин нефтепроводов, що експлуатуються. Киев: Нафтова о газова промисловость. №5. 2001, с 56-62

104. “Правила учета газа”, утверждены Минтопэнерго России 14.10.1996 г., зарегистрированы в Минюсте России 15.11.1996 г. № 1198.

105. Методика по расчету удельных показателей загрязняющих веществ в выбросах (сбросах) в атмосферу (водоемы) на объектах газового хозяйства. Саратов, Гипрониигаз, 1996 г.

106. СНиП 3.05.02-87* “Газоснабжение”, издание 1997 г.

107. В. А. Багдасаров. “Потери газа в городском газовом хозяйстве”, Л., “Недра”, 1972 г.

108. Ю. М. Белодворский. “Утечки газа, их причины и устранение”, Л., “Недра”, 1968 г.

Расход газа, потери газа, технологические нужды, трубопроводы, газораспределение.

109. Shooman M.L. Probabilistic Reliability an Engineering Approach. New York: McGraw-Hill, 1968, 341 p

110. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980, 604 с

111. Deming, Matthew D.A. Theory of Weather-Service Energy demand. Paper presented of the 25th Annual Meeting of the Pipeline Simulation Interest Groop. October 14-15, 1993. 37-41 pp

112. Новиков А.И. Тригонометрические функции, уравнения и неравенства. Рязан. Гос. Радиотехн. Ун-т. Рязань. 2007. 288 с

113. Вычисление интегралов. Калькулятор онлайн
<https://math.semestr.ru/math/int.php>

114. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. Изд-во стандартов. 1997. 14 с

115. Елисеева Т.А. Анализ безопасности электроприводной запорной арматуры методом АВПКО. Изв. ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 5. сс 182-186
116. Глудкин О. П. и др. Всеобщее управление качеством: учеб. для вузов. М. : Лаборатория базовых знаний; Телеком, 2001. 600 с.
117. Уилер Д, Чамберс Д. Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта М.: «Альпина Паблишер», 2009. с. 310.
118. Лapidус В. А. Система Шухарта. Н.Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2004. 65 с.
119. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. Москва: 2002. с. 233.
120. Аюров В.Д. математическая модель формирования экспертной оценки. Экономика и экономические оценки. 2011. с. 340-344.
121. Серенков П.С. и др. Исследование достоверности методов экспертного оценивания. Вопросы метрологии. Метрология и приборостроение. №1. 2016. сс. 22-30.
122. Григан А.М. Управленческая диагностика: теория и практика: Монография. Ростов н/Д: Изд-во РСЭИ, 2009. 316 с.
123. Витчук Н.А. Поэтапное совершенствование производственного процесса изготовления трубопроводов газотурбинных двигателей с использованием методов управления качеством. Дисс. Кан.техн.наук. Тула. 2017. 132 с.
124. Медведев А. В. Алгоритм автоматизированного построения причинно-следственных цепочек недостатков. Диссертационная работа для проведения сертификации по ТРИЗ на высший уровень. Санкт-Петербург. 2013. с. 41.
125. Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.
126. Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985