

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ნიკოლოზ ივანაური

ტექნოლოგიური პროცესის ოპერატიული მართვისათვის
გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერი საინფორმაციო
სისტემის აგება კირის ღუმელის მაგალითზე (ავარიულ რეჟიმში
ყოველ 24 საათში ცვლადი პარამეტრებით მართვა).

ინფორმაციული სისტემები

სამაგისტრო ნაშრომი შესრულებულია ინფორმაციული სისტემების
მაგისტრის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ხელმძღვანელი: თეიმურაზ მანჯაფარაშვილი -
ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი,
ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის
სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა
ფაკულტეტის კომპიუტერული მეცნიერებების
დეპარტამენტის გამოყენებითი ინფორმატიკის
მიმართულების ასისტენტ-პროფესორი

თბილისი 2013

ანოტაცია

ფაზი-ლოგიკა არის ახალი და ინოვაციური ტექნოლოგია, რომელიც გამოყენებული იქნა, რათა განვეითარებინათ საინჟინრო კონტროლის რეალიზაციები. ბოლო წლებში ფაზი-ლოგიკამ დაამტკიცა თავისი დიდი პოტენციალი განსაკუთრებით სამრეწველო პროცესების მართვის ავტომატიზაციის აპლიკაციებში, სადაც ის საშუალებას იძლევა მართვის სისტემის დიზაინი ჩამოყალიბდეს უშუალოდ ექსპერტული გამოცდილების და ექსპერიმენტალური შედეგების საფუძველზე. უკვე რეალიზებული პროექტები აჩვენებს, რომ ფაზი-ლოგიკის გამოყენებამ ტექნოლოგიური პროცესების მართვაში მოგვცა უკეთესი გადაწყვეტილებები, მართვის სტანდარტულ ტექნიკასთან შედარებით. ფაზი-ლოგიკა იძლევა საშუალებას აიგოს გადაწყვეტილებების მიღების მრჩეველი სისტემები ოპერატორების გამოცდილებაზე და ექსპერიმენტების შედეგებზე დაყრდნობით და არა მათემატიკური მოდელების საშუალებით. მოცემულ ნაშრომში განხილულია კონკრეტული ტექნოლოგიური პროცესის – კირის ღუმელის ოპერატიული მართვისათვის გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერი საინფორმაციო სისტემის აგება ფაზი-ლოგიკის გამოყენებით, შესაბამისი ექსპერტულ-ობიექტური ცოდნის ბაზის შექმნის საფუძველზე. ამ ნაშრომში განხილულია ყოველ 24 საათში ცვლადი პარამეტრებით მართვა.

Summary

Fuzzy logic is a new and innovative technology that was used in order to develop realization of engineering control. In recent years fuzzy logic proved its great potential especially applied to automatization of industrial process control, where it enables the control design to be formed based on experience of experts and results of experiments. The projects that have been realized reveal that application of fuzzy logic in technological process control has already provided us with better decisions compared to that of standard control technique. Fuzzy logic provides an opportunity to design an advisory system for decision making based on operator experience and results of experiments not taking a mathematical model as a basis. The present work deals with a specific technological process — designing a support decision making information system for the operational control of the lime kiln with the use of fuzzy logic based on creation of the relevant expert objective knowledge base. Considered the operational control by 24-hour varying parameters.

სარჩევი

1. ცოდნაზე დაფუძნებული ფაზი-სისტემა ნარჩენებისა და წვის კონტროლისთვის.....	5
1.1. შესავალი	5
1.2. კონტროლის სისტემების განვითარების მეთოდები.....	8
1.3. კონტროლის სისტემის გაუმჯობესება	9
1.4. კონტროლის სისტემის ახალი სტრუქტურა.....	10
1.5. დასკვნა.....	12
2. კირის გამოწვის ტექნოლოგიური პროცესის აღწერა.....	13
2.1. ნედლეული მასალები	13
2.2. კირქვის გამოწვის პროცესის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები	16
2.3. კირქვის ზომები (ფრაქციული შემადგენლობა)	21
3. კირქვის გამოწვის ღუმელები	21
3.1. საწვავის არჩევა	29
3.2. მოთხოვნები ანტრაციტის მიმართ.....	32
3.3. კირქვის, საწვავის და მათი ნარევის დოზირება.....	34
3.4. ღუმელის ჩატვირთვა	34
3.5. ღუმელის დანთება.....	35
4. კირის თვისებები და მისი გამოყენება.....	36
4.1. კირის გამოწვის ხარისხი და კონტროლი	40
5. ღუმელის ექსპლუატაცია. ღუმელის ოპერატორების მუშაობა	41
5.1. ღუმელის მუშაობის არანორმალური სიტუაციები და მათი აღმოფხვრის საშუალებები	47
5.2. გამოწვის ზონის გაჭიმვის ლიკვიდაცია გამოწვის ზონის სიმაღლის და გადახრების მიხედვით. „ასტეროიდების“ ლიკვიდაცია	55
6. მეთოდის თეორიული დასაბუთება	59
6.1. ღუმელის მუშაობაზე კონტროლი.....	60
ძირითადი ნაწილი.....	61
1. საწარმოსა და მისი საქმიანობის შესახებ	61
2. ყოველ 24 საათში ცვლადი პარამეტრების ფაზიფიკაცია.....	69
2.1. გამომავალი ცვლადი	82

2.2.	ლოგიკური წესები.....	84
2.3.	ავარიული რეჟიმის წესები	90
3.	ზოგადი ალგორითმი	93
4.	პროგრამული უზრუნველყოფის რეალიზაცია	96
	დასკვნა.....	99
	ლიტერატურა.....	100

1. ცოდნაზე დაფუძნებული ფაზი-სისტემა ნარჩენების და წვის კონტროლისთვის

ფაზი-ლოგიკა არის ახალი და ინოვაციური ტექნოლოგია, რომელიც იქნა გამოყენებული რათა განავითარებინათ საინჟინრო კონტროლის გადაწყვეტები. ის საშუალებას იძლევა სისტემის დიზაინი ჩამოყალიბდეს უშუალოდ ინჟინრული გამოცდილების და ექსპერიმენტალური შედეგების საფუძველზე, რადგან სწრაფად გვაძლევს შესაბამის გადაწყვეტებს.

1.1. შესავალი

ნარჩენების დაწვა წარმოადგენს რთულ პროცესს, რომლის პრობლემების გადაჭრის მრავალცვლადიანი კონტროლი შეუძლებელია განხორციელდეს ტრადიციულად, პროცესის ზუსტი მათემატიკური მოდელის გამოყენებით. ნარჩენების შემადგენლობა არაერთგვაროვანია. ამის გამო წვის კამერას ათვალიერებს ადამიანი-ოპერატორი და ნარჩენების ქარხნების უმრავლესობის კონტროლი ნაწილობრივ ხელით ხორციელდება. სურათი 20 გვიჩვენებს ნარჩენების წვის ქარხნის სქემატურ განლაგებას.

შემაჯალი ნარჩენები თავდაპირველად ინახება ბუნკერში და შემდეგ ამწის საშუალებით ტრანსპორტირდება ნარჩენების დაწვის ქარხნის ჩამტვირთველ არხში. ნარჩენები დაიყრება გისოსზედერძის და მიმწოდებლის საშუალებით. გისოსი შედგება ორი პარალელური მწყობრისგან (რიგისგან), თითოეული შედგება 5 საჰაერო ზონისგან გისოსის ქვეშ. ცეცხლის ოპტიმალური პოზიცია არის გისოსის მესამე ზონის შუაში. ზუსტად ამ ზონაში ხდება ნარჩენების წინასწარი დაწვა, რის შემდეგაც რჩება საკმარისი დრო იმისთვის, რომ მოხდეს ამ ნარჩენების სრული დაწვა.



სურ. 2.11

მიუხედავად იმისა, რომ ამწის ოპერატორი ცდილობს ნარჩენების ჰომოგენიზირებას მათი არევით, შეუძლებელია არხის უნივერსალური დონის შენარჩუნება. არსებული ავტომატური სისტემების და კონტროლის ჯაჭვების ძირითად უპირატესობად ითვლება კონტრასტული თერმალური გამოსავალი კარგი დაწვის ხარისხით. ამით იქმნება წინაპირობები ენერგიის ერთფეროვანი წარმოებისთვის. იმისთვის, რომ მივაღწიოთ ოპტიმალურობას ქარხანაში, ოპერატორები უნდა იყვნენ მაღალკვალიფიკაციური. ასეთი ზომების მიუხედავად ნარჩენების დაწვის ქარხნების უმრავლესობა მაინც იყენებს ხელით ჩარევას ნარჩენების არაერთგვაროვანი შემადგენლობის გამო. ხელით ჩარევის დროს ოპერატორი თვალს ადევნებს ღუმელს და აკორექტირებს ნარჩენების არხს და გისოსის სამუშაო რეჟიმს.

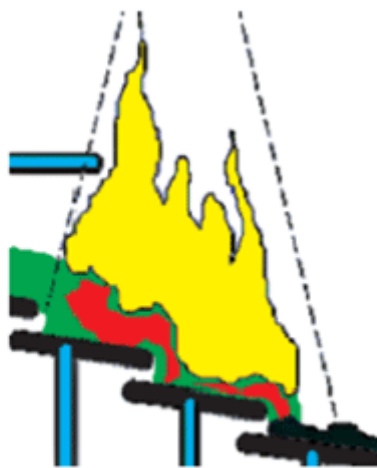
მიუხედავად იმისა, რომ დასაწვავი ნარჩენების რაოდენობა იზრდება, გარემოსდაცვითი კანონები უფრო და უფრო მკაცრი ხდება. დაწვის დროს დაწვის სისტემა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. კვამლსა და გაზში O_2 -ის კონცენტრაციის კონტროლი, რათა ეს ციფრი იყოს მუდმივი.
2. ერთგვაროვანი თერმული გამოსავლის უზრუნველყოფა.
3. ნაკადის პირობების ოპტიმალურობის უზრუნველყოფა და იმის უზრუნველყოფა, რომ პირველი ბოილერი გაივლის რაც შეიძლება პატარა ცვლილებებით.
4. ხარისხის ემისია და შესაბამისად კოროზიის თავიდან აცილება უნდა იყოს უზრუნველყოფილი.

ეს პირობები შეიძლება შესრულდეს მხოლოდ ოპტიმიზირებული წვის დროს ოპერაციის სტაბილურ წერტილში. ყველაზე მთავარი კონტროლის ცვლადი ქარხანაში არის ორთქლის გაშვების უნარიანობა. ძირითადი საპაერო განაწილება უნდა იყოს მუდმივად მისადაგებული გისოსების ინდივიდუალურ მოთხოვნებს. რადგან O_2 -ის შემადგენლობა კვამლსადენ გაზში უნდა იყოს მუდმივი, მეორადი და პირველადი ჰაერი უნდა იყვნენ გაწონასწორებულნი ერთმანეთის მიმართ.

მიწოდების და დაწვის ზონებს შორის ყოველთვის არსებობს არაანთებითი ნარჩენები, რომლის რაოდენობა იცვლება მოწოდების ხარისხთან ერთად. ასეთი შენახვის ეფექტი იძლევა იმას, რომ არ არსებობს პირდაპირი კავშირი მიმწოდებლის მოძრაობასა და გისოსზე ცეცხლის პოზიციას შორის. პოზიცია რეგისტრირდება მხოლოდ ოპერატორების ვიზუალური დაკვირვების საშუალებით ან ვიდეო სურათის შეფასებით.

ამ პროცესის ავტომატიზირების შესაძლო მეთოდია დაწვის პროცესის რეგისტრირება ინფრაწითელი (infrared) თერმოგრაფის საშუალებით. ეს იძლევა იმის საშუალებას, რომ ქარხნის ოპერატორს შეეძლება დაწვის თვალყურის დევნა უშუალოდ თავისი სამუშაო ოთახიდან. ღუმელის გეომეტრიიდან გამომდინარე, ის არე, რომელიც უნდა იყოს დაფიქსირებული, მდებარეობს ძირითად დიდ ზონაში 3, და გარკვეულწილად 2 და 4 ზონებში, რომელთა დაფიქსირება მთლიანად არ არის შესაძლებელი (სურ. 21).



სურ. 2.12. არეები ინფრარედ კამერაში

ეს არის ცეცხლის პოზიციის დადგენის საკმაოდ ადექვატური შესაძლებლობა. გარდა ამისა, ინფრაწითელი გამოსახულების სტატისტიკური შეფასების საშუალებით

შესაძლებელია დაწვის ზონის სიგანის დადგენა და ამ ინფორმაციიდან გამომდინარე ცეცხლის ასიმეტრიული პოზიციის და დაწვის მეორადი ზონების გამოვლენა.

მაშინაც კი, როდესაც ყველა ზემოთ აღნიშნული ინფორმაცია ცნობილია, მაინც აუცილებელი ადექვატური მათემატიკური მოდელის დადგენა, რომელიც მოგვცემს ინფორმაციის გამოყენების საშუალებას ჩვეულებრივი კონტროლის სისტემებში. მაგრამ დაწვის პროცესებს აქვთ არაწრფივი ხასიათი და იწვევენ ბევრ პრობლემას. ჩვეულებრივი კონტროლის სისტემებისთვის ერთადერთი კონტროლის საშუალებაა ევრისტიკული პროგრამირება.

1.2 კონტროლის სიტემების განვითარების მეთოდები

პროცესის ავტომატიზაციის ჩვეულებრივი სისტემები მოითხოვებენ ბევრ ადამიანურ რესურსს, გარდა ამისა ყველა სპეციალისტი ერთმანეთთან არის დაკავშირებული და ყველა ემებს ხერხს გადააკეთოს კონტროლის სტრატეგია პროგრამირების კოდში. ანუ, სპეციალისტების იდეები, კონცეფციები ხშირად უნდა იყოს განხორციელებული ტექნიკურ დონეზე. ფაზი-ლოგიკა იყენებს ლინგვისტურ ცვლადებს მიკუთვნების ფუნქციებთან ერთად if-then წესებში. თანამედროვე ფაზი-ლოგიკის კონტროლის აპლიკაციები იყენებენ “fuzzy-if-then-rules” წესებს, რომლებიც ძირითადად იყენებენ MIN/MAX ოპერატორებს. მაგრამ ეს მიდგომა არის ლინგვისტური მნიშვნელობების უხეში მიახლოება. ამის თავიდან აცილება შეიძლება ფაზი-ოპერატორების გამოყენებით, რომლებიც წარმოადგენენ ლინგვისტურ კავშირებს, როგორიცაა „and“ და “or” ოპერატორები. სხვადასხვა თანამედროვე დასკვნები იყო შემოთავაზებული ზადეს (ცნობილი აზერბაიჯანელი მათემატიკოსი) მიერ, რომლებიც ცნობილია როგორც „დასკვნის კომპოზიციური წესები“, და კოსკოს დასკვნები, რომლებიც იყენებენ ე.წ. ფაზი-ასოციაციურ რუკებს – ფაზი-AssociativeMaps (FAMs). ეს კონცეპციები უშვებენ „ხარისხის მხარდაჭერას“ (“degree of support” (DoS)), რომლებიც იძლევიან სხვადასხვა წესების ერთმანეთთან დაკავშირების საშუალებას. ზადეს კონცეფციებს სჭირდებათ დიდი გამოთვლები, რაც ხელს უშლის რეალური დროის სისტემებს. კოსკოს FAM-ს არ სჭირდება დიდი გამოთვლები, მაგრამ ისინი იყენებენ „წონის“ ფაქტორს თითოეული წესისათვის.

გამოთვლის ეფექტიანობისთვის გამოიყენეს ამ მეთოდების კომბინაცია. DoS-ი შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც წონა ყველა წესისთვის. ეს მეთოდი საკმაოდ მარტივია გამოყენებაში: პირველ რიგში განვსაზღვრავთ ხარისხის მხარდაჭერას– ან ერთი ან ნული, მეორე რიგში – ზუსტი დაყენებისთვის – ვიყენებთ მნიშვნელობებს 0–სა და 1–ს შორის.

მიუხედავად იმისა, რომ ფაზი-კონტროლის სისტემები ზოგჯერ იყენებენ ჩვეულებრივი პროგრამირების ენებს, კომპლექსური აპლიკაციისთვის აუცილებელია გამოვიყენოთ ინსტრუმენტები, რომლებიც თავიდან გვაცილებენ ფაზი-მეთოდების განმეორებით დაპროგრამებას, როგორცაა დასკვნის სტრატეგია და დეფაზიფიკაციის მეთოდები.

1.3 კონტროლის სისტემის გაუმჯობესება

თუ თავიდან კონტროლერი არ მუშაობს გამართულად – რაც ხშირად ხდება – კონტროლერის სტრატეგია უნდა გადაიხედოს. ამიტომაც online–ტექნოლოგია უნდა იყოს ოპტიმიზირებული. ეს შესაძლებლობა იძლევა საშუალებას იმისა, რომ სანამ ფაზი-სისტემა აკონტროლებს პროცესს რეალურ დროში, შესაძლებელი იქნება ფაზი-ლოგიკური კონტროლის სტრატეგიის გრაფიკული გამოსახულების ნახვა.

ოპტიმიზაციის დროს სისტემის შემდგომი მუშაობის გაუმჯობესებისათვის ზოგჯერ საჭიროა ცვლილებების შეტანა წესის სტრატეგიაში ან მიკუთვნების ფუნქციებში. თუ რომელიმე კოდი არის გაშვებული, მაგალითად fuzzy–პრეკომპილატორი, და თუ ხდება რამენაირი ცვლილება, კონტროლერი უნდა გადავიდეს offline რეჟიმში და დარეკომპილირდეს. აქედან გამომდინარე, ინჟინერს არ ექნება შესაძლებლობა მოდიფიკაციის სტრატეგიის კონტროლის ვიზუალიზირებისა. ამის გამო ოპტიმიზაციის ეფექტურობის მიღწევა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ნარჩენების დაწვის ქარხანა არის კარგი მაგალითი.

როგორც კი სისტემა ოპტიმიზირებულია, პრეკომპილატორი ან კომპილატორი შეიძლება გამოყენებული იქნას ფინალური სისტემის კოდური ოპტიმიზაციის განხორციელებისთვის კონტროლერის ტექნიკაზე. განვითარების მიდგომა კომპლექსური ფაზი-ლოგიკის კონტროლის სისტემებისთვის შედგება შემდეგი ნაბიჯებისაგან :

დიზაინი: განმარტება: სისტემის დიზაინი შეიცავს ლინგვისტური ცვლადების განმარტებას, ფაზი-ოპერატორებს, ფაზი-წესების ბაზას და დეფაზიფიკაციის მეთოდს. გრაფიკული დიზაინის ინსტრუმენტს უნდა ჰქონდეს ამის მხარდაჭერა. ამ ბიჯის შედეგია კონტროლერის პირველი პროტოტიპი.

Offline ოპტიმიზაცია: კონტროლერის სტატიკური შესრულების შესამოწმებლად შესაძლებელია ან კონტროლერის ინტერაქტიული გატესტვა ან კონტროლერის შესრულების მოდელის შექმნა.

Online ოპტიმიზაცია: დახვეწილი პროტოტიპი უკვე ოპტიმიზირებულია მიმდინარე პროცესისთვის. Online განვითარებისთვის workstation/PC უნდა იყოს მიერთებული პროცესის კონტროლერს სერიული კაბელით. ამ ბიჯის შემდეგ საბოლოოდ ოპტიმიზირებული სისტემა მზად არის გამოყენებისათვის..

გამოყენება: ჩვენი ოპტიმიზირებული სისტემა უკვე არის კოდურად ოპტიმიზირებულიც – code-optimized. შეიძლება გამოვიყენოთ მაღალი ოპტიმიზაციის პრეკომპილატორი და კომპილატორიც. შედეგად გვაქვს კონტროლერი პროგრამული კოდით, კოდის ზომა და ოპტიმიზირებული შესრულება.

1.4 კონტროლის სისტემის ახალი სტრუქტურა

ფაზი-ლოგიკის მოწინავე მეთოდების გამოყენებამ მოგვცა იმის საშუალება, რომ შევქმნათ ახალი სტრუქტურა სასურველი კონტროლის სისტემისთვის. სისტემა დაყოფილია სამ ეტაპად, რომელთაგან თითოეული შედგება მოკლევადიანი და გრძელვადიანი სტრატეგიების განხორციელებისაგან.

პირველი სტადია არის ორთქლის გაშვების სიმძლავრის კონტროლი, რომელიც მოიცავს:

- ორთქლის გაშვების სიმძლავრის მოკლევადიან ციკლს
- გრძელვადიანი კონტროლის ციკლს კვამლსადენ გაზში O_2 -ის კონცენტრაციაზე ზეგავლენით.

მეორე სტადია არის ნარჩენების გამტარუნარიანობის კონტროლი:

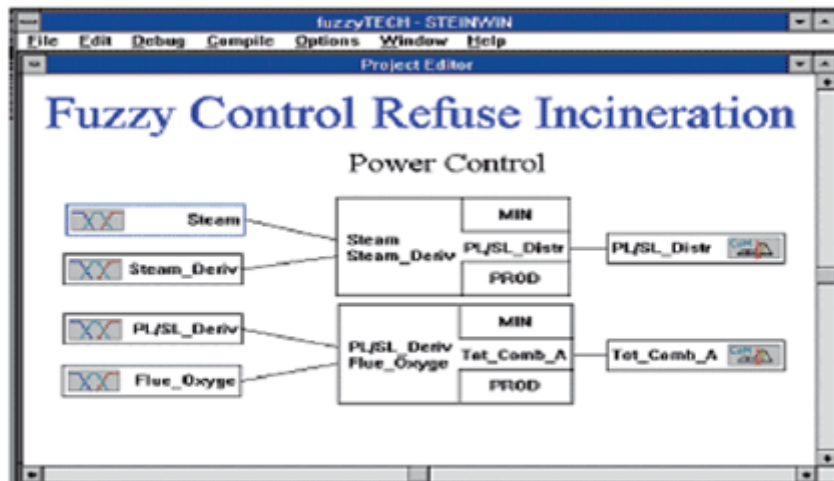
- გისოსის მოძრაობა პასუხისმგებელია გისოსზე ცეცხლის პოზიციის მოკლევადიან კონტროლზე
- მიწოდება გამოიყენება გისოსზე დაყრილი ნარჩენების რაოდენობის რეგულირების გრძელვადიანი ციკლისათვის.
- ინფრაწითელი(IR) თერმოგრაფიდან დამახასიათებელი პარამეტრები გამოიყენება იმისთვის, რომ დავადგინოთ ცეცხლის პოზიცია ნებისმიერ მოცემულ მომენტში.

მესამე სტადია ემსახურება დაწვის ოპტიმიზაციას IR თერმოგრაფიდან დამატებითი ინფორმაციის გამოყენებით. ოპტიმიზაცია შედგება შემდეგი ბიჯებისაგან:

- პირველადი ჰაერის კონტროლი სხვადასხვა გისოსის ქვეშ მდებარე ჰაერის ზონებში
- ცეცხლის სიგრძის კონტროლი და მისი მიწოდების სიჩქარის მართვა გისოსის სხვადასხვა ზონებში.

შედეგად გვაქვს ჰიბრიდული სისტემა, რომელშიც ჩვეულებრივი გამოთვლის მეთოდები შერწყმულნი არიან ფაზი-ლოგიკის მეთოდებთან. იმისთვის, რომ განეხორციელებინათ ექსპერტების ცოდნაზე დაფუძნებული მართვის სტრატეგია, შექმნილი იყო მითითებული სტრუქტურის ინდივიდუალური კომპონენტები ლინგვისტური ცვლადების და ფაზი-წესების გამოყენებით.

FuzzyTECH გრაფიკული ინსტრუმენტი გამოიყენეს რათა განეხორციელებინათ ამ კონტროლის კონცეფცია. სურ. 22–ზე ნაჩვენებია მთავარი სამუშაო გვერდი, რომელზეც გამოსახულია ცეცხლის შესაძლებლობის მართვის კონტროლის სისტემა. აქ სიმბოლოები წარმოადგენენ წესების ბლოკებს და ინტერფეისებს. თითოეული წესების ბლოკი წარმოადგენს ფაზი-წესების ნაკრებს, ხოლო ინტერფეისები წარმოადგენს მონაცემთა გარდაქმნას ზედა ან ქვედა ნაკადის მათემატიკურ ოპერაციებში.



სურ. 2.13. ფაზი-პროექტის სტრუქტურის ნაწილი "power control"

ამ ოპტიმიზირებული ცეცხლის სიმძლავრის კონტროლის სისტემის გამოყენებით შესაძლებელია შევამციროთ CO-ს შემცველობა კვამლსადენ გაზში და მივაღწიოთ დაწვის პარამეტრების გაუმჯობესებს და ამასთან ერთდროულად ემისიის და ქლორირებული დამაბინძურებლების შემცირებას.

1.5 დასკვნა

ამ ოპტიმიზირებული ცეცხლის სიმძლავრის კონტროლის სისტემის გამოყენებით შესაძლებელია შევამციროთ CO-ს შემცველობა კვამლსადენ გაზში და მივაღწიოთ დაწვის პარამეტრების გაუმჯობესებას და ამასთან ერთდროულად ემისიის და ქლორირებული დამაბინძურებლების შემცირებას.

2. კირის გამოწვის ტექნოლოგიური პროცესის აღწერა

ჰაეროვანი კირი ეწოდება შემკვრელ კირს, რომელიც მიიღება კარბონატური ქანების ზომიერი გამოწვით, რომლებიც შეიცავენ 8%-დე თიხის მინარევებს.

ჰაეროვანი კირი შეიძლება იყოს შემდეგი სახეობების: ა) ჩაუმქრალი - კარბონატული ქანების გამოწვის პროდუქტი, ბ) ჩაუმქრალი დაფქული - ჩაუმქრალი კირის დაფქვის პროდუქტი, გ) ჰიდრატული გაფუებული - ჩაუმქრალი კირის ჰიდრატაციის ფხვნილოვანი პროდუქტი.

ჰაეროვანი კირი უზრუნველყოფს სამშენებლო ხსნარების სიმაგრის და გამძლეობის შენარჩუნებას ჰაეროვან-მშრალ პირობებში.

2.1 ნედლეული მასალები

კირის წარმოებისთვის, როგორც წესი, გამოიყენება ქანები, რომლებიც შედგება კალციუმის კარბონატისგან. კალციუმის კარბონატი გვხვდება ბუნებაში ორ კრისტალურ ნაირსახეობაში - კალციტის და არაგონიტის სახით.

კალციტი კრისტალიზირდება რომბოედრების და სკალენოედრების ტრიგონალური სინგონიის სახით. კალციტის ელემენტარული უჯრედი შეიცავს ორ მოლეკულას და აქვს შემდეგი სახე (სურათი 23).



სურ. 3.1. კალციტის ელემენტარული უჯრედი

მისი სიმაგრე 10-ბალიანი შკალით 3-ს ტოლია, სიმკრივე დაახლოებით 2,7 გ/სმ³ ტოლია. კალციტის კრისტალებს გააჩნიათ სრულყოფილი დაკავშირების უნარი სამივე მიმართულებით. კალციტი ფლობს მაღალ ორმხრივ სხივის გარდატეხვის უნარს ($N_g = 1,658$, $N_p = 1,486$) და მისი გამჭვირვალე, სუფთა, კარგად გაპრიალებული კრისტალები გამოიყენება ოპტიკური ხელსაწყოების წარმოებისთვის (მაგალითად, პოლარიზაციული მიკროსკოპების ნიკოლას პრიზმებისთვის).

არაგონიტი კრისტალიზირდება რომბიურ სინგონიაში, აქვს სიმაგრე 3,5 - 4,0, სიმკრივე 2,9 - 3,0 გ/სმ³. არაგონიტის დაკავშირების უნარი კალციტთან შედარებით არის სუსტი. არაგონიტი ჩვეულებრივ გვხვდება მკვრივ ნადენ მასებში (ონიქსი). როგორც წესი, ეს ქანი გამოიყოფა ცხელი წყაროებიდან. 400°C ტემპერატურის დროს არაგონიტი გადადის კალციტში. ჰიდროტერმალურ პირობებში იქმნება არაგონიტის სტრუქტურასთან ახლო μ - CaCO_3 - ვატერიტი.

კირის ქანები წარმოადგენენ ორგანოგენური ან ქიმიური წარმოშობის ნალექოვან წარმონაქმნებს. ორგანოგენური კირი შეიქმნა სხვადასხვა გეოლოგიურ ეპოქაში. ქიმიური კირქვები გამოიყო მკვრივ ფორმაში კალციუმის ჰიდროკარბონატის ხსნარიდან მისი შემდგომი გადასვლით კარბონატში. მეტამორფიზმის პროცესების შედეგად ნალექოვანი კირიდან შეიქმნა მარმარილო. კირის ქანების ფერი დამოკიდებულია მათ მინარევებზე. როგორც წესი, სუფთა კირი თეთრი ფერისაა. რკინის და მანგანუმის ოქსიდების ნარევები აფერადებენ მათ მოყვითალო, წითელ ფერებში, ნახშიროვანი ნივთიერებების ნარევები აფერადებენ კირს ნაცრისფერ და შავ ფერებში. ყველაზე დამახასიათებელ ნარევებს კირში წარმოადგენენ მაგნუმის კარბონატი, კაჟ-მიწა, თიხოვანი ნივთიერებები, თაბაშირი, პირიტი. მცირე რაოდენობით გვხვდება ფოსფორის შენაერთები. კარბონატული ქანები კირის წარმოებისთვის თავიანთი ქიმიური შემადგენლობით იყოფებიან 5 კლასად: (ცხრილი 4.1).

კარბონატული ქანების კლასი	ქანის შემადგენლობა, %			გამოწვის პროდუქტი
	CaCO_3 არა ნაკლები	MgCO_3 არა უმეტეს	თიხოვანი მინარევები, არა ნაკლები	
ა	90	4	3	მცირე მაგნეზიური

				ცხიმოვანი კირი
ბ	90	7	3	იგივე
გ	85	7	8	მცირემაგნეზიური ლარიბი კირი
დ	47	48	8	დოლომიტური კირი
ე	72	8	20	ჰიდრავლიკური კირი

ცხრილი 4.1. კარბონატური ქანების ქიმიური შემადგენლობის მიმართ მოთხოვნები.

თავისი სტრუქტურით კირქვა იყოფა: კრისტალური მარცვლოვანი, მარმარილოსებრი, მჭიდრო მარცვლოვანი, ოლიტური, კირის ტუფები, კირქვა-ნიჟარა, მიწა-ფხვიერი - ცარცი, დოლომიტიზირებული და დოლომიტები.

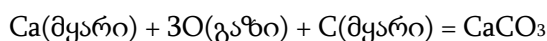
კირქვის ყველა ნაირსახეობა, მარმარილოს გარდა, გამოიყენება კირის წარმოებისთვის. ოლიტური კირქვა, ტუფები და ნიჟარა გამოიყენება როგორც მოსაპირკეთებელი მასალა. კირქვა წარმოედგენს ცემენტის წარმოების ძირითად ნედლეულს.

ნედლეულის ფიზიკური თვისებების მიხედვით აირჩევა გამოწვის აგრეგატი, ხოლო მისი ქიმიური შემადგენლობით და მინარევების რაოდენობის მიხედვით - გამოწვის ტემპერატურა.

2.2 კირქვის გამოწვის პროცესის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები

კირის მიღების ძირითად ტექნოლოგიურ პროცესს წარმოადგენს კირქვის გამოწვა. ამაზე არის დამოკიდებული საბოლოო პროდუქტის ხარისხი.

ელემენტებიდან CaCO_3 - ის ფორმირების სითბო რეაქციის



მიხედვით უდრის 289000 კალ/მოლი.

CaCO_3 - ის დისოციაციის პროცესი მიმდინარეობს, როგორც დაშლის ნებისმიერი რეაქცია, სითბოს შთანთქმით. რადგან CaCO_3 - ის დისოციაციის პროცესი არის ტიპიური შექცევადი რეაქცია, ამიტომ მისი მიმართულება დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და CO_2 - ის პარციალურ წნევაზე.

რეაქციის დროს სისტემის სითბოს შემადგენლობის ცვლილება ΔH მუდმივი წნევისას ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით კირხგოვის კანონით გამოიხატება შემდეგი ტოლობით:

$$\Delta H_T = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT, (4.1)$$

ΔC_p - არის საბოლოო და საწყისი პროდუქტების სითბოტევადობა. ტემპერატურული დამოკიდებულება რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების სითბოტევადობის შორის გამოიხატება შემდეგი განტოლებით:

$$C_p \text{CO}_2 = 7,0 + 7,1 \cdot 10^{-3}T - 1,86 \cdot 10^{-6}T^2;$$

$$C_p \text{CaCO}_2 = 14,75 + 18,2 \cdot 10^{-3}T;$$

$$C_p \text{CaO} = 11,05 + 1,1 \cdot 10^{-3}T;$$

ΔH_{298}° ტემპერატურის დროს $K=45520$ კალ.

ამ მნიშვნელობების ჩასმით (4.1) განტოლებაში მივიღებთ შემდეგს:

$$\Delta H_T = 41967 + 3,30 T - 5 \cdot 10^3 T^2 + 0,62 \cdot 10^{-6} T^3, (4.2)$$

მოქმედი მასების კანონის მიხედვით წონოასწორობის რეაქცია ტოლია:

$$K_p = \frac{C_{\text{CaO}} \cdot C_{\text{CO}_2}}{C_{\text{CaCO}_2}}, (4.3)$$

სადაც C_{CaO} , C_{CO_2} და C_{CaCO_3} - რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების კონცენტრაციაა, გ-მოლი/ლ.

C_{CaCO_3} და C_{CaO} - ის კონცენტრაცია მოცულობის ერთეულში მუდმივია. რადგან ეს მყარი ნივთიერებებია, გაზის კონცენტრაცია შეიძლება იყოს გამოხატული მისი პარციალური წნევით, ანუ $C_{CO_2} = P_{CO_2}$, ამიტომ, $K_p = P_{CO_2} = \varphi(T)$. (4.4)

ტემპერატურებისთვის, რომლებსაც აქვთ პრაქტიკული დანიშნულება, როგორც წესი გამოიყენება მიახლოებითი გამოსახულება:

$$\log_{10} P_{CO_2} = \frac{-9160}{T} + 8,4$$

$CaCO_3$ - ის დისოციაცია იწყება უკვე $600^\circ C$ - ის დროს; დაახლოებით $900^\circ C$ - ის დროს CO_2 -ის ორთქლის დრეკადობა აღწევს 1 ატ.-ს და დაშლა ინტენსიურად მიმდინარეობს. კალციუმის კარბონატის დისოციაციის ტემპერატურა, სხვადასხვა ავტორების მიერ განსაზღვრული, არსებითად განსხვავდება. ასე, ლე შატალიეს მიერ იგი უდრის $812^\circ C$, ბაიკოვის მიერ - $908^\circ C$, ხედვალის მიერ - $910 - 928^\circ C$. ასეთი განსხვავება იმით აიხსნება, რომ მიუხედავად მუდმივი ტემპერატურისა, P_{CO_2} სიდიდეს ცვლილება დამიკვიდრებულია $CaCO_3$ - ის დისპერსიის ხარისხზე. რაც უფრო მაღალია $CaCO_3$ - ის დისპერსიის ხარისხი, მით უფრო მაღალი ტემპერატურის დროს მიიღწევა CO_2 -ის ორთქლის დრეკადობა, რომელიც 1ატ.-ს ტოლია. ასე, ცარცის, რომელიც შედგება ძალიან წვრილი კრისტალებისგან, დაშლის ტემპერატურა უდრის $892 - 895^\circ C$, ხოლო მსხვილ კრისტალური მარმარილოს დაშლის ტემპერატურა - $921^\circ C$.

კალციუმის კარბონატის დაშლის ტემპერატურაზე, გ.პ.პოპოვის მონაცემებით, მოქმედებს გაზის ნაკადის ტემპერატურა. ასე, როცა გაზის ნაკადის ტემპერატურაა $900^\circ C$, ცარცის დაშლის ტემპერატურა $824^\circ C$ - ს ტოლია, ხოლო $1213^\circ C$ - ს დროს - $903^\circ C$ შესაბამისად.

ს.ვ. პოტაპენკოს გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ SiO_2 და Fe_2O_3 -ს მცირე რაოდენობები არ მოქმედებენ დაშლის ტემპერატურაზე. მხოლოდ SiO_2 -ს 18,42% შემადგენლობამ ნიმუშში გამოიწვია დაშლის სიჩქარის დაწევა.

დღესდღეობით დისოციაციის პროცესის მექანიზმი ხასიათდება შემდეგი სტადიებით: ა) $CaCO_3$ - ის ნაწილაკების დაშლა $CaCO_3$ -ში CaO -ს გადაჯერებული ხსნარის

წარმოქმნით; ბ) გადაჯერებული ხსნარის დაშლა CaO კრისტალების შექმნით; გ) გაზის დესორბცია, და შემდეგ მისი დიფუზია.

გამოწვის დროს იცვლება სტრუქტურა - CaCO_3 - ის ელემენტის რომბოედრული სტრუქტურა გადადის CaO -ს კუბურ სტრუქტურაში. CaCO_3 -ის სტრუქტურული ელემენტის ზომები უდრის $6,36 \text{ \AA}$, ხოლო CaO ელემენტის ზომა - სულ $4,80 \pm 0,01 \text{ \AA}$.

კალციტის სიმკრივე უდრის $2,72 \text{ გ/სმ}^3$, აქედან გამომდინარე, მისი 1 გ იკავებს მოცულობას $0,36 \text{ სმ}^3$. გამოწვის დროს კალციტის 1 გ რამიდან იქმნება CaO - ის $0,56 \text{ გ}$. CaO - ს სიმკრივე უდრის $3,4 \text{ გ/სმ}^3$. აქედან გამომდინარე, მის მიერ დაკავებული მოცულობა უდრის $0,16 \text{ სმ}^3$, ანუ საწყისი კალციტის ზომაზე ნაკლებია $2,25$ ჯერ. სინამდვილეში მიღებული კირის მოცულობა სულ ცოტათი ნაკლებია კირქვის მოცულობაზე. ამიტომ კირის ნატეხები გამოირჩევიან მაღალი ფორიანობით.

გამოწვის ტემპერატურის აწევის დროს იზრდება CaO - ის კრისტალები. ასე, 900°C ტემპერატურის დროს მათი ზომა შეადგენს $0,5 - 0,6 \text{ მკმ}$, 1000°C - ის დროს $1 - 1,5 \text{ მკმ}$, 1100°C - $2,5 \text{ მკმ}$. 1200°C -ზე მეტი ტემპერატურის დროს დგება აგლომერაცია; ფორიანობა და ხვედრითი ზედაპირი მკვეთრად მცირდება. ასევე იზრდება სიმკრივე 800°C $2,75 \text{ გ/სმ}^3$ -დან 1200°C $3,3 \text{ გ/სმ}^3$ - მდე და $3,4 \text{ გ/სმ}^3$ დამდნარი CaO - ის დროს. ყველაზე მაღალი აქტივობით და ჩაქრობის სიჩქარით ხასიათდება კირქვა, რომელიც გამოიწვა $900 - 1000^\circ\text{C}$ ტემპერატურის დროს. კირქვა, რომელიც გამომწვარია უფრო მაღალი ტემპერატურის დროს ხასიათდება ჩაქრობის დაბალი სიჩქარით. ყველა ნუმუშის რენტგენოსტრუქტურულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ გამოწვის განსხვავებული ტემპერატურების დროს CaO ინარჩუნებს კუბურ კრისტალურ მესერს. ამ მესერის პარამეტრები გამოწვის ტემპერატურის აწევის დროს 900°C - დან 1400°C - მდე მცირდება $4,840 - \text{დან } 4,796 \text{ \AA}$ - მდე. უჯრედის ასეთი უმნიშვნელო შეკუმშვა, ალბათ დაკავშირებულია გაზის ნარჩენების მოცილებასთან. ეს შეკუმშვა ხსნის CaO - ს აქტივობის დაწევას, რომელიც გამოიწვა მაღალი ტემპერატურის დროს.

აგლომერაციის პროცესი მიმდინარეობს დროში, ამასთან ერთად ყოველ ტემპერატურას შეესაბამება კრისტალური მესერის კონკრეტული მდგომარეობა და შესაბამისად CaO - ს გარკვეული რეაქციული აქტივობა. აგლომერაციის და რეკრისტალიზაციის პროცესებზე დიდ ზეგავლენას ახდენენ მინარევები, რომლებიც

შედიან კირქვის შემადგენლობაში. ზოგიერთი მინარევი ხელს უწყობს აგლომერაციის პროცესს, ზოგი კი - პირიქით. როგორც გამოკვლევებმა აჩვენეს, ისეთი ადვილად დნობადი მინარევები, როგორიცაა Na_2O და K_2O მნიშვნელოვნად ამცირებენ აგლომერაციის პროცესს; ალუმინის და რკინის ოქსიდები, პირიქით, ხელს უწყობენ აგლომერაციის პროცესს.

კალციუმის ბუნებრივ კარბონატებში ყველაზე გავცელებულ მინარევებს წარმოადგენენ კაჟ-მიწას SiO_2 , ოქსიდები Al_2O_3 და Fe_2O_3 , კალციუმის სულფატი CaSO_4 და მაგნიუმის კარბონატი MgCO_3 .

კაჟ-მიწა წარმოადგენს კარბონატული ქანების მუდმივ თანამგზავრს. როგორც წესი, ამ ქანებში არის კაჟ-მიწა 2 - დან 5% - მდე. გამოწვის პროცესზე დიდ ზეგავლენას ახდენენ Fe_2O_3 -ის მინარევები.

თაბაშირის უმნიშვნელო მინარევები უარყოფითად მოქმედებენ, რადგან ხელს უწყობენ თხევადი ფაზის შექმნას და მკვეთრად ამცირებენ მზა პროდუქტის ჩაქრობის სიჩქარეს.

MgCO_3 - ს მინარევები არსებითად მოქმედებენ გამოწვის ტემპერატურაზე. MgCO_3 - ს დაშლის პროცესი იწყება CaCO_3 - ის დაშლის პროცესზე გაცილებით ადრე. MgCO_3 - ს სრული დისოციაცია ხორციელდება 600 - 650°C ტემპერატურის დროს. თუმცა, MgO - ს აგლომერაციის და რეკრისტალიზაციის პროცესები მიმდინარეობენ უფრო ინტენსიურად, ვიდრე CaO - ს აგლომერაციის და რეკრისტალიზაციის პროცესები.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, CaCO_3 - ის დაშლის პროცესს მოჰყვება სითბოს შთანთქმა. ამიტომ, იმისათვის, რომ უზრუნველყოთ დაშლის პროცესის უწყვეტობა, სისტემას მუდმივად მიეწოდება სითბო, რომელიც არეგულირებს დაშლის ტემპერატურას. წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცესი შეიძლება შეჩერდეს. რადგან კალციუმის კარბონატის დაშლის რეაქცია მიმდინარეობს თანაბრად, იმისთვის, რომ გადავადგილოთ წონასწორობა მარჯვნივ, საჭიროა მოვაცილოთ გამოყოფილი CO_2 , ანუ, შევამციროთ მისი პარციალური წნევა. CO_2 - ს მოცულობა, რომელიც გამოიყოფა 1 კგ CaCO_3 - ს დაშლით, 1200°C ტემპერატურის დროს უდრის დაახლოებით 1,2 მ³. თუ იმას გავითვალისწინებთ, რომ ღუმელში, სადაც გამოიწვევა კირქვა, იქმნება საწვავის გამოწვის აირისებრი პროდუქტების დიდი რაოდენობა, წყლიანი ორთქლი, რომელიც გამოიყოფა

დამწვარი ნედლეულისა და ნავთობის გაშრობის პროცესში, მაშინ იმ გაზების მოცულობა, რომელიც უნდა იყოს მოშორებული, დაახლოებით იზრდება 5-ჯერ.

დაშლის რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, სისტემის დამორებაზე წონასწორული მდგომარეობიდან. 900 °C ტემპერატურის დროს რეაქციის სიჩქარე არც ისეთი დიდია, მაგრამ შემდგომში იგი მკვეთრად იზრდება. CaCO_3 - ის ნატეხების ერთ ფენაში დისოციაციის რეაქციის დასრულებასთან ერთდროულად მეორე ფენაში იწყება ანალოგიური რეაქცია, რომელიც ვრცელდება და აცალკევებს დეკარბონიზებულ ზონას რეაქციის ზონიდან. გამოწვის ქვეშ მყოფი კირქვის დაშლის ზონის წინ სვლის სიჩქარე, ფერნესის მონაცემებით წარმოადგენს ტემპერატურის ლოგარითმულ ფუნქციას:

$$\log_{10} R = 0,003145t - 3,3085,$$

სადაც R - დაშლის ზონის წინ სვლის სიჩქარე, სმ/სთ., t - გარემოს ტემპერატურა, °C.

ფერნესის ტოლობა არის მიახლოებითი, რადგან მასში არ არის გათვალისწინებული ნატეხების ფორმა და ზომა. მიუხედავად ამისა, ფერნესის ფორმულა შეიძლება გამოვიყენოთ პრაქტიკული გამოთვლებისთვის, რადგან განსხვავება ექსპერემენტალურ და გამოთვლით მონაცემებს შორის უმნიშვნელოა.

950°C ტემპერატურის დროს დაშლის ზონის წინ სვლის სიჩქარე დაახლოებით უდრის 5 მმ/სთ., ხოლო 1150°C - 20 მმ/სთ.

დაშლის ზონის წინ სვლის სიჩქარე განსაზღვრავს მასალის ნატეხების ყოფნის ხანგრძლივობას გამოწვის ზონაში. იმისთვის, რომ 1150 °C ტემპერატურის დროს დაიშალოს კირქვის ნატეხი ზომით 40 მმ, საჭიროა 1 სთ. $\left(\frac{40}{2 \cdot 20} = 1\right)$, ხოლო ნატეხისათვის ზომით 150 მმ - 3,75 სთ. $\left(\frac{150}{2 \cdot 20} = 3,75\right)$. ამიტომ, ღუმელის ჩატვირთვის დროს ცდილობენ, რომ ნატეხები იყვნენ რაც შეიძლება ერთგვაროვანი ზომის. წინააღმდეგ შემთხვევაში, უკვე გამომწვარი პატარა ნატეხები დიდი ხნის განმავლობაში დაიკავებენ ღუმელის სივრცის მოცულობას. პრაქტიკაში დიდი ნატეხების ზომა არ უნდა აღემატებოდეს პატარა ნატეხების ზომას 2-ჯერზე მეტად.

CaCO_3 - ის დაშლის სიჩქარეზე მოქმედებს CO_2 - ის პარციალური წნევა. რაც უფრო ნაკლებია CO_2 - ს კონცენტრაცია გარემოში, მით უფრო მაღალია დაშლის სიჩქარე. რაც

შეეხება წყლიანი ორთქლის ზეგავლენას, ზოგიერთი მკვლევარი (ც.ა. იოფე, ვ.ნ. იუნგი) თვლის, რომ ისინი ახდენენ კატალიკურ მოქმედებას CaCO_3 - ს დაშლის პროცესზე. სხვა მკვლევარები (გეი-ლიუსაკი, აზბე, ვურერი) ხსნიან დაშლის პროცესის აჩქარებას წყლიანი ორთქლების მონაწილეობით იმით, რომ სხვა ინერტული გაზების მაგვარად ისინი ამცირებენ CO_2 - ს პარციალური წნევას.

ამიტომ, კირქვის გამოწვის ტემპერატურის არჩევა განისაზღვრება მრავალი ფაქტორით. რაც უფრო მაღალია გამოსაწვავი ნედლეულის სიმკრივე და სისუფთავე, მით უფრო მაღალი უნდა იყოს გამოწვის ტემპერატურა. პრაქტიკაში სუფთა მყარი კირქვა გამოიწვება 1200°C ტემპერატურის დროს, ზოგჯერ 1300°C დროსაც. კირქვა, რომელიც შეიცავს თიხის მინარევების დიდ რაოდენობას და რბილი კირქვა, გამოიწვება $1050-1150^\circ\text{C}$ ტემპერატურის დროს, ხოლო კირქვა, რომელიც შეიცავს მაგნეზიალური მინარევების დიდ რაოდენობას - $900-1000^\circ\text{C}$ ტემპერატურის დროს. დოლომიტს გამოწვავენ 800°C ტემპერატურის დროსაც. კირქვის ყოფნის დრო გამოწვის ზონაში დამოკიდებულია ნატეხების ზომაზე და გამოწვის ტემპერატურაზე.

2.3 კირქვის ზომები (ფრაქციული შემადგენლობა)

ამერიკელმა მკვლევარმა ბოიტმანმა ჯერ კიდევ მე-20 ასწლეულის დასაწყისში თეორიულად და პრაქტიკულად დაამტკიცა, რომ კირის შახტურ ღუმელებში გამოსაწვავად საჭიროა ქვის ფრაქციის გამოყენება 50 მმ-დან 150 მმ-მდე.

ამის გარდა, უნდა გამახვილდეს სპეციალისტების ყურადღება იმაზე, რომ მინარევების უმნიშვნელო შემადგენლობამ კირქვაში შეიძლება გამოიწვიოს არასაშტატო სიტუაცია მუშაობის დროს. ამიტომ, არასასურველია ქვის მიღების სქემა სხვადასხვა არაშემოწმებული კარიერიდან და სხვადასხვა კარიერების ქვის შერევა.

3. კირქვის გამოწვის ღუმელები

დღესდღეობით კირქვის გამოწვა ხორციელდება შახტურ და მბრუნავ ღუმელებში, მდულარე ფენაში, და ასევე აწონილ მდგომარეობაში.

ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვეს შახტურმა ღუმელებმა, რომლებიც ძალიან ადვილია მოხმარებაში, არ მოითხოვს ძალიან დიდ საინვესტიციო დანახარჯებს

აშენებაზე, ეკონომიურებია თბოტექნიკური თვალსაზრისით. შახტური ღუმელების ნაკლს წარმოადგენს მათი არც თუ ისე მაღალი მწარმოებლურობა (მბრუნავ ღუმელებთან შედარებით), ასევე ის, რომ ამ ღუმელში შეუძლებელია წვრილი ფრაქციების (როგორც წესი, კირქვის ნაჭრების მინიმალური ზომა უნდა იყოს არანაკლები 40 მმ-ზე და მხოლოდ სპეციალური კონსტრუქციის მქონე ღუმელებში შესაძლებელია კირქვის ნაჭრების გამოწვა ზომით 10-20 ან 20-40 მმ.) გამოწვა. შახტური ღუმელები ასევე გამოუსადეგარია ცარცის და ნიჟარისებური ნედლეულის გამოწვისთვის.

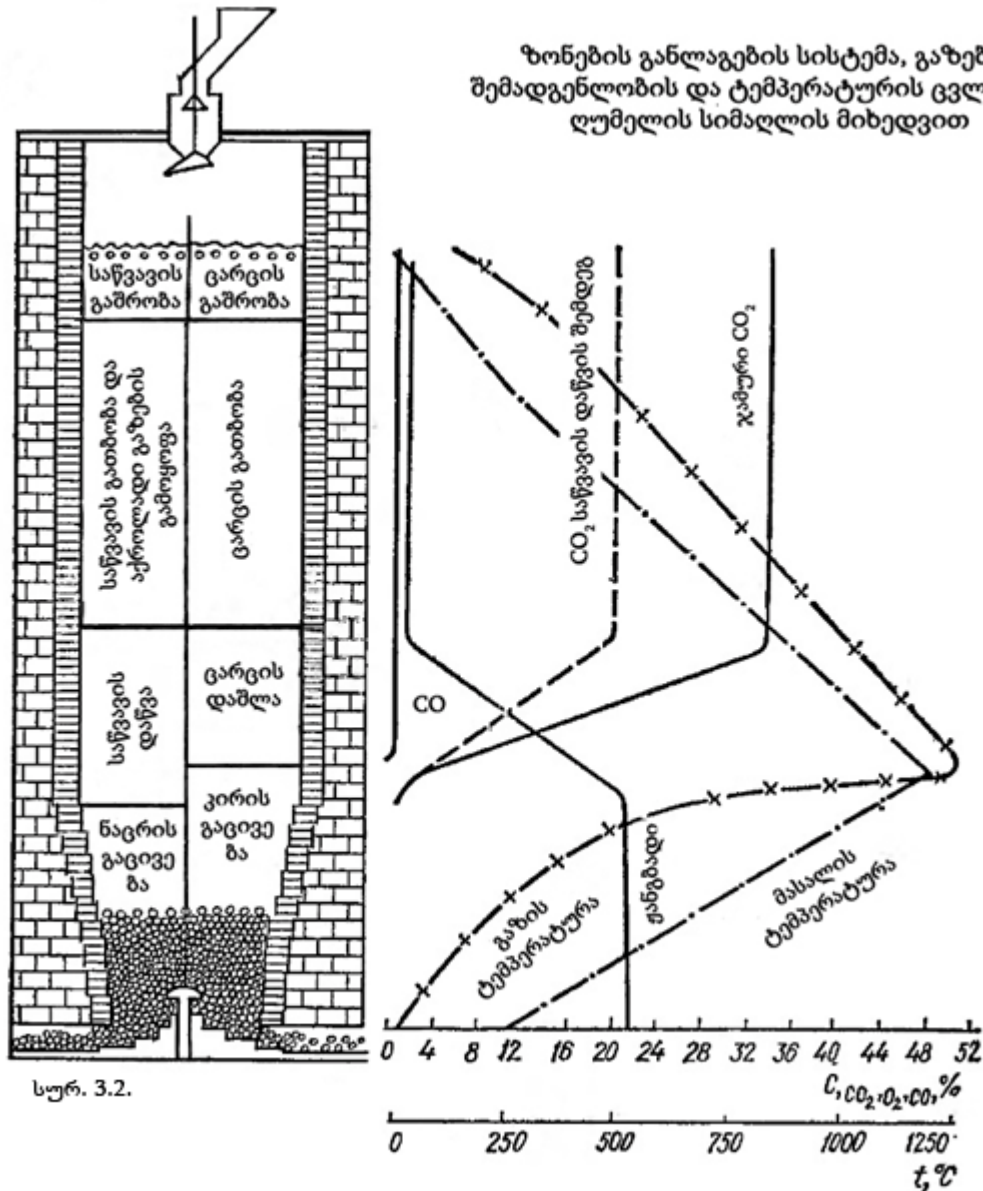
შახტურ ღუმელში შეიძლება გამოყენებული იყოს სხვადასხვა საწვავი: ნახშირი, გაზი, ნავთობი. მყარი საწვავის თვისებებზე დამოკიდებულებით შახტური ღუმელები იყოფა მიმოზნევის ღუმელებად, სადაც საწვავი იტვირთება გამოსაწვავ მასალასთან ერთად და იწვის უშუალოდ ღუმელის შიგნით და ღუმელებად გასატანი გაზის ან ნახევარგაზის საცეცხლებებით, რომლებშიც ხორციელდება საწვავის წინასწარი სრული დაწვა ან მისი გაზიფიკაცია.

მიმოზნევის შახტურ ღუმელში გამოიყენება საწვავი აქროლადი მინარევების მცირე რაოდენობით - ანტრაციტი, კოქსი, მოკლელაიანი ნახშირი.

ღუმელებში გასატანი საცეცხლებით სასურველია გამოყენებული იქნეს დიდი რაოდენობით აქროლადი მინარევების შემცველი საწვავი - გრძელაიანი ნახშირი, ტორფის.

მიმოზნევის შახტურ ღუმელში კირქვა და საწვავი მიეწოდება ზემოდან სპეციალური ჩასატვირთი მოწყობილობიდან. ამასთან, საწვავი ჩაიტვირთება 200-300 მმ-ის დაშორებით კედლებიდან. საწვავის დაწვისათვის საჭირო ჰაერი მიეწოდება ღუმელებს ქვევიდან. გამოწვის შემდეგ კირი უწყვეტად გადმოიტვირთება სპეციალური მექანიზმებით. დღესდღეობით ყველა ღუმელი მუშაობს ხელოვნურ წევაზე.

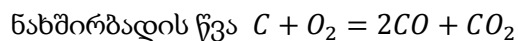
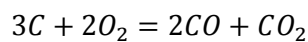
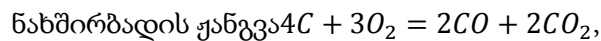
სიმაღლის მიხედვით, ღუმელი პირობითად შეიძლება დავეყოს ცალკეულ ზონებად.



პირველი - საწვავის და კირქვის გაწვავის ზონა. მასალის ტენიანობაზე დამოკიდებულით გაწვავის ზონა სიმაღლეში იკავებს ლუმელის სივრცის 8-12%. ამ ზონას მოჰყვება გაცხელების ზონა, რომელშიც კირქვა თბება 800-850 - მდე. აქ საწვავი არა მარტო ცხელდება, არამედ ხდება მისი კოქსად გარდაქმნა. ამ ზონაში ჟანგბადი არ არის, ამიტომ, აქროლადი ნივთიერებები, რომლების გამოყოფა იწყება 250 ტემპერატურის დროს და ინტენსიურად გრძელდება 500-700 ტემპერატურის დროს, არ იწვებიან. ანტრაციტის დაწვის დროს აქროლადებთან დაკავშირებული დანაკარგები აღწევს 8,5%-ს, ხოლო კოქსის დაწვის დროს - 2%-ს საწვავის სითბოუნარიანობისა. ამიტომ, მიმოხილვის ლუმელებში არ შეიძლება საწვავის გამოყენება, რომელიც შეიცავს

აქროლადი ნივთიერებების დიდ რაოდენობას. გათბობის ზონა სიგრძეში წარმოადგენს ყველაზე დიდ ზონას და იკავებს ღუმელის სიგრძის 40%-ს. გათბობის ზონას მოჰყვება საწვავის გამოწვის ზონა და კირქვის დაშლის ზონა. საწვავის დაწვის ზონა უფრო გრძელია, ვიდრე კირქვის დაშლის ზონა, რადგან საწვავის ნაწილი იწვება დაშლის ზონის ქვევით. მაქსიმალური ტემპერატურა მიიღწევა გამოწვის ზონის და კირქვის გაციების ზონის საზღვარზე.

საწვავის დაწვის ზონაში ხდება შემდეგი რეაქციები:



გამოწვის პროდუქტები ყოველთვის შეიცავენ CO-ს გარკვეულ რაოდენობას (1,0-1,5%), რომელიც არ იწვის ბოლომდე და გაიტანება ღუმელიდან ბოლით.

გაციების ზონაში კირქვის ტემპერატურა აღწევს დაახლოებით 100-150°C .

მიმობნევის ღუმელებში საწვავის დანახარჯი წარმოადგენს 13-16% დამწვარი კირქვის წონიდან. შახტური ღუმელების მწარმოებლურობა თანამედროვე ქარხნებში აღწევს 30-200 ტ/დღე-ღამეში. მიმობნევის ღუმელებში იტვირთება, როგორც წესი კირქვის ნატეხები ზომით 60-150 მმ. დამოკიდებულება საწვავის საშუალო ზომის ნატეხების და კირქვის ნატეხის საშუალო ზომასთან, როგორც წესი უდრის 0,5:1 - დან 1:1- მდე. მიმობნევის ღუმელებში კირქვა ჭუჭყიანდება საწვავის ნაცრით.

გრძელალიანი საწვავის დაწვის დროს გამოიყენება მაღალი საცეხლეს მქონე ღუმელები. საცეცხლე შეიძლება იყოს ორი სახის: სრული გამოწვის და ნახევარგაზის. სრული გამოწვის საცეცხლეებში საწვაი ჩაიტვირთება წვრილი ფენით, სადაც იგი სრულიად დაიწვება CO_2 -მდე და გამოწვის პროდუქტები 1100-1300°C ტემპერატურით მიეწოდება შახტურ ღუმელს. ასეთ ღუმელებში ნახშირის მოხმარება მიაღწევს 25% კირქვის მასიდან. ნახევარგაზიან საცეცხლეებში იმის შედეგად, რომ საწვაი იტვირთება

მაღალი ფენით და მიეწოდება ჟანგბადის არასაკმარისი რაოდენობა, ხდება არასრული გამოწვა. ნახევარგაზი, ანუ გაზი, რომელიც შეიცავს H_2 და CO -ს, 800-1000 °C ტემპერატურით მიეწოდება ღუმელს სპეციალური შესასვლელებით. ერთდროულად მიეწოდება ჰაერის დამატებითი რაოდენობა. საწვავის მოხმარება შეადგენს 18-20% კირქვის მასიდან.

გასატანი საცეცხლეების მქონე ღუმელებში კირქვა უფრო სუფთაა, თუმცა მათ გააჩნიათ უფრო დაბალი მწარმოებლურობა და ისინი ნაკლებად ეკონომიურები არიან, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას. რადგან მიწოდებული გაზები არ აღწევს ღუმელის შიგთავსს 0,9 მ - ზე მეტად, ამიტომ გასატანი საცეცხლეების მქონე ღუმელების დიამეტრი შემოიფარგლება 1,8 მ - ით.

გაზის ღუმელებში გაზი შეიყვანება ან ღუმელის შახტის ცენტრში, ან სხვადასხვა ჰორიზონტზე სიმაღლის მიხედვით. მეორე ვარიანტი საშუალებას იძლევა უფრო თანაბარი ტემპერატურა შევინარჩუნოთ გამოწვის ზონაში. ასეთი ღუმელების მწარმოებლურობა იზრდება 200 ტ/დღე-ღამეში. საწვავის მოხმარება შეადგენს 14-20% კირის მასიდან.

ნავთობზე ორიენტირებულ ღუმელებში, რომელსაც აქვთ ძალიან მაღალი გამოწვის ტემპერატურა, გამოწვისთვის გამოიყენება არა სუფთა ჰაერი, არამედ მისი ნარევი გამავალ გაზებთან. ნავთობი იწვის არასრული გამოწვის კამერაში და ანვითარებს ტემპერატურას 900-1000°C. დასაწვავი გაზები იწვება ბოლომდე უკვე შახტში მისი დიდ სიმაღლის მთელ სიგრძეზე. ასეთი პრინციპით მომუშავე აზბეს (აშშ) ღუმელი იხმარს ნავთობის 11%-ს. შახტის ღუმელების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში 5.1.

დღესდღეობით წარმოებაში ინერგება მიმოზნევის შახტურ ღუმელები 200-450 ტ/დღე-ღამეში მწარმოებლურობით და ღუმელები გაზის ტიპის საწვავით გამომუშავებით 100, 200 და 500 ტ/დღე-ღამეში.

	ღუმელების ტიპები
--	-------------------------

მაჩვენებლები	მიმოხვნვის			გაზის ტიპის საწვავზე			თხევად საწვავზე		ნახევარგაზიან ი საწვავზე
	გამომუშავება ტ/დღე-ღამე								
	50	100	200	50	100	200	30	100	30
ღუმელის ზომები, მ: სიმაღლე	18, 2	18,0	19,0	18, 2	18, 0	19,0	19,2	18,0	17,0
შახტის შიდა დიამეტრი	2,2	3,2	4,3	2,5	3,2	3,74x3,7 4	2,0x2, 0	3,3x3, 3	2,94
შახტის სასარგებლო მოცულობა	89, 0	143, 0	265, 0	89, 0	143	258			75
კირის დღე- ღამის აღება განივი განაკვეთის 1მ³-დან, ტ/მ³*დღე- ღამე	10, 2	12,5	13,8	10, 2	12, 5	14,7	8,4	8,8	6,9
კირის აღება სასარგებლო მოცულობის 1მ³-დან, ტ/მ³	0,5 6	0,7	0,75	0,5 6	0,7 0	0,80	0,46	0,5	0,4

პირობითი ნავთობის მოხმარება	133	133	133	156	156	155	183	184	147
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ცხრილი 5.1. შახტის ღუმელების მუშაობის ძირითადი მაჩვენებლები.

მბრუნავი ღუმელები წვრილი ფრაქციების გამოწვის საშუალებით იძლევიან რბილად დამწვარ კირს. გამოწვისთვის იყენებენ ღუმელებს სიგრძით 30 - დან 100 მ-მდე, რაც უდრო გრძელია ღუმელი, მით უფრო ნაკლებია საწვავის ხარჯი. მბრუნავი ღუმელების თბოტექნიკური მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად ამ ღუმელების უკან ამონტაჟებენ ორთქლის ქვებს, რადგან გამომავალი გაზების ტემპერატურა აღწევს 700-800 °C. ასევე იყენებენ კირის გამათბობლებს და, მაშინ მასალა მიეწოდება ღუმელს ტემპერატურით 500-700°C. განასხვავებენ შახტურ და ციკლონის ტიპის გამათბობლებს. თუ სითბოს დანახარჯი ღუმელებში დამატებითი მოწყობილობების გარეშე შეადგენს 25-30%, მაშინ ღუმელებში გამათბობლებით იგი მცირდება 16-20%-მდე. ღუმელი კომპლექტდება დოლისებრი მაცივრით, რომელიც აცივებს ღუმელიდან გამომავალ კირს. ღუმელების მწარმოებლურობა 200-500 ტ/დღე-ღამეში ტოლია. შემდგომში დაინერგება ღუმელები მწარმოებლურობით 1000 ტ/დღე-ღამეში.

მბრუნავი ღუმელების უპირატესობა სრულ მექანიზაციაში და ავტომატიზაციაში და ასევე იმაში, რომ ამ ღუმელებში შესაძლებელია რბილი ქანების და კირქვის შლამების გამოწვა, რაც შეუძლებელია შახტურ ღუმელებში ნებისმიერი საწვავის გამოყენების დროს. მბრუნავი ღუმელების ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში 5.2.

ამ ღუმელების ნაკლოვანებებს შახტურ ღუმელებთან შედარებით წარმოადგენს საწვავის მაღალი დანახარჯი, გამომავალი მტვრიანი გაზები, რაც მოითხოვს მტვრის დამჭერების დაყენებას, ლითონის მაღალი დანახარჯი 1 ტ სიმძლავრეზე, მაღალი კაპიტალდაბანდებები, ელექტროენერგიის მნიშვნელოვანი ხარჯი.

ბოლო პერიოდში მიმდინარეობს გამოწვის სხვა მეთოდების დამუშავება, რომლებიც განკუთვნილი არიან კირის მისაღებად წვრილფრაქციანი და მტვრის სახის ქანებიდან. წვრილფრაქციანი მასალა შეიძლება გამოიწვას მდუღარე ფენაში სპეციალურ ღუმელში. ღუმელი შედგება რამოდენიმე კამერისაგან (2-5), რომლებიც გაყოფილნი არიან

გისოსებიანი გუმბათოვანი კამერებით (თაღებით). ნედლეული მიეწოდება ზედა კამერას. გისოსის ნახვრეტებიდან მასალა არ ჩამოიყრება იმიტომ, რომ ხელს უშლის გაზების ამომავალი ნაკადები. ერთი კამარიდან მეორეში მასალა გადადის სპეციალური მილების საშუალებით. ზედა კამერებში ნედლეული შრება, შუა კამერებში - იწვის, ხოლო ქვედაში - ცივდება. გაზების ინტენსიური მოძრაობით მასალა მუდმივად იმყოფება ნახევრად აწონილ მდგომარეობაში, რაც გარეგნულად წააგავს დუღილს.

მაჩვენებლები	ღუმელების ტიპები				
	სითბოს შიდა გამცვლელი თ	კონვეერუ ლი გისოსით	შახტური გამათბობლი თ	სითბოს ციკლონურ ი გამცვლელი თ	ორთქლის ქვაბი- უტილიზატორ ით
ღუმელის ზომები, მმ: სირგმე	118	50	50	50	75
კორპუსის დიამეტრი	3,6	3,6	3,6	2,7	3,6
მწარმოებლურო ბა, ტ/სთ	12,5	12,7	12,7	7,5	15,0
პირობითი საწვავის მოხმარება, კგ/ტ	380	234	204	138	286
ნედლეულის ტიპი	ცარცის შლამი	ცარცი	კირქვა	კარბონატი ტი	კირქვა
ტენიანობა, %	40	16,5	2,0	3,0	4,0
ნატეხების	-	10-25;	10-20;	0,088-0,1	25-50

ზომები, მმ		25-50	20-40		
მაცივრის ტიპი	დოლისებრი ო 2,3x38 მ	დოლისებრი ო 2,5x25 მ	დოლისებრი 2,5x38 მ	დოლისებრი ო 2,5x20 მ	დოლისებრი 2,5x38 მ
გამომავალი კირის ტემპერატურა, °C	150	200	200	200	150
გაზების ტემპერატურა სითბოგაცვლით ო მოწყობილობის გამოსავალზე	250	250	430	145	200

ცხრილი 5.2. კირის გამოწვის მბრუნავი ღუმელების ძირითადი მაჩვენებლები.

კირის გამოწვისთვის ამა თუ იმ აგრეგატის არჩევა დამოკიდებულია ნედლეულის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებზე, საწვავის ტიპზე. მკვრივი კირქვის გამოსაწვავად უპირატესობა ენიჭება შახტურ ღუმელებს, ხოლო რბილი ქანების გამოსაწვავად - მბრუნავ ღუმელებს. თუ კირქვა შეიცავს ბევრ მინარევებს (თიხის ან მაგნეზიურს), მაშინ გამოწვისთვის ჯობია გამოვიყენოთ ღუმელები გასატანი საცეცხლეებით ან მბრუნავი ღუმელები, სადაც უფრო ადვილია ტემპერატურის რეგულირება.

3.1. საწვავის არჩევა

როგორც კირქვის მიწოდება, ასევე შეთანხმების გაფორმება საწვავის მიწოდებაზე უნდა დაიწყოს მისი სერტიფიკაციით.

საუკეთესო საწვავს შახტური ღუმელებისთვის წარმოადგენს დომენური კოკსი, შემდეგ მოდის ანტრაციტი და ქვის ნახშირი. საწვავის ფრაქციას უნდა ჰქონდეს თანაფარდობა კირქვის ფრაქციის საშუალო ზომასთან 1:1. კოკსისთვის დასაშვებია კირქვის ფრაქციაზე ორჯერ ნაკლები ფრაქცია.

ანტრაციტის გამოყენებისას აუცილებელია კირის ღუმელის ექსპლუატაციის წესების გათვალისწინება. წესები იგივეა, რაც კოკსისთვის, მაგრამ მათი შესრულება უნდა მოხდეს უფრო მკაცრად. ეს მოთხოვნები იმით არის განპირობებული, რომ ანტრაციტი განსხვავდება კოკსისგან. ანტრაციტს აქვს მაღალი დაწვის კუთრი სითბო, ამიტომ კირქვის გამოწვისთვის საჭიროა მისი ნაკლები რაოდენობა (შესაბამისად მოცულობაც). ეს იმას ნიშნავს, რომ შახტში უნდა იყოს საწვავის ნაჭრების ნაკლები რაოდენობა, მაგრამ გამოყოფილი სითბო იგივე უნდა დარჩეს. ამიტომ, კირქვის გამოწვა არ იქნება ისეთი თანაბარი, როგორც კოკსის გამოყენების დროს. საშუალოდ ღუმელის საერთო მაჩვენებლები გაუარესდება. ასევე გაიზრდება კირის მიწებება ამონაგებთან („ასტეროიდები“), რომლებსაც შეუძლიათ საერთოდ გააჩერონ ღუმელის მუშაობა. კირის წარმოებაში არსებობს კირქვასთან და ანტრაციტთან დაკავშირებული შემდეგი მოთხოვნები:

ა) ქიმიური შემადგენლობით კირქვა უნდა შეესაბამებოდეს შემდეგ ცხრილში მოყვანილ თვისებებს:

მაჩვენებლის დასახელება	ნორმა მარკისთვის, %	
	ჩ-1	ჩ-2
კალციუმის და მაგნიუმის ოქსიდების ჯამის (CaO+MgO)მასური წილი, არანაკლებ	53,5	51,5
მაგნიუმის ოქსიდის (MgO)მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	5	5
არახსნადი ნაშთის მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	2	4

--	--	--

ცხრილი 5.3

ბ) კირქვა, რომელიც მიეწოდება კირის წარმოებისთვის ფოლადის დნობის ქარხნებში, ქიმიური შემადგენლობით უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ცხრილში მოყვანილ მოთხოვნებს:

მაჩვენებლის დასახელება	ნორმა მარკისთვის, %			
	ც-1	ც-2	მ-1	მ-2
კალციუმის და მაგნიუმის ოქსიდების ჯამის (CaO+MgO)მასური წილი, არანაკლებ	53,5	52,5	53	51
მაგნიუმის ოქსიდის (MgO)მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	5	5	5	5
SiO ₂ -ის მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	1,5	2	1,5	3
გოგირდის (S) მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	0,06	0,09	-	-
ფოსფორის (F) მასური წილი, არ უნდა აღემატებოდეს	0,06	0,06	-	-

ცხრილი 5.4

გ) გრანულომეტრიული შემადგენლობით საჭიროა კირქვების გამოყენება ნაჭრების შემდეგი ზომებით: 40-80 მმ და 80-130 მმ;

ამასთან ერთად, კირქვა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ცხრილში მოყვანილ მოთხოვნებს:

კირქვის ნაჭრების ზომები, მმ	დასაშვებია ნაჭრები ზომებით, %, მასით არაუმეტეს:
-----------------------------	---

	ქვედა საზღვრის ქვევით	ზედა საზღვრის ზევით
40-80	7	7
80-130	7	7

ცხრილი 5.5

დ) 40-80 მმ კირქვაში არ დაიშვება ნაჭრების არსებობა 100 მმ-ზე მეტი ზომით, 80-130 მმ კირქვაში - 150-160 მმ-ზე მეტი ზომით;

ე) კირქვის ტენიანობას ადგენენ მწარმოებლის და მომხმარებლის შორის შეთანხმების გაფორმებით;

ვ) კირქვის მექანიკური გამზლეობის საზღვარი უნდა იყოს არანაკლებ 30 მპა;

ზ) ც-2, მ-2, ჩ-2 მარკების კირქვის მიწოდება არ დაიშვება თვიური მიწოდების 5%-ზე მეტი მოცულობით;

თ) ც-2, მ-2 მარკების კირქვის მიწოდება არ დაიშვება თვიური მიწოდების 10%-ზე მეტი მოცულობით.

3.2. მოთხოვნები ანტრაციტის მიმართ

ა) 40-80 მმ კირქვის გამოწვისთვის გამოიყენება AK მარკის ხარისხიანი ანტრაციტი ზომით 25-50 მმ, 80-130 მმ კირქვისთვის იყენებენ AK მარკის ანტრაციტს ზომით 50-100 მმ;

ბ) 80-130 მმ ზომის კირქვის გამოწვისთვის დასაშვებია AO მარკის ხარისხიანი ანტრაციტის გამოყენება;

გ) გამოყენებული ხარისხიანი ანტრაციტის ხარისხი უნდა შეესაბამებოდეს სახელმწიფო სტანდარტს ГОСТ 8186-80. გამოყენებული ხარისხიანი ანტრაციტის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლები მოყვანილია შემდეგ ცხრილში:

მაჩვენებლის დასახელება	მაჩვენებლის რიცხვითი მნიშვნელობა
------------------------	----------------------------------

ნაცრიანობა, %, მასის მიხედვით, არაუმეტეს	13,5
ტენიანობის მასური წილი, %, არ უნდა აღემატებოდეს	6
ქვედა საზღვარზე ნაკლები ზომის ნაჭრების მასური წილი, %, არ უნდა აღემატებოდეს:	
AK მარკისთვის	12
AO მარკისთვის	10

ცხრილი 5.6

საწვავის არჩევისას აუცილებელია კიდევ ერთი მომენტის აღნიშვნა. მიწოდებული საწვავის შესაბამისობა სახელმწიფო სტანდარტზე იშვიათი მოვლენაა, ამიტომ აუცილებელია ყოველთვის შემოწმდეს მისი ფრაქციული შემადგენლობა და მსხვილი ნაჭრების მსხვრევა. რადგამ ამ პროცესის დროს გარდაუვალია გადარჩევა, უმჯობესია უფრო ნაკლები ფრაქციის ანტრაციტის შეკვეთა იმის გათვლით, რომ მიიღება ზუსტად ასეთი ფრაქციის ანტრაციტი. მაგრამ შესაძლებელია სიტუაცია, როდესაც მიწოდებული პარტია მაინც შეიცავს საწვავის მსხვილ ნაჭრებს, რომლების გამოყენება საწვავის თანამედროვე დოზატორებში შეუძლებელია მსხვრევის გარეშე. ასე, მსხვრევა აუცილებელია ნებისმიერ შემთხვევაში, და უცნობია როდის იქნება დანაკარგები უფრო მეტი. უნდა დავიმახსოვროთ, რომ საწვავის ნებისმიერი პარტია შეიცავს წვრილ ფრაქციას, რომელიც საჭიროებს გადარჩევას და გადაყრას. ამის გათვალისწინებით, შესაძლებელია, რომ ეკონომიკურად უფრო მომგებიანი მსხვილი ფრაქციის საწვავის შეკვეთა და მისი ადგილზე მსხვრევა იყოს.

ქარხნის მუშაობის გაჩერების ერთი საათი ასტრონომიულად დიდია კოკსის და ანტრაციტის ღირებულებასთან შედარებით.

საწვავის მექანიკური ხარისხი ისეთი უნდა იყოს, რომ ბუნკერში ჩატვირთვის დროს კედლებზე დარტყმისას მისი მსხვრევა არ აღემატებოდეს 10%-ს.

საწვავის ნაცრიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 15%-ს, რადგან ამას შეიძლება მოჰყვეს არასაშტატო სიტუაცია კირქვის გამოწვის ღუმელში.

3.3. კირქვის, საწვავის და მათი ნარევის დოზირება

ბოიტმანის გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ საწვავის, კირქვის და მათი ერთმანეთთან შერევის დოზირების სიზუსტე წარმოადგენს ყველაზე მნიშვნელოვან მომენტს წარმოების ნორმალური ფუნქციონირებისთვის საწვავის და კირქვის ხარისხის შემდეგ.

ტენზოსენსორები, რომლებიც ყენდება ახალ ტექნიკაზე, საშუალებას იძლევა საწვავის აწონვის სიზუსტე გაზრდოს და აფიქსირებს ამ მონაცემებს კომპიუტერში კირქვის ღუმელში მიწოდებული ყოველი სკიპისთვის. ახალი ტექნიკის ასეთი შესაძლებლობები იძლევიან თითქმის ნებისმიერი ისეთი არასამტატო სიტუაციის ანალიზირების საშუალებას, რომელიც ჯერ არ მომხდარა, და მის გასაუქმებლად დროული ღონისძიების ჩატარებას. ამავე დროს ტენზოსენსორები მუშაობენ, როგორც გამაფრთხილებელი მექანიზმები ელექტრონული ამწის სამუშაოს ფიქსაციისთვის, და გამორთავს ამ ამწეს სკიპის გადატვირთვის დროს ან მისი გაჭედვისას სკიპის ამწის ტანში უკანა გზაზე.

ტენზომეტრია საშუალებას იძლევა უფრო იაფიან საწვავზე გადავიდეთ, როგორცაა ანტრაციტი ან ქვის ნახშირი, კოკსის მაგივრად. ტენზომეტრიის დაყენების ხარჯები ანაზღაურდება ფაქტიურად ქარხნის ერთი თვის სამუშაოს შემდეგ.

3.4. ღუმელის ჩატვირთვა

კირქვის ღუმელის (რომელიც აღჭურვილია ახალი გადმოსატვირთი მოწყობილობით) ჩატვირთვის დროს ამ მოწყობილოს სიმბეზე დებენ ფიცრის ნაჭრებს კირქვის დავარდნის თავიდან ასაცილებლად ბუნკერში გადმოსატვირთი მოწყობილობის ქვევით. ამისთვის დაახლოებით საჭიროა 2 მ² ფიცარი სისქით 10 მმ. ამის შემდეგ კირქვის ღუმელის სკიპში ჩაიტვირთება სუფთა ქვა საწვავის გარეშე და ღუმელი იტვირთება იქამდე, სანამ გადმოსატვირთი მოწყობილობა არ დაიფარება ქვით 300-400 მმ. ამის შემდეგ შეშა, დაჭრილი ფიცრებად 300-400 მმ-ზე, ჩაიტვირთება იგივე ხერხით ქვის ფენაზე სიმაღლით 2000 მმ. თუ შეშა დაჭრილია უფრო გრძელ ფიცრებად, მაშინ მათი ჩატვირთვა უნდა მოხდეს ხელით სპეციალური სამკრეწების საშუალებით კირქვის ღუმელში. მაგრამ ეს არის ძალიან შრომატევადი სამუშაო, რომლის პრაქტიკაში გამოყენება არ ღირს.

შემა უნდა იყოს ხის მაგარი ჯიშისგან, რომელიც არ შეიცავს ფისის ნარევს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ღუმელის დანთების შემდეგ საჭირო იქნება მისი გასუფთავება.

შემის ორმეტრიან ფენაზე ღუმელის დიამეტრის მიუხედავად, ჩაიტვირთება საწვავის ნორმალური დოზა (საწვავი არ აღემატება ნარევის მასას 6,5%-ზე მეტს).

მაგალითად, კირქვის მასა 470 კგ, მაშინ საწვავის მასა უნდა იყოს 33 კგ, მიუხედავად იმისა ეს კოქსია, თუ ნახშირია.

დამატებით საწვავის დაყრა შემაზე ქვის გარეშე კატეგორიულად არარეკომენდირებულია.

ღუმელი იტვირთება საწვავის ნორმალური დოზით მანამდე, სანამ არ ამუშავდება ნარევის ჩაიტვირთვის დონის მაჩვენებელი, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ღუმელი მზადაა დანთებისთვის. ამის შემდეგ საჭიროა ვენტილატორის ჩართვა ღუმელის დანთებისთვის და მისი მუშაობა 2-3 წუთის განმავლობაში, შემდეგ რიგრიგობით ვალებთ გამოსატვირთი მოწყობილობის კარები ჯერ ერთი, შემდეგ კი მეორე მხრიდან და ჩვეულებრივი ასანთით ან სანთებლით ვამოწმებთ წევას. თუ წევა არსებობს, მაშინ ალი აიწევა ღუმელში, თუ არა-საჭიროა ვენტილატორის შემოწმება. თუ წევა არსებობს, მაშინ რჩება ღუმელის დანთების ბრძანების ლოდინი.

3.5. ღუმელის დანთება

ქარხანაში ღუმელის დანთებისთვის საჭიროა ბრძანების გაცემა, რომელსაც ეცნობიან შესაბამისი სპეციალისტები და მუშაკები. ბრძანებაში საჭიროა ჩიწეროს უსაფრთხოების ტექნიკის ღონისძიებები, ღუმელის დანთების დრო, პერსონალის ინსტრუქტაჟი არასაშტატო სიტუაციებში.

ღუმელის დანთებისთვის თავიდან რთავენ ვენტილატორს. ამუშავებენ მას რამოდენიმე წუთს, ამოწმებენ წევას, გადმოსატვირთი მოწყობილობის ღია კარებიდან ყოველი მხრიდან შეშას ასხავენ დიზელს პროპორციით 0,5 ლ ყოველი მხრიდან და ჩვეულებრივი ასანთით დაანთებენ შეშას. გადმოსატვირთი მოწყობილობის კარებს ხურავენ, პერსონალი ტოვებს კირქვის განყოფილების შენობას, რჩება მარტო მორიგე, რომელიც უნდა იმყოფებოდეს დაშორებულ ადგილას და მან უნდა აკონტროლოს დანთების პროცესი კვამლით, რომელიც გამოდის ვენტილატორიდან. თუ კვამლი

გამოდის ვენტილატორიდან, ეს იმას ნიშნავს, რომ ყველაფერი წესრიგშია. 12 საათში შემა დაიწვება, ცვლაზე აყენებენ ოპერატორს, იგი ავსებს ღუმელს საჭირო დონემდე და ახდენს კირის პირველ გადმოტვირთვას ღუმელიდან. ამისთვის გადმოსატვირთი მოწყობილობა ირთვება მინიმალურ სიჩქარეზე. გადმოტვირთვა გრძელდება ცოტახანს, საჭიროა მხოლოდ ღუმელის სათანადო დონის სიგნალის ანთება, რომ საჭიროა ღუმელის ჩატვირთვა - ღუმელი იტვირთება და გადმოსატვირთ მოწყობილობას აჩერებენ. ტენზომეტრიის და კონტროლის საჭირო ავტომატიკის არსებობის შემთხვევაში დანთების პროცესი მიმდინარეობს ვენტილატორიდან გამომავალი ბოლით და ღუმელის გაზის ტემპერატურით, როცა იგი აღწევს 60°C , შესაძლებელია გაზის ტუმბოს ჩართვა და ღუმელის ჩაყენება ნორმალურ რეჟიმში ღუმელის გაზის ტემპერატურამდე 100°C .

გაზის ტუმბოს ჩართვის შემდეგ ვენტილატორს გამორთავენ (აჩერებენ). რუმელის დანთება დასრულებულია.

4.კირის თვისებები და მისი გამოყენება

კირის ნატეხების მოცულობითი მასა მერყეობს 1600-დან 2600 კგ/მ³-მდე და დამოკიდებულია გამოწვის ტემპერატურაზე და მინარევებზე, ამასთან უფრო ნაკლები მასა შეესაბამება გამოწვის უფრო დაბალ ტემპერატურას. დაფქული კირის მოცულობითი მასა ფხვიერ მდგომარეობაში უდრის 900-110 კგ/მ³, გამკვრივებულ მდგომარეობაში - 110-1300 კგ/მ³, ჰიდრატული კირი, შესაბამისად - 400-500 და 600-700 კგ/მ³, კირის ცომის - 1300-1400 კგ/მ³.

ჰაეროვანი კირის სამშენებლო თვისებები განისაზღვრება სახ.სტანდარტით 9179-70 (ცხრილი 7). ამ სტანდარტის თანახმად, ჰაეროვანი კირი იყოფა კალციუმის კირად ($MgO5\%$ -მდე), მაგნეზიურ ($5-20\% MgO$) და დოლომიტურ კირად ($20-40\% MgO$).

მაჩვენებლები	კალციუმის კირი			მაგნეზიური და დოლომიტური კირი		
	სახე					
	პირველი	მეორე	მესამე	პირველი	მეორე	მესამე

აქტიური $CaO + MgO$ -ს შემცველობა მშრალ ნივთიერებაზე გადათვლით,%, არა ნაკლებ:						
ა) ჩაუმქრალ კირში დანამატების გარეშე	90	80	70	85	75	65
ბ) ჩაუმქრალ კირში დანამატებით	64	52	-	64	52	
აქტიური MgO -ს შემცველობა, %, არ უნდა აღემატებოდეს	5	5	5	20(40)	20(40)	20(40)
CO_2 -ის შემცველობა, %, არ უნდა აღემატებოდეს	3	5	8	5	8	11
ჩაუმქრალი ნაწილაკების შემცველობა კირში, %, არ უნდა აღემატებოდეს	7	10	12	10	15	20

ცხრილი 6.1. სამშენებლო ჰაეროვანი კირის ტექნიკური მოთხოვნები. A. ჩაუმქრალი კირი

მაჩვენებლები	პირველი სახე	მეორე სახე
აქტიური $CaO + MgO$ -ს შემცველობა მშრალ ნივთიერებაზე გადათვლით,%, არა ნაკლებ:		
ა) ჰიდრატულ კირში დანამატების გარეშე	67	60
ბ) ჰიდრატულ კირში დანამატებით	50	40
CO_2 -ის შემცველობა, %, არ უნდა აღემატებოდეს	3	5
კირის ტენიანობა, %, არ უნდა აღემატებოდეს	5	5
ნაწილაკების ნარჩენები საცერზე, %, არ უნდა აღემატებოდეს:		
№ 063	2	2
№ 008	10	10

ცხრილი 6.2. სამშენებლო ჰაეროვანი კირის ტექნიკური მოთხოვნები. B. ჰიდრატული კირი.

დაფქულ ჩაუმქრალ კირს უყენებენ კიდეც ერთ მოთხოვნას-დაფქვის სიწმინდე. ნარჩენი საცერზე № 02 არ უნდა აღემატებოდეს 1%-ს, ხოლო საცერზე № 008 - არ უნდა აღემატებოდეს 10%-ს.

ჩაუმქრალი კირი განსხვავდება ჩაქრობის სიჩქარითაც. სწრაფად ჩაქრობად კირს მიეკუთვნება ისეთი კირი, რომლის ჩაქრობის სიჩქარე 8 წუთამდეა, საშუალო ჩაქრობად კირს - 8-დან 25 წუთამდე და ნელა ჩაქრობად კირს მიეკუთვნება კირი ჩაქრობის სიჩქარით 25 წუთზე მეტი. სამშენებლო კირის მნიშვნელოვან თვისებად ითვლება ცომის შექმნა, რომელიც მიიღება 1 კგ კირის ჩაქრობით. მაღალხარისხიანი ცხიმოვანი კირი

ხასიათდება ცომის შექმნით 2,5-3,5 ლ/კგ და მეტი. თხელი კირიდან გამოდის 1,8-2,5 ლ/კგ ცომი.

კირის წყალზე მოთხოვნა დიდია. 1მ³ კირის ხსნარზე იხარჯება, როგორც წესი, 300-350 ლ წყალი. დაფქული კირის გამოყენების დროს წყალზე მოთხოვნა მცირდება, ხოლო ცომის ან ჰიდრატული კირის გამოყენებისას - იზრდება.

კირი გამოირჩევა ძალიან მაღალი მოქნილობით, რაც განპირობებულია მისი მაღალი წყალდაკავების უნარით და ცომის შექმნით.

კირის ხსნარები ჰიდრატული კირისაგან და კირის ცომისაგან მაგრდება ძალიან ნელა. 28-ე დღე-ღამეზე მათი გამძლეობა უდრის 5-10 კგს/სმ². ხსნარები დაფქული კირისაგან მაგრდება 15-60 წუთის განმავლობაში და 28-ე დღე-ღამეზე მათი გამძლეობა უდრის 30 კგს/კგ.

კირს აქვს მაღალი მოქნილობა, მაგრამ მისი გამოყენება შემავსებლების გარეშე არ შეიძლება, რადგან გაშრობის შემდეგ კირის ცომი იფარება ბზარების ბადით. კირის შეკვრა კვარცის შემავსებელთან აღემატება სხვა მასალებს. ეს იმით აიხსნება, რომ კირი ზედაპირულად მოქმედებს შემავსებელთან, ამასთან იქმნება მკვრივი და მაგარი კონტაქტური ფენა.

თუ კირი შეიცავს ბევრ ჩაუმქრალ ნაწილაკს, მაშინ შეიძლება მოხდეს მისი მოცულობის არათანაბარი ცვლილება იმასთან დაკავშირებით, რომ გადამწვარი ნაწილაკების ჰიდრატაცია მოხდება მოცულობის გაზრდით უკვე გამყარებულ ცომში.

კირის ხსნარები ხასიათდება გამძლეობით საჰაერო-მშრალ პირობებში. კარბონიზაცია ხელს უწყობს კირის ხსნარების სიმაგრის გაზრდას. ტენიან პირობებში ისინი ნელ-ნელა კარგავენ სიმტკიცეს, განსაკუთრებით გაყინვის და დადნობის დროს, მშრალ მდგომარეობაში კარგად იტანენ დაბალ ტემპერატურას, რასაც ახასიათებს კიროვანი თაბაშირის დიდხანს შენარჩუნება.

კირი ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში. იგი არის ადგილობრივი შემკვრელი მასალა, რადგან კირი ბუნებაში გვხვდება ბევრ ადგილას. კირი გამოიყენება: ასაშენებელი და გასაღესი ხსნარების მომზადებისთვის (კირის, კირ-თაბაშირის, შერეული კირი-ცემენტის), რომლებიც გამოიყენება საჰაერო-მშრალ პირობებში; დაბალმარკიანი

ბეტონისთვის, რომელიც გამოიყენება დაბალსართულიან სოფლის მშენებლობაში, შერეული ცემენტის მიღებისათვის; შესაფერადებელი კირის შემადგენლობისთვის.

მშენებლობის გარდა კირი გამოიყენება სახალხო მეურნეობის ბევრ სხვა დარგში, კერძოდ სოდის წარმოებისთვის, ნავთობქიმიურ, ტყავის, საფეიქრო მრეწველობაში, ზეთების გაღიავენისთვის და ბევრი სხვა მიზნისთვის.

4.1 კირის გამოწვის ხარისხი და კონტროლი

კირის გამოწვის ხარისხი წარმოადგენს კირის ღუმელის მუშაობის მნიშვნელოვან მაჩვენებელს. ამის მიუხედავად, კირის ღუმელის მომსახურე პერსონალი ბევრ შემთხვევაში არ თვლის ამ მაჩვენებელს საჭიროდ.

მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ კირქვის გამოწვის ტექნოლოგიის თვალსაზრისით, საწვავის ეკონომიით და კირქვის ხარისხით გამოწვის დონე უნდა იყოს 87,5%. კირქვის და საწვავის ხარისხზე დამოკიდებულებით ან მათი ფასების თანაფარდობით გამოწვის ხარისხი შეიძლება აღემატებოდეს თეორიულად გამოთვლილ ხარისხს - 93%.გამოწვის ხარისხი გამოითვლება ფორმულით:

$$N_{\text{გამოწვის}} = (Q_{\text{ღუმელში ჩატვირთული კირქვა}} - Q_{\text{ნარჩენები}}) / Q_{\text{ღუმელში ჩატვირთული კირქვა}}$$

სადაც, $N_{\text{გამოწვის}}$ - გამოწვის ხარისხია,

$Q_{\text{ღუმელში ჩატვირთული კირქვა}}$ - ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა ტონებში,

$Q_{\text{ნარჩენები}}$ - ღუმელიდან გამოსული გამოწვის გარეშე (ბრუნვადი ქვა) კირქვის რაოდენობა ტონებში, მისი ფრაქცია 20 მმ და უფრო მეტი, და „ქვიშა“ ან კირქვა ფრაქციით 20 მმ-ზე ნაკლები.

გამოწვის ხარისხი ისე უნდა არჩეულ იქნას, რომ შედეგად გამოვიდეს ხარისხიანი კირი. მიახლოებითი მაჩვენებლები სხვადასხვა შემადგენლობის კირქვისთვის მოყვანილია ცხრილში 6.3:

კირის ხარისხი	%, კირის შემადგენლობა		ჩაქრობის მაქსიმალური ტემპერატურა, °C	ჩაქრობის ხანგრძლივობა მაქსიმალურ ტემპერატურამდე,
	თავისუფალი კირი	აქტიური კირი		

				წუთ.
კარგი	92-ზე მეტი	90-ზე მეტი	90-ზე მეტი	10-ზე ნაკლები
დამაკმაყოფილებელი	88-92	85-90	85-90	10-15
არადამაკმაყოფილებელი	88-ზე ნაკლები	85-ზე ნაკლები	85-ზე ნაკლები	15-ზე მეტი

ცხრილი 6.3

5. ღუმელის ექსპლუატაცია. ღუმელის ოპერატორების მუშაობა

ღუმელის ნორმალური ფუნქციონირებისთვის საჭიროა:

1. ჩასატვირთი მოწყობილობის საბრუნო ხონჩის უწყვეტი მუშაობის უზრუნველყოფა. ნარევის ყოველი ჩატვირთვის ციკლის შემდეგ ღარი ბრუნდება 65° -ით. ხონჩის გაჩერება დიდი ხნით-წარმოადგენს ავარიას, რასაც მოჰყვება მიკვრების შექმნა და უკიდურეს შემთხვევებში-ე.წ. „ასტეროიდების“ შექმნა. მუშაობის დარღვევად ასევე ითვლება საბრუნო ხონჩის კუთხის შეცვლა $\pm 5^{\circ}$ -ზე მეტად. ცვლაში ერთხელ მაინც უნდა შემოწმდეს ხონჩის ბრუნვის კუთხე. ხონჩის ბრუნვა შეიძლება მოხდეს ჩატვირთვის ციკლის ნებისმიერ დროს, გარდა ჩასატვირთი მოწყობილობის ქვედა კლაპანის გახსნის მომენტისა, რადგან ნარევი უნდა იყრებოდეს უძრავ ღარზე.
საჭიროა მუდმივად თვალი ვადევნოთ ავტომატური მოწყობილობის მუშაობას, რომელიც ბლოკავს ღუმელის ჩატვირთვას ღარის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში.
2. ღუმელიდან გამოსვლისას ღუმელის გაზების ტემპერატურის შენარჩუნება დიაპაზონში $100-120^{\circ}\text{C}$. თერმოწყვილი, რომელიც ზომავს ამ ტემპერატურას, უნდა იყოს დაყენებული გაზების გამოსვლის ადგილზე ღუმელის გარის შემდეგ.

ლუმელის გაზის ტემპერატურა ლუმელიდან გამოსვლისას - ეს არის გამოწვის ზონის მდგომარეობის ინდიკატორი. ლუმელის გაზის 100-120°C ტემპერატურის დროს გამოწვის ზონა მდებარეობს ლუმელის შახტის ოპტიმალურ სიმაღლეზე. ამ ტემპერატურის გაზრდა მითითებული დიაპაზონის ზემოთ - არის გამოწვის ზონის ზევით გადაადგილების მაჩვენებელი. ლუმელის გაზის ტემპერატურის დაწევა მითითებული დიაპაზონის ქვევით - არის გამოწვის ზონის ქვევით გადაადგილების მაჩვენებელი. გამოწვის ზონის ორივე გადაადგილებას მოჰყვება ლუმელის მუშაობის ყველა პარამეტრის გაუარესება: გამოუმწვრობის გაზრდა, CO_2 -ის კონცენტრაციის შემცირება, კირქვის და საწვავის გადახარჯვა, ლუმელის მწარმოებლურობის დაწევა.

ზონის ზევით გადაადგილების შემთხვევაში საჭიროა ან გაზის გამოსვლის შემცირება, ან კირის გამოსვლის გაზრდა, ან ერთდროულად ორივეს განხორციელება. ზონის გადაადგილებისას ქვევით საჭიროა ან კირქვის გამოსვლის შემცირება, ან გაზის გამოსვლის გაზრდა, ან ორივე ერთად.

მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმის მხარდაჭერა უნდა ხდებოდეს ლუმელის გაზის ტემპერატურით ლუმელიდან გამოსასვლელში. ლუმელის გაზის ტემპერატურის დიაგრამა წარმოადგენს ლუმელის მუშაობის ძირითად საანგარიშო დოკუმენტს. ამ ტემპერატურის ნელი გაზრდა 120°C-ის ზევით იმის მაჩვენებელია, რომ გამოწვის ზონა გადაადგილდა ზევით, ხოლო ტემპერატურის ნელი ჩამოწევა 100 °C -ის ქვევით აჩვენებს, რომ გამოწვის ზონა გადაადგილდა ქვევით.

3. სკიპში ჩატვირთული საწვავის დოზის სისწორის შემოწმება. (საწვავის დოზა - ეს არის საწვავის მასის თანაფარდობა ნარევის მასასთან სკიპში). კოკსზე მუშაობისას ეს დოზა უნდა იყოს 6,5-7,0%, ანტრაციტზე მუშაობისას - 6-6,5%.

როგორც წესი, საწვავის დოზის ზრდა იწვევს კირის გადამწვრობას, CO_2 -ის კონცენტრაციის შემცირებას, ლუმელის მწარმოებლურობის შემცირებას, „ასტეროიდების“ შექმნას, ამონაგის მაღალ გაცვეთილობას.

მინიმუმ კვირაში ერთხელ საჭიროა საწვავის დოზის კონტროლი. ასეთი შემოწმების დროს საწვავის დოზა აიწონება საკონროლო სასწორზე და ჩაიყრება ასაწონი დოზატორის სკიპში. საჭიროებისას საპირწონის სიდიდის გაზრდით ღებულობენ ასაწონი მოწყობილობის ზღვრულ მუშაობას. არასწორია ასაწონი მოწყობილობის მუშაობის შემოწმება საკონტროლო ჰანტელების დადებით

ციცხვში, რადგან მათი მასების ცენტრი, როგორც წესი, არ ემთხვევა ჩასატვირთი საწვავის მასების ცენტრს.

არ არის მიღებული საწვავის დოზის შეცვლა ამინდის პირობების ცვლილებების გამო. ქარხანაში შემოსული საწვავის საშუალო ტენიანობა უნდა უდრიდეს დაახლოებით 5-7%.

საჭიროა სკიპის სისუფთავის შენარჩუნება, რადგან მასში ჭუჭყის დაგროვებით ჩასატვირთი საწვავის არაცვალებადი მასით ხდება საწვავის დოზის ავტომატური ზრდა.

4. ღუმელის თანაბარი ჩატვირთვა და ნარევის დონის უზრუნველყოფა ღუმელის მთელი მუშაობის მანძილზე.

ღუმელის დონის დაწევას მოჰყვება მთელი რიგი ნეგატიური მოვლენები:

- უარესდება ნარევის გადანაწილება ღარის მოწყობილობით, რადგან არ შენარჩუნდება ტექნიკური მანძილი ღარის კიდიდან ნარევის დონემდე;
- დონის დაწევა იწვევს გათბობის ზონის სიმაღლის შემცირებას და ამიტომ კირქვა, რომელიც იტვირთება ამ დონეზე, გამოდის ღუმელიდან გამოუმწვარი;
- ამასთან ერთდოულად გათბობის ზონის მცირე სიმაღლე არ აძლევს ღუმელის გაზს საშუალებას გაცივდეს 100-120 °C-მდე, და იგი გამოდის მაღალი ტემპერატურით, სითბოს დანაკარგების გაზრდით, რასაც მოჰყვება საწვავის გადახარჯვა და CO_2 – ის კონცენტრაციის შემცირება ღუმელის გაზში;
- დაწეული დონე აშიშვლებს გაზის გამოყვანის კოჭს, რასაც მოჰყვება ღუმელის გაზის ტემპერატურის სწრაფი ზრდა მაშინაც კი, როდესაც გამოწვის ზონა სწორ მდგომარეობაშია, ეს კი ახდენს მომსახურე პერსონალის დეზორიენტაციას, რომელიც აკონტროლებს გამოწვის ზონის მდგომარეობას ღუმელის გაზის მეშვეობით; ამ დეზორიენტაციას მოჰყვება ღუმელის შემდგომი ინტენსიური ჩატვირთვა, რაც იწვევს ღუმელის გაზის ტემპერატურის მკვეთრ დაწევას 100 °C -ის ქვევით, მაშინაც კი, როდესაც გამოწვის ზონა სწორ მდგომარეობაშია.
- კოჭის გაშიშვლება იწვევს ღუმელის გაზის გამტვრიანებას, რადგან კოჭის ზევით ქრება ნარევის ფენა, რომელიც ასრულებს ფილტრის როლს

მტვრისთვის და რომელიც აიწევა მშრალი ნარევის ჩატვირთვისას ღუმელში;

- ღუმელის გაზის აწეული ტემპერატურა ნეგატიურად მოქმედებს ჩასატვირთი მოწყობილობის ღარის მეტალურ კონსტრუქციაზე.

კვამლგამწოვის მწარმოებლურობის შეცვლა საჭიროა განხორციელდეს მხოლოდ მარეგულირებელი ტიხრებით, რომლებიც დაყენებულია რეცირკულაციის ხაზზე, რომელიც აერთიანებს კვამლგამწოვის დამწნევ და შემწოვ კოლექტორებს. კვამლგამწოვების რეგულირება საფარებით, რომლებიც დაყენებულია შესასვლელზე და გამოსასვლელზე, არ დაიშვება. ეს ტიხრები იხსნება მხოლოდ ღუმელის დანთებისას და იხურება მისი სრული გაჩერების შემდეგ. კვამლგამწოვების მწარმოებლურობის უხეში რეგულირება ხორციელდება დისტანციურად ღუმელის ოპერატორის მიერ. კვამლგამწოვების მწარმოებლურობის ავტომატური რეგულირება ღუმელის გაზის ღუმელიდან გამოსვლისას ვიწრო დიაპაზონში (10% ნომინალურიდან) შენარჩუნებისათვის, ხორციელდება რეგულატორით, რომელიც მუშაობს ამ ტემპერატურის მიხედვით.

გამოსატვირთი მოწყობილობის უწყვეტი მუშაობის უზრუნველყოფა. გამოტვირთვის უსაფუძვლო გაჩერება უნდა ჩაითვალოს რეჟიმის უხეშ დარღვევად. მყარ საწვავზე მომუშავე ღუმელის ტემპერატურულ რეჟიმს გარდაუვლად იქამდე მივყავართ, რომ გამომწვარი კირის ნატეხები, რომლებიც განლაგებული არიან საწვავის ანთებული ნატეხების ახლოს, მიეკვრება ერთი მეორეზე. მაგრამ, გამოსატვირთი მოწყობილობის უწყვეტი მუშაობა იწვევს ამ კონტაქტების დარღვევას ნარევის მოძრაობის გამო. ხოლო გამოსატვირთი მოწყობილობის გაჩერება ხელს უწყობს წარმოებული მიკვრების გამტკიცებას, რაც მკვეთრად აუარესებს ღუმელის მუშაობას, რადგან იწვევს ჰაერის არათანაბარ განაწილებას ნარევის კვეთაზე და შემდგომში გამოწვის ზონის გადაფერდებლად. უწყვეტი გამოტვირთვის მოთხოვნის აუცილებლობა ძალზედ მნიშვნელოვანია წვრილ კირქვასთან მუშაობის დროს, რადგან რაც უფრო წვრილია კირქვა, მით უფრო დიდია კონტაქტის ზედაპირი ნატეხებს შორის, მით უფრო მტკიცეა კავშირი, რომელიც გამოწვეულია აგლომერაციით. ტემპერატურის ზრდა 150°C-ზე მეტად - ტექნოლოგიური რეჟიმის უხეში დარღვევაა, რადგან ადასტურებს გამოწვის ზონის უკიდურეს დაწევას. მაღალმა ტემპერატურამ გამოსატვირთ

მოწყობილზე შეიძლება გამოიწვიოს მისი დეფორმაცია და გამოიყვანოს მწყობრიდან.

5. ღუმელის გაზის რეგულარული ანალიზის უზრუნველყოფა.

ანალიზების ჩატარებისას განისაზღვრება CO_2 – ის, O_2 – ის და CO – ს შემადგენლობა გაზში. გაზის ანალიზი - არის საუკეთესო საშუალება ღუმელის მუშაობის შესაფასებლად. ნორმალურად ფუნქციონირებადი ღუმელის საშუალო ანალიზი: CO_2 – 36 – 38%, O_2 – 2 – 4%, CO – 1% – მდე, დანარჩენი – აზოტია.

შესაძლებელია შემდეგი გადახრები:

- CO_2 -ის დაბალი შემცველობა, ჟანგბადის მაღალი შემცველობა, CO -ის დაბალი შემცველობა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ღუმელის სითბური მუშაობა ნორმალურია, მაგრამ ღუმელის თავზე ან გაზის გამოწვივის ტრაქტზე აღმოჩნდა ხვრელები, რომელთა საშუალებითაც შეიწოვება ჰაერი. საჭიროა ამ ხვრელების გაქრობა.
- CO_2 -ის დაბალი შემცველობა, O_2 – ის დაბალი შემცველობა და CO -ს მაღალი შემცველობა (2-3%-ზე მეტი). ეს საწვავის მაღალი დოზის მაჩვენებელია, საჭიროა საწვავის დოზის შემოწმება.
- CO_2 -ის დაბალი შემცველობა, O_2 – ის და CO -ს ნორმალური შემცველობის დროს. ეს ნიშნავს, რომ გამოწვივის ზონა მდებარეობს არაოპტიმალურ ადგილას. ამ დროს ღუმელის გაზის ტემპერატურა ღუმელიდან გამოსვლისას განსხვავდება ოპტიმალურისგან. გამოწვივის ზონა უნდა დაყენდეს საჭირო სიმაღლეზე.
- CO_2 -ის დაბალი შემცველობა, O_2 – ის და CO -ს მაღალი შემცველობა. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გამოწვივის ზონა გადაფერდდა. საჭიროა ღარის მუშაობის სისწორის შემოწმება. ღარის ნორმალური მუშაობისას ეს ანალიზი იმის მაჩვენებელია, რომ ღუმელში შეიქმნა „ასტეროიდები“.

6. ღუმელის მწარმოებლობის პერიოდული შეფასება. ღუმელის დღე-ღამური მწარმოებლობა ითვლება შემდეგნაირად:

- განისაზღვრება ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა:
 $W = g \cdot n$, ტ/დღე-ღამეში, სადაც
 g - კირქვის მასა სკიპში, n - ჩატვირთული სკიპების რაოდენობა დღე-ღამეში.
- განისაზღვრება კირის განყოფილების ნარჩენების რაოდენობა:

Q ტ/დღე-ღამეში

- განისაზღვრება კირქვის რაოდენობა, რომელიც იყო დახარჯული კირის წარმოებისთვის:

$D=(W-Q)$, ტ/დღე-ღამეში

- განისაზღვრება CaO -ს რაოდენობა, მიღებული დღე-ღამის განმავლობაში:

$P = \frac{D * CaCO_3}{(100 * 1,786)}$, ტ/დღე-ღამეში, სადაც, $CaCO_3$ - აღნიშნავს

$CaCO_3$ -ის შემცველობას კირქვაში %-ში (განისაზღვრება კირქვაზე სერტიფიკატით);

- განისაზღვრება აქტიური კალციუმის ჟანგის რაოდენობა, რომელიც არის წარმოებულ კირში %-ში ლაბორატორიული ანალიზის საფუძველზე.

ასე რომ, ღუმელთან მომუშავე ოპერატორის მუშაობა გულისხმობს შემდეგი მარტივი ოპერაციების ჩატარებას:

- ღუმელის უწყვეტი და თანაბარი ჩატვირთვა საბრუნო ღარის მუშაობის დროს;
- გამოსატვირთი მოწყობილობის უწყვეტი მუშაობის უზრუნველყოფა;
- საწვავის სწორი დოზის უზრუნველყოფა;
- ღუმელიდან გამოსვლისას ღუმელის გაზის ტემპერატურის უზრუნველყოფა 100-120 °C დიაპაზონში, კვამლგამწოვებების და გამოსატვირთი მოწყობილობის მწარმოებლობის რეგულირების საშუალებით.

მიაქციეთ ყურადღება იმას, რომ ღუმელის მუშაობის შეფასება ღუმელის გაზის ტემპერატურით ღუმელიდან გამოსვლისას დაიშვება მხოლოდ იმ ღუმელებისთვის, რომლებიც მუდმივად და თანაბრად იტვირთება და რომლებშიც ხდება ნორმალური დონის შენარჩუნება. ღუმელის მუშაობის სისწორის შეფასება ღუმელის გაზის ტემპერატურით არ დაიშვება, როდესაც ხდება ნედლეულის ნარევის დონის დაწევა ღუმელის გაზის გამოსვლის დონის ქვევით, რადგან ამ დროს გაზის ტემპერატურა მკვეთრად გაიზრდება გამოწვის ზონის სწორი მდგომარეობის დროსაც კი.

გაიშვიათება ღუმელიდან გამოსვლისას არ წარმოადგენს ღუმელის მუშაობის განმსაზღვრელ პარამეტრს და ემსახურება მხოლოდ გამოსატვირთი მოწყობილობის სარქველების დახურვის ჰერმეტიულობის შეფასებას.

კირქვის ღუმელის მუშაობა კონტროლირდება ხელსაწყოებით და ვიზუალურად ღუმელის ოპერატორის მიერ. მაგრამ ქარხნების უმრავლესობაში ასეთი სპეციალობა უბრალოდ არ არსებობს და ეს არის დღესდღეობით მომუშავე მორალურად გაცვეთილი მოწყობილობების მთავარი ნაკლი. როგორც წესი, კირქვის განყოფილებების პროექტული გადაწყვეტილებები უბრალოდ არ იძლევიან ასეთი საშტატო ერთეულის შემოყვანის საშუალებას, რადგან კირქვის განყოფილება ისე არის დაპროექტებული და აშენებული, რომ ერთ ადამიანს არ შეუძლია ერთდროულად თვალი ადევნოს ღუმელის ჩატვირთვას ნარევით, ღუმელის გაზის ტემპერატურას და კირის ჩაქრობის პროცესებს. ჩვეულებრივად ამას ახორციელებს ოპერატორი და ოპერატორის თანაშემწე. ერთი ოპერატორი ტვირთავს ღუმელს ნარევით საჭირო დონემდე, ხოლო მისი თანაშემწე - ახორციელებს კირის ჩაქრობის პროცესს. მათ შორის კავშირს ამყარებს მესამე მუშაკი, ე.წ. კირის განყოფილების ბრიგადირი ან ცვლის უფროსი. იგი აკონტროლებს იტვირთება თუ არა ღუმელი ნარევით და ყოფნის თუ არა კირის რძე ქარხანას ტექნოლოგიური პროცესისთვის. რაც შეეხება ღუმელის გაზის ტემპერატურას, ღუმელიდან გამოსული კირის ხარისხს და კირის რძის სიმკვრივეს - მათ არავინ არ აკონტროლებს. კირის რძის რაოდენობა და ღუმელის გაზის შემადგენლობა - მეტწილად არაკონტროლირებადი პროცესებია, რადგან ცოტა ვინმემ იცის როგორ გააკონტროლოს ისინი.

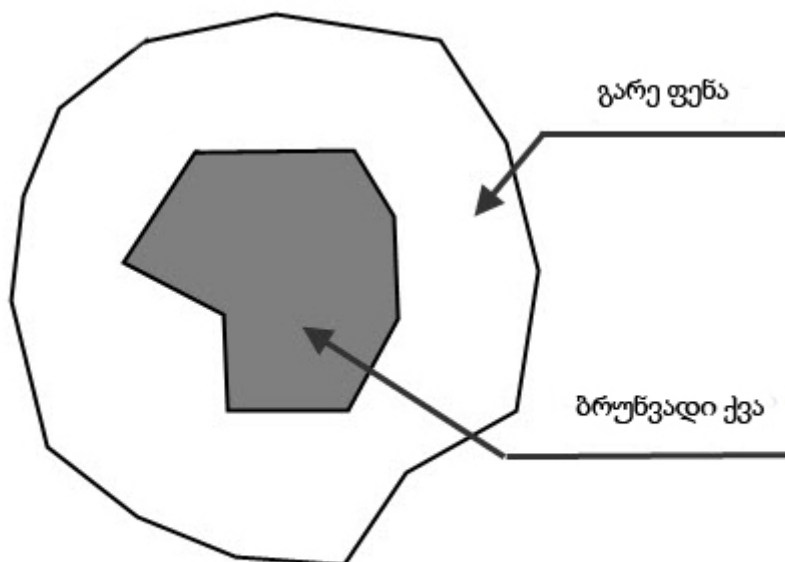
ეს შესაძლებელია მხოლოდ ახალი ან მოდერნიზებული მოწყობილობების დაყენებით და ავტომატიზაციით, რაც საშუალებას იძლევა კირის ღუმელის ოპერატორის ახალი სპეციალობის ცნების შემოტანისა, რომელიც განახორციელებს კირის გამოწვის ტექნოლოგიის სწორ წარმოებას, მის ჩაქრობას წყლით, კირის რძის გასუფთავებას ქვიშისგან, კირის რძის სიმკვრივის კონტროლს.

5.1 ღუმელის მუშაობის არანორმალური სიტუაციები და მათი აღმოფხვრის საშუალებები

არასაშტატო სიტუაციები კირქვის ღუმელებში შეიძლება იყოს გამოწვეული მთელი რიგი მიზეზით.

გამომწვარი კირის მიღებისას კირქვის ნატეხში ნახშირბადის დიოქსიდის ორთქლის წნევა უნდა იყოს საკმარისად მაღალი, რომ უზრუნველყოს გაზის გამოსვლას ქვიდან. გაზის გამოსვლისთვის ქვის ცენტრალური ნაწილიდან, ორთქლის წნევა უნდა აღემატებოდეს ატმოსფერულ წნევას, რაც შეესაბამება ტემპერატურას დაახლოებით 900°C. პრაქტიკაში ეს სიდიდე 1000°C-ის ტოლია.

როგორც ჩანს სურათიდან 25, რეაქცია მიმდინარეობს ქვის ზედაპირიდან წრფივი სიჩქარით. კოქცის დაწვით მიღებული სითბო მიეწოდება სხივობრივი, კონვექტიური და კონდუქციური სითბოს გადაცემით.



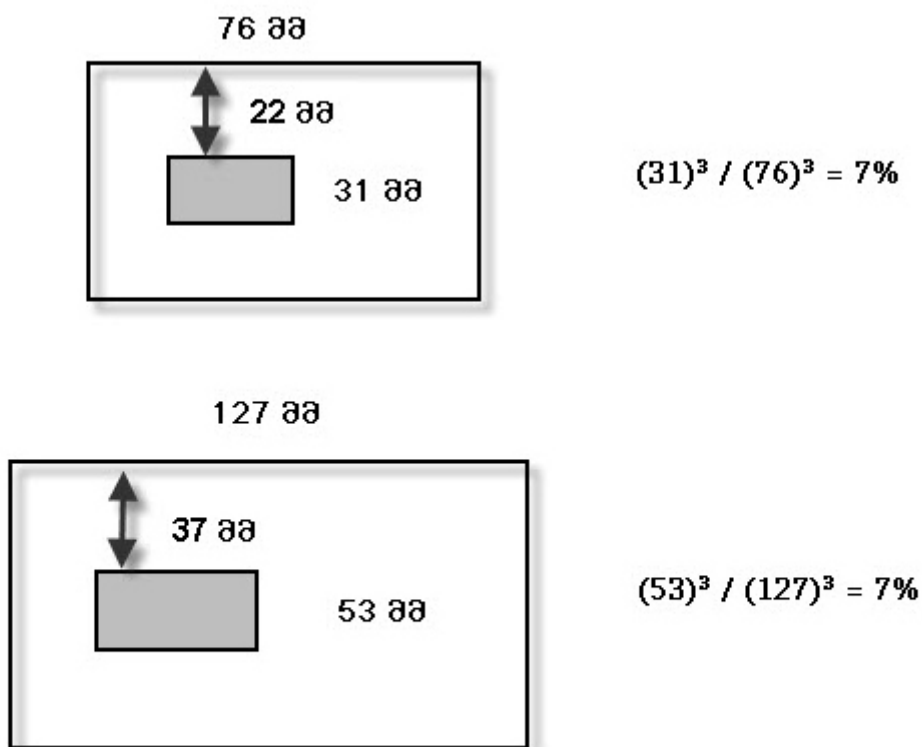
სურ. 3.3. აქტიური გამომწვარი კირი, შიგნით „ბრუნვადი“ ქვაა.

ქვიდან გამოყოფილი გაზი ტემპერატურით 1000°C , ცოტათი გრილია, ვიდრე გაზის ნაკადი ტემპერატურით 1200°C , და ეს ახდენა გამაგრებულ ეფექტს გამომწვარ კირზე. ასეთი გამაგრებული ეფექტის საშუალებით იქმნება კირი წვრილი კრისტალებით, რომელიც იმყოფება ფსევდომფორულ მდგომარეობაში საწყის კირქვასთან შედარებით. წვრილი კრისტალების დიდი ზედაპირი საშუალებას იძლევა მივიღოთ კირი ძალიან მაღალი ქიმიური აქტივობით.

კირის ხვედრითი წონა მყარ მდგომარეობაში შეადგენს 1,35, ხოლო ხვედრითი წონა „მცირედ გამომწვარი კირის“ ცოტათი ნაკლებია 1,82-ზე.

თუ კირქვა გამოიწვება მთლიანად გაზის ნაკადის ტემპერატურამდე, მაშინ კირი „ბერდება“ და იქმნება „ოკალინა“. ამ დროს იქმნება კირი ძალიან დაბალი ქიმიური აქტივობით, რომელსაც ეწოდება „მკვიდრად გამომწვარი კირი“. რბილად გამომწვარი ან ცოტათი გამომწვარი კირის წარმოებისთვის საჭიროა ქვაში ბრუნვადი ქვის საშუალო ნაწილის შენარჩუნება.

ძალიან მნიშვნელოვანია კირქვის ზომა. ნახაზზე 2 ნაჩვენებია კირქვის გამოწვის პროცესი ზომებით 7,6 სმ. და 12,7 სმ. იმისთვის, რომ მივიღოთ ქვის 6-8%, რომელიც ბრუნდება უკან გამოწვისთვის, ქვისთვის ზომით 7,6 სმ გამოწვის სიღრმე შეადგენს 2,2 სმ-ს, ხოლო უფრო მსხვილი ქვისთვის ზომით 12,7 სმ გამოწვის სიღრმე იზრდება 3,8 სმ-მდე. ღუმელიდან გამოსული ქვის რაოდენობის კონტროლისთვის იყენებენ ბრუნვადი ქვის ზომებს.



სურ. 3.4. „ბრუნვადი“ ქვა კირქვისთვის ზომით 76 და 127 მმ.

1. მინარევების ზემოქმედება.

ყველაფერი ზემოდთქმული ეხებოდა კალციუმის კარბონატის გამოწვას, მაგრამ რეალურად კირქვის ღუმელში ხორციელდება კირქვის გამოწვა. განსხვავება მინარევების არსებობაშია და მათ ინდივიდუალურ ზემოქმედებაში გამომწვარი კირის მისაღებად.

მინარევების ძირითად სახეობას წარმოადგენს მაგნუმის კარბონატი $MgCO_3$, რომლის შემადგენლობაა 0,5-0,6%. მაგნუმის ოქსიდი, რომელიც წარმოიშვება

ლუმელში, არ იწვევს დიდ პრობლემებს, მაგრამ გარკვეული პროცესის ჩატარებისას იგი შეიძლება გარდაიქმნას ნალექად ჰიდროქსიდის სახით.

მინარევების სხვა სახეობას წარმოადგენს კაჟ-მიწა SiO_2 , რომელიც ახდენს დიდ ზემოქმედებას, თუმცა მისი შემადგენლობა მცირეა (დაახლოებით 0,3%). კაჟ-მიწა განსხვავდება მკვეთრი ქიმიური აქტივობით და გამომწვარ კირთან ერთად წარმოქმნის სილიკატებს, კერძოდ:

$3CaO * SiO_2$ -სამკალციუმიანი სილიკატი

$2CaO * SiO_2$ -ორკალციუმიანი სილიკატი

$CaO * SiO_2$ -კალციუმის სილიკატი

მაგლითად, კაჟ-მიწის მოლეკულარული წონა 60-ის ტოლია, ხოლო კირის 3 მოლეკულასთან ერთად, რომლებიც მიიღება კირქვიდან, მოლეკულარული წონა იქნება 300-ის ტოლი. ასე ჩანს, რომ კაჟ-მიწას შეუძლია ისეთ ნივთიერებებთან ქიმიურ შენაერთებში შესვლა, რომლის მოლეკულარული წონა 5-ჯერ აღემატება კაჟ-მიწის მოლეკულარულ წონას კირქვაში.

უფრო მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ კაჟ-მიწას შეუძლია კირთან ერთად წარმოიქმნას ფლუსები, რადგან კირის კაჟ-მიწის მინარევებთან ერთად დნობის წერტილი არსებითად ნაკლებია $2500^{\circ}C$ -ზე (სუფთა კირის დნობის წერტილი); ეს იწვევს ოკალინის წარმოქმნას, რაც იძლევა არააქტიურ კირს. ანალოგიური პრობლემების წარმოქმნა შეუძლიათ ასევე Al_2O_3 და Fe_2O_3 , მაგრამ ამ მინარევების რაოდენობა კირქვაში არსებითად ნაკლებია.

სირთულეები შეიძლება წარმოიქმნას ასევე კოქსის ნაცარში მინარევების არსებობით, მაგრამ ისინი გამოჩნდებიან მხოლოდ ქვის ზედაპირზე. კირქვის გამოწვის დროს გამოუმწვარი საშუალო ნაწილით, ადგილი აქვს უფრო დაბალ ტემპერატურას და მცირდება იმ მინარევებთან აგლომერაციის რისკი, რომლებსაც შეიცავს კირქვა.

კირქვის ანალიზების რეზულტატებმა აჩვენა, რომ უხსნადი მჟავე ნაცრის შემადგენლობა იცვლება, ზოგ შემთხვევაში ჩანს, რომ SiO_2 -ის შემადგენლობა უახლოვდება 1,5%-ს. თუ დავუშვებთ, რომ საშუალოდ ქარხანაში დღე-ღამეში გამოიწვის 200 ტ კირქვა, მაშინ ლუმელში მოხვდება $200 * (1,5/100) = 3$ ტონა კაჟ-მიწა. თუ დავუშვებთ, რომ მთლიანად კაჟ-მიწა ქმნის სამკალციუმიან სილიკატს, მაშინ კირქვის დანაკარგები შეაგენენ $5 * 3 = 15$ ტონა/დღე-ღამეში ან 1800 ტ 120 დღე-ღამეში წარმოების სეზონში.

კრისტალური კირქვა გამოიწვის კირქვის ღუმელში კირის და ნახშირბადის ოქსიდის მისაღებად, რომლებიც გამოიყენება სატურაციის პროცესში.

2. ზომები/ფორმა.

კირქვა - არის თეთრი კრისტალური მყარი ნივთიერება. გარეგნულად უნდა ჰქონდეს შემდეგი ფიზიკური მახასიათებლები: ერთნაირი ზომები; წვრილი კრისტალები, დაბალი ხვედრითი წონა და მაღალი ფორიანობა. მიწოდებამდე კირქვა უნდა იყოს გაცრილი.

3. ქიმიური დახასიათება:

$CaCO_3$ -ის შემადგენლობაა 96% იმ პირობით, რომ სხვა მინარევების, ანუ ზედაპირული თიხის, ორგანული ნივთიერებების, სულფატების და სხვა ნივთიერებების რაოდენობა ჯამში არ აღემატება 1%-ს. კირქვის ზომა უნდა იყოს 10,2-15,2 სმ ან 7,6-12,7 სმ.

4. ტიპური შემადგენლობა.

60 ზომის უჯრიანი საცერი გასუფთავების, დაწვრილების ან ნელი ბურღვის და გამოცრის დამთავრების შემდეგ ანალიზის რეზულტატებია:

კაჟ-მიწა როგორც SiO_2 - მაქსიმუმ 1,00%

რკინა როგორც Fe_2O_3 - მაქსიმუმ 0,30%

ალუმინი როგორც Al_2O_3 - მაქსიმუმ 0,35%

მაგნუმი როგორც $MgCO_3$ - მაქსიმუმ 1,25%

5. კირქვა-გაზის ღუმელის მუშაობის რეგულირება.

ღუმელები მუშაობენ წნევის ქვეშ, ამასთან ქვაზე წნევა შეადგენს წყლის სვეტის 0,25 დიუიმს. რეგულირების ძირითად პარამეტრს წარმოადგენს არჩეული გაზის რაოდენობა. ღუმელი აღჭურვილია კვამლგამწოვებებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მუდმივ წნევას ნარევეზე. გამოწვის ზონა რეგულირდება ასარჩევი კირის რაოდენობის ცვლილებით (ძირითადად კირს ირჩევენ ხელით). რეგულირების ამ სისტემის დასახმარებლად იზომება გაზის და გამომწვარი კირის ტემპერატურა. თუ არჩეული გაზის რაოდენობა მცირე თანაფარდობით არ შეესაბამება გამოსატვირთი კირის რაოდენობას, მაშინ ზედმეტი გაზი გაიტანება ატმოსფეროში.

6. კირქვა-გაზის ღუმელის მუშაობის რეგულირება ღუმელის გაზის მეშვეობით.

ღუმელის მუშაობის რეგულირებაში ყველაზე დიდ დაბრკოლებას წარმოადგენს ნარევის ღუმელში ყოფნა დიდი ხნის განმავლობაში. მუშაობის

რეჟიმში ნებისმიერი ცვლილების შეტანის დროს საჭიროა დაახლოებით 2-3 დღე-ღამე მანამდე, სანამ ღუმელი იმუშავებს სტაბილურად ახალ წონასწორულ მდგომარეობაში. ამის გამო საწყის ეტაპზე საჭიროა ღუმელის მდგომარეობის განსაზღვრა შესაბამისი საზომების დახმარებით, ღუმელის რეგულაციების შემდგომი გადაწყვეტილებების მისაღებად.

7. გაზის შემადგენლობა.

გაზის შემადგენლობის განსაზღვრა შეიძლება იყოს გამოყენებული გამოწვის ზონაში სიტუაციის დახასიათებისთვის. თუ ღუმელი საკმაოდ კარგად ჰერმეტიზირებულია, მაშინ „დიაგნოზის“ განსაზღვრისთვის ღუმელის მუშაობის ეფექტიანობის მიმართ და გადაწყვეტილებების მისაღებად განისაზღვრება ნახშირბადის ოქსიდის და ჟანგბადის პროცენტული შემადგენლობა.

შემდეგი მაგალითების საშუალებით ნაჩვენებია ძირითადი პრონციპები:

ღუმელი	ღუმელის გაზი			საწვავი კირქვის გამოწვისთვის, %	საწვავის დანაკარგები CO-ს სახით, %	კოქსის დანახარჯი 29308 მგ/ტ, %, ქვის მასასთან
	CO ₂	CO	O ₂			
ა	46	0	0	100	0	5,89
ბ	42	1	0,3	82,2	4,7	7,16
გ	41	1	0,5	79,2	4,6	7,43
დ	41	2	0,3	78,2	8,1	7,53
ე	40	1	0,3	72,2	4,6	8,15

ცხრილი 7.1

შემთხვევა ა. იდეალური ღუმელი.

ეს შემთხვევა ახასიათებს ღუმელის მუშაობას 100%-ანი ეფექტურობით, ანუ თეორიულად იდეალურ მუშაობას. ასე, შეუძლებელია

CO_2 -ის გაზში შემადგენლობის მიღება 46%-ზე მეტი ოდენობით. თუ ცვლილებისას მიღებულია უფრო მაღალი მაჩვენებლები, მაშინ ამან უნდა გამოიწვიოს დაეჭვება.

შემთხვევა ბ. ტიპური (ჩვეულებრივი) ღუმელი.

ეს შემთხვევა ახასიათებს ღუმელის მუშაობის ჩვეულებრივ რეჟიმს. ქვემოთ მოყვანილი მაგალითები გამოდის ამ მაგალითიდან. სითბოს ნაწილი იხარჯება CO -ის წარმოქმნის შედეგად და ღუმელში რჩება ჰაერის მცირე რაოდენობა. ზედმეტი ჰაერის ნებისმიერი რაოდენობა შეიტანს აზოტს რაოდენობით, რომელიც 4-ჯერ აღემატება მის საკუთარ მოცულობას, რაც იწვევს დამატებითი სითბოს (საწვავის) დახარჯვას.

შემთხვევა გ. O_2 -ის მაღალი შემადგენლობა, CO_2 -ის დაბალი შემადგენლობა.

ამ მაგალითში გაზის ანალიზის მონაცემების თანახმად ჩანს ჟანგბადის სიჭარბე. ეს შეიძლება აიხსნას ღუმელში ხვრელების არსებობით. ამ შემთხვევაში საჭიროა სხვა გაზის პროცენტული შემადგენლობის შემცირება, აზოტის შემდგომი ამალღებული შემადგენლობით. იზრდება სითბოს რაოდენობა გაზის დამატებითი რაოდენობის გასათბობად. ჰაერის რაოდენობის ზრდა ღუმელის ზედა ნაწილში არ გამოიწვევს სერიოზულ პრობლემას, განსაკუთრებით, თუ საჭიროა ჟანგბადის დამატებითი რაოდენობა სატურაციის სადგურზე.

შემთხვევა დ. CO -ის მაღალი შემადგენლობა.

გაზის ანალიზის მონაცემების მიხედვით ჩანს, რომ ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს ნახშირბადის ოქსიდის გადიდებულ რაოდენობას. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ან კოქსი დაგროვდა ერთ ადგილას, ან კოქსის და ჟანგბადის რაოდენობის დიდი თანაფარდობაა. თუ კოქსი დაიწვა არასრულად ნახშირბადის ოქსიდის შექმნამდე, მაშინ დაწვის შემცირებული სითბოს კომპენსაციისთვის საჭიროა საწვავის დიდი რაოდენობა.

შემთხვევა ე. CO_2 -ის დაბალი შემადგენლობა, CO -ის დაბალი შემადგენლობა, O_2 -ის დაბალი შემადგენლობა.

ნახშირბადის ოქსიდის და ჟანგბადის რაოდენობა რჩება უცვლელად. ამ შემთხვევაში დამახასიათებელია CO_2 -ის დაბალი შემადგენლობა. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ სითბო იკარგება ღუმელის კედლებიდან. ამის გამო რჩება სითბოს მცირე რაოდენობა კირქვის გარდასაქმნელად CaO -ში, და, შესაბამისად, გამოიყოფა მისი ნაკლები რაოდენობა.

8. გამოწვის ზონის კონტროლი.

ღუმელებში არის შუალედური ზონის წარმოქმნის ტენდენცია, რომლის ზევით დაწვის ზონა რჩება განსაზღვრულ საზღვრებში. ღუმელის სასარგებლო ქმედების კოეფიციენტი (ს.ქ.კ.) მაღალია, რადგან არსებობს საკმარისად დიდი დრო სითბოს გასატარებლად ღუმელის ზედა და ქვედა ნაწილებიდან. თუ გამოწვის პროცესი ინტენსიურად გაგრძელდება, მაშინ გამოწვის ზონა ფართოვდება, რადგან სითბოს სრული გადაცემისთვის არ იქნება საკმარისი დრო. პრაქტიკაში, თუ ღუმელში გამოწვის პროცესი მიმდინარეობს ნელა, მაშინ კონტროლი კვლავ რთულდება და გამოწვის ზონა ისევ ფართოვდება.

9. დასკვნები.

ასე, გაზის ანალიზი საშუალებას იძლევა შემდეგი დიაგნოზის დასმისათვის:

№	ანალიზის რეზულტატი	მიზეზი	მიღებული ზომები
1	CO -ს მაღალი შემადგენლობა	გამოწვის მაღალი ტემპერატურა	კოქსის რაოდენობის შემცირება
2	O_2 -ის მაღალი შემადგენლობა	არხების არსებობა	ხვრელების დახურვა. ფრაქციის შეცვლა
3	CO -ს და O_2 -ის მაღალი შემადგენლობა	არხების არსებობა საწვავში და ჰაერის შეღწევა	განაწილების შემოწმება
4	CO_2 -ის, O_2 -ის და CO -ს დაბალი შემადგენლობა	სითბოს დანაკარგი ღუმელის კედლებიდან	ღუმელის მდგომარეობის, მისი კონსტრუქციის შემოწმება

ცხრილი 7.2

5.2 გამოწვის ზონის გაჭიმვის ლიკვიდაცია გამოწვის ზონის სიმაღლის და

გადახრების მიხედვით. „ასტეროიდების“ ლიკვიდაცია

განვიხილოთ კირქვის ღუმელის მუშაობის არასაშტატო სიტუაციები:

არასაშტატო სიტუაციები არ წარმოიქმნება თუ:

ა) ვიყენებთ ხარისხიან კირქვას და საწვავს;

ბ) მკაცრად ვიცავთ ტექნოლოგიას;

გ) დროულად ტარდება ხარისხიანი რემონტები და გაცვეთილი მოწყობილობის შეცვლა.

თუ ეს პირობები არ სრულდება, შეიძლება შეგვხვდეს შემდეგი არასაშტატო სიტუაციები:

1. გამოწვის ზონის გაფართოება ღუმელის სიმაღლის მიხედვით.

ეს არის მოვლენა, როდესაც ღუმელის გაზის ტემპერატურა 100°C -ზე მეტია, ხოლო გამოსატვირთ მოწყობილობაზე კირის ტემპერატურა აღემატება 50°C -ს. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს შემდეგი პუნქტებიდან ნებისმიერი პუნქტის ან მათი კომბინაციის არ შესრულება: ა) ხარისხიანი კირქვის და საწვავის გამოყენება; ბ) ტექნოლოგიის მკაცრი დაცვა; გ) რემონტების და დაძველებული აღჭურვილობის დროული ხარისხიანი რემონტი და გამოცვლა ახალზე. პერსონალის ქმედებები ამ შემთხვევაში უნდა იყოს შემდეგი:

- 1) იმ აღჭურვილობის ფუნქციების შემოწმება, როგორც ავტომატურად, ასევე ვიზუალურად, რომელიც აწვდის ნარევს ღუმელში. მექანიზმების მუშაობაში უზუსტობების აღმოფხვრა.
- 2) ღუმელის დადგენილ დონემდე შევსების პირობების ზუსტი შესრულება.
- 3) საწვავის დოზირების შემოწმება.
- 4) ღუმელის გამოტვირთვის ტემპის ზრდა, იმის მიუხედავად, რომ ამ დროს ღუმელიდან გამოდის გავარვარებული კირი ან იზრდება ბრუნვადი ქვის (გამოუმწვარი კირის) რაოდენობა.

ასე, მიიღწევა ღუმელის ტემპერატურა 100°C -ის ტოლი. ამის შემდეგ, ყველაფრის მიუხედავად, ღუმელის გაზის ტემპერატურა უნდა შენარჩუნდეს 100°C -ის დონეზე. თუ ეს პირობა იქნება შესრულებული, მაშინ გამოწვის ზონა დროის განმავლობაში დადგება თავის ადგილზე და კირის ტემპერატურა გამოსატვირთ მოწყობილობაზე დაახლოებით იქნება 50°C -ის ტოლი. ამისთვის

საჭირო ვადა შეიძლება იყოს განსხვავებული იმაზე დამოკიდებულებით, თუ რამდენად არეული იყო ღუმელი.

თუ 24-32 საათის განმავლობაში სიტუაცია არ გაუმჯობესდება, მაშინ საჭიროა ღუმელის არევის უფრო რთული მიზეზის განხილვა.

2. გამოწვის ზონის გადაფერდება.

გამოწვის ზონის გადაფერდების მიზეზები განსხვავებულია, მაგრამ არსებობს ერთი ფარული მიზეზი, რომლის გამოჩენა შესაძლებელია მხოლოდ ღუმელის მუშაობის რეგულარული კონტროლის ჩატარებისას ღუმელის გაზის ანალიზის მიხედვით. მისი შემადგენლობის ანალიზირებით შესაძლებელია შევამჩნიოთ, რომ გაზის შემადგენლობაში დროის განმავლობაში იზრდება CO-ს რაოდენობა, ამასთან პრაქტიკულად სხვა მაჩვენებლები უცვლელი რჩება. ასე, შესაძლებელია დარწმუნებით გაკეთდეს დასკვნა: თუ პერსონალის მიერ მიღებული ზომები ამ ნაწილის 1-ლი პუნქტის მიხედვით არ იძლევიან შედეგებს, და ღუმელის მოყვანა შტატურ რეჟიმში შეუძლებელია, ხოლო CO-ს რაოდენობა ღუმელის გაზის შემადგენლობაში იზრდება ან არ იწევს, მაშინ ღუმელში ამონაგზე შეიქმნა მცირე „ასტეროიდი“, რომელიც აძლევს ღუმელს საშუალებას ჯერ იმუშაოს, მაგრამ კირის, ღუმელის გაზის და სითბოს რეჟიმის საჭირო ხარისხის გარეშე.

პერსონალის ქმედებები:

ზემოდ აღნიშნული ქმედებების გარდა საჭიროა ღუმელის გაზის ტემპერატურის ანალიზის გაკეთება რამოდენიმე წინა დღე-ღამის განმავლობაში და თუ ამ ანალიზს შევადარებთ ღუმელის გაზის შემადგენლობის ანალიზთან და ღუმელის გადაფერდების აღმოჩენის დროსთან, მაშინ გრაფიკით შესაძლებელია დაახლოებით იმ ადგილის განსაზღვრა, სადაც შეიქმნა „ასტეროიდი“.

პერსონალის შემდეგი ქმედებები:

ღუმელის გაზის ცვლილებისას 100°C-დან 200°C-მდე გამოწვის ზონა ადის 7 მეტრზე. ღუმელის სრულად ჩატვირთულობის დროს საჭიროა გამოტვირთვის მწარმოებლურობის მინიმალური ჩართვა, ღუმელის გაზის ტემპერატურის აწევა და მისი მუდმივი მხარდაჭერა მანამდე, სანამ ღუმელის გაზის ტემპერატურის სკალაზე არ შეიმჩნევა ტემპერატურის მკვეთრი დაწევა.

მაგალითად: 6 საათის განმავლობაში ტემპერატურა იყო 250°C-ის ტოლი. ღუმელი იყო მუდმივად ჩატვირთული და მუშაობდა მინიმალურ მწარმოებლურობაზე ამ სიტუაციისთვის. უცებ ტემპერატურა მკვეთრად დაიწია და გახდა 150-180°C-ის ტოლი. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ „ასტეროიდი“ მოწყდა და კირთან ერთად წავიდა გამოტვირთვაზე.

ამის შემდეგ კონტროლისთვის საჭიროა 150-180 °C ტემპერატურის შენარჩუნება კიდევ რამოდენიმე საათის განმავლობაში ყველა წინა პირობების შესრულებით, რადგან „ასტეროიდი“ შეიძლება იყოს არა ერთ ადგილას, არამედ რამოდენიმე. თუ ტემპერატურის მკვეთრი ვარდნა აღარ ჩანს, მაშინ ღუმელის გაზის ტემპერატურას აყენებენ 100°C-ზე და ბრუნდებიან ამ ნაწილის პირველ პუნქტთან. „ასტეროიდები“ გამოდიან ღუმელიდან გამოსატვირთ მოწყობილობაზე და მათი იქიდან მოშორება ხორციელდება ან პიკებით ან წყლით, ან მათი კომბინაციით. ასეთი დიდი „ასტეროიდები“ ვერ ახერხებენ თანამედროვე გამოსატვირთი მოწყობილობების მწყობრიდან გამოყვანას, ამიტომ ასეთი სამუშაო ხორციელდება მშვიდად და გამონაკლისების გარეშე. მოძველებულ გამოსატვირთ მოწყობილობებზე „ასტეროიდების“ ამოღების პროცესი განსხვავებულია. გამოსატვირთი მოწყობილობის მოძრავი ნაწილები შეიძლება დაილუქოს „ასტეროიდებით“, რასაც შეიძლება მოჰყვეს გამოსატვირთი მოწყობილოს მწყობრიდან გამოსვლა. ამიტომ, საჭიროა პროცესის მუდმივი კონტროლი და გამოსატვირთი მოწყობილობის სრული გაჩერება, სანამ „ასტეროიდები“ არ იქნებიან დაწვრილებული.

3. „ასტეროიდების“ ლიკვიდაცია.

ღუმელის მუშაობაში ყველაზე რთულ სიტუაციას წარმოადგენს კირის მიკვრა ამონაგზე, ე.წ. „ასტეროიდი“. ეს სიტუაცია მიიღება: ა) ხარისხიანი კირქვის და საწვავის გამოყენება; ბ) ტექნოლოგიის მკაცრი დაცვა; გ) რემონტების და დაძველებული აღჭურვილობის დროული ხარისხიანი რემონტი და გამოცვლა ახალზე - პუნქტების სრული იგნორირებით, რასაც ემატება ღუმელის მუშაობის პერსონალის მიერ კონტროლის სრული არ არსებობა.

ამ შემთხვევებში კირის მიკვრამ ღუმელის ამონაგებზე შეიძლება მიაღწიოს ღუმელის განივი კვეთის ფართობის 75%-ს. კირის ღუმელი ფაქტობრივად წყვეტს საჭირო ხარისხის კირის გამოშვებას. CO-ს შემადგენლობა იზრდება 10%-მდე და უფრო მეტად. ასეთ შემთხვევაში ქარხანა სრულად ჩერდება. ასე შეიძლება გაგრძელდეს ერთი დღე-ღამედან 5-მდე. ფინანსური დანაკარგები მაღალია.

მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებოდა ამ დროს ადრე, განსხვავებულია. ღუმელში ასხავდნენ წყალს, აწოდებდნენ ორთქლს, ისროდნენ შაშხანიდან და აყენებდნენ ასაფეთქებელს, რასაც მოჰყვებოდა არა მარტო „ასტეროიდების“ ლიკვიდაცია, არამედ თვით ამონაგის ლიკვიდაციაც. ზოგჯერ საჭირო იყო ღუმელის მთლიანად გაჩერება, მისი გამოტვირთვა, „ასტეროიდების“ ამოღება, დაზიანებული ამონაგის შეკეთება, ღუმელის თავიდან ჩატვირთვა, მისი დანთება და ქარხნის თავიდან ამუშავება.

არსებობს მსგავსი მეთოდი, რომელიც გულისხმობს „ასტეროიდის“ სწრაფ გაცივებას პირდაპირ გამოწვის ზონაში ღუმელის დიდი მწარმოებლურობის დახმარებით, ნარევი საწვავის მცირე რაოდენობის არსებობით (5-7%) და საცქერი ლუკების გახსნით. ამას შეიძლება მოჰყვეს გავავრვარებული გაზების და კირის მტვერის ამოვარდნა „ასტეროიდის“ გამოსატვირთ მოწყობილობაზე ჩამონგრევის დროს. ეს ამოვარდნა წარმოადგენს დიდ აფეთქებას და ძალიან საშიშია.

ზემოდ მოყვანილ მეთოდს აქვს გარკვეული ნაკლოვანებები ტექნიკური უსაფრთხოების თვალსაზრისით, ამიტომ მის გამოყენებას არ ურჩევენ.

მიუხედავად მრავალი მცდელობისა, მოყვანილი არასაშტატო სიტუაციის ლიკვიდაციის უსაფრთხო და სწრაფი გადაწყვეტა ვერ ხერხდებოდა. „ასტეროიდების“ ლიკვიდაციის ზემოდ აღწერილი მეთოდის გამოყენება ძალიან საშიშია და იწვევს პერსონალის სიკვდილს. მიუხედავად ამისა, „ასტეროიდების“ ლიკვიდაციის ეს მეთოდი დღესაც გავრცელებულია.

ჩამოყალიბებული იქნა იდეა „ასტეროიდების“ ლიკვიდაციისთვის, რომლის რეალიზაცია მოთხოვს ღუმელის მუშაობის ისტორიის დაწვრილებით ანალიზს, მისი მახასიათებლების ანალიზს ბოლო რამოდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში, ასევე გარკვეულ გამოცდილებას. თუ ღუმელის მახასიათებლების ავტომატური რეგისტრაცია ხორციელდება, მაშინ შეიძლება გამოვიყენოთ ამ იდეის შესაბამისი მეთოდიკა, რომელსაც ქვემოთ მოვიყვანთ.

6. მეთოდის თეორიული დასაბუთება

1. ცნობილია, რომ გადამწვარი კირი მიეკვრება ამონაგს 1200 °C და მეტი ტემპერატურის დროს.
2. ასეთ ტემპერატურას ადგილი აქვს დაახლოებით ზონის შუაში, სადაც მიმდინარეობს კირქვის გამოწვის პროცესი, რაც გამოწვის ზონის შუა ნაწილის ცოტა ქვემოთაა.
3. გამოწვის ზონა მნიშვნელოვნად ცვლის თავის მდებარეობას სიმაღლის მიხედვით ღუმელის გაზების ტემპერატურის ცვლილების დროს, რაზეც მიუთითებენ თეორიული გათვლები.
4. მაღალ ტემპერატურამდე გაცხელებული კირის უზარმაზარი ზომის ქვა ტემპერატურის ცვლილებისას ექვემდებარება მნიშვნელოვან დეფორმაციებს.

დასკვნა: კირის მიკრული ქვის ამონაგიდან მოსაგლეჯად, საჭიროა მისი გაცივება. ამის შემდეგ იგი დაიბზარება და გამოვა ღუმელიდან უპრობლემოდ. ამის გაკეთება ადვილია ჰაერის საშუალებით, რომელიც ცივ მდგომარეობაში შეიწოვება ღუმელში. იმისთვის, რომ საწვავის დაწვის სითბომ არ გააცხელოს „ასტეროიდი“, საჭიროა გამოწვის ზონის აწევა მიკვრის ადგილის ზევით.

პერსონალის ქმედებები:

1. საწვავის დოზის შემცირება ნორმიდან 10%-ით.
2. გარკვეულ დროში ასეთი ნარევი მიაღწევს გამოწვის ზონას (გათვლები კეთდება ადგილზე ღუმელის დროში ბრუნვადობის მიხედვით).
3. ღუმელის ჩატვირთვა დონემდე იმყოფება მკაცრი კონტროლის ქვეშ.
4. ღუმელიდან კირის გამოტვირთვის ტემპი ნელ-ნელა მცირდება მინიმალურამდე.
5. გაზის გამოწვის თანაბარი ზრდის საფუძველზე ღუმელის გაზის ტემპერატურა ნელ-ნელა იზრდება და რჩება მუდმივი.
6. ღუმელის გაზის შემადგენლობის კონტროლი მიმდინარეობს ყოველ საათში და ჩაიწერება ჟურნალში.

ამ მეთოდის პრაქტიკულმა გამოყენებამ აჩვენა, რომ მიდგომა სინამდვილეში მუშაობს, ამავე დროს არის მაქსიმალურად უსაფრთხო და ეკონომიური.

6.1 ღუმელის მუშაობაზე კონტროლი

კირის ღუმელის კონტროლი შედგება შემდეგი პუნქტებისგან:

1. კირქვის ხარისხის კონტროლი.
2. საწვავის ხარისხის კონტროლი.
3. სკიპის ყოველ ციკხვში საწვავის და ნარევის წონის დოზირება ტენზოსენსორების მონაცემების საფუძველზე, რომლებიც იწერება კომპიუტერის მეხსიერებაში.
4. საწვავის და კირქვის არევის კონტროლი ყოველ ციკხვში.
5. კირქვის ღუმელის შახტში ნარევის დონის კონტროლი. ღუმელი უნდა იყოს შევსებული მუდმივად ნებისმიერი რეჟიმების დროს.
6. ღუმელის გაზის ტემპერატურის კონტროლი (იგი უნდა იყოს $\pm 10^{\circ}\text{C}$ -დან 110°C -მდე).
7. ღუმელის გაზის ტემპერატურის კონტროლი გაზის ტუმბოების წინ - იგი უნდა იყოს 30°C -ის ტოლი ($+0^{\circ}\text{C}/-10^{\circ}\text{C}$).
8. კირის ხარისხის კონტროლი მისი ჩაქრობის ტემპერატურით და დროით.
9. ღუმელის გაზის შემადგენლობის კონტროლი.
10. ღუმელიდან გაზის გამოსასვლელში გაიშვიათების კონტროლი, როგორც დამხმარე მაჩვენებელი, რომელიც მიუთითებს ნარევის ხარისხზე და გამოსატვირთი მოწყობილობის სარქველის ჰერმეტიულობაზე.

განსაკუთრებით განვიხილოთ მე-9 პუნქტი, როგორც ერთ-ერთი ძალიან მნიშვნელოვანი ოპერატიული მაჩვენებელი, რომელიც იძლევა საკმარისად სრულ წარმოდგენას საწვავის დაწვის და კირის გამოწვის ზონებში მიმდინარე პროცესებზე.

ღუმელის გაზის შემადგენლობა განისაზღვრება გაზოანალიზატორებით, რომლების ბევრი სხვადასხვა ტიპი არსებობს.

სატურაციული გაზის სინჯი აიღება მთავარი გაზის მილიდან ლაბორატორიაში ანალიზისათვის.

ღუმელის გაზების მუდმივი ანალიზი საშუალებით შესაძლებელია:

1. მწარმოებლურობის ტექნოლოგიური მაჩვენებლების გაუმჯობესება.
2. კირის ღუმელის მუშაობაში არასაშტატო სიტუაციებზე დროული გაფრთხილება.

3. კირის ჩაქრობის პროცესში მის ხარისხზე მუდმივი კონტროლი სითბოს დანახარჯის მიხედვით CaO -ს 1 კგ-ზე.

4. CO შხამიანი გაზის ატმოსფეროში გაფრქვევის კონტროლი და დროული შემცირება, რაც არსებითად მნიშვნელოვანია.

ასეთნაირად, ღუმელის გაზის ანალიზი არის ძალზედ მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი კირის განყოფილების წარმატებულ მუშაობაში.

ძირითადი ნაწილი

1. საწარმოსა და მისი საქმიანობის შესახებ

საწარმო წარმოადგენს კირის ქარხანას (Lime Factory), რომელიც აწარმოებს ჩაუმქრალ და ჩამქრალ კირს სხვადასხვა გამოყენებისათვის და აწვდის სხვა საწარმოებს. ძირითადი ნედლეულია ადგილობრივი წარმოების კირქვა (Limestone) და ქვანახშირი (Coal), კერძოდ ანტრაციტი, რომელიც საქართველოში არ მოიპოვება, საზღვარგარეთიდან შემოიტანება და ამიტომ ახლავს გარკვეული პრობლემები (შემოტანას ერთ თვემდე სჭირდება, გავლენას ახდენს ზღვის მდგომარეობა, ბორანის განრიგი, რკინიგზა, განბაჟებების პროცედურები და ა.შ). უკიდურეს შემთხვევაში შესაძლებელია ადგილობრივი ნახშირის გამოყენებაც, რომლის მოტანა ადვილია (ისევე, როგორც კირქვის), მაგრამ დაბალი ხარისხისაა, მასზე ღუმელი ძნელად მუშაობს და მაღალხარისხიანი პროდუქციის გამოშვება არ ხერხდება. გაყიდული პროდუქციის ფასი დამოკიდებულია გამოშვებული კირის ხარისხზე, მუდმივი არ არის. საწარმოს თავისებურებაა ის, რომ ღუმელი 24 საათი უნდა მუშაობდეს, მისი გაჩერება არ შეიძლება, რადგან ხელახლა ამუშავებას და რეჟიმში შეყვანას სჭირდება 2–3 თვე.

საწარმოს ძირითად ნაწილს წარმოადგენს კირის გამოსაწვავი ღუმელი, რომელიც განუწყვეტლად მუშაობს და მისი გაჩერება არ შეიძლება კაპიტალური რემონტის შემთხვევის გარდა, რომელიც 6-8 წელიწადში ერთხელ უნდა ჩაუტარდეს. ღუმელის ზედა ნაწილში განუწყვეტლივ ხდება კირქვისა და ანტრაციტის დოზირებული ნარევის ჩაყრა. ღუმელში კირის გამოწვა ხდება მის შუა ნაწილში, რომელსაც აქტიურ ზონას უწოდებენ და რომელშიც კირის ხარისხიანი გამოწვისათვის უნდა იყოს $1100^{\circ}-1200^{\circ}$. ღუმელის ქვედა ნაწილიდან ასევე მუდმივად ხდება გამომწვარი კირის გამოსვლა, რომელიც ავტომატურად იყრება ტრანსპორტიორის ლენტაზე, რომლის საშუალებითაც ის ხვდება პროდუქციის შესანახ ბუნკერებში. იმისათვის, რომ წვის პროცესი სრულად წარიმართოს

სპეციალური სამრეწველო კვამლგამწოვების საშუალებით ღუმელის წვის ზონას მიეწოდება საჭირო რაოდენობის ჰაერი (ჟანგბადი). ბუნკერებიდან პროდუქცია ავტომატურად შეიძლება ჩაიყაროს სატვირთო მანქანებში და მიწოდებული იქნას მომხმარებლებისათვის.

საწარმოს შეუძლია სხვადასხვა მწარმოებლურობით მუშაობა, რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია ნედლეულის არსებულ მარაგებზე და კირის მომხმარებლებიდან შემოსული მოთხოვნების ჯამურ რაოდენობაზე – შესაბამისად საწარმოს ფინანსური შედეგებიც სხვადასხვა იქნება. კირის ძირითად მომხმარებლებს წარმოადგენენ საქართველოს საწარმოები, რომლებიც სხვადასხვა ტიპის მეტალებს აწარმოებენ, ასევე სოფლის მეურნეობისა და გადამამუშავებელი მრეწველობის ზოგიერთი საწარმო (სს „მადნეული“, შპს „კვარციტი“, შპს „ჯეოსტილი“, მეფრინველეობის ფაბრიკები, აგროფირმები, ტყავის დამამუშავებელი საწარმოები). დაბალი მწარმოებლურობა საჭიროა განსაკუთრებულ შემთხვევებში ღუმელის მუშა მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად სხვადასხვა ტექნიკური პრობლემების ან ნედლეულის ნაკლებობის დროს, რადგან მისი გაჩერება არ შეიძლება. შედეგებს რაოდენობის გარდა განაპირობებს გამოშვებული კირის ხარისხი – მისი პროცენტული აქტივობა (სასაქონლო კირის პროცენტული აქტივობა შეიძლება მერყეობდეს 45% - 95%, უფრო დაბალი აქტივობის კირი მომხმარებლებისათვის ინტერესს არ წარმოადგენს და მისი რეალიზაცია პრაქტიკულად შეუძლებელია), რომელიც დამოკიდებულია ნედლეულის ხარისხზე, ღუმელის რეჟიმზე, მოწყობილობების ტექნიკურ მდგომარეობაზე, ამინდზე და სხვა. ამგვარად, ღუმელის მუშაობის რეჟიმი სხვადასხვანაირი განუზღვრელობის მქონე ფაქტორებზეა დამოკიდებული და სერიოზულ მენეჯმენტს მოითხოვს, რასაც მყისიერად ახორციელებენ ღუმელის ოპერატორები წარმოების უფროსისა და ტექნოლოგის მითითებების საფუძველზე. დამატებითი პირობაა ისიც, რომ კლიენტებიდან მიწოდებული პროდუქციის ღირებულების შემოსვლა ხდება მხოლოდ თვის დამთავრებისას ჯამურად, ამიტომ მენეჯმენტს მომავალი თვისათვის საჭირო ღონისძიებების უდიდესი ნაწილის განხორციელების შესახებ გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებაც სწორედ ამ დროს აქვს.

შპს „ინდუსტრია კირში“ დამონტაჟებული კირის ღუმელის მახასიათებლებია:

- საერთო სიმაღლე 55,2 მ
- სიგრძე 21 მ
- შიდა დიამეტრი 4 მ

მოცემული ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობა შეადგენს 3500 ტონა კირს თვეში, ანუ საათში დაახლოებით 5 ტონას. პრაქტიკიდან გამომდინარე მინიმალური მწარმოებლურობა შეადგენს 1500 ტონას თვეში.

ღუმელის საერთო მასა შეადგენს 405 ტონას დამხმარე მოწყობილობების გარეშე.

ღუმელის სხვადასხვა ადგილას დამონტაჟებულია პარამეტრების გამზომი ხელსაწყოები, რომელთა მაჩვენებლები ერთად გამოიტანება მართვის პულტზე, სადაც ოპერატორი ამ მაჩვენებლების მნიშვნელობების მიხედვით ახდენს ღუმელის მართვას. ამ პარამეტრების მოკლე ჩამონათვალი შემდეგნაირია:

1. ღუმელის აქტიური ზონის ტემპერატურა
2. ღუმელიდან გამომავალი აირების ტემპერატურა
3. ღუმელიდან გამომავალი აირების გამომწოვ მილში წნევა, რომელსაც გაიშვიათებას უწოდებენ
4. ღუმელის ქვედა ნაწილიდან გამოტვირთული კირის ტემპერატურა
5. ღუმელის ქვედა ნაწილში მდებარე სპეციალური მაგიდის მოძრაობის სისწრაფე. ამ მაგიდის მიმოსვლის სისწრაფის რეგულირებით შესაძლებელია ღუმელიდან გამომავალი პროდუქციის რეგულირება
6. ნედლეულის - კირქვისა და ანტრაციტის თანაფარდობა, რომელიც დოზატორების საშუალებით განისაზღვრება. ღუმელში ჩასატვირთ ნარევში კირქვისა და ანტრაციტის რაოდენობები განისაზღვრება კილოგრამებში.
7. კირის ღუმელის გამართული მუშაობისთვის აუცილებელი მექანიზმების და მოწყობილობების გამართული მდგომარეობა. რომელიმეს გაუმართაობა, როგორც წესი, იწვევს ღუმელის უფრო დაბალი მწარმოებლურობით მუშაობას
8. მაჩვენებელი, რომელიც განსაზღვრავს კირი გადამწვარია, თუ არა. ის ორ შესაძლებელ მნიშვნელობას ღებულობს.
9. ღუმელის გამოწვის ზონის მდებარეობა. ის შეიძლება გადაადგილდეს ღუმელის სიმაღლის მიხედვით.

ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრები მიეკუთვნებიან ღუმელის ისეთ პარამეტრებს, რომლებიც ყოველწამიერად იზომება და მათი მნიშვნელობების დასაშვები არიდან გამოსვლის შემთხვევაში საჭიროა ოპერატორის მხრიდან მყისიერი რეაგირება. წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ დაბალი ხარისხის პროდუქცია, ღუმელი გადავიდეს მუშაობის არასწორ რეჟიმში და უკიდურეს შემთხვევაში მოხდეს მისი

გაჩერებაც კი. ეს ბოლო მდგომარეობა სრულიად მიუღებელია, რადგან ღუმელის ხელახლა ამუშავებას სჭირდება დაახლოებით 3 თვე.

შესაძლებელია სხვა პარამეტრების გათვალისწინება, რომლებიც გადამწყვეტ როლს არ ასრულებენ ღუმელის მუშაობის მართვაში, მაგალითად: ტექნიკური წყლის ტემპერატურა, რომელიც იზომება ღუმელის ქვედა ნაწილში მდებარე ტექნიკური წყლის მიწოდების სისტემის შესავალზე და გამოსავალზე. ამ სისტემით ხდება ღუმელიდან გამომავალი კირის ტემპერატურის დაწვევა, გაცივება

ღუმელის მართვის მყისიერი პარამეტრების გარდა არსებობს ისეთი პარამეტრები, რომელთა მნიშვნელობები საწარმოში მოდის 24 საათში ერთხელ, მაგრამ რომელთა გათვალისწინება ღუმელის ოპერატიული მართვისათვის ასევე აუცილებელია. ჩამოვთვალოთ ეს პარამეტრები:

1. მომხმარებლებზე მიყიდული კირის აქტივობა, რომელიც განისაზღვრება თითოეული მიწოდებული ავტომანქანისთვის აქტივობის პროცენტის სახით. ეს პარამეტრი გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებელია
2. დღე-ღამის განმავლობაში გამოშვებული კირის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც ასევე დაითვლება 24 საათში ერთხელ
3. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით
4. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული ანტრაციტის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით
5. გასული დღე-ღამის განმავლობაში რკინიგზით შემოსული კირქვის რაოდენობა ტონებში
6. საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული კირქვის მარაგების ოდენობა ტონებში
7. საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული ანტრაციტის მარაგების ოდენობა ტონებში
8. ანტრაციტის ამ მარაგის ხარისხი, რომელიც იზომება ლაბორატორიულად კილოკალორია/კილოგრამებში.

შპს „ინდუსტრია კირს“ ძირითად კლიენტებთან გაფორმებული აქვს გრძელვადიანი კონტრაქტები, რომელთა თანახმად ის ვალდებულია თვის განმავლობაში მათ გადაუტვირთოს მინიმუმ შემდეგი ოდენობის კირი:

- ს/ს „მადნეული“ - 1800 ტონა
- შპს „კვარციტი“ - 800 ტონა

- შპს „ჯეოსტილი“ - 300 ტონა
- სხვადასხვა წვრილი მომხმარებლები - 100 ტონა

მაქსიმალური მუშაობის შემთხვევაში საწარმოს შეუძლია გამოუშვას 3500 ტონა კირი, რომელსაც დაუბრკოლებლად მიიღებს ზემოთ ჩამოთვლილი პირველი 3 მსხვილი მომხმარებელი.

კირის ღუმელის მართვაში მონაწილე პერსონალი და მათი იერარქიული დაქვემდებარება შემდეგნაირია:

ღუმელის მუშაობის რეჟიმისა და პარამეტრების შერჩევის შესახებ გადაწყვეტილებას იღებს წარმოების უფროსი საწარმოს ტექნოლოგთან მოთათბირების შემდეგ, ასევე ზემოდ ჩამოთვლილი ორივე ჯგუფის პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობების მიხედვით. ღუმელის მუშაობის რეჟიმის შეცვლაზე გადაწყვეტილების მიღება ხდება საჭიროების მიხედვით პარამეტრების მნიშვნელობების ანალიზის საფუძველზე. მიღებული გადაწყვეტილების შესახებ ეცნობება ცვლის უფროსს და პარალელურად შესაბამისი ჩანაწერი კეთდება სპეციალურ ჟურნალში, რომელშიც იწერება ყველანაირი ინფორმაცია ღუმელის მართვის პროცედურებისა და პარამეტრების მნიშვნელობების შესახებ. ცვლის უფროსი ღუმელის რეჟიმის შეცვლაზე მიღებულ გადაწყვეტილებას აცნობს ღუმელის ოპერატორს და ოპერატორის თანაშემწეს, რომლებიც უკვე უშუალოდ ახორციელებენ ღუმელის რეჟიმის შეცვლისათვის საჭირო პროცედურებს ცვლის დანარჩენ წევრებთან ერთად (ესენია: ამწის მემანქანე, ავტოჩამტვირთველი მემანქანე, ელექტრიკოსი და მტვირთავები). ღუმელის მართვის ზემოდ აღწერილი რეჟიმი მოქმედებს ძირითადად დღის ცვლაში (დილის 8 საათიდან საღამოს 8 საათამდე). ღამის ცვლაში (საღამოს 8 საათიდან დილის 8 საათამდე) წარმოების უფროსი და ტექნოლოგი საწარმოში არ იმყოფებიან, ამიტომ ღუმელის რეჟიმის შეცვლაზე მათი კონსულტაციების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ ტელეფონით, რასაც ცვლის უფროსი აკეთებს. ღამის ცვლაში ადგილზე უშუალო გადაწყვეტილებების მიმღები ღუმელის მუშაობის შესახებ არის ცვლის უფროსი. ის ამ დავალებებს წერს ჟურნალში და ასევე ბრძანებას აძლევს ოპერატორს და ოპერატორის თანაშემწეს. შემდეგ ისინი იგივეს აკეთებენ, რასაც დღის ცვლაში.

გარდა ღუმელის მართვის პროცედურების ზემოდ აღწერილი სტანდარტული შემთხვევებისა შესაძლებელია მოხდეს არასტანდარტული სიტუაციებიც ღუმელზე და სხვა დამხმარე მოწყობილობებზე ავარიების მოხდენის შემთხვევებში. ავარიების თაობაზე ღამის ცვლაში ცვლის უფროსი დაუყოვნებლივ ატყობინებს წარმოების უფროსსა და

ტექნოლოგს და ღებულობს მათგან მითითებებს, როგორ წარმართოს ღუმელის მართვა და ავარიების ლიკვიდაცია, თუ ეს ავარიები სერიოზულ ხასიათს არ ატარებს. თუ ავარიას სერიოზული ხასიათი აქვს, წარმოების უფროსი და ტექნოლოგი მოდიან საწარმოში და ადგილზე ხელმძღვანელობენ ღუმელის მართვასაც და ავარიის ლიკვიდაციასაც. როგორც ვხედავთ, ღუმელის მართვა პერსონალის თვალსაზრისით და მართვაზე გადაწყვეტილებების მიღები თანამშრომლების თვალსაზრისით ღამის ცვლაში და დღის ცვლაში ერთნაირად არ ხდება. ღამის ცვლაში ღუმელის მართვაზე მყისიერი გადაწყვეტილებების მიღება ხორციელდება უფრო დაბალი რანგის თანამშრომლების მიერ.

შპს „ინდუსტრია

კირის“ კირის ღუმელის ოპერატიული მართვისათვის გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამ ჭერის აინფორმაციოსის ტემის აგება და დანერგვა ძალიან მნიშვნელოვანია საწარმოსთვის შემდეგი მიზეზების გამო:

1. საწარმოში მუშაობს 4 ცვლა, ანუ ღუმელს მართავს 4 სხვადასხვა ოპერატორი, რომელთა კვალიფიკაცია და კირის გამოწვის პროცესის ცოდნის დონე არაერთგვაროვანია, რაც ხშირად ღუმელის არასწორ რეჟიმში მუშაობას განაპირობებს. გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერი სისტემა მათ მყისიერად მისცემდა რეკომენდაციებს საჭირო მოქმედებების შესახებ, რაც ზემოთ აღნიშნულ არაერთგვაროვნებას მნიშვნელოვანწილად შეამცირებდა
2. ოპერატორებს უჭირთ ღუმელის მართვაზე მეორე ჯგუფის პარამეტრების ზემოქმედების ყოველთვის სწორად გათვალისწინება, რადგან ეს პარამეტრები მართალია ოპერატიულ, მაგრამ გარკვეულწილად მიმდინარე სტრატეგიული მენეჯმენტის განმსაზღვრელები არიან. ოპერატორებს უჭირთ მყისიერ გადაწყვეტილებებში დროის შესაბამის მომენტებში სტრატეგიული ასპექტების გათვალისწინება
3. ღუმელის მართვისთვის განსაკუთრებით მძიმე პერიოდია ღამის ცვლა საღამოს 8 საათიდან დილის 8 საათამდე, როდესაც საწარმოში არ იმყოფებიან მენეჯმენტის წამომადგენლები (ტექნიკური დირექტორი, წარმოების უფროსი, ტექნოლოგი), ამიტომ მხოლოდ ოპერატორების გადაწყვეტილებებზეა დამოკიდებული ღუმელის სწორი მართვის განხორციელება, მითუმეტეს რომ ღამის ცვლაში დამატებითი ხელშეშლელი ფაქტორიცაა - სიბნელე, რაც 40-

მეტრიანი სიმაღლის ღუმელის ყველა ნაწილების ვიზუალურ დაკვირვებას ართულებს.

4. ღამის ცვლაში საჭირო მომენტებში ღუმელის მართვაზე მყისიერი გადაწყვეტილებების მიღება ხორციელდება უფრო დაბალი კვალიფიკაციის მქონე თანამშრომლების მიერ (ცვლის უფროსი და ოპერატორი), რომლებსაც კირის წარმოების ტექნოლოგიაზე სრული ცოდნა ნაკლებად აქვთ. ეს შეიძლება იწვევდეს არასწორ გადაწყვეტილებებს.

ოპერატიული გადაწყვეტილებების მხარდამჭერი სისტემა ოპერატორებს მისცემდა მყისიერ რჩევებს სწორი გადაწყვეტილებების მისაღებად ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების ორივე ჯგუფის გათვალისწინებით, რაც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებდა ღუმელის მართვას, გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობასა და ხარისხს, ანუ საწარმოს დაეხმარებოდა მთავარი მიზნის მიღწევაში, მაქსიმალური ეფექტიანობით მუშაობაში და მაქსიმალური ფინანსური მოგების მიღებაში. გაჩნდებოდა შესაძლებლობა ღუმელის მართვა ერთნაირად წარმატებულად განხორციელებულიყო როგორც დღის, ისე ღამის ცვლაში. ოპერატიული გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერ სისტემაში ჩადებული იქნებოდა როგორც საწარმოს მაღალი კვალიფიკაციის თანამშრომლების, ისე ზოგადად კირის წარმოების ტექნოლოგიაზე არსებული სამეცნიერო ცოდნა, რაც საშუალებას მოგვცემდა ღუმელის მართვაზე ოპერატორებისათვის მიცემული რჩევები ერთნაირად კარგი ყოფილიყო ორივე ცვლაში.

ღუმელს მართვა სჭირდება ორ რეჟიმში: არაავარიულ რეჟიმში, ანუ საშტატო სიტუაციაში და ავარიულ რეჟიმში, ანუ არასაშტატო სიტუაციაში. ცხადია, რომ მართვის ზემოქმედებები ამ განსხვავებული სიტუაციებისთვის სხვადასხვანაირია.

არაავარიულ რეჟიმში ღუმელის მართვის სისტემის მთავარი ამოცანა არის ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის მიღწევა, ან, სხვანაირად, მაქსიმალური მოგების მიღწევა. ამ რეჟიმში ღუმელის მართვის სისტემამ ღუმელის მდგომარეობა ნელ-ნელა უნდა წაიყვანოს მაქსიმალური მწარმოებლურობის მდგომარეობისაკენ, თუ ღუმელი ჯერ არ არის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმში. თუ ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმშია, მაშინ მართვის სისტემის ამოცანაა ამ მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმის შენარჩუნება.

არაავარიულ რეჟიმში ღუმელის მართვის სისტემის მთავარი ამოცანა არის ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის მიღწევა, ან, სხვანაირად, მაქსიმალური მოგების მიღწევა. ამ რეჟიმში ღუმელის მართვის სისტემამ ღუმელის მდგომარეობა ნელ-ნელა უნდა წაიყვანოს მაქსიმალური მწარმოებლურობის მდგომარეობისაკენ, თუ ღუმელი ჯერ არ არის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმში. თუ ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმშია, მაშინ მართვის სისტემის ამოცანაა ამ მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმის შენარჩუნება.

ავარიულ რეჟიმში ღუმელის მართვის სისტემის მთავარი ამოცანაა არის ღუმელის ავარიული მდგომარეობიდან თანდათან გამოყვანა და მისი დაბრუნება არაავარიულ რეჟიმში. შემდეგ ისევ უნდა ამუშავდეს ღუმელის მართვის სისტემა არაავარიული რეჟიმისათვის.

ჩვენი სამაგისტრო ნაშრომის ამოცანა მდგომარეობს კირის გამოწვის ღუმელის მართვის სისტემის შექმნა როგორც არაავარიული, ისე ავარიული რეჟიმისათვის .

ზემოთ ჩვენ მოვიყვანეთ ყველა იმ პარამეტრის ჩამონათვალი, როგორც მყისიერად ცვლადის, ისე 24-საათში ცვლადი პარამეტრების, რომელიც ორივე რეჟიმში მართვისათვის არის შედგენილი.

24-საათში ცვლადი პარამეტრები:

1. მომხმარებლებზე მიყიდული კირის აქტივობა, რომელიც განისაზღვრება თითოეული მიწოდებული ავტომატური სისტემის აქტივობის პროცენტის სახით. ეს პარამეტრი გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებელია
2. დღე-ღამის განმავლობაში გამოშვებული კირის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც ასევე დაითვლება 24 საათში ერთხელ
3. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით
4. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული ანტრაციტის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით
5. გასული დღე-ღამის განმავლობაში რკინიგზით შემოსული კირქვის რაოდენობა ტონებში
6. საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული კირქვის მარაგების ოდენობა ტონებში

7. საწარმოს ტერიტორია არსებული ანტრაციტის მარაგების ოდენობა ტონებში
8. ანტრაციტის ამ მარაგის ხარისხი, რომელიც იზომება ლაბორატორიულად კილოკალორია/კილოგრამებში.

2. ყოველ 24-საათში ცვლადი პარამეტრების ფაზიფიკაცია

1. მომხმარებლებზე მიყიდული კირის აქტივობა, რომელიც განისაზღვრება თითოეული მიწოდებული ავტომატური აქტივობის პროცენტის სახით. ეს პარამეტრი გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებელია.

გამოშვებული კირის აქტივობა ღუმელის ავარიულ და არაავარიულ რეჟიმებში მუშაობის გათვალისწინებით მერყეობს 30%-დან 95%-მდე. ხარისხიანად ითვლება 60%-ზე მეტი აქტივობის მქონე კირი, ასეთი კირისათვის გადაიხდება მაქსიმალური საფასური 1 ტონაზე. 60%-ზე დაბალი აქტივობის მქონე კირისათვის გადაიხდება თითოეულ ნაკლებ პროცენტზე მაქსიმალური ფასთან შედარებით 3\$-ით ნაკლები ფასი. 45%-ზე ნაკლები აქტივობის მქონე კირი ითვლება წუნდებულად და მისი შესყიდვა კლიენტების მიერ არ ხდება.

ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით „მომხმარებელზე მიყიდული კირის აქტივობა“. ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 5 ტერმი:

H1 – „ძალიან არასასურველი, დაბალი აქტივობა“, ეს შემდეგი შუალედია: 30%-დან 45%-მდე. ამ აქტივობის კირი ძალიან დაბალი ხარისხისაა და მასში გადაიხდება მინიმალური ფასი, რაც წარმოების ხარჯებსაც შეიძლება ვერ ანაზღაურდეს. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 30% ÷ 42%)

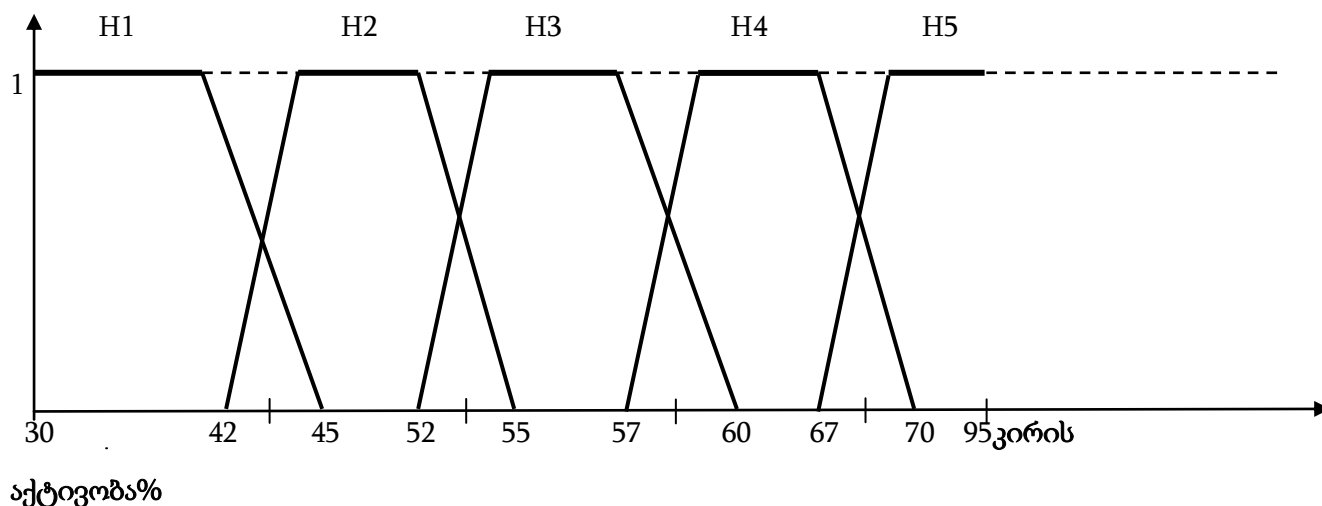
H2 – „არასასურველი, დაბალი აქტივობა“, ეს შემდეგი შუალედია: 42%-დან 55%-მდე. ამ აქტივობის კირი შედარებით დაბალი ხარისხისაა და მასში გადაიხდება დაბალი ფასი, რაც წარმოების ხარჯებს ანაზღაურებს მხოლოდ. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 45% ÷ 52%)

H3 – „შედარებით დაბალი აქტივობა“, ეს შემდეგი შუალედია: 52%-დან 60%-მდე. ამ აქტივობის კირი შედარებით დაბალი ხარისხისაა და მასში გადაიხდება სასურველზე დაბალი ფასი, რაც წარმოების ხარჯებს სრულად ანაზღაურებს. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 55% ÷ 57%)

H4 – „სასურველი აქტივობა“, ეს შემდეგი შუალედია: 57%-დან 70%-მდე. ამ აქტივობის კირი ხარისხიანია და მასში გადაიხდება მაქსიმალური ფასი, რაც საშუალებას იძლევა ანაზღაურდეს წარმოების ხარჯებიც და მიღებული იქნას სასურველი მოგებაც. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 60% ÷ 67%)

H5 – „ზედმეტი აქტივობა“, ეს შემდეგი შუალედია: 67%-დან 95%-მდე. ამ აქტივობის კირი ძალიან მაღალი ხარისხისაა, მაგრამ მასში გადაიხდება ისეთივე ფასი, როგორც H4 აქტივობისას, ხოლო ანტრაციტის დანახარჯი ამ შემთხვევაში უფრო მეტია, ვიდრე H4 აქტივობისას. ამგვარად, ხდება ანტრაციტის გადახარჯვა, რაც პროდუქციის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს აუარესებს. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 70% ÷ 95%)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^8(x) = \begin{cases} 1, & x \in [30, 42] \\ -0.33x + 15, & x \in (42, 45] \\ 0, & x \in (45, 95] \end{cases}$$

$$\mu_2^8(x) = \begin{cases} 0, & x \in [30, 42] \\ 0.33x - 14, & x \in (42, 45] \\ 1, & x \in (45, 52] \\ -0.33x + 18.3, & x \in (52, 55] \\ 0, & x \in (55, 95] \end{cases}$$

$$\mu_3^8(x) = \begin{cases} 0, x \in [30, 52] \\ 0.33x - 17.3, x \in (52, 55] \\ 1, x \in (55, 57] \\ -0.33 + 20, x \in (57, 60] \\ 0, x \in (60, 95] \end{cases}$$

$$\mu_4^8(x) = \begin{cases} 0, x \in [30, 57] \\ 0.33x - 19, x \in (57, 60] \\ 1, x \in (60, 67] \\ -0.33x + 23.3, x \in (67, 70] \\ 0, x \in (70, 95] \end{cases}$$

$$\mu_5^8(x) = \begin{cases} 0, x \in [30, 67] \\ 0.33x - 22.3, x \in (67, 70] \\ 1, x \in (70, +\infty] \end{cases}$$

2. დღე-ღამის განმავლობაში გამოშვებული კირის რაოდენობა ტონებში, რომელიც ასევე დაითვლება 24 საათში ერთხელ.

გამოშვებული კირის რაოდენობა ღუმელის ავარიულ და არაავარიულ რეჟიმებში მუშაობის გათვალისწინებით მერყეობს 40 ტონიდან 110 ტონამდე. დღე-ღამეში 100 და მეტი ტონა კირის გამოშვება ხარისხიანად ითვლება ღუმელის მაქსიმალურ მწარმოებლურობად. როდესაც გაიშვიათება 50-ზე მინიმუმზე აყენია, ღუმელი უშვებს 40-45 ტონა კირს დღე-ღამეში, რაც ძალიან ცოტაა და ავარიულ რეჟიმს შეესაბამება.

ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით „დღე-ღამის განმავლობაში გამოშვებული კირის რაოდენობა“. ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 4 ტერმი:

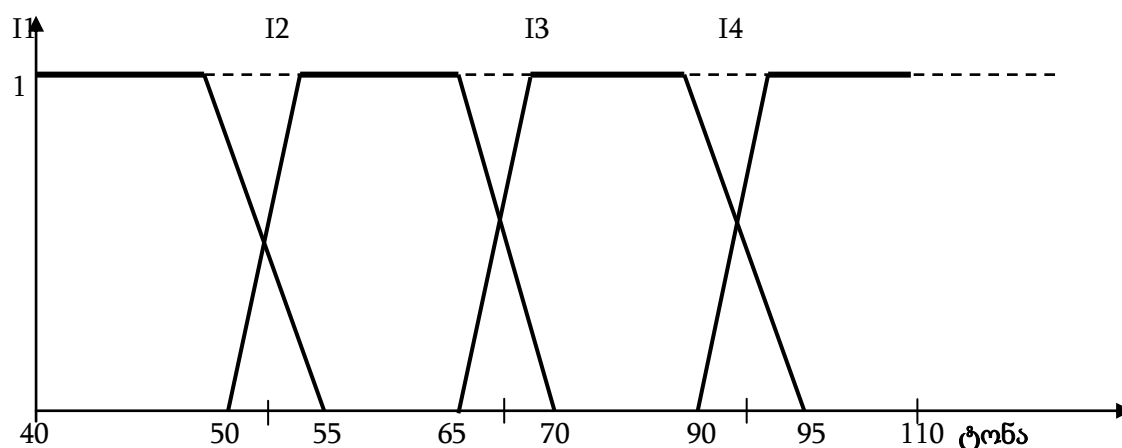
I1 – „ძალიან არასასურველი, დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 40 ტონიდან 55 ტონამდე. ეს შეესაბამება მინიმალურ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 40 ტ ÷ 50 ტ)

I2 – „არასასურველი, დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 50 ტონიდან 70 ტონამდე. ეს შეესაბამება დაბალ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 55 ტ ÷ 65 ტ)

I3 – „საშუალო რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 65 ტონიდან 95 ტონამდე. ეს შეესაბამება საშუალო მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 70 ტ ÷ 90 ტ)

I4 – „სასურველი მაღალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 90 ტონიდან 110 ტონამდე. ეს შეესაბამება მაღალ მწარმოებლურობას. მაქსიმალური მწარმოებლურობა იწყება 100 ტონიდან. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 95 ტ ÷ 110 ტ)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^g(x) = \begin{cases} 1, & x \in [40, 50] \\ -0.2x + 11, & x \in (50, 55] \\ 0, & x \in (55, 110] \end{cases}$$

$$\mu_2^g(x) = \begin{cases} 0, & x \in [40, 50] \\ 0.2x - 10, & x \in (50, 55] \\ 1, & x \in (55, 65] \\ -0.2x + 14, & x \in (65, 70] \\ 0, & x \in (70, 110] \end{cases}$$

$$\mu_3^g(x) = \begin{cases} 0, & x \in [40, 65] \\ 0.2x - 13, & x \in (65, 70] \\ 1, & x \in (70, 90] \\ -0.2x + 19, & x \in (90, 95] \\ 0, & x \in (95, 110] \end{cases}$$

$$\mu_4^9(x) = \begin{cases} 0, & x \in [40, 90] \\ 0.2x - 18, & x \in (90, 95] \\ 1, & x \in (95, +\infty] \end{cases}$$

3. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა ტონებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით.

ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა ღუმელის ავარიულ და არაავარიულ რეჟიმებში მუშაობის გათვალისწინებით მერყეობს 60 ტონიდან 190 ტონამდე. 60 ტონა ჩატვირთება მაშინ, როდესაც გაიშვიათება მინიმუმზე აყენია, რაც ძალიან ცოტაა და ავარიულ რეჟიმს შეესაბამება. დღე-ღამეში 110 ტონა კირის გამოშვება მოითხოვს მაღალ გაიშვიათებას და 180-190 ტონა კირქვის ჩაყრას ღუმელში.

ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით „24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული კირქვის რაოდენობა“.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 4 ტერმი:

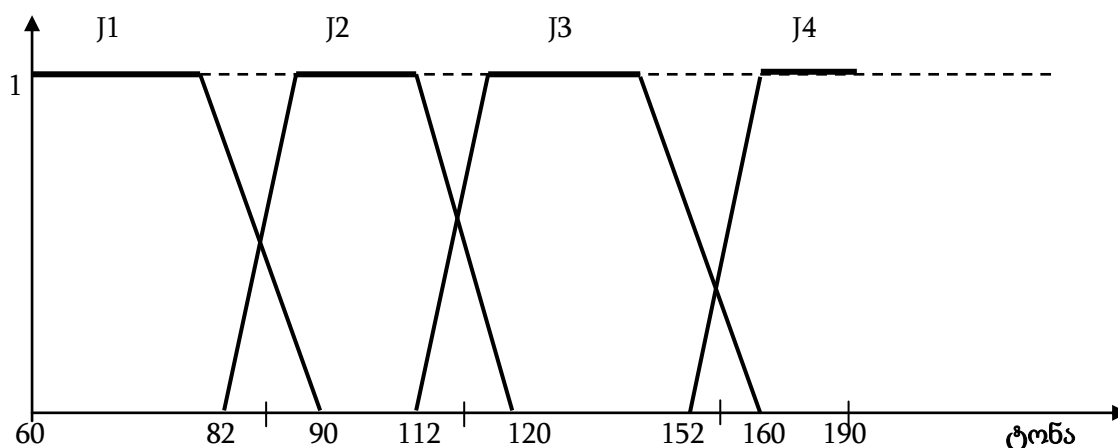
J1 – „ძალიან დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 60 ტონიდან 90 ტონამდე. ეს შეესაბამება მინიმალურ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 60 ტ ÷ 82 ტ)

J2 – „დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 82 ტონიდან 120 ტონამდე. ეს შეესაბამება დაბალ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 90 ტ ÷ 112 ტ)

J3 – „საშუალო რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 112 ტონიდან 160 ტონამდე. ეს შეესაბამება საშუალო მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 120ტ ÷ 152 ტ)

J4 – „მაღალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 152 ტონიდან 190 ტონამდე. ეს შეესაბამება მაღალ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 160 ტ ÷ 190 ტ)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{10}(x) = \begin{cases} 1, & x \in [60, 82] \\ -0.125x + 11.25, & x \in (82, 90] \\ 0, & x \in (90, 190] \end{cases}$$

$$\mu_2^{10}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [60, 82] \\ 0.125x - 10.25, & x \in (82, 90] \\ 1, & x \in (90, 112] \\ -0.125x + 15, & x \in (112, 120] \\ 0, & x \in (120, 190] \end{cases}$$

$$\mu_3^{10}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [60, 112] \\ 0.125x - 14, & x \in (112, 120] \\ 1, & x \in (120, 152] \\ -0.125x + 20, & x \in (152, 160] \\ 0, & x \in (160, 190] \end{cases}$$

$$\mu_4^{10}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [60, 152] \\ 0.125x - 19, & x \in (152, 160] \\ 1, & x \in (160, +\infty] \end{cases}$$

4. 24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული ანტრაციტის რაოდენობა კილოგრამებში, რომელიც დაითვლება დოზატორის ჩვენებების მიხედვით

ღუმელში ჩატვირთული ანტრაციტის რაოდენობა ღუმელის ავარიულ და არაავარიულ რეჟიმებში მუშაობის გათვალისწინებით მერყეობს 4 ტონიდან 18 ტონამდე. 4 ტონა ჩაიტვირთება მაშინ, როდესაც გაიშვიათება მინიმუმზე აყენია, რაც ძალიან ცოტაა და

ავარიულ რეჟიმს შეესაბამება. დღე-ღამეში 110 ტონა კირის გამოშვება მოითხოვს მაღალ გაიშვიათებას და 15 ტონა ანტრაციტის ჩაყრას ღუმელში.

ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით „24 საათის განმავლობაში ღუმელში ჩატვირთული ანტრაციტის რაოდენობა“.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 4 ტერმი:

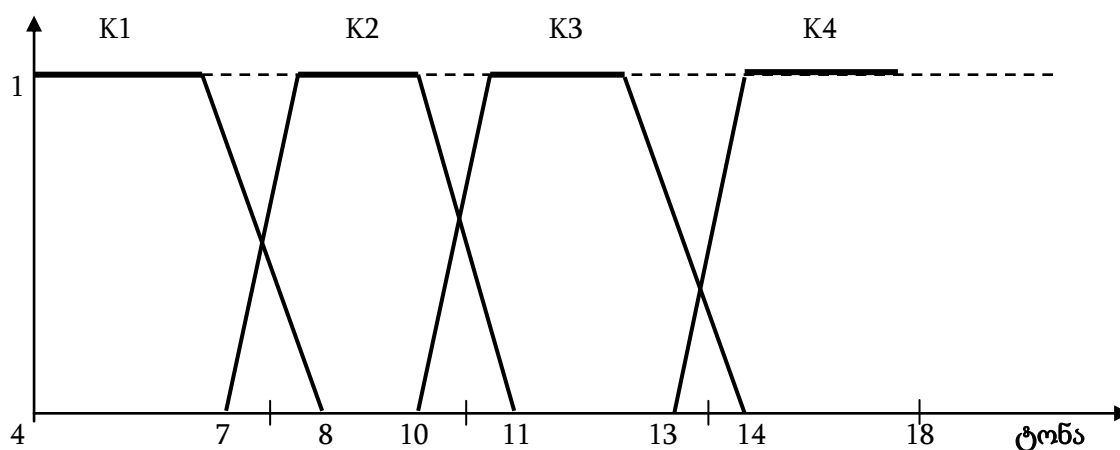
K1 – „ძალიან დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 4 ტონიდან 8 ტონამდე. ეს შეესაბამება მინიმალურ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 4 ტ ÷ 7 ტ)

K2 – „დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 7 ტონიდან 11 ტონამდე. ეს შეესაბამება დაბალ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 8 ტ ÷ 10 ტ)

K3 – „საშუალო რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 10 ტონიდან 14 ტონამდე. ეს შეესაბამება საშუალო მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 11 ტ ÷ 13 ტ)

K4 – „მაღალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი შუალედია: 13 ტონიდან 18 ტონამდე. ეს შეესაბამება მაღალ მწარმოებლურობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 14 ტ ÷ 18 ტ)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{11}(x) = \begin{cases} 1, x \in [4,7] \\ -x+8, x \in (7,8] \\ 0, x \in (8,18] \end{cases}$$

$$\mu_2^{11}(x) = \begin{cases} 0, x \in [4,7] \\ x-7, x \in (7,8] \\ 1, x \in (8,10] \\ -x+11, x \in (10,11] \\ 0, x \in (11,18] \end{cases}$$

$$\mu_3^{11}(x) = \begin{cases} 0, x \in [4,10] \\ x-10, x \in (10,11] \\ 1, x \in (11,13] \\ -x+14, x \in (13,14] \\ 0, x \in (14,18] \end{cases}$$

$$\mu_4^{11}(x) = \begin{cases} 0, x \in [4,13] \\ x-13, x \in (13,14] \\ 1, x \in (14,+\infty] \end{cases}$$

5. *გასული დღე-ღამის განმავლობაში რკინიგზით შემოსული კირქვის რაოდენობა ტონებში*

გასული დღე-ღამის განმავლობაში რკინიგზით შემოსული კირქვის რაოდენობა, იმის გათვალისწინებით, რომ კვირაში ერთი დღე კარიერი ისვენებს, ასევე შესაძლებელია რემონტების ჩატარება კარიერზე, შეიძლება მერყეობდეს 0 ტონიდან 195 ტონამდე. 0 ტონა იქნება მაშინ, როდესაც კარიერის არმუშაობის მიზეზით ან რკინიგზის მიზეზით ვაგონები საერთოდ არ შემოვა. თუ ღუმელი საშუალო გაიშვიათებაზე მუშაობს, მაშინ დღე-ღამეში შემოდის 2 ვაგონი, ანუ 130 ტონა კირქვა. მაქსიმალურ რეჟიმში დღე-ღამეში შემოვა 3 ვაგონი კირქვა, ანუ 195 ტონა.

ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით „გასული დღე-ღამის განმავლობაში რკინიგზით შემოსული კირქვის რაოდენობა“.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 4 წერტილოვანი მკაფიო ტერმი:

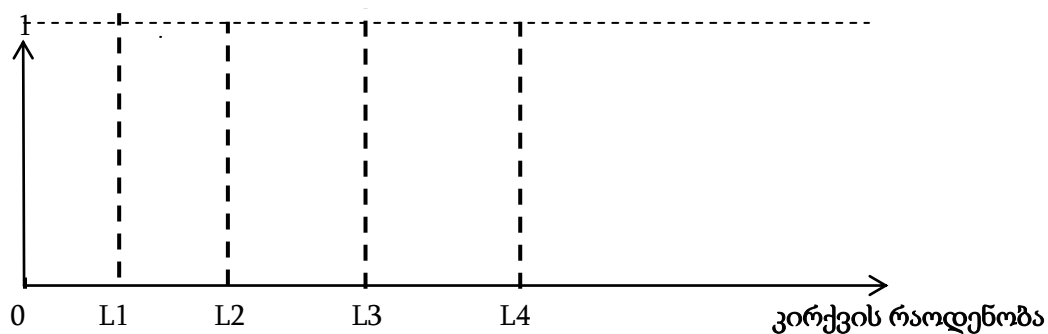
L1 – „კირქვის შემოსულა არ იყო“-ეს შემდეგი რიცხვია: 0 ტონა. ეს შეესაბამება კირქვის მოწოდების ავარიულ რეჟიმს. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ წერტილზე 0 ტონა)

L2 – „დაბალი რაოდენობა“-ეს შემდეგი რიცხვია: 1 ვაგონი, ანუ 65 ტონა. ეს შეესაბამება ვაგონების მოწოდების არასტაბილურ რეჟიმს. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ წერტილზე 65 ტონა)

L3 – „საშუალო რაოდენობა“-ეს შემდეგი რიცხვია: 2 ვაგონი, ანუ 130 ტონა. ეს შეესაბამება ანტრაციტის საკმაოდ მარაგის არქონის შემთხვევაში, ან რკინიგზის მიერ ვაგონების მოწოდების არასტაბილური რეჟიმის გამო ღუმელის საშუალო მწარმოებლურობით მუშაობას. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ წერტილზე 130 ტონა)

L4 – „სასურველი რაოდენობა“-ეს შემდეგი რიცხვია: 3 ვაგონი, ანუ 195 ტონა. ეს შეესაბამება ღუმელის მაღალი მწარმოებლურობით მუშაობას. სამ ვაგონზე მეტის მიღება ერთი დღე-ღამის განმავლობაში შეუძლებელია 2 მიზეზის გამო: ერთი-კარიერს არ შეუძლია კირის წარმოებისათვის საჭირო ფრაქციის 3 ვაგონზე მეტის დატვირთვა, მეორე-კირის ქარხანას არ შეუძლია 3 ვაგონზე მეტის დაცლა ამწის მუშაობის რეჟიმიდან გამომდინარე. (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ წერტილზე 195 ტონა)

წერტილოვანი რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{12} = \begin{cases} 1, x \in \{L1\} \\ 0, x \in \{L2, L3, L4\} \end{cases}$$

$$\mu_2^{12} = \begin{cases} 1, x \in \{L2\} \\ 0, x \in \{L1, L3, L4\} \end{cases}$$

$$\mu_3^{12} = \begin{cases} 1, x \in \{L3\} \\ 0, x \in \{L1, L2, L4\} \end{cases}$$

$$\mu_4^{12} = \begin{cases} 1, x \in \{L4\} \\ 0, x \in \{L1, L2, L3\} \end{cases}$$

6. საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული კირქვის მარაგების ოდენობა ტონებში

საწარმოში უკვე არსებული კირქვის მარაგი. (შესაძლო მნიშვნელობები – კირქვა საკმარისია თვის მესამედზე, თვის ნახევარზე, თვის ორ მესამედზე, მთელ თვეზე, საკმარისზე მეტია). ამ მახასიათებლის ცვლილების არეა 1000 ტ - 5000 ტ. ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით “საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული კირქვის მარაგების ოდენობა”.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 5 ტერმი:

M1 – „კირქვა საკმარისია თვის მესამედზე“ - (1000 ტ (1800 ტ კირი*1.65/3) - 1400 ტ (4000 ტ/3 მაქს. გამოშვებისათვის)) – 1000ტონა ÷ 1400ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 1100ტონა ÷ 1300ტონა)

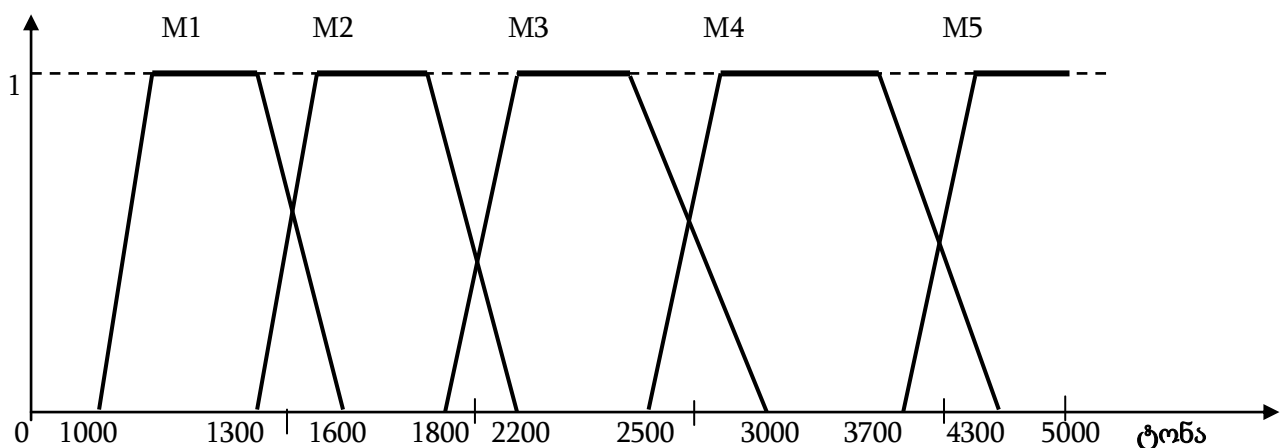
M2 – „თვის ნახევარზე“ - (>1400 ტ (3000ტ/2) - 2000 ტ(4000ტ/2)) – >1400ტონა ÷ 2000ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 1600ტონა ÷ 1800ტონა)

M3 – „თვის ორ მესამედზე“ - (>2000ტ (3000/3*2) - 2700 ტ (4000/3*2)) – >2000ტონა ÷ 2700ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 2200ტონა ÷ 2500ტონა)

M4 – „მთელ თვეზე“ - (>2700 ტ - 4000 ტ) – >2700ტონა ÷ 4000ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 3000ტონა ÷ 3700ტონა)

M5 – „საკმარისზე მეტია“ - (>4000 ტ - 5000 ტ) – >4000ტონა ÷ 5000ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე >4300ტონა)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{13}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 1000] \\ 0.01x - 10, x \in (1000, 1100] \\ 1, x \in (1100, 1300] \\ -0.0033x + 5.33, x \in (1300, 1600] \\ 0, x \in (1600, 5000] \end{cases}$$

$$\mu_2^{13}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 1300] \\ 0.0033x - 4.33, x \in (1300, 1600] \\ 1, x \in (1600, 1800] \\ -0.0025x + 5.5, x \in (1800, 2200] \\ 0, x \in (2200, 5000] \end{cases}$$

$$\mu_3^{13}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 1800] \\ 0.0025x - 4.5, x \in (1800, 2200] \\ 1, x \in (2200, 2500] \\ -0.002x + 6, x \in (2500, 3000] \\ 0, x \in (3000, 5000] \end{cases}$$

$$\mu_4^{13}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 2500] \\ 0.002x - 5, x \in (2500, 3000] \\ 1, x \in (3000, 3700] \\ -0.0017x + 7.17, x \in (3700, 4300] \\ 0, x \in [4300, 5000] \end{cases}$$

$$\mu_5^{13}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 3700] \\ 0.0017x - 6.17, x \in (3700, 4300] \\ 1, x \in (4300, > 5000] \end{cases}$$

7. საწარმოს ტერიტორია არსებული ანტრაციტის მარაგების ოდენობა ტონებში

საწარმოში უკვე არსებული ანტრაციტის მარაგი. (მაგ., შესაძლებელია ასეთი მნიშვნელობები - საწვავი საკმარისია თვის მესამედზე, თვის ნახევარზე, თვის ორ მესამედზე, მთელ თვეზე, საკმარისზე მეტია). ამ მახასიათებლის ცვლილების არეა 80 ტონა - 500 ტონა. ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით “საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული ანტრაციტის მარაგების ოდენობა”.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 5 ტერმი:

N1 – “ანტრაციტი საკმარისია თვის მესამედზე” - 80ტონა ÷ 130ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 110ტონა ÷ 120ტონა)

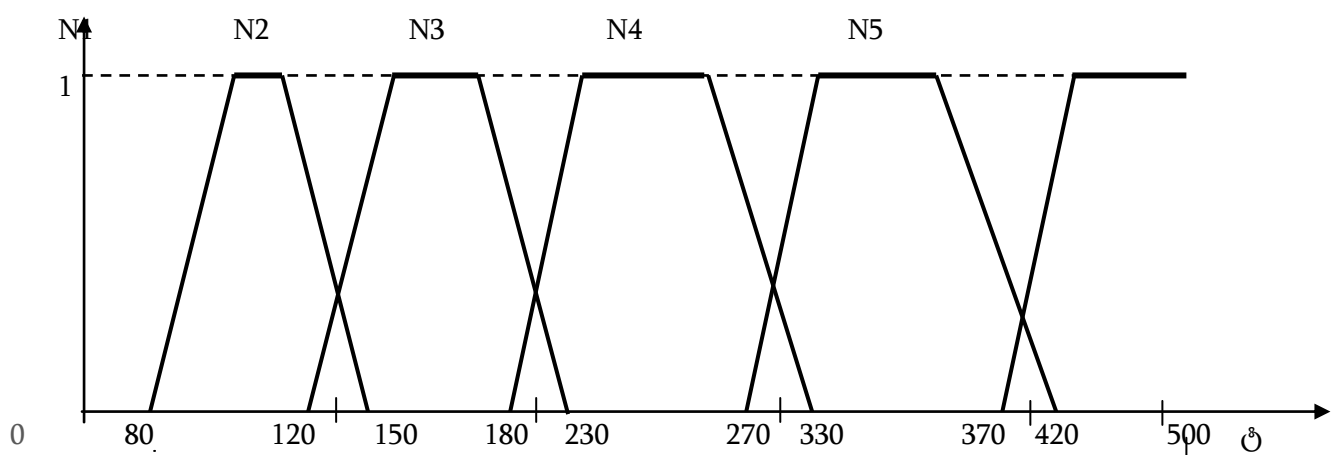
N2 – “ანტრაციტი საკმარისია თვის ნახევარზე” - >130ტონა ÷ 200ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 150ტონა ÷ 180ტონა)

N3 – “ანტრაციტი საკმარისია თვის ორ მესამედზე” - >200ტონა ÷ 300ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 230ტონა ÷ 270ტონა)

N4 – “ანტრაციტი საკმარისია მთელ თვეზე” - >300ტონა ÷ 400ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 330ტონა ÷ 370ტონა)

N5 – “ანტრაციტი საკმარისზე მეტია” - >400ტონა ÷ 500ტონა (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე >420ტონა)

ტრაპეციოდალური რიცხვებით ფაზიფიკაცია შესაძლებელია ასე:



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{14}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, 80] \\ 0.033x - 2.67, & x \in (80, 110] \\ 1, & x \in (110, 120] \\ -0.033x + 5, & x \in (120, 150] \\ 0, & x \in (150, 500] \end{cases}$$

$$\mu_2^{14}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, 120] \\ 0.033x - 4, & x \in (120, 150] \\ 1, & x \in (150, 180] \\ -0.02x + 4.6, & x \in (180, 230] \\ 0, & x \in (230, 500] \end{cases}$$

$$\mu_3^{14}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 180] \\ 0.02x - 3.6, x \in (180, 230] \\ 1, x \in (230, 270] \\ -0.017x + 5.5, x \in (270, 330] \\ 0, x \in (330, 500] \end{cases}$$

$$\mu_4^{14}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 270] \\ 0.017x - 4.5, x \in (270, 330] \\ 1, x \in (330, 370] \\ -0.02x + 8.4, x \in (370, 420] \\ 0, x \in (420, 500] \end{cases}$$

$$\mu_5^{14}(x) = \begin{cases} 0, x \in [0, 370] \\ 0.02x - 7.4, x \in (370, 420] \\ 1, x \in (420, 500] \end{cases}$$

8. ანტრაციტის მარაგის ხარისხი, რომელიც იზომება ლაბორატორიულად კილოკალორია/კილოგრამებში.

ანტრაციტის მარაგის ხარისხი - (მაგ. შესაძლებელია ასეთი მნიშვნელობები - ცუდი=ნახშირი, კარგი=ჩვეულებრივი ანტრაციტი, ძალიან კარგი=კარგი ანტრაციტი). ამ მახასიათებლის ცვლილების არეა 4000კკალ. – 7500კკალ.

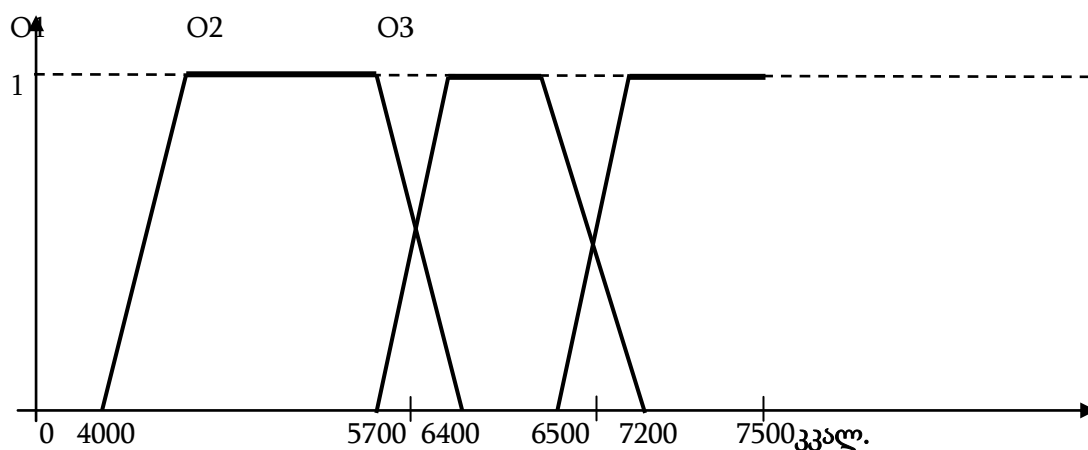
ჩვენ გამოვიყენებთ შესაბამის ლინგვისტურ ცვლადს სახელით “ანტრაციტის მარაგის ხარისხი”.

ამ ლინგვისტურ ცვლადს გააჩნია 3 ტერმი:

O1 – „ცუდი ხარისხი“ - 4000კკალ. ÷ 6000კკალ. – (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 4300÷ 5700)

O2 – „კარგი“ - >6000კკალ. ÷ 6900კკალ. – (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე 6400÷ 6500)

O3 – „ძალიან კარგი“ - >6900კკალ. ÷ 7500კკალ. – (ფაზიფიკაციისას $\mu(x)=1$ შემდეგ ინტერვალზე >7200)



მიკუთვნების ფუნქციები ასე განისაზღვრება:

$$\mu_1^{15}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, 4000] \\ 0.0033x - 13.33, & x \in (4000, 4300] \\ 1, & x \in (4300, 5700] \\ -0.0014x + 9.14, & x \in (5700, 6400] \\ 0, & x \in (6400, 7500] \end{cases}$$

$$\mu_2^{15}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, 5700] \\ 0.0014x - 8.14, & x \in (5700, 6400] \\ 1, & x \in (6400, 6500] \\ -0.0014x + 10.29, & x \in (6500, 7200] \\ 0, & x \in (7200, 7500] \end{cases}$$

$$\mu_3^{15}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [0, 6500] \\ 0.0014x - 9.29, & x \in (6500, 7200] \\ 1, & x \in (7200, 7500] \end{cases}$$

2.1 გამომავალი ცვლადი

გამომავალი ცვლადის „ლუმელის მდგომარეობის შეცვლა“ ფაზიფიკაცია შესაძლებელია შემდეგნაირად:

ზემოთ ჩამოთვლილი პარამეტრების მნიშვნელობების შემოწმება მართვის სისტემის მიერ მოხდება ყოველ ნახევარ საათში და მიღებული მნიშვნელობებიდან

გამომდინარე გამომუშავდება რეკომენდაცია იგივე დარჩეს თუ არა ღუმელის მდგომარეობა, თუ ღუმელის მდგომარეობა შეიცვალოს მაქსიმალური მწარმოებლურობისაკენ. გამომავალი ცვლადი უნდა დახასიათდეს 3 მაჩვენებლის ერთობლიობით, ესენია : გაიშვიათების ცვლილება, საცერის სისწრაფის ცვლილება და ღუმელში ჩასატვირთ ნარევეში ანტრაციტის რაოდენობის ცვლილება. აქედან ცხადია, რომ ლინგვისტური ცვლადი „ღუმელის მდგომარეობის შეცვლა“ ფაქტიურად წარმოადგენს სამი ლინგვისტური ცვლადის ერთობლიობას: ერთია „გაიშვიათების ცვლილება“, მეორეა „საცერის სისწრაფის ცვლილება“ და მესამეა „ნარევეში ანტრაციტის რაოდენობის ცვლილება“. პირველი ლინგვისტური ცვლადი დავახასიათოთ 3 ტერმით: გაიშვიათების გაზრდა 50 ერთეულით; გაიშვიათების არსებული მნიშვნელობის დატოვება; გაიშვიათების შემცირება 50 ერთეულით. მეორე ლინგვისტური ცვლადი შესაძლებელია დახასიათდეს 3 ტერმით: საცერის სისწრაფის გაზრდა 2 ერთეულით; საცერის არსებული სისწრაფის დატოვება; საცერის სისწრაფის შემცირება 2 ერთეულით; მესამე ლინგვისტური ცვლადი დავახასიათოთ 3 ტერმით: ანტრაციტის რაოდენობის გაზრდა 2 კილოგრამით; ანტრაციტის რაოდენობის იგივე ოდენობის დატოვება; ანტრაციტის რაოდენობის შემცირება 2 კილოგრამით. ამგვარად პირველი გამომავალი ლინგვისტური ცვლადის ტერმები შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგნაირად:

R1 – „გაიშვიათება გაიზარდოს 50 ერთეულით“;

R2- „გაიშვიათება დარჩეს იგივე“;

R3- „გაიშვიათება შემცირდეს 50 ერთეულით“.

ამგვარად მეორე გამომავალი ლინგვისტური ცვლადის ტერმები შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგნაირად:

V1 – „საცერის სისწრაფე გაიზარდოს 2 ერთეულით“;

V2- „საცერის სისწრაფე დარჩეს იგივე“;

V3- „საცერის სისწრაფე შემცირდეს 2 ერთეულით“.

ამგვარად მესამე გამომავალი ლინგვისტური ცვლადის ტერმები შიძლება განვსაზღვროთ შემდეგნაირად:

Q1 – „ანტრაციტის რაოდენობა გაიზარდოს 2 კილოგრამით“;

Q2 – „ანტრაციტის რაოდენობა დარჩეს იგივე“;

Q3 – „ანტრაციტის რაოდენობა შემცირდეს 2 კილოგრამით“.

კიდევ ერთხელ აღვნიშნოთ, რომ ღუმელის მართვის სისტემის დანიშნულებაა ნელ-ნელა (ყოველ ნახევარ საათში განხორციელებული რამოდენიმე ცვლილებით) ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმში ჩაყენება და მერე ამ რეჟიმის მუდმივად შენარჩუნება. მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმი ისეთი რეჟიმია, როდესაც ღუმელი უშვებს თვეში 3000 ტონა და მეტ კირს და ამ კირის საშუალო შეწონილი აქტივობა არის არანაკლებ 60%-ის. აღნიშნული ტონების გადაყვანა 24-საათში გამოშვებული კირის რაოდენობაზე სიძნელეს არ წარმოადგენს. ეს არის 100 ტონა დღე-ღამეში, საათში ეს იქნება დაახლოებით 4,2 ტონა.

2.2 ლოგიკური წესები

24 საათში ცვლადი პარამეტრებისთვის ლოგიკური წესები, არაავარიული რეჟიმისთვის

№1

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1) AND V=(V1) AND Q=(Q3);

№ 2

IF H=(H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q3);

№ 3

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q1);

Nº 4

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q3);

Nº 5

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1) THEN R=(R1) AND V=(V3) AND Q=(Q1);

Nº 6

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2) THEN R=(R2) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q1);

Nº 7

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J3 OR J4) AND K=(K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V3) AND Q=(Q2);

Nº 8

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1) THEN R=(R3) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q1);

Nº 9

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q2);

№ 10

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2) AND M=(M1) AND N=(N1) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2 OR Q3);

№ 11

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2);

№ 12

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2);

№ 13

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J2 OR J3) AND K=(K2 OR K3) AND L=(L4) AND M=(M2 OR M3) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1 OR R2) AND V=(V1 OR V2) AND Q=(Q2);

№ 14

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3) AND J=(J3) AND K=(K2) AND L=(L4) AND M=(M4 OR M5) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1 OR R2) AND V=(V1 OR V2) AND Q=(Q2);

№ 15

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J2 OR J3) AND K=(K2 OR K3) AND L=(L1) AND M=(M2 OR M3) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q2);

იმის გამო, რომ ზოგიერთი 24-საათიანი წესი, კერძოდ ის წესები, რომელთა მარჯვენა მხარეში მონაწილეობს ერთი მაინც R3, V3 ან Q3-დან, წარმოადგენს

დომინანტურ წესებს, ანუ ღუმელის მდგომარეობის მიუხედავად ამ წესების შემზღუდავი მოქმედებები აუცილებლად უნდა შესრულდეს, რადგან ისინი განპირობებული არიან მარაგების ნაკლებობით ან უხარისხო ნედლეულით, მათ უნდა მიენიჭოს მეტი წონა, ვიდრე იმ 24-საათიან წესებს, რომლებშიც მონაწილეობს R2, V2, Q2. მეორეს მხრივ, ის 24-საათიანი წესები, რომლებშიც მონაწილეობენ ერთი მაინც R1, V1 ან Q1-დან, წარმოადგენენ ნაკლებად დომინანტურ წესებს, რადგან ეს წესები გამოიყენება იმ დროს, როდესაც მარაგების ნაკლებობის ან უხარისხო ნედლეულის პრობლემები არ არის საწარმოში. ამიტომ, მათ უნდა ჰქონდეთ ნაკლები წონები, ვიდრე იმ წესებში, რომლებშიც მონაწილეობენ R2, V2, Q2.

მეისიერად ცვლად პარამეტრიან წესებთან მიმართებით შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი: ცხადია, რომ მათ უნდა ჰქონდეთ ისეთივე წონები, როგორიც ექნებათ 24-საათიან წესებს, რომლებშიც მონაწილეობს R2, V2, Q2, რადგან ამ უკანასკნელ მოქმედებებიანი წესები იმას მიუთითებს, რომ 24-საათიანი წესების მხრივ არანაირი შეზღუდვები არ არსებობს ღუმელის მართვასთან დაკავშირებით, ამიტომ, ამ დროს უნდა იმუშაოს მეისიერად ცვლად პარამეტრიანმა წესებმა, რომელთა მიზანი არის ღუმელის მაქსიმალური მწარმოებლურობის რეჟიმში დაყენება ან მისი შენარჩუნება. ამ მოსაზრებებიდან გამომდინარე ექსპერტული შესწავლის შედეგად წესებისათვის განსაზღვრული იქნა შემდეგი წონები:

24-საათიანი წესები, რომლებიც შეიცავენ R3, V3, Q3 – 0,9

24-საათიანი წესები, რომლებიც შეიცავენ R2, V2, Q2 – 0,6

24-საათიანი წესები, რომლებიც შეიცავენ R1, V1, Q1 – 0,4

მეისიერად ცვლადი პარამეტრების შემცვლელი წესები – 0,6

24 საათში ცვლადი პარამეტრებისთვის ლოგიკური წესები წონების მითითებით:

№1

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1) AND V=(V1) AND Q=(Q3); [0,9]

№ 2

IF H=(H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q3); [0,9]

Nº 3

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q1); [0,6]

Nº 4

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q3); [0,9]

Nº 5

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1) THEN R=(R1) AND V=(V3) AND Q=(Q1); [0,9]

Nº 6

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2) THEN R=(R2) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q1); [0,9]

Nº 7

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J3 OR J4) AND K=(K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V3) AND Q=(Q2); [0,9]

Nº 8

IF H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR

M4 OR M5) AND N=(N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1) THEN R=(R3) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q1); [0,9]

№ 9

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V2 OR V3) AND Q=(Q2); [0,9]

№ 10

IF H=(H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2) AND M=(M1) AND N=(N1) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2 OR Q3); [0,9]

№ 11

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1) AND M=(M1) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2); [0,9]

№ 12

IF H=(H1 OR H2 OR H3 OR H4 OR H5) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V3) AND Q=(Q2); [0,9]

№ 13

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J2 OR J3) AND K=(K2 OR K3) AND L=(L4) AND M=(M2 OR M3) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1OR R2) AND V=(V1 OR V2) AND Q=(Q2); [0,6]

№ 14

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3) AND J=(J3) AND K=(K2) AND L=(L4) AND M=(M4 OR M5) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R1 OR R2) AND V=(V1 OR V2) AND Q=(Q2); [0,6]

№ 15

IF H=(H4 OR H5) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J2 OR J3) AND K=(K2 OR K3) AND L=(L1) AND M=(M2 OR M3) AND N=(N4 OR N5) AND O=(O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q2); [0,6]

2.3. ავარიული რეჟიმების წესები

ავარიული რეჟიმი – ასტეროიდების გაჩენა და გამოწვის ზონის გადაფერდება

№1

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I1 OR I2) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R1) AND V=(V2) AND Q=(Q3) AND P=(P3);

№2

IF A=(A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R1) AND V=(V3) AND Q=(Q3) AND P=(P2);

№3

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I1 OR I2 OR I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q2) AND P=(P2);

№4

IF A=(A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1 OR K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V3) AND Q=(Q2) AND P=(P4);

№5

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q2) AND P=(P4);

№6

IF A=(A4) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R3) AND V=(V1) AND Q=(Q2) AND P=(P2);

№7

IF A=(A4) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G2) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K1) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2 OR R3) AND V=(V1) AND Q=(Q2) AND P=(P2);

№8

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4) AND B=(B1 OR B2 OR B3 OR B4) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D1 OR D2 OR D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G1) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3 OR J4) AND K=(K2 OR K3 OR K4) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1

OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V2) AND Q=(Q2) AND P=(P1 OR P2);

ავარიული რეჟმი – გამოწვის ზონის გაფართოება ღუმელის სიმაღლის მიხედვით

№1

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G1) AND H=(H3 OR H4) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q2) AND P=(P3);

№2

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D3 OR D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G1) AND H=(H1 OR H2) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q1) AND P=(P3);

№3

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D4) AND E=(E1 OR E2 OR E3) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G1) AND H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q2) AND P=(P4);

№4

IF A=(A1 OR A2 OR A3 OR A4 OR A5) AND B=(B5) AND C=(C1 OR C2 OR C3 OR C4 OR C5) AND D=(D3 OR D4) AND E=(E3 OR E4) AND F=(F2 OR F3) AND G=(G1) AND H=(H1 OR H2 OR H3) AND I=(I3 OR I4) AND J=(J1 OR J2 OR J3) AND K=(K1 OR K2 OR K3) AND L=(L1 OR L2 OR L3 OR L4) AND M=(M1 OR M2 OR M3 OR M4 OR M5) AND N=(N1 OR N2 OR N3 OR N4 OR N5) AND O=(O1 OR O2 OR O3) THEN R=(R2) AND V=(V1) AND Q=(Q2) AND P=(P4);

3. ზოგადი ალგორითმი

ყოველ ნახევარ საათში ერთხელ შემავალი პარამეტრების ახალი მნიშვნელობების მიღების შემდეგ ხდება მისი ფაზიფიკაცია მიკუთვნების ფუნქციის ფორმულების მიხედვით და ვიღებთ ფაზიფიცირებულ გაზომილ მდგომარეობას. შემდეგ ხდება რეჟიმის განსაზღვრა: ჯერ მოწმდება პირობა $B5 \text{ AND } G2 \text{ AND } (H1 \text{ OR } H2)$. პირობის შემოწმება ასე ხდება - აიღება პირობაში მოცემული ტერმების მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობები ფაზიფიცირებულ გაზომილ მდგომარეობის სტრიქონიდან და მერე $\text{AND}=\text{MIN}$ $\text{OR}=\text{MAX}$ ოპერაციებით პირობის გამოსახულებიდან დაითვლება პირობის მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობა - რიცხვი 0 და 1 შორის. თუ ეს მნიშვნელობა მეტია ან ტოლია 0.3-ზე, მაშინ სისტემა თხოვს ღუმელის ოპერატორს ავარიული რეჟიმის დადასტურებას და დასტურის მერე მივდივართ მეორე ავარიული რეჟიმის ცოდნის (წესების) ბაზაში, ვამოწმებთ თვითოეული წესის შესრულების პირობას, ვარჩევთ იმ წესებს, რომელთა პირობები კმაყოფილდება, ვარჩევთ თვითოეული წესის გამომავალ ცვლადებს და ვითვლით ამ გამომავალი ცვლადების მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობებს. ანუ ვღებულობთ შედეგს - კირის ღუმელის მდგომარეობის ცვლილების არამკაფიო სიმრავლეს. თუ პირობის მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობა ნაკლებია 0.3, ვთვლით, რომ პირობა ძალიან დაბალი დასაჯერებლობის მქონეა ანუ არ სრულდება და ვამოწმებთ მეორე ავარიული რეჟიმის პირობას $B5 \text{ AND } (D3 \text{ OR } D4)$. შემდეგ იგივენაირად $\text{AND}=\text{MIN}$ $\text{OR}=\text{MAX}$ ოპერაციებით პირობის გამოსახულებიდან დაითვლება პირობის მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობა. თუ ეს მნიშვნელობა მეტია ან ტოლია 0.3-ზე, მაშინ -ზე, მაშინ სისტემა თხოვს ღუმელის ოპერატორს ავარიული რეჟიმის დადასტურებას და დასტურის მერე მივდივართ პირველი ავარიული რეჟიმის ცოდნის (წესების) ბაზაში, ვამოწმებთ თითოეული წესის შესრულების პირობას, ვარჩევთ იმ წესებს, რომელთა პირობები კმაყოფილდება, ვარჩევთ თითოეული წესის გამომავალ ცვლადებს და ვითვლით ამ გამომავალი ცვლადების მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობებს. ანუ ვღებულობთ თუ ავარიული რეჟიმის არცერთი პირობა არ სრულდება, ეს ნიშნავს, რომ რეჟიმი არაავარიულია და მივდივართ არაავარიული რეჟიმის ცოდნის (წესების) ბაზაში, ვამოწმებთ ყველა წესს, ვიღებთ მათ გამომავალ ცვლადებს, ვითვლით მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობებს და გაერთიანებით ვღებულობთ შედეგს - კირის ღუმელის მდგომარეობის ცვლილების არამკაფიო სიმრავლეს.

გამომავალი ცვლადის (სულ ერთია რომელ გამომავალ ცვლადთან გვაქვს საქმე კონკრეტულ წესში) მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობის ანგარიში ხდება ტრადიციული მეთოდით. გაზომილი პარამეტრის მნიშვნელობა ცხადია ყოველთვის მკაფიო რიცხვია. პარამეტრის ფაზიფიკაცია ხდება ასე: ამ რიცხვით ჩვენ ვეძებთ მოცემული პარამეტრის იმ ტერმებს (ცხადია ეს იქნება ერთი ტერმი, ან მაქსიმუმ ორი ტერმი), რომელთა განსაზღვრის არეებშიც ხვდება მოცემული პარამეტრის მკაფიო მნიშვნელობა. შემდეგ ნაპოვნი ტერმის (ტერმების) მიკუთვნების ცნობილ ფუნქციაში არგუმენტად ვსვავთ პარამეტრის მკაფიო მნიშვნელობას რის შედეგადაც ვიღებთ პარამეტრის ფაზიფიცირებულ მნიშვნელობას, ანუ გვაქვს მკაფიო მნიშვნელობა თავისი მიკუთვნების ფუნქციით. ამას ვაკეთებთ თითოეული პარამეტრისათვის. კონკრეტული წესის მიხედვით ამ წესში მარჯვენა მხარეს მოყვანილი გამომავალი ცვლადის კონკრეტული ტერმის მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობის საპოვნელად ჯერ ვანგარიშობთ მარცხენა მხარეში ჩაწერილი თვითოეული პარამეტრის ფრჩხილებში მოყვანილი ტერმის ან ტერმების მოძებნილი მიკუთვნების ფუნქციების მნიშვნელობების მაქსიმუმს, ხოლო შემდეგ ამ მაქსიმუმების მინიმუმს. შემდეგ ამ მაქსიმუმების მინიმუმების გამრავლება ხდება მოცემული ლოგიკური წესის წონაზე და შედეგად მიღებული მიკუთვნების მნიშვნელობა მიეწერება თითოეულ გამომავალ ცვლადს (აქტივაციისათვის ვიყენებთ prod-აქტივაციის მეთოდს). ზუსტად ასე ვიქცევით თვითოეული ლოგიკური წესისთვის. შედეგად ვღებულობთ გამომავალი ცვლადის ერთ ან რამოდენიმე ტერმს შესაბამისი მიკუთვნების ფუნქციებით. შემდეგ ვიღებთ გამომავალი ცვლადის ერთნაირი ტერმების მიკუთვნების ფუნქციების მნიშვნელობების მაქსიმუმს. ამ ყველაფრის მერე ჩვენ გვექნება თვითოეული გამომავალი ცვლადის შესაბამისი არამკაფიო სიმრავლე. ჩვენს შემთხვევაში ეს იქნება ცალკე სიმრავლე R-ისთვის, ცალკე V-სთვის, ცალკე Q-სთვის და ცალკე P-სთვის.

თუ რომელიმე გამომავალი ცვლადის მიკუთვნების ფუნქციების მნიშვნელობების გამოთვლების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ორ ტერმს აქვს ერთი და იგივე მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობა, მაგალითად, R2/0.6 და R3/0.6, მაშინ ვიქცევით შემდეგნაირად: R-ცვლადისთვის ვუყურებთ C შემავალი ცვლადის მნიშვნელობას - რომელ ტერმშია ის. თუ ტერმი იქნება C3, C4 ან C5, მაშინ ვირჩევთ R2-ს, ხოლო ყველა სხვა ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ R3-ს. ანალოგიურად ვიქცევით V გამომავალი ცვლადისთვის, ოღონდ ვუყურებთ E შემავალი ცვლადის ტერმის მნიშვნელობას - E1 ტერმის შემთხვევაში

ვირჩევთ V1, E2 და E3 ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ V2 და E4 ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ V3. Q გამომავალი ცვლადისთვის ვუყურებთ F და H შემავალი ცვლადების ტერმის მნიშვნელობას – F1 ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ Q1, F2 ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ Q2 და F3 ან H5 ტერმის შემთხვევაში ვირჩევთ Q3. ანუ თუ ამ შემავალი ცვლადის ტერმი დაახლოებით მაქსიმალურია (ანუ მაქსიმალური ან მაქსიმალურის წინა ტერმი), ვირჩევთ გამომავალი ცვლადების მეორე მნიშვნელობებს, ხოლო თუ შემავალი ცვლადის ტერმი არ არის მაქსიმალური, ვირჩევთ გამომავალი ცვლადების პირველ ან მესამე მნიშვნელობებს იმაზე დამოკიდებულებით, შემავალი ცვლადის რომელ ტერმთან გვაქვს საქმე. შედეგად ოპერატორს ყოველ ნახევარ საათში ეძლევა რჩევა, თუ როგორი ზემოქმედებით ჯობია ღუმელის მდგომარეობის შეცვლა (ან იგივე მდგომარეობის დატოვება).

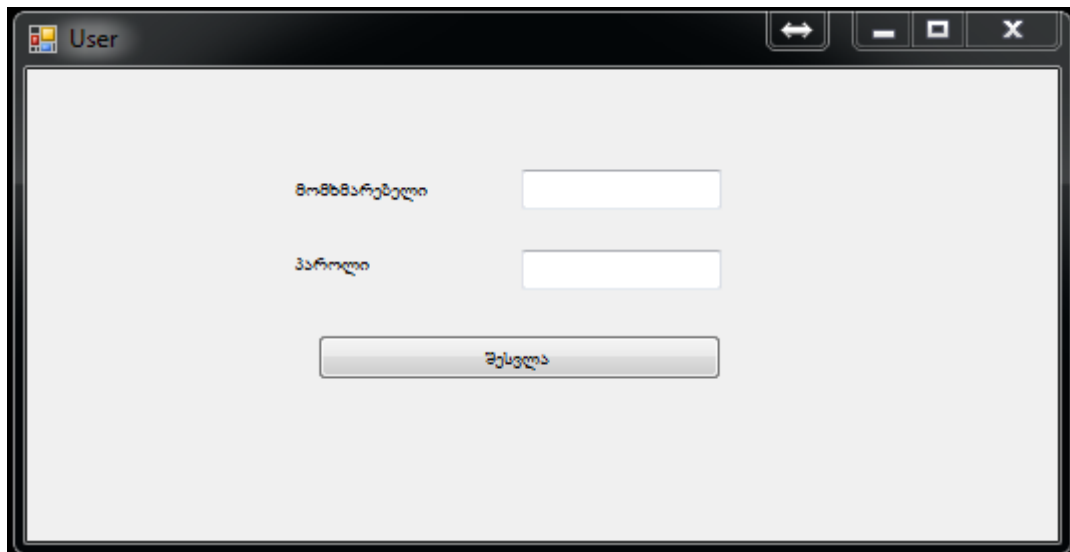
ავარიული რეჟიმისათვის თუ ორ ტერმს აქვს ერთი და იგივე მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობა, მაგალითად, R2/0.6 და R3/0.6, მაშინ ვიქცევით შემდეგნაირად: ვირჩევთ იმ ტერმს, რომელიც მეტჯერ გვხვდება ნაპოვნ წესებში. თუ ასეთი არ არის, (ანუ წესი ერთი ცალის, ან ერთნაირ მიკუთვნების ფუნქციის ტერმების რაოდენობა ტოლია, ვირჩევთ იმ ტერმს, რომელიც პირველივე შემხვედრ წესში ფიგურირებს. მიკუთვნების ფუნქციის საბოლოო მნიშვნელობის განსაზღვრა თვითოეული გამომავალი ცვლადისათვის ხდება ამ ცვლადის მიკუთვნების ფუნქციის მნიშვნელობებიდან მაქსიმუმის ამორჩევით. ღუმელზე ზემოქმედების მიღებული არამკაფიო სიმრავლეების დეფაზიფიკაციისათვის ვიყენებთ მაქსიმუმის პრინციპს, რის შედეგადაც მივიღებთ ღუმელზე კონკრეტული ზემოქმედებების სამეულს (ან ოთხეულს, თუ ავარიულ რეჟიმთან გვაქვს საქმე), რომელიც უნდა განხორციელდეს ოპერატორის მიერ ღუმელის მართვისათვის. ზემოქმედება ხდება ოთხი სხვადასხვა პარამეტრის მიხედვით: გაიშვიათების შეცვლა, საცერის სისწრაფის შეცვლა, ანტრაციტის რაოდენობის შეცვლა, კირის ხელით გამოტვირთვა ღუმელიდან. შედეგად ოპერატორს ყოველ ნახევარ საათში ეძლევა შესაბამისი რჩევა.

4. პროგრამული უზრუნველყოფის რეალიზაცია

მოცემული ამოცანის პროგრამული რეალიზაცია წარმოადგენს Windows აპლიკაციას საწარმოს ოპერატორისთვის. პროგრამა შექმნილია Windows ოპერაციულ სისტემაში .NET framework-ის გარემოში C# პროგრამირების ენის გამოყენებით.

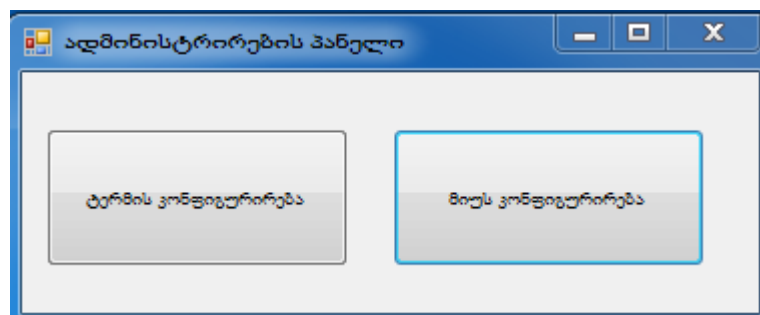
აგრეთვე გამოყენებულ იქნა მონაცემთა ბაზა MS SQL, ხოლო ბაზასთან მუშაობას ვუზრუნველყოფთ LinqToSQL ტექნოლოგიის გამოყენებით.

პროგრამის გაშვებისას იხსნება პირველი ფანჯარა სადაც მომხმარებელს შეუძლია აუტენტიფიკაცია გაიაროს პროგრამაში როგორც მომხმარებელმა ან ადმინისტრატორმა.



ჩემს ნაშრომში განვიხილავთ ადმინისტრატორის ინტერფეისს :

როდესაც ადმინისტრატორი გაივლის აუტენტიფიკაციას მას აქვს საშუალება დააკონფიგურიროს პროგრამის ცოდნის ბაზის სხვადასხვა პარამეტრები.



როგორც სურათში არის ნაჩვენები ამ კონკრეტული ამოცანისათვის შესაძლებელია ორი პარამეტრის კონფიგურირება.

ტერმების იგივე ლინგვისტური ცვლადების კონფიგურირებისათვის ადმინისტრატორს აქვს შემდეგი საშუალება: მას შეუძლია დაამატოს , წაშლოს ან დაარედაქტიროს ესა თუ ის ლინგვისტური ცვლადი საჭიროებისამებრ და რა თქმა უნდა შეინახოს ეს ყველაფერი ცოდნის ბაზაში.

იდენტიფიკატორი	სახელი	აღწერა
655cf779...	A1	მალიან არასასურველი, დაბალი
c32da75f...	A2	არასასურველი, დაბალი ტემპი
26111a2...	A3	სასურველი, ოპტიმალური ტემპი
fd3a3500...	A4	არასასურველი, მაღალი ტემპი
b49aeab...	A5	მალიან არასასურველი, მაღალი
97f352b0...	B1	მალიან არასასურველი, დაბალი
3245821...	B2	არასასურველი, დაბალი ტემპი
3b359bf6...	B3	სასურველი, ოპტიმალური ტემპი
675e832...	B4	არასასურველი, მაღალი ტემპი
b-a6ff-5f...	B5	არასასურველი, მაღალი ტემპი

აგრეთვე ადმინისტრატორს აქვს საშუალება მიუს ანუ მიკუთვნების ფუნქციის პარამეტრების კონფიგურირების(დამატება,რედაქტირება,წაშლა).

მოუს კონფიგურირება

ინტერვალი(მინ)

ინტერვალი(მაქს)

კოეფიციენტი 1

კოეფიციენტი 2

ტერმის სახელი

იდენტიფიკატ	ტერმი	მინიმალური ინტერვალი	მაქსიმალური ინტერვალი	კოეფიციენტი 1	კოეფიციენტი 2
cb2d7afe...	A1	800	850	-0.02	17
04c6b19...	A1	599	800		
27edafcd...	A2	850	900		
1e99f480...	A2	800	850	0.02	-16
7248d01...	A2	900	950	-0.02	19
1cf782a1...	A3	1100	1150	-0.02	23
f4fae738...	A3	900	950	0.02	-18
ff389624...	A3	950	1100		
9827726...	A4	1200	1250	-0.02	25
62b52cfe...	A4	1150	1200		

აღნიშნული პარამეტრების კონფიგურაციის შემდეგ, სისტემას უკვე შეუძლია შეასრულოს საჭირო გამოთვლები, მოახდინოს მიღებული ინფორმაციის ფაზიფიკაცია და ასახოს მომხმარებლის ინტერფეისში გამომავალ რეკომენდაციაში.

ადმინისტრატორს აქვს სრული შესაძლებლობა რომ ნებისმიერ საწარმოს მოარგოს არსებული პროგრამული უზრუნველყოფა საწარმოს თავისებურებებიდან გამომდინარე. მომხმარებლის ინტერფეისი აღწერილია ალექსანდრე ლაშხის ნაშრომში

დასკვნა

მოცემულ ნაშრომში განხილულია კონკრეტული ტექნოლოგიური პროცესის – კირის ღუმელის ოპერატიული მართვისათვის გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერი საინფორმაციო სისტემის აგება ფაზი–ლოგიკის გამოყენებით მართვის სრული ციკლისათვის – როგორც არაავარიულ, ისე ავარიულ რეჟიმებში მართვისათვის, შესაბამისი ექსპერტულ–ობიექტური ცოდნის ბაზების შექმნის საფუძველზე. კონკრეტულად განხილულია კირის ღუმელის მართვა ყოველ 24 საათში ცვლადი პარამეტრებით.

ოპერატიული გადაწყვეტილებების მხარდამჭერი სისტემა ოპერატორებს აძლევს მყისიერ რჩევებს სწორი გადაწყვეტილებების მისაღებად ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების ორივე ჯგუფის გათვალისწინებით, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ღუმელის მართვას, გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობასა და ხარისხს, ანუ საწარმოს ეხმარება მთავარი მიზნის მიღწევაში, მაქსიმალური ეფექტიანობით მუშაობაში და მაქსიმალური ფინანსური მოგების მიღებაში. ოპერატიული გადაწყვეტილებების მიღების მხარდამჭერ სისტემაში ჩადებულია როგორც საწარმოს მაღალი კვალიფიკაციის თანამშრომლების, ისე ზოგადად კირის წარმოების ტექნოლოგიაზე არსებული სამეცნიერო ცოდნა, რაც საშუალებას იძლევა ღუმელის მართვაზე ოპერატორებისათვის მიცემული რჩევები ერთნაირად კარგი იყოს ყველა ცვლაში. სისტემა ტესტირებულია წინა წლების მონაცემების გამოყენებით.

ლიტერატურა

1. ასლანოვა ვ., მანჯაფარაშვილი თ., ოვანესიანი მ. – „ფაზი – მიდგომების გამოყენება საწარმოს საფინანსო-ეკონომიკური მდგომარეობის ავტომატური შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის“. საქართველოს ელექტრონული სამეცნიერო ჟურნალი, 2011 | No.3(32) [2011.11.15], გვ. 59-85.
2. Deepa S. N., Sivanandam S. N., Sumathi S. – “Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 441 pages, pp. 157-367.
3. Леоненков А. – «Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH». Санкт-Петербург, «БХВ-Петербург», 2005, стр. 178-185.
4. Науменко А. В., Науменко В. Д., Науменко И. В. – «Производство извести, известнякового молока и сатурационного газа на сахарных заводах». стр. 29-51, стр. 54-70, стр. 110-117, стр. 149-151.
5. Пащенко А. А., Сербин В. Л., Старчевская Е. А. – «Вяжущие материалы». Киев 1975г., Издательство объединение «Вища школа» Головное издательство, стр. 112-131, стр. 136-138.