

გოჩა ქურდაძე

სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის გამოკვლევა და  
ოპტიმიზაცია მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების  
გაზრდის მიზნით

სადოქტორო პროგრამა – მეტალურგია  
შიფრი – 0411

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
2018 წელი

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ქურდაძე გოჩას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის გამოკვლევა და ოპტიმიზაცია მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის მიზნით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2018წ.

ხელმძღვანელი: პროფესორი ზ. სიმონგულაშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018 წელი

ავტორი: ქურდაძე გოჩა

დასახელება: „სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის  
გამოკვლევა და ოპტიმიზაცია მანგანუმის  
სასარგებლო გამოყენების გაზრდის მიზნით”

ფაკულტეტი: ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: \_\_\_\_\_ 2018

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც  
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან  
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი  
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო  
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა  
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ  
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია  
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს  
პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

წინამდებარე ნაშრომში განილულია მანგანუმის ფეროშენადნობების, კერძოდ კი – სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის ოპტიმიზაციისაკენ მიმართული ღონისძიებები, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას და შესაბამისად ნედლეულის და ენერგეტიკული რესურსების რაციონალურ ხარჯვას, რაც მაღალხარისხოვანი მანგანუმის კონცენტრატების დეფიციტის და მისი ღირებულების მუდმივად ზრდის პირობებში მეტად აქტუალური და მნიშვნელოვანია.

ცნობილია, რომ სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ტექნოლოგიის ხარისხობრივი მაჩვენებლები ძირითადად ხასიათდებიან წამყვანი ელემენტების (მანგანუმი, სილიციუმი) შენადნობში ამოკრეფის სიდიდით და მათი ოქსიდების შემცველობით საბოლოო წილებში.

წილებში იკარგება მანგანუმის 23–25% და ამიტომაც მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება მისი ელექტროთერმული მიღებისას არ აღემატება 75–77%. ამიტომ მანგანუმის დანაკარგების შემცირება მისი ელექტრომეტალურგიული გადამუშავების პროცესში არის მეტად აქტუალური ამოცანა და მოითხოვს გადაუდებელ გადაწყვეტას.

გარდა ამისა მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მადნების, კონცენტრატების და ნარჩენების გადამუშავების რაციონალური ტექნოლოგიების შემუშავებას, დნობისათვის მათი მომზადების და დანაჭროვნების ოპტიმალური სქემების შერჩევას. მნიშვნელოვანია აგრეთვე, დეფიციტური, იმპორტირებული და ძვირადღირებული კოქსისა და კვარციტების ადგილობრივი ნახშირებით და ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატებით ჩანაცვლება. აუცილებელია აგრეთვე ჰარმონიაში იყოს მოყვანილი ღუმელების გეომეტრიული და ელექტრული პარამეტრები, რაც საბოლოო ჯამში შეამცირებს ელექტროენერგიის ხარჯს, აამაღლებს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ხარისხს და უზრუნველყოფს წარმოების მაღალ, კონკურენტუნარიან ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

დასახული ამოცანების გადასაწყვეტად ნაშრომში გამოკვლეულ და შესწავლილ იქნა:

- სილიკომანგანუმის გამოდნობის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები, ტექნოლოგია და წარმოების ეფექტურობის გაზრდის ძირითადი მიმართულებები;
- სილიკომანგანუმის ოპტიმალური შედგენილობა, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას;
- სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში წარმოების ნარჩენების გამოყენების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა და მისი გავლენა მანგანუმის ლითონში ამოკრეფაზე;
- ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატების გავლენა მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის პროცესებზე;

- ადგილობრივი, მაღალნაცრიანი ტყიბულის ნახშირების და კოქსის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტების გამოყენების შესაძლებლობა და კაზმში მათი ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა;

- დამუშავებული ტექნოლოგიების ტექნიკო-ეკონომიკური შეფასება.

ავტორის მიერ გამოყენებულ იქნა კვლევების თანამედროვე ფიზიკო-ქიმიური მეთოდები.

საცდელი ექსპერიმენტული დნობები ჩატარებულ იქნა 5,0 და 22,5 მვა სიმძლავრის სამრეწველო ღუმელებში.

ჩატარებულ სამეცნიერო და ექსპერიმენტულ გამოკვლევებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჯერ კიდევ დიდია რეზერვი გავზარდოთ წამყვანი ელემენტების – მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენება და შესაბამისად შევამციროთ პროდუქციის თვითღირებულება.

## Abstract

In the present work there are discussed the measures to optimize manganese ferroalloys, in particular silico manganese technology, which ensure increase of useful use of manganese and therefore, rational spending of raw materials and energy resources, which is newsworthy and important due to the deficit of high quality manganese concentrates and constantly increasing of its value.

It is known, that the qualitative indicators of the technique of silicone manganese melting process are mainly characterized by the gathering of lead elements (manganese, silicon) from alloy and their oxide content in the final slag.

In the slags, 23-25% of manganese is lost and that's why manganese useful use does not exceed 75-77% of its electro thermal mining. Therefore, the reduction of manganese losses in the process of electrometallurgical processing is the most important task and requires urgent solutions.

In addition, in terms of increasing the useful use of manganese, it is important to develop rational technologies of ores, concentrates and waste processing, selection of optimal schemes for their preparation and cutting for melting. It is also important to replace scarce, imported and expensive coke and quartzite to local charcoal and aluminosilicates of alkaline metals. It is also necessary to keep the geometric and electrical parameters of the furnaces in harmony, which ultimately reduces the electricity cost, increases the quality of manganese utilization and ensures high, competitive techno-economic indicators.

To task the solution in the work, there was examined and studied:

- Physico-chemical basics of silicone manganese melting, technology and main directions of production efficiency increase;
- Optimal composition of silicomanganese, which ensure increased of useful use of manganese;
- Determining the optimal amount of waste to be used in the production of silicomanganese and its impact on the manganese gathering;
- Impact of aluminosilicates of alkaline metals on manganese and silicon restoration processes;
- Possibility to use local, high ash content of Tkibuli Coal and briquette made by coke siftings and determine their optimal number in a smelter charge;
- Technological-economic assessment of processed technologies.

The modern physico-chemical methods of research were used by the author.

Experimental melts were conducted in a 5,0 and 22.5 MVA industrial furnaces.

Based on the scientific and experimental studies we came to the conclusion, that there still is a big reserve to increase the useful use of manganese and silicon and thus reduce the cost price of the product.

## შინაარსი

შესავალი .....	12
1. მანგანუმის ფეროშენადნობების წარმოების ეფექტურობის გაზრდის და გამოდნობის ტექნოლოგიური თავისებურებების ანალიზი .....	20
1.1. სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგიური თავისებურებები .....	20
1.2. სილიკომანგანუმის წარმოების ეფექტურობის გაზრდის შირითადი მიმართულებები .....	27
2. სილიკომანგანუმის გამოდნობის რესურსდამზოგი ტექნოლოგიების დამუშავება.....	33
2.1. ლითონის ოპტიმალური შედგენილობის შერჩევა და მისი გავლენა მანგანუმის ამოკრეფის მაჩვენებლებზე .....	33
2.2. სილიკომანგანუმის გამოდნობა კაზში საკუთარი წარმოების ლითონური ნაჩენების გამოყენებით .....	37
2.3. დნობის პროცესის ოპტიმიზაცია მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის მიზნით .....	46
2.4. ალუმოსილიკატების გავლენა დნობის ძირითად მაჩვენებლებზე .....	52
2.5. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში ღუმელების მუშაობის ეფექტურობის შეფასება .....	59
3. ნედლი მასალების მეტალურგიული თვისებების გამოკვლევა .....	67
3.1. ელექტრული მახასიათებლების შესწავლა .....	67
3.2. იმპორტული მადნების ელექტრული მახასიათებლები .....	75
4. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ოპტიმიზაცია სხვადასხვა ნახშირბადშემცველი აღმდგენელების გამოყენებით .....	79
4.1. ფეროშენადნობების გამოსადნობად გამოყენებული აღმდგენელები .....	79
4.2. კოქსწვრილას ანაცერის დანაჭროვნება დაბრიკეტების მეთოდით და მისი გამოყენება სილიკომანგანუმის გამოსადნობად .....	84

4.3. ტყიბულის ნახშირის გამოყენება სილიკომანგანუმის წარმოებაში .....	89
4.4. სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობის რეგულირება და ლუმელის წარმადობის გაზრდა ციცხვში ფოლადის ჯართის გამოყენებით .....	94
4.5. სილიკომანგანუმის დნობის შემუშავებული ტექნოლოგიის ეკონომიკური შეფასება .....	95
დასკვნა .....	98
გამოყენებული ლიტერატურა .....	100
დანართი .....	108



## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ელემენტების განაწილება სილიკომანგანუმის დნობის პროდუქტებს შორის .....	28
ცხრილი 2. სილიკომანგანუმის სამრეწველო-ექსპერიმენტული დნობების ძირითადი მახასიათებლები .....	43
ცხრილი 3. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა .....	50
ცხრილი 4. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა .....	55
ცხრილი 5. სამრეწველო დნობების ძირითადი მაჩვენებლები .....	56
ცხრილი 6. სილიკომანგანუმის დნობის პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები .....	61
ცხრილი 7. გამოსაკვლევი მადნების და სხვა საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა .....	69
ცხრილი 8. ნახშირბადიანი აღმდგენელების ტექნიკური ანალიზი .....	72
ცხრილი 9. ნახშირბადშემცველი აღმდგენელების დახასიათება .....	82
ცხრილი 10. ბრიკეტების ხარისხობრივი მაჩვენებლები .....	85
ცხრილი 11. კაზმის ულუფის შედგენილობა დნობის ვარიანტების მიხედვით .....	86
ცხრილი 12. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა .....	87
ცხრილი 13. დნობების ძირითადი მახასიათებლები .....	87
ცხრილი 14. ტყიბულის ნახშირის ტექნიკური და საცრული ანალიზი .....	89
ცხრილი 15. სილიკომანგანუმის წარმოებაში ტყიბულის ნახშირის გამოყენების მაჩვენებლები .....	91
ცხრილი 16. სილიკომანგანუმის და წიდის საშუალო ქიმიური ანალიზი .....	93
ცხრილი 17. სილიკომანგანუმის წარმოების საშუალო მაჩვენებლები და მასალების დანახარჯები .....	93
ცხრილი 18. ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება .....	97

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. $Si - O - C$ სისტემაში თავისუფალი ენერჯის ( $\Delta G^\circ$ ) დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	24
ნახ. 2. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების (1) და წიდაში მანგანუმის შემცველობის (2) დამოკიდებულება ლითონში მანგანუმის შემცველობაზე .....	36
ნახ. 3. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და წიდაში მანგანუმის შემცველობის $Mn$ (2) დამოკიდებულება ლითონში სილიკომანგანუმის შემცველობაზე [ $Si$ ] .....	36
ნახ. 4. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და წიდაში ჯერადობის ( $K_{\text{ჯერ}}$ ) (2) დამოკიდებულება ლითონში მანგანუმის [ $Mn$ ] და სილიციუმის [ $Si$ ] შემცველობაზე .....	36
ნახ. 5. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და ელ.ენერჯის ხვედრითი ხარჯის ( $Q_{\text{ხვ}}$ ) (2) დამოკიდებულება მანგანუმის კონცენტრაციაზე გამოყენებულ ნედლეულში $\langle Mn \rangle$ .....	36
ნახ. 6. სილიკომანგანუმის კაზმის ელექტროწინალობის ტემპერატურული დამოკიდებულება მასში ნახშირის შემცველობაზე .....	49
ნახ. 7. სილიკომანგანუმის მისაღები კაზმების აღდგენის კინეტიკური მრუდები $1600^\circ C$ .....	54
ნახ. 8. მანგანუმის და სილიციუმის ამოკრეფის დამოკიდებულება წიდაში ტუტე მოდულთან .....	57
ნახ. 9. მანგანუმის და სილიციუმის წიდაში გადასვლის დამოკიდებულება ტუტე მოდულთან .....	57
ნახ. 10. ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯის და წიდაში ჯერადობის დამოკიდებულება წიდაში ტუტე მოდულთან .....	58
ნახ. 11. სილიკომანგანუმის დნობის ნომოგრამა მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრეფის დამოკიდებულებისა ნედლეულში და წიდაში მანგანუმის რაოდენობასთან .....	64
ნახ. 12. სხვადასხვა ხარისხის მადნების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	69
ნახ. 13. სხვადასხვა შედგენილობის კაზმების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	69

ნახ.14. ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	72
ნახ. 15. სხვადასხვა ფრაქციის კოქსწვრილას ელექტროწინალობა 0–1200° C ტემპერატურულ ინტერვალში .....	73
ნახ. 16. სამხრეთ აფრიკის მადნების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	77
ნახ. 17. ჭიათურის, სამხრეთ აფრიკის და ავსტრალიის მადნების ელექტროწინალობა .....	77

## შესავალი

მსოფლიო მეტალურგიულ პრაქტიკაში სტრატეგიულ ლითონად აღიარებული მანგანუმის რაციონალურად გამოყენების პრობლემამ, განსაკუთრებული სახალხო-სამურნეო მნიშვნელობა შეიძინა. მკაცრმა კონკურენტულმა გარემომ დღის წესრიგში დააყენა უფრო ეფექტურად იქნას გამოყენებული ჩვენი ქვეყნის მანგანუმშემცველი ნედლეულის რესურსები.

ამ მიმართებით მეტად მნიშვნელოვანია მანგანუმის გადამუშავების ფუნდამენტალური გამოკვლევების განვითარება და მის საფუძველზე შექმნილი პრინციპულად ახალი და მოქმედი სქემების სრულყოფილი ტექნოლოგიები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას მისი გადამუშავების და გამოყენების ყველა ეტაპზე.

მანგანუმის საშუალო შემცველობა მოპოვებულ ოქსიდურ მადნებში შეადგენს 18–25% და 16–22% კარბონატულ მადნებში, რაც დაახლოებით ორჯერ დაბალია საზღვარგარეთის ქვეყნების საშუალო მაჩვენებლებზე. ამიტომ მოპოვებული მადნები 100%-ით ექვემდებარებიან გამდიდრებას რთული კომბინირებული სქემებით. გადამუშავებით მიღებული სასაქონლო კონცენტრატების რაოდენობა 2–2,5-ჯერ ნაკლებია მადნის საწყის რაოდენობასთან შედარებით. სასაქონლო მადანში და კონცენტრატებში მანგანუმის ამოღება შეადგენს 75%. თითქმის ამოღებული მანგანუმის მეოთხედი რჩება გარეცხვის შემდეგ წარმოქმნილ შლამებში და გამდიდრების „კუდებში“, რომელიც ინახება სპეციალურ საცავებში. იგი მიჩნეულია ტექნოგენურ საბადოდ და აყვანილია მეორად აღრიცხვაზე. ამგვარი მარაგი დაახლოებით 5,5 მლნ.ტ-მდეა და მასში მანგანუმის შემცველობა 10–15%-ის ფარგლებშია.

მაღალი სიმძლავრის (48–75მვა) თანამედროვე დახურულ და ჰერმეტიკულ ღუმელებში, ფეროშენადნობების წარმოების ტექნიკური დონე მთლიანად შეესაბამება მსოფლიოს საშუალო მაჩვენებლებს, ხოლო ნედლეულის

ხარისხი გამორიცხავს შესაძლებლობას მათი გადამუშავება მსოფლიოში მიღებული ტექნოლოგიებით მოხდეს (მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით მიღება და თანამდევი წილის გამოყენება სილიკომანგანუმის დნობისათვის), ამიტომ ფერომანგანუმი (ელ.დუმელსა და ბრძმელებში) ძირითადად იწარმოება მხოლოდ ფლუსური მეთოდით, რის შედეგადაც მიიღება გადასაყრელი წიდეები და ლითონში მანგანუმის ამოკრეფა შეადგენს 73–76% [1–5].

მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების მაჩვენებლებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს აგრეთვე, ხშირ შემთხვევაში აუცილებელი, მანგანუმის მადნების წინასწარი პირომეტალურგიული დეფოსფორაცია, რის შედეგადაც მიიღება დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდეები. ამ პროცესში 15%–მდე მანგანუმი გადადის ე.წ. თანმდევ ლითონში, რომლის გამოყენებაც მასში ფოსფორის მაღალი შემცველობის (3–4% p) გამო შეზღუდულია [6–10].

უნდა აღინიშნოს, რომ მანგანუმის გამოყენების მაჩვენებელმა ბოლო წლებში მოიმატა (6–7%–ით), ძირითადად წარმოებაში ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიების მიზანმიმართული დანერგვით [11, 12].

ამჟამად მთელი ყურადღება მიმართულია წარმოების ეფექტიანობის და ფეროშენადნობთა ხარისხის ამაღლებისაკენ, რაც მსოფლიო ბაზარზე მათ კონკურენტუნარიანობას გაზრდის. რამდენადაც აქ გადამწყვეტი როლი ნედლეულის მომზადებას ეკუთვნის, ამიტომ უპირატესად იგეგმება კარბონატული მადნების გამდიდრებისათვის საჭირო მაღალეფექტური მოწყობილობების გამოყენება, მადნის დამსხვრევა–გარეცხვის ციკლის ერთიანი აპარატების, ფოტო და რადიომეტრული სეპარატორების, პირველადი ნედლეულის და ძველი დაგროვილი წიდეების მაგნიტო–ფლოტაციურ–ქიმიური გამამდიდრებელი მოწყობილობების დანერგვა. ეს ყველაფერი კომპლექსში მოწოდებულია კონცენტრატებში მანგანუმის შემცველობის 5–9%–ით გაზრდისა და გამდიდრების ხარისხის (სიღრმის) 6–10%–ით ამაღლებისაკენ [13–15].

მიმდინარეობს კვლევები ახალი სახის ნახშირბადიანი აღმდგენლების მისაღებად, არადეფიციტური სუსტადშეცხოვადი და აირადი ნახშირების გამოყენების საფუძველზე. ასევე იგეგმება მეორადი ენერგეტიკული და გამონახობლქვი აირების სითბოს გამოყენება. ნარჩენი წიდეების, შლამების და გაზგამწმენდების მტკვრის სრული უტილიზაცია, წიდეებიდან ლითონური ჩანართების ამოღება და სხვა. ხორციელდება გარემოს დაცვის, ეკოლოგიის გაუმჯობესების კომპლექსური ღონისძიებები.

წინამდებარე სამუშაოს ერთ-ერთ ამოცანას წარმოადგენს შესწავლილ იქნას ძირითადი სასარგებლო ელემენტების დანაკარგების დინამიკა მისი ელექტროთერმული გადამუშავების, კაზმის მომზადების, ლითონის ჩამოსხმის და დამსხვრევა დახარისხების ყველა ეტაპზე და დაისახოს ღონისძიებები მათი სასარგებლო გამოყენების გაზრდის თვალსაზრისით.

**სამუშაოს ზოგადი დახასიათება.** ფოლადების წარმოების გაზრდილმა ტემპებმა მსოფლიოში, მისი ხარისხობრივი სტრუქტურის ცვლილებამ მაღალლეგირებული ლითონების გამოდნობის მიმართულებით, გამოიწვია ფეროშენადნობთა, განსაკუთრებით მანგანუმთან შენადნობთა, მოცულობის და სორტამენტის გაზრდა, სადაც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს სილიკომანგანუმს. ამ პირობებში ფოლადების წარმოების მანგანუმით დაკმაყოფილების მთავარ რეზერვს, მადნების მოპოვების არსებული, შეზღუდული ღონის პირობებში, წარმოადგენს მისი დანაკარგების შემცირება, როგორც გამდიდრების, ასევე დნობის სტადიაზე. მანგანუმის დანაკარგების მაღალ ღონეზე მეტყველებს ის ფაქტი, რომ ამჟამად მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება მისი მოპოვების, გამდიდრების და ელექტრომეტალურგიული გადამუშავებისას, არ აღემატება 50% [16–20].

მანგანუმის მადნების ღრმა გამდიდრების არსებული სქემები არაა სრულყოფილი, რადგანაც ამ დროს წარმოიქმნება დიდი რაოდენობის ლამები, რაც დანაკარგების ძირითად წყაროს წარმოადგენს. გარდა ამისა, ღრმად გამდიდრებული მანგანუმის კონცენტრატების გამოყენება

სილიკომანგანუმის გამოსადნობად, მოითხოვს მაღალხარისხიანი და შესაბამისად, დეფიციტური კვარციტების მოპოვებას. ამ პირობებში მეტად მნიშვნელოვანია გამოიძებნოს, შედარებით დაბალხარისხოვანი მადნების გამოყენებისათვის, ელექტრომეტალურგიული გადამუშავების ისეთი ხერხები, რაც უზრუნველყოფს დნობის მაღალ ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს და შესაძლებლობას მოგვცემს გამოვიყენოთ შედარებით წვრილმარცვლოვანი კონცენტრატები, მათი წინასწარი დანაჭროვნების შემდეგ.

მანგანუმის მადნებზე და კონცენტრატებზე მსოფლიო ბაზარზე დღეს არსებული ფასები გვაიძულებს სილიკომანგანუმის საწარმოებლად გამოყენებულ იქნას ჭიათურის ყველა სახის დაბალხარისხოვანი კონცენტრატი, მაგრამ „ჭიათურმანგანუმის“ სასაქონლო პროდუქციის უდიდესი ნაწილი წარმოდგენილია წვრილმარცვლოვანი ფლოტოკონცენტრატების სახით, ამიტომ მათი წინასწარი დანაჭროვნების პრობლემის საკითხი მოითხოვს გადაუდებელ გადაწყვეტას.

სილიკომანგანუმის წარმოების და მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების მიღწეული მაჩვენებლების შესანარჩუნებლად და გასაუმჯობესებლად აუცილებელია სპეციალური გამოკვლევების წარმართვა, რომლებიც მიმართული იქნება მანგანუმის და სილიციუმის ღრმა აღდგენითი პროცესების ინტენსიფიკაციისაკენ.

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის ერთ-ერთ შესაძლებელ საშუალებას წარმოადგენს ის, რომ სილიკომანგანუმის გამოსადნობად კაზმში გამოყენებული იქნას ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატები [21–23].

მაღალხარისხოვანი მადნების დეფიციტის პირობებში დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად მეტად მნიშვნელოვანია სანედლეულო ბაზის გაფართოება, რაც თავისთავად გულისხმობს მანგანუმის დანაკარგების შემცირებას მისი გადამუშავების ყველა ეტაპზე.

ამ მიმართებით, პირველ რიგში, მეტად აქტუალური ხდება დნობის შედეგად წარმოქმნილი მანგანუმთან ნარჩენების გამოყენება და მათი უტილიზაციის პრობლემა.

როგორც ცნობილია, სილიკომანგანუმის დნობისას წარმოიქმნება ძირითადად შემდეგი სახის ნარჩენები: ე.წ. გადასაყრელი წილები, აირგამწმენდ მოწყობილობებში დაგროვილი რესპირაციული მტვერი (შლამი) და მზა ლითონის სამსხვრევ უბანზე წარმოქმნილი წვრილდისპერსიული ლითონური მტვერი. გარდა ამისა, კოქსის გაცხრილვისას წარმოიქმნება 8–12% განაცერი (0–5მმ).

მანგანუმის ოქსიდების ნახშირბადთერმული აღდგენის თერმოდინამიკის, კინეტიკისა და დნობის ანალიზი ცხადყოფს, რომ მანგანუმის ოქსიდების შემცველობა საბოლოო (გადასაყრელ) წილებში ლითონურ მანგანუმზე გადათვლით 14-18%-ის, ზოგჯერ კი - 20-22%-ის ფარგლებშია. გარდა ამისა, ლითონური და წიდური ფაზების გაყოფის არახელსაყრელი პირობების გამო (წილების მაღალი სიბლანტე), ქერქოვან და თხევად წილებში ლითონის ნაწილაკების სახით იკარგება უკვე აღდგენილი, მზა შენადნის 5-8% და ამიტომაც მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება მისი ელექტროთერმული მიღებისას 75%-ს არ აღემატება [24–26].

ამრიგად, დასმული პრობლემა – ეფექტურად და რაციონალურად იქნას გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეული, მოეძებნოს მას სასარგებლო გამოყენების გაზრდის თეორიული, პრაქტიკული და კომპლექსური გადაწყვეტა და მინიმუმამდე შემცირდეს მანგანუმის დანაკარგები, მეტად აქტუალურია და დასაბუთებულია მისი არსი.

**სამუშაოს მიზანია** თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებზე დაყრდნობით, მიღებული პრაქტიკული მონაცემების გაანალიზებით მანგანუმთან ფეროშენადნობების, კერძოდ კი - სილიკომანგანუმის წარმოების ტექნოლოგიის ოპტიმიზაცია, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას და შესაბამისად, ნედლეული და ენერგეტიკული რესურსების რაციონალურ ხარჯვას.



### **კვლევის ძირითადი ამოცანებია:**

- მანგანუმთან ფეროშენადნობების წარმოების ახლანდელი მდგომარეობა და მათი მიღების რაციონალური ტექნოლოგიური სექციების გამოკვლევა;
- სილიკომანგანუმის გამოდნობის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები, ტექნოლოგია და წარმოების ეფექტურობის გაზრდის ძირითადი მიმართულებები;
- სილიკომანგანუმის ოპტიმალური შედგენილობის გამოკვლევა და დადგენა, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას;
- სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში საკუთარი წარმოების ნარჩენების გამოყენების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა და მათი გავლენა მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდაზე;
- ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატების გავლენის შესწავლა მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის პროცესებზე;
- ადგილობრივი, მაღალნაცრიანი ნახშირების რაციონალური გამოყენება და მისი გავლენა სასარგებლო ელემენტების ლითონში ამოკრეფის მაჩვენებლებზე. სილიკომანგანუმის სადნობი ღუმელების ელექტრული პარამეტრების გამოკვლევა და მათი ოპტიმალური მნიშვნელობების დადგენა;
- დამუშავებული ტექნოლოგიების ტექნიკო-ეკონომიკური შეფასება.

**კვლევის მეთოდები:** სადისერტაციო ნაშრომში დასმული პრობლემების გადაწყვეტის ძირითადი მეთოდი მდგომარეობს უკვე არსებული კარგად მომუშავე ღუმელების ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანალიზებაში და ცალკეული პარამეტრების გაუმჯობესებაში მეცნიერული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

ჩატარებულ კვლევებში გამოყენებული იყო ფიზიკო-ქიმიური ანალიზის თანამედროვე მეთოდები. სილიკომანგანუმის მისაღები კაზმის

კომპონენტების, მიღებული ლითონის და წიდის ანალიზი ტარდებოდა, როგორც კლასიკური, ქიმიური მეთოდებით, ასევე თანამედროვე მაღალი სიზუსტის მქონე სპექტრომეტრის საშუალებით. ღუმელის ელექტროპარამეტრების გაზომვა ხდებოდა სპეციალურად დამზადებული ელექტროფონდების საშუალებით. საცდელი სამრეწველო დნობები ჩატარებულ იქნა 5,0 და 22,5 მვა სიმძლავრის ელექტროღუმელებში.

**მეცნიერული სიახლე:** მდგომარეობს იმაში, რომ კომპლექსურად იქნა შესწავლილი და გამოკვლეული ყველა ტექნოლოგიური, ელექტრული, ფიზიკური, ქიმიური, მექანიკური, ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემები, რომლებიც თან ახლავს სილიკომანგანუმის მიღებას მძლავრ მადანადმდგენ ღუმელებში. შესწავლილია მანგანუმის დანაკარგების წარმოქმნის მიზეზები და დასახულია მისი აღმოფხვრის მეცნიერული და პრაქტიკული გადაწყვეტა. ფართო სამრეწველო–ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზზე დაყრდნობით შემუშავებულია მადნების, კონცენტრატების და წარმოების ნარჩენების გადამუშავების რაციონალური ტექნოლოგიები, შესწავლილია დნობისათვის მათი მომზადების და დანაჯროვნების ოპტიმალური სქემები, რეკომენდირებულია ადგილობრივი ნახშირებით და ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატებით (ტუფებით) დეფიციტური, იმპორტირებული და ძვირადღირებული კოქსის და კვარციტების ნაწილობრივი ჩანაცვლება. სადნობი აგრეგატების სასარგებლო სიმძლავრის გაზრდის მიზნით შესწავლილია ღუმელის ელექტრული პარამეტრები და დადგენილია მათი ოპტიმალური მნიშვნელობები. დადგენილია აგრეთვე სილიკომანგანუმის რაციონალური შედგენილობა და კაზმში საკუთარი წარმოების ნარჩენების ოპტიმალური რაოდენობით გამოყენება, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა:** ჩატარებული სამეცნიერო–ექსპერიმენტული გამოკვლევების და გაცემული რეკომენდაციების პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ იგი საშუალებას

გვამღევს უფრო რაციონალურად იქნეს გამოყენებული ჩვენს ქვეყანაში არსებული მანგანუმშემცველი რესურსები, გაფართოვდეს ფეროშენადნობების წარმოების სანედლეულო ბაზა და შესაბამისად შემცირდეს ძვირადღირებული მანგანუმის მადნების იმპორტი.

სილიკომანგანუმის ოპტიმალური შედგენილობის დადგენა, მის გამოსადნობ კაზმში საკუთარი წარმოების ნარჩენების, ადგილობრივი მაღალნაცრიანი ნახშირების და ტუტელითონების ალუმოსილიკატების გამოყენება, სადნობი აგრეგატების რაციონალური ელექტრული პარამეტრების შერჩევა საშუალებას გვამღევს გავზარდოთ წამყვანი ელემენტების – მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენება და შესაბამისად შევამციროთ პროდუქციის თვითღირებულება.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის ელექტრომეტალურგიის სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრში. ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარებულ იქნა რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში – შპს „რუსთავის ფოლადში“, შპს „ევრომეტალში“, შპს „ჯეოფერომეტალში“ და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში – შპს „ჯორჯიან მანგანეზში“.

# 1. მანგანუმიანი ფეროშენადნობების წარმოების ეფექტურობის გაზრდის და გამოდნობის ტექნოლოგიური თავისებურებების ანალიზი

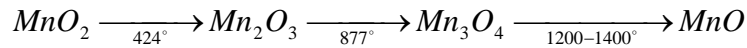
## 1.1. სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგიური თავისებურებები

სილიკომანგანუმი მრავალკომპონენტური კომპლექსური შენადნობია. ნახშირბადის შემცველობა მასში დამოკიდებულია სილიციუმის კონცენტრაციაზე: რაც მეტია სილიციუმი შენადნობში, მით ნაკლებია მასში ნახშირბადის ხსნადობა. ამ დამოკიდებულების ფიზიკო-ქიმიური არსი ქვემოთ იქნება განხილული. რამდენადაც, სილიციუმის შემცველობით სტანდარტული შენადნობის წამოქმნა მიმდინარეობს ლითონის ნახშირბადიანი ნაწილაკების თანდათანობით – აღდგენილი სილიციუმით გამდიდრება, ამიტომ ლითონის ნაწილაკების შედგენილობა მუდმივად იცვლება, რაც თავისთავად ართულებს სილიკომანგანუმის მიღების ქიმიზმის ზუსტ აღწერას სტექქომეტრული რეაქციებით.

სილიკომანგანუმის მიღების თავისებურება მდგომარეობს მანგანუმის და სილიციუმის ნახშირბადით ერთდროულად აღდგენაში.

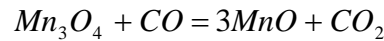
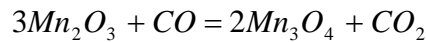
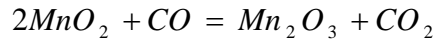
სილიკომანგანუმის დნობისას კაზმში გამოყენებულია სხვადასხვა მანგანუმიანი კონცენტრატები, რომლებიც შეიცავენ –  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$  და  $MnO$  ოქსიდებს და წარმოდგენილია შემდეგი მინერალების სახით: პიროლუზიტი ( $MnO_2$ ), ფსილომელანი ( $MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ ), მანგანატი [ $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$ ], ბრაუნიტი ( $Mn_2O_3$ ), გაუსმანიტი ( $Mn_3O_4$ ) და სხვა. მანგანუმიანი აგლომერატი ძირითადად შეიცავს გაუსმანიტს, მანგანოზიტს ( $MnO$ ) და მანგანუმის სილიკატებს, ძირითადად ტეფროიტის ( $2MnO \cdot SiO_2$ ) სახით.

როგორც ზემოთ უკვე აღვნიშნეთ, მანგანუმის ოქსიდები ჰაერზე დისოცირდებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



$MnO$  სტაბილურია ძალიან მაღალ ტემპერატურებშიც კი ( $3000^\circ C$ ).

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად აღდგებიან ნახშირჟანგით და მყარი ნახშირბადით:



$MnO_2$  ნახშირჟანგით აღდგენის წონასწორობის კონსტანტა უკვე  $500^\circ K$  არწევს მაღალ მაჩვენებელს:

$$\lg K_{MnO_2} = \lg \frac{P_{CO_2}^2}{P_{CO}^2} = 45,8$$

$Mn_2O_3$  აღდგენა შედარებით ძნელად მიმდინარეობს, მაგრამ  $800^\circ K$  მისი წონასწორობის კონსტანტა საკმაოდ მაღალია:

$$\lg K_{Mn_2O_3} = \lg \frac{P_{CO_2}^2}{P_{CO}^2} = 22,81$$

კიდევ უფრო ძნელად აღდგება  $Mn_3O_4$ .

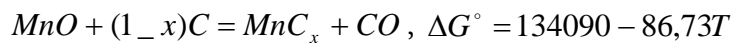
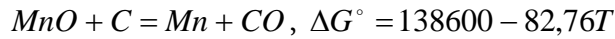
$$\lg K_{Mn_3O_4} = \lg \frac{P_{CO_2}^2}{P_{CO}^2} = 2,37$$

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$  ადვილად აღდგებიან მყარი ნახშირბადით საკმაოდ დაბალ ტემპერატურებში. ამ დროს  $MnO_2$  და  $Mn_2O_3$  აღდგენის პროცესი დისოციაციის პარალელურად მიმდინარეობს [27].

ზემოთქმულის გათვალისწინებით ფეროშენადნობთა ღუმელებში, სადაც გვაქვს აღდგენითი ატმოსფერო, უკვე ღუმელის ზედა ჰორიზონტებში ( $600 - 800^\circ C$  ტემპერატურაზე). წვრილმარცვლოვან კაზმში მიმდინარეობს მანგანუმის მაღალი ოქსიდების აღდგენა  $MnO$ -მდე. ბუნებრივია, რომ მსხვილნატეხოვანი კაზმის პირობებში, სადაც აუცილებლად გვექნება დიფუზიური გართულებები, ასეთი რეაქციების მიმდინარეობა ძალიან

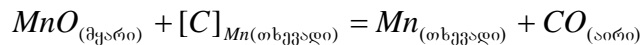
შენელებულია, ვერ ასწრებენ გავლას ლუმელის მაღალ ჰორიზონტებში და ისინი შეიძლება წარიმართოს და დასრულდეს მხოლოდ ლუმელის დაბალ ჰორიზონტებში.

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ირიბი გზით  $CO$ -ს მეშვეობით აღდგებიან  $MnO$ -მდე. შემდგომი მისი აღდგენა ირიბი გზით შეუძლებელია და იგი შეიძლება აღვადგინოთ პირდაპირი გზით – მყარი ნახშირბადით:

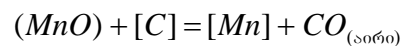


ამ რეაქციებით აღდგენის საწყისი ტემპერატურა  $Mn$ -მდე არის  $1401^\circ C$ , ხოლო  $Mn_7C_3$ -მდე  $1279^\circ C$  [28].

სხვა მონაცემებით,  $MnO$ -ს აღდგენა მანგანუმამდე იწყება  $1310^\circ C$ . სუფთა  $MnO$ -ს შემთხვევაში მისი აღდგენა ძირითადად მიმდინარეობს მყარი ფაზიდან თხევად ლითონში არსებული ნახშირბადით:



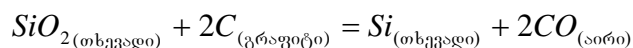
ხოლო მადანში არსებული  $MnO$ -ს აღდგენა მიმდინარეობს წიდეებიდან:



კაზმში რკინის არსებობის შემთხვევაში, რასაც ადგილი აქვს სილიკომანგანუმის დნობის დროს, მანგანუმის აღდგენა მისი ოქსიდებიდან შესამჩნევად ადვილად მიმდინარეობს.

სილიკომანგანუმის მიღების პროცესში მანგანუმის აღდგენასთან ერთად კაზმში არსებული კვარციტიდან, მადნის კაჟმიწიდან და კოქსწვრილას ნაცრიდან ხდება სილიციუმის აღდგენა. დადგენილია, რომ კაჟმიწიდან სილიციუმის აღდგენა მიმდინარეობს შუალედური პროდუქტების წარმოქმნით, ესენია: კარბორუნდი –  $SiC$  და ადვილადაორთქლებადი სილიციუმის მონოოქსიდი –  $SiO$ .

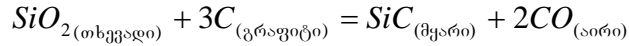
არსებული მონაცემების საფუძველზე, სილიციუმის აღდგენა შეიძლება გამოისახოს შემდეგი რეაქციით:



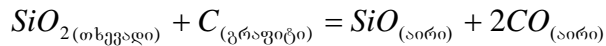
$$\Delta G^\circ = 167400 - 86,40T$$

რეაქციის საწყისი ტემპერატურა როდესაც  $P_{CO} = 1$  ატმოსფ. ტოლია

1690 °C :



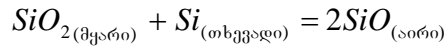
$$\Delta G^\circ = 153720 - 81,96T$$



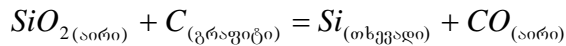
$$\Delta G^\circ = 159600 - 77,94T$$

რეაქციის საწყისი ტემპერატურა, როდესაც  $P_{CO} + P_{SiO} = 1$  ატმ. შეადგენს

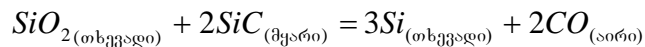
1730 °C :



$$\Delta G^\circ = 121430 - 52,87T$$



$$\Delta G^\circ = 7800 - 8,46T$$



$$\Delta G^\circ = 194760 - 95,28T$$

რეაქციის საწყისი ტემპერატურა 1730 °C. ნახაზზე 1 მოცემულია სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის რეაქციებისათვის, თერმოდინამიკული პოტენციალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

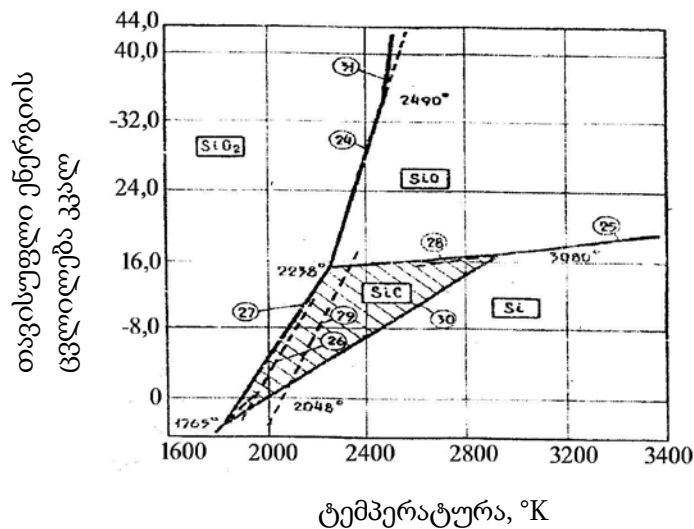
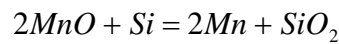
ზემოთ მოყვანილი მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის რეაქციები, რომლებსაც ადგილი აქვთ სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში, რთულდება მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდებიდან სილიკატების წარმოქმნის შემთხვევაში და მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის პროცესების ურთიერთ ზეგავლენის გამო.

მანგანუმის სილიკატები: ტეფროიტი  $(MnO)_2SiO_2$  და როდონიტი  $(MnO \cdot SiO_2)$  წარმოიქმნებიან ღუმელში დაახლოებით 1200 °C ტემპერატურაზე. გარდა ამისა, ამ სილიკატებს შეიცავენ მანგანუმის კონცენტრატები და განსაკუთრებით ისინი ბევრია აგლომერატში,

რომელშიდაც ტეფროიტის რაოდენობა 40% აღწევს. მნიშვნელოვანი რაოდენობით სილიკატების არსებობა უარყოფით გავლენას ახდენს მანგანუმის აღდგენაზე.

აღდგენილი მანგანუმი სილიციუმთან მიმართებაში ასრულებს „დამლექავის“ ფუნქციას, მსგავსად რკინისა ფეროსილიციუმის მიღების დროს, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს სილიციუმის აღდგენას მისი ოქსიდებიდან.

თავის მხრივ, აღდგენილი სილიციუმი ხელს უწყობს მანგანუმის აღდგენას შემდეგი რეაქციით:



ნახ. 1.  $Si - O - C$  სისტემაში თავისუფალი ენერჯის ცვლილების ( $\Delta G^\circ$ ) დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ეს რეაქცია, ლითონი-წიდა სისტემის წონასწორობის მიღწევისას, განსაზღვრავს აგრეთვე სილიკომანგანუმის შედგენილობას და მანგანუმის შემცველობას წიდაში.

მოცემული რეაქციის წონასწორობის კონსტანტიდან

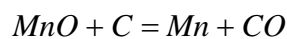
$$K_{Si-Mn} = \frac{[Mn]^2 (SiO_2)}{(MnO)^2 [Si]}$$

გამომდინარეობს, რომ:

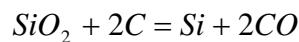
$$(MnO)^2 = \frac{[Mn]^2 \cdot (SiO_2)}{K_{Si-Mn} \cdot [Si]}$$



ე.ი. მანგანუმის შემცველობა წიდაში დამოკიდებულია ლითონში სილიციუმის კონცენტრაციაზე. რაც უფრო მაღალია შენადნში სილიციუმის პროცენტი, მით უფრო მცირე უნდა იყოს მანგანუმის შემცველობა წიდაში, მიუხედავად იმისა, რომ მანგანუმის აღდგენა ძირითადად ნახშირბადით ხდება. ეს თეორიული დამოკიდებულება მთლიანად დასტურდება პრაქტიკით. მაგალითად, გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის (30% Si) დნობის დროს წიდაში მანგანუმის შემცველობა არ აღემატება 5%, მაშინ, როდესაც სასაქონლო სილიკომანგანუმის (17% Si) შემთხვევაში წიდაში მანგანუმის რაოდენობა აღწევს 14–16% (ზოგჯერ 18–20%). როგორც ეტყობა  $MnO - Mn - SiO_2 - Si - C$  სისტემაში წონასწორობა მყარდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც მყარდება წონასწორობა შემდეგი რეაქციების:



$$K_{Mn} = \frac{[Mn] \cdot P_{CO}}{(MnO) \cdot C}$$



$$K_{Si} = \frac{[Si] \cdot P_{CO}^2}{(SiO_2) C^2}$$

ამ რეაქციების წონასწორობის დროს უნდა დამყარდეს წონასწორობა მათ შორისაც და მანგანუმის სილიციუმით აღდგენის რეაქციებს შორის. ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ

$$P_{CO} = \frac{K_{Mn} \cdot C(MnO)}{[Mn]} = \frac{K_{Si} (SiO_2) C^2}{[Si]}$$

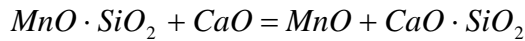
საიდანაც გარდაქმნების შემდეგ ვღებულობთ:

$$\frac{K_{Mn}}{K_{Si}} = \frac{[Mn] \cdot (SiO_2)}{(MnO) \cdot [Si]}$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს  $K_{Si-Mn}$  წონასწორობის კონსტანტას.

მანგანუმის აღდგენაზე სილიკატების უაროფითი გავლენის შესამცირებლად, ზოგჯერ კაზში შეჰყავთ დოლომიტი ან კირქვა.

ეს ღონისძიება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ  $MnO$ -ს აქტივობა შემდეგი რეაქციით:



ამ რეაქციის შორს, მარჯვნივ, ღრმად განვითარება უარყოფითად მოქმედებს სილიციუმის ალდგენაზე, რადგანაც კაჟმიწის აქტივობა ძალიან მცირდება კალციუმის და მაგნიუმის სილიკატების წარმოქმნის შემთხვევაში.

მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კაზმში დოლომიტის შეყვანა წილის ფუძიანობის  $\frac{CaO + MgO}{SiO_2} = 0,4 - 0,5$  მისაღწევად, ზრდის 17% Si-იან შენადნში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებას 3–8%. მაგრამ მცდელობამ, წილის ფუძიანობა გაზრდილიყო 1,0-მდე უარყოფითი შედეგი გამოიღო – სილიკომანგანუმში სილიციუმის შემცველობა შემცირდა 8–10%-მდე. სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში, ფლუსების გამოყენების შემთხვევაში, აუცილებელია ამ ვითარების გათვალისწინება.

ზემოთ მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ მანგანუმის ალდგენის საწყისი ტემპერატურა იმყოფება 1310–1420° C ინტერვალში, ხოლო სილიციუმის – 1690° C. ამიტომ MnO – SiO<sub>2</sub> ოქსიდების ნარევი მანგანუმი სილიციუმთან შედარებით უნდა ალდგეს უფრო ადვილად, რაც პრაქტიკაშიც დასტურდება.

პროფ. ს. როსტოვეცმა, თანამშრომლებთან ერთად შეისწავლა მანგანუმის სილიკატების ალდგენა 1400° C და 1500° C ტემპერატურაზე, რისთვისაც სპეციალურად მომზადდა სილიკატები: (MnO)<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub> და MnO · SiO. შედეგად მიღებულ იქნა ოქსიდების ნარევის და შესაბამისი სილიკატების ალდგენის ხარისხის მონაცემები.

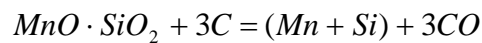
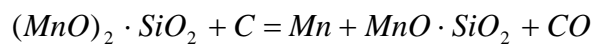
ალდგენის ხარისხი, %:

სილიკატი	1400° C		1500° C	
	ნარევი	სილიკატი	ნარევი	სილიკატი
(MnO) <sub>2</sub> · SiO <sub>2</sub>	53,1	36,9	100	100
MnO · SiO	7,8	7,4	41,3	37,

მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ მდიდარ ნარევებში 1400° C-ზე MnO და SiO<sub>2</sub> ოქსიდების ალდგენა მიდის უკეთესად, ვიდრე

სილიკატებიდან მოცემულ შემთხვევაში, ნარევებში აღდგენის პროცესი წინ უსწრებს სილიკატების წარმოქმნას (წიდის წარმოქმნას).  $1500^{\circ}\text{C}$ –ზე აღდგენა მიმდინარეობს თანაბარი ზომით, მაგრამ როდონიტის სრული აღდგენისათვის საჭიროა უფრო მაღალი ტემპერატურა –  $1600^{\circ}\text{C}$  და მეტი, რომელსაც ადგილი აქვს მხოლოდ სილიკომანგანუმის სადნობი ღუმელის ქვედა ჰორიზონტებში [29].

მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ პირველად აღდგება ტეფროიტი, შემდეგ, უფრო მაღალ ტემპერატურებში კი – როდონიტი შემდეგი რეაქციებით:



ამრიგად, ნათელია, რომ კაზმში ერთეულ მანგანუმზე მოსული სილიკატების და დიდი რაოდენობის კაჟმიწის არსებობა აუარესებს მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის ხარისხს.

სასაქონლო სილიკომანგანუმის დნობის მაჩვენებლების შედარებამ, კაზმში აგლომერატის და მადნური ბრიკეტების გამოყენებით, თვალნათლივ დაგვანახა, რომ აგლომერატზე დნობის შემთხვევაში დნობის მაჩვენებლები იყო მნიშვნელოვნად უარესი, ვიდრე ბრიკეტების გამოყენების დროს, რაც იმით აიხსნება, რომ აგლომერატი მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს მანგანუმის სილიკატებს.

## 1.2. სილიკომანგანუმის წარმოების ეფექტურობის გაზრდის

### ძირითადი მიმართულებები

ყველაზე მასიური წარმოების *CMH17P* მარკის სილიკომანგანუმის დნობის მატერიალური ბალანსის მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მანგანუმის ამოკრეფა შენადნში შეადგენს 72–75%, სილიციუმისა კი – 40–45%. ფოსფორი კი ლითონში პრაქტიკულად სრულად გადადის – 80–85% (ცხრილი 1). დადგენილია, რომ ტრადიციულად გამოყენებული საკაზმე

მასალებისათვის სილიკომანგანუმის წილის ოპტიმალური ფუძიანობა მერყეობს 0,2–0,45–ის ფარგლებში.

ცხრილი 1. ელემენტების განაწილება სილიკომანგანუმის დნობის პროდუქტებს შორის

ელემენტი	გადადის, % (მასური)		
	შენადნში	წიდაში	აორთქლდება
<i>Mn</i>	75	19	6
<i>Si</i>	40	52	8
<i>P</i>	80	5	15

შენადნში 17–20% სილიციუმის შემცველობის უზრუნველსაყოფად სილიკომანგანუმის წილები უნდა იყვნენ კაჟმიწით გაჯერებული – 47–50%  $SiO_2$ . ამიტომაც სილიკომანგანუმის ე.წ. „გადასაყრელი“ წილები 13–15% *Mn* და 47–49%  $SiO_2$  თავისი ქიმიური შედგენილობით ახლოს არიან წონასწორულთან. სილიკომანგანუმში მანგანუმის და სილიციუმის ამოკრეფის გაზრდის მიზნით და წარმოებაში ჩასანერგად რეკომენდირებულია რიგი ტექნოლოგიური ღონისძიებებისა, რომლებიც უზრუნველყოფენ სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნიკო–ეკონომიკური მაჩვენებლების მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას.

მანგანუმის კონცენტრატებისა და სხვა ნედლეული რესურსების ღირებულების მუდმივად ზრდის პირობებში, სილიკომანგანუმის თვითღირებულების მნიშვნელობანი შემცირება და შესაბამისად მანგანუმის შენადნში ამოკრეფის გაზრდა შესაძლებელია ე.წ. „გადასაყრელი“ წილების ხელმეორედ გამოყენებით (უფრო ღრმა აღდგენით), რაც თავისთავად მანგანუმის და სილიციუმის დამატებით წყაროს წარმოადგენს. მრავალმა სამრეწველო გამოცდამ გვიჩვენა, რომ ნახშირბადიან აღმდგენელთან ერთად დაბრიკეტებული გრანულირებული წიდა (ან დაფქვილი) წარმოადგენს სილიკომანგანუმის გამოსადნობი კაჟმის ფრიად მნიშვნელოვან და სასარგებლო კომპონენტს. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია კაჟმიდან გამოვრიცხოთ დეფიციტური კოქსი და მის მაგივრად გამოვიყენოთ მათი ანაცერი ან სხვადასხვა გენეზისის იაფი ნახშირები. აგრეთვე შესაძლებელი

ხდება კვარციტების სრული ან მნიშვნელოვანი დოზით შემცირება. ამასთან, ასეთი ბრიკეტების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება გავზარდოთ 7–10%, სილიციუმისა კი – 5–8% [30–32]. ასეთივე წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამდიდრების შლამები, მათი ნახშირთან დაბრიკეტების გზით. ცნობილია, რომ ასეთი შლამები ჭიათურის სამთო–გამამდიდრებელი კომბინატის შლამსაცავებში რამოდენიმე ასეულ ათასი ტონაა დაგროვილი და დიდ ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს. მათი ქიმიური შედგენილობა მერყეობს, %: 14–21  $Mn$ ; 47–52  $SiO_2$ ; 0,16–0,18  $P$ . დადასტურებულია, რომ მის ბაზაზე დამზადებული ნახშირიანი ბრიკეტები საშუალებას იძლევა, რომ სილიკომანგანუმის სადნობი კაზმიდან გამოვრიცხოთ კვარციტი და შევამციროთ მანგანუმის კონცენტრატის ( $Mn$  – 45%) ხარჯი ერთ ტონა შენადნზე 200–250 კილოგრამით. 170კგ/ტ მცირდება აგრეთვე კოქსის ხარჯი.

ნიკოპოლის (უკრაინა) ფეროშენადნობთა ქარხანაში შემუშავებულია მაღალსილიციუმისანი სილიკომანგანუმის (36–45%  $Si$ ; 45–55%  $Mn$ ; 8–10%  $Fe$ ; 0,05–0,08%  $P$ ) მიღების ტექნოლოგია კაზმში სილიკომანგანუმის „გადასაყრელი“ წიდების გამოყენებით. იგივე შენადნის დნობა დაბრიკეტებული შლამებით იწვევს ლითონში ფოსფორის შემცველობის გაზრდას 0,1–0,3%-მდე. მანგანუმის ამოკრეფა ამ შემთხვევაში აღწევს 90%, სილიციუმის კი – 60%. ბრიკეტირებისათვის 1,2გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის შემკვრელის (სულფიტ–სპირტული ბარდა) ოპტიმალური რაოდენობა შეადგენს 7,5%. დასაბრიკეტებელი წიდის ფრაქციულობაა 0–2მმ, სინესტე კი 2%. შლამების შემთხვევაში მისი სინესტე შეიძლება იყოს 8%, შემკვრელის რაოდენობა კი – 9%. ორივე შემთხვევაში დაწნეხვის ძალა შეადგენს ~ 19,6 მპასკალს. სილიკომანგანუმის წიდები კიდევ შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს ბრძმელებში თუჯის საწარმოებლად და ასევე რკინის აგლომერატის მიღების პროცესში. სილიკომანგანუმის მიღების მაღალი ეფექტურობის მიღწევა შესაძლებელია აგრეთვე თუ წიდებში გავზრდით  $MgO$ -ს შემცველობას. ამ დროს მანგანუმის ამოკრეფა იზრდება 4,7%, სილიციუმის

3,2%, ღუმელის წარმადობა მატულობს 6,6%, ხოლო ელექტროენერჯის ხარჯი მცირდება 3%.

სილიკომანგანუმის დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების თვალსაზრისით საინტერესოა აგრეთვე ჩატარებული კვლევები კაზმში კვარციტის მაგივრად ტუტე ალუმოსილიკატების, ტუფების (68–72%  $SiO_2$ ; 12–16%  $Al_2O_3$ ; 7–9% ( $Na_2O + K_2O$ ) გამოყენებით. გამოკვლეულია, რომ  $Na_2O$  და  $K_2O$  1400–1600°C ინტერვალში მნიშვნელოვნად ამცირებს წილების სიბლანტეს, აჩქარებს ოქსიდების ნახშირბადით აღდგენის პროცესებს და აუმჯობესებს ღუმელის აბაზანაში ელექტრული რკალის ანთების ხარისხს. 16,5 მვა ღუმელებში ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ სილიკომანგანუმის სადნობ კაზმში კვარციტის მაგივრად ტუფის გამოყენებამ მანგანუმის ამოკრეფა გაზარდა 7–8%, სილიციუმის 8–10%, ხოლო ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი შემცირდა 8% [33–34].

ელექტროენერჯის ეკონომიის და ღუმელების წარმადობის გაზრდის თვალსაზრისით პირველი რიგის მნიშვნელოვან მიმართულებად გვესახება მანგანუმის შენადნობების გამოდნობა წინასწარ გახურებული კაზმის გამოყენებით. გამოკვლევებმა, რომელიც ჩაატარა დნეპროპეტროვსკის მეტალურგიის აკადემიის კოლექტივმა ს.ი. ხიტრიკის და მ.ი. გასიკის ხელმძღვანელობით, აჩვენა, რომ გახურებულ კაზმზე ფერომანგანუმის დნობისას ელექტროენერჯის ხარჯი შემცირდა 20–22%, რამაც შესაბამისად შეამცირა შენადნის თვითღირებულება [35].

უკანასკნელ პერიოდში მეტად აქტუალური გახდა აგრეთვე დაბალგოგირდიანი, საკერძე აირების (80–85%  $CO$ ) გამოყენება, რომლებიც ხასიათდებიან წვის მაღალი სითბოთი. ეს აირები ამჟამად არ გამოიყენებიან ან ნაწილობრივ არიან გამოყენებული. პერსპექტიულად მიგვაჩნია ამ აირების გამოყენება შერეული და კარბონატული მადნების გამოსაწვავად და აგრეთვე ზემოთ აღნიშნული საკაზმე მასალების წინასწარ გასახურებლად [36–37].

საზღვარგარეთის ქვეყნებში მანგანუმიან ფეროშენადნობთა საკერძე აირები განიხილებიან, როგორც ნედლეული ქიმიური მრეწველობისათვის. ამ აირების გამოყენებით თბოელექტროსადგურების აშენება ჯერჯერობით ეკონომიურად არამიზანშეწონილია, მისი დაბალი ენერგეტიკული სიმძლავრის გამო.

მანგანუმის მადნებზე და კონცენტრატებზე მსოფლიო ბაზარზე დღეს არსებული ფასები გვაიძულებს სილიკომანგანუმის საწარმოებლად გამოყენებულ იქნას ჭიათურის ყველა სახის დაბალხარისხოვანი კონცენტრატები. მაგრამ „ჭიათურმანგანუმის“ სასაქონლო პროდუქციის უდიდესი ნაწილი წარმოდგენილია წვრილმარცვლოვანი გრავიტაციული და ფლოტოკონცენტრატების სახით, ამიტომ მათი წინასწარი დანაჯროვნების პრობლემის საკითხი მოითხოვს გადაუდებელ გადაწყვეტას.

ამ ახლო წარსულში ქარხანას გააჩნდა, როგორც აგლო, ასევე ბრიკეტ-დანადგარები და ისინი უზრუნველყოფდნენ სილიკომანგანუმის სადნობი ღუმელების დანაჯროვნებული კაზმით მომარაგებას. რადგანაც ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა ნედლეულით მომარაგების თვალსაზრისით მუდმივად იქნება მიზმული „ჭიათურმანგანუმის“ პროდუქციაზე, ამიტომ გადაუდებელ ამოცანად გვესახება სასწრაფოდ აღდგენილ იქნას კაზმის დანაჯროვნების ზემოაღნიშნული სიმძლავრეები და ამით თავიდან იქნეს აცილებული ღუმელების მომარაგება წვრილმარცვლოვანი და სველი კაზმით. აღნიშნული ღონისძიებები მეტად მნიშვნელოვანია აგრეთვე შრომის უსაფრთხოების თვალსაზრისითაც.

როგორც ცნობილია, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში სილიკომანგანუმი და ფერომანგანუმი იწარმოება მრგვალ 22,5 მვა და სწორკუთხა 11,5 მვა სიმძლავრის ღია ღუმელებში. ღუმელის მშენებლობაში, როგორც სამამულო, ასევე საზღვარგარეთ დაგროვილი დიდი გამოცდილებისა, საკითხი ოპტიმალური კონსტრუქციის ღუმელის შესარჩევად ცალსახად განსაზღვრული არაა. ამიტომ მძლავრი ღუმელების

მუშაობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუარესების ერთ-ერთი მიზეზი – მათი სიმძლავრის არასრულად გამოყენებისა, მდგომარეობს მათი გეომეტრიული და ელექტრული პარამეტრების შეუსაბამობაში, რის გამოც ღუმელის საერთო გაბარიტები არ შეესაბამება მოყვანილ სიმძლავრეს. ამიტომ ღუმელების გეომეტრიული პარამეტრების სრულყოფა, მათი მუშაობის ოპტიმალური ელექტრული რეჟიმის შერჩევა და დნობის ავტომატური მართვა საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ 22,5 მვა ტიპის მადანადმდგენი ღუმელების აქტიური სიმძლავრე და შესაბამისად წარმადობა, შევამციროთ 1ტ ლითონზე ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი, მნიშვნელოვნად გავზარდოთ რემონტებს შორის პერიოდი და როგორც შედეგი გავაუმჯობესოთ დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

ამრიგად, ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ იმ პრობლემური საკითხების ძირითადი ნაწილი, რომელიც ახასიათებს მანგანუმის ფეროშენადნობების – სილიკომანგანუმის წარმოებას, როგორც ზოგადად, ასევე ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის პირობებში. ამიტომ მეტად მნიშვნელოვანია და აქტუალური მსოფლიო ფეროშენადნობთა ბაზარზე არსებული ფასების გათვალისწინებით შემუშავდეს მადნების, კონცენტრატების და ნარჩენების გადამუშავების რაციონალური ტექნოლოგიები, შეირჩეს დნობისათვის მათი მომზადების და დანაწროვნების ოპტიმალური სქემები. ადგილობრივი ნახშირებით და ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატებით ნაწილობრივ ჩანაცვლდეს დეფიციტური იმპორტირებული და ძვირადღირებული კოქსი და კვარციტები, სწორად იქნას შერჩეული ღუმელების გეომეტრიული და ელექტრული პარამეტრები, რაც საბოლოო ჯამში უზრუნველყოფს წარმოების მაღალ, კონკურენტუნარიან ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს, აამაღლებს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ხარისხს და გაზრდის ჭიათურა-ზესტაფონის სამთო-მეტალურგიული კომპლექსის მნიშვნელობას და მისი ექსპლუატაციის ვადების გახანგრძლივებას.



## 2. სილიკომანგანუმის გამოდნობის რესურსდამზოვი ტექნოლოგიების დამუშავება

### 2.1. ლითონის ოპტიმალური შედგენილობის შერჩევა და მისი გავლენა მანგანუმის ამოკრეფის მაჩვენებლებზე

ცნობილია, რომ მანგანუმიანი ფეროშენადნობების (სილიკომანგანუმის) გამოდნობის პროცესის ტექნოლოგიის ხარისხობრივი მაჩვენებლები ძირითადად ხასიათდება წამყვანი ელემენტების შენადნობში ამოკრეფის სიდიდით და მისი ოქსიდების შემცველობით საბოლოო წილებში. მანგანუმიანი ფეროშენადნობები ძირითადად იწარმოება ნახშირბადთერმული უწყვეტი პროცესით, რომელიც გულისხმობს მანგანუმშემცველ ნედლეულში არსებული ოქსიდების აღდგენას კოქსის ნახშირბადით.

სასაქონლო სილიკომანგანუმის მიღების თანამედროვე პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ მანგანუმის დანაკარგების (18-20%) ძირითადი წყარო ე.წ. „გადასაყრელი“ (საბოლოო) წიდება. ბოლო წლებში ფეროშენადნობთა ქარხნების მუშაობის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ როგორც მძლავრ, ასევე მცირე სიმძლავრის ღუმელებში სილიკომანგანუმის დნობისას მანგანუმის დანაკარგები მუდმივად იზრდება, რომლის ძირითადი მიზეზი მაღალხარისხოვანი მანგანუმის მადნების დეფიციტია (სიძვირე) და, შესაბამისად, მისი ხარისხის გაუარესება. ყოველივე ეს კი საბოლოოდ იწვევს სადნობი აგრეგატების წარმადობის შემცირებას, წილის ჯერადობის და, შესაბამისად, მანგანუმის დანაკარგების გაზრდას. ამიტომ, მანგანუმის დანაკარგის შემცირება, ელექტრომეტალურგიული გადამუშავების პროცესში მეტად აქტუალური ამოცანაა და გადაუდებელ გადაწყვეტას მოითხოვს.

დადგენილია, რომ მანგანუმის შემცველობა სილიკომანგანუმის საბოლოო წილებში განისაზღვრება ტოლობით [38–42]:

$$(MnO)^2 = \frac{[Mn]^2 \cdot (SiO_2)}{K_{Si-Mn} \cdot [Si]}$$

სადაც  $(MnO)$ ,  $(SiO_2)$ ,  $[Si]$ ,  $[Mn]$  არის წამყვანი კომპონენტების შემცველობა წიდასა და ლითონში,  $K_{Si-Mn}$  – სილიკომანგანუმის წარმოქმნის წონასწორობის კონსტანტა.

როგორც მოცემული გამოსახულებიდან ჩანს, საბოლოო წიდეებში მანგანუმის შემცველობა ძირითადად დამოკიდებულია ლითონში სილიციუმისა და მანგანუმის კონცენტრაციაზე, რაც დადასტურდა ჩატარებული გამოკვლევებით.

ელექტროდნობის რეალურ პირობებში მანგანუმის ამოკრეფის სიღრმე დამოკიდებულია ღუმელის აბაზანაში წარმოქმნილ თერმოდინამიკულ პირობებზე, რომლებიც განისაზღვრება პროცესის ტემპერატურით და კაზმში აღმდგენელის რაოდენობით (ჩვეულებრივად იგი გამოისახება როგორც კოქსში არსებული მყარი ნახშირბადის ფარდობა კაზმში მანგანუმის კონცენტრაციასთან -  $C_{აყ} / (Mn)$ ). მოცემულ ფაქტორებზე ასევე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეულის ხარისხი, პირველ რიგში, მანგანუმის შემცველობა, აგრეთვე სილიციუმის ოქსიდის და სხვა ფუძე ოქსიდების თანაფარდობა, რომელთა კაზმში დამატება განპირობებულია სხვადასხვა ფლუსის წარმომქმნელი მასალების შეყვანის აუცილებლობით. განხილული ფაქტორები ახასიათებს ტექნოლოგიის ხარისხობრივ მხარეს, რომელიც საბოლოო ჯამში განსაზღვრავს მანგანუმის განაწილებას დნობის პროდუქტებს შორის [43–46].

საცდელი დნობები, რომლებიც მიზნად ისახავდა მანგანუმით და სილიციუმით სხვადასხვა შემცველობის სილიკომანგანუმის მიღებას, ჩატარებულ იქნა 5 მვა სიმძლავრის მადანალმდგენ ელექტროღუმელში. ღუმელი აღჭურვილია 400მმ დიამეტრის გრაფიტირებული სამი ელექტროდით. ძაბვა ელექტროდებზე იყო 110 ვოლტი, დენის ძალა კი – 18-20 კილოამპერი [47].

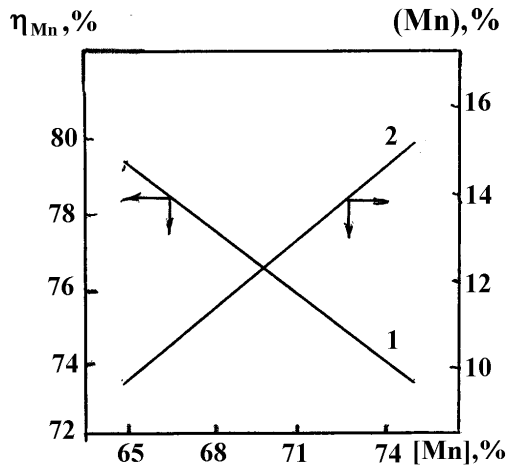
საკაზმე მასალეზად გამოყენებული იყო ჭიათურის მანგანუმის კონცენტრატი ( $Mn - 40\%$ ), ბოლნისის კვარციტი ( $SiO_2 - 94\%$ ), ე.წ. წიდის ქერქული ნარჩენები ( $Mn - 15 - 16\%$ ), კირქვა, კოქსი და რკინის ხენჯი ( $Fe - 70\%$ ). დნობების ყველა სერიაში წიდის ფუძიანობა იყო მუდმივი ( $CaO / SiO_2 = 0,5$ ).

გამოდნობილ იქნა სილიკომანგანუმი მანგანუმის 65-66, 68-70, 72-74% და სილიციუმის 14-15, 16-17, 19-20% შემცველობით. სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები მოყვანილია ქვემოთ და ნახაზებზე 2-5.

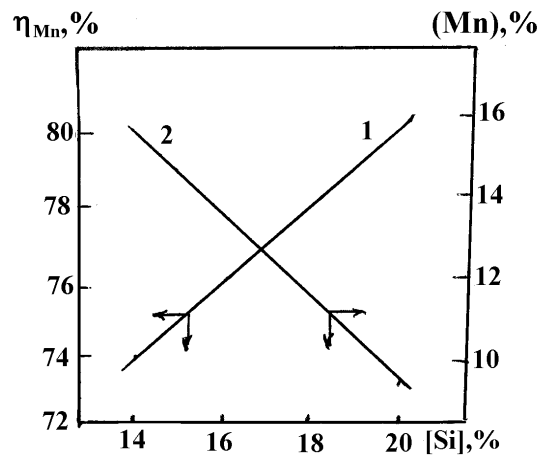
#### ფეროსილიკომანგანუმი (0,3-0,5% P)

- მანგანუმის შემცველობა ლითონში  
 $[Mn]$ , % - 65-74
- მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების კოეფიციენტი  
 $\eta_{Mn}$ , % - 72-84
- სილიციუმის სასარგებლო გამოყენების კოეფიციენტი  
 $\eta_{Si}$ , % - 35-45
- წიდის ჯერადობა  
 $K$  - 1,1 - 1,5
- კაზმში მყარი ნახშირბადის ფარდობა მანგანუმთან  
 $C_{\text{მყ}} / Mn$  - 0,35-0,41
- კაზმში  $Mn$ -ის ფარდობა  $SiO_2$   
 $Mn / SiO_2$  - 0,85-1,0
- მანგანუმის მასური წილი გამოყენებულ ნედლეულში  
 $\langle Mn \rangle$ , % - 36-42
- მანგანუმის მასური წილი წიდაში  
 $(Mn)$ , % - 10-15

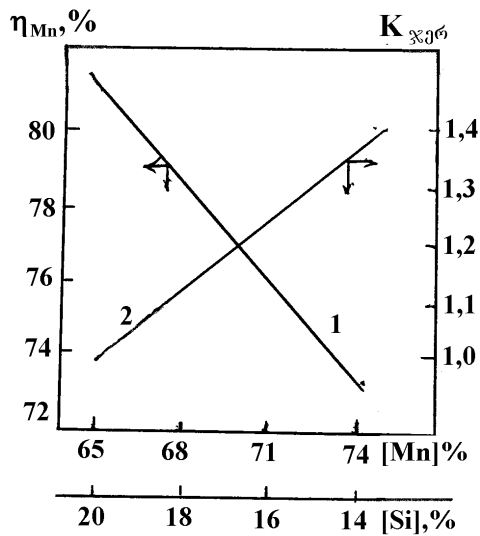
დნობების შედეგების დამუშავებით დადგინდა დამოკიდებულება მანგანუმისა და სილიციუმის შემცველობას და მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებას შორის. ლითონში სილიციუმის რაოდენობის გაზრდა და მანგანუმის კონცენტრაციის შემცირება იწვევს საბოლოო წიდების ჯერადობის და მასში მანგანუმის რაოდენობის შემცირებას.



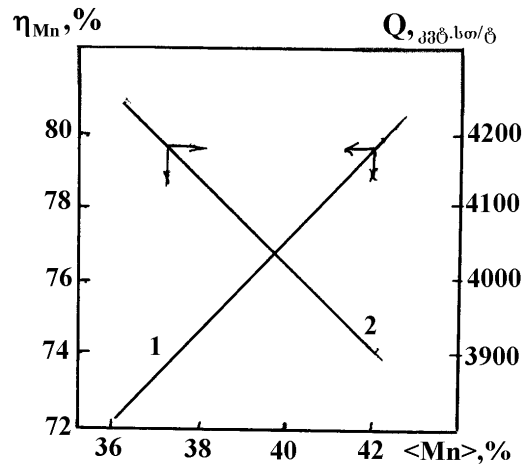
ნახ.2. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების (1) და წიდაში მანგანუმის შემცველობის (2) დამოკიდებულება ლითონში მანგანუმის შემცველობაზე



ნახ. 3. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და წიდაში მანგანუმის შემცველობის (Mn) (2) დამოკიდებულება ლითონში სილიციუმის შემცველობაზე [Si]



ნახ. 4. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და წიდას ჯერადობის ( $K_{ჯერ.}$ ) (2) დამოკიდებულება ლითონში [Mn] და სილიციუმის [Si] შემცველობაზე



ნახ. 5. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების ( $\eta_{Mn}$ ) (1) და ელ.ენერგიისხვედრითი ხარჯის ( $Q_{კვ}$ ) (2) დამოკიდებულება მანგანუმის კონცენტრაციაზე გამოყენებულ ნედლეულში, <Mn>

ასე მაგალითად, 72-74% მანგანუმის და 14-15% სილიციუმის შემცველობის სილიკომანგანუმის გამოდნობისას წიდას ჯერადობა იყო 1,4,

მასში მანგანუმის შემცველობა 13-14%, მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება – 74%. ისეთი შედგენილობის სილიკომანგანუმის გამოდნობისას, რომელშიც მანგანუმის შემცველობა იყო 65-66%, სილიციუმის 19-20%, წილის ჯერადობა იყო 1,2, მასში მანგანუმის რაოდენობა 9-10% და მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებამ 82%-ს მიაღწია.

მანგანუმის კონცენტრატების ხარისხის გაუარესების და, შესაბამისად, მისი ღირებულების მუდმივად ზრდის ტენდენციების პირობებში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გასაზრდელად, მომხმარებელთან შეთანხმებით, მიზანშეწონილია, რომ გამოდნობილ იქნეს სილიკომანგანუმი მანგანუმის 65-66% და სილიციუმის 19-20% შემცველობით, რაც საბოლოო ჯამში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებას 7-8% გაზრდის.

## 2.2. სილიკომანგანუმის გამოდნობა კაზმში საკუთარი წარმოების ლითონური ნარჩენების გამოყენებით

სილიკომანგანუმი წარმოადგენს ყველაზე უნივერსალურ მანგანუმთან შენადნობს, რომელიც გამოიყენება ფართო სორტამენტის ფოლადების და შენადნობების მისაღებად და იგი თავისი წარმოების მოცულობების მიხედვით მსოფლიოში იკავებს პირველ ადგილს მანგანუმთან ფეროშენადნობებს შორის. სილიკომანგანუმის უდიდესი ნაწილი ჩვენში, პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში და ზოგადად მთელს მსოფლიოში იწარმოება ყველა ტიპის (მრგვალი, სწორკუთხა, ღია, დახურული, ჰერმეტიული) და სიმძლავრის (მძლავრი – 30, 40, 48, 63, 75 მვა, საშუალო სიმძლავრის 11, 16,5, 22,5, 24 მვა და მცირე სიმძლავრის – 2,5, 5,0, 7, 9 მვა) მადანალმდგენ ღუმელებში JSO და სახსტანდარტ 4756-77 (ცვლილება N : 3) შესაბამისად.

სილიკომანგანუმის მისაღებ კაზმში ძირითად მანგანუმშემცველ კომპონენტს წარმოადგენს მანგანუმის მადნები და კონცენტრატები. შენადნობის მიღება ხდება უწყვეტი წიდური პროცესით, რომელიც ემყარება

კოქსის ნახშირბადით მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების ერთდროულ აღდგენას [48-50].

სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის ქიმიზმი ზოგადი სახით შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი რეაქციით:



$$K_p = \frac{\alpha[Mn]\alpha[Si]}{\alpha(MnO)\alpha(SiO_2)} \quad (2)$$

$\alpha_c = 1$  შემთხვევაში  $P_{CO} = 101$  კ.პასკ. სადაც  $\alpha$  - აქტივობაა;  $P$  - წნევა.

მანგანუმის სილიკატების წარმოქმნის დაბალი ტემპერატურა მადანთერმული ელექტროლუმელების მაღალ ჰორიზონტებში იწვევს წიდის ნაადრევ წარმოქმნას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების აქტივობას და შესაბამისად, ამუხრუჭებს აღდგენითი პროცესების განვითარებას. ეს მოვლენა წარმოადგენს ძირითად მიზეზს იმისა, რომ ჯერ კიდევ დიდია წიდებში მანგანუმის დანაკარგები და სამრეწველო მასშტაბით იგი 18-20% აღწევს.

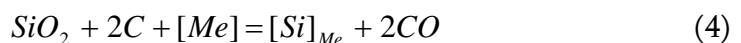
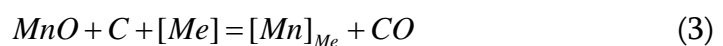
სილიკომანგანუმის დნობის დროს, მრავალკომპონენტური წიდებიდან სილიციუმის აღდგენის თერმოდინამიკური პირობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შენადნში 17-20% Si მისაღებად აუცილებელია, რომ სილიკომანგანუმის წიდები იყვნენ კაჟმიწით ( $SiO_2$ ) გაჯერებული ( $\alpha_{SiO_2} = 1$ ). ესაა ძირითადი მიზეზი სილიციუმის ამოკრეფის დაბალი ხარისხისა, რაც მოქმედი ტექნოლოგიების პირობებში არ აღემატება 38-40%, ხოლო მისი დანაკარგები წიდებში, რომელიც შეიცავს 45-50%  $SiO_2$ , აღწევს 50% [51].

სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში, ყველა დიდ თუ მცირე საწარმოებში, წარმოიქმნება მანგანუმის გარდაუვალი ტექნოლოგიური დანაკარგები, როგორც ოქსიდური ფორმით (გადასაყრელი წიდები, აირგამწმენდების მტვერი და სხვა), ასევე ლითონური (ფრაქციონირების ანაცერი, ჩამოსხმის დროს წარმოქმნილი შხეფები, ქერქული ნარჩენები და ა.შ.) სახით. აღდგენილი მანგანუმის დანაკარგები ლითონშემცველი ფაზის სახით შეადგენს 6-12% [52].

დაბალი ფრაქციის მანგანუმიან ფეროშენადნობებზე შეზღუდული მოთხოვნილების გამო, ამჟამად, ძირითადად ხდება არაკონდიციური ლითონური ნარჩენების მადანთერმულ, ან ინდუქციურ ღუმელებში გადადნობა, საიდანაც მანგანუმის ამოკრების ხარისხი არ აღემატება 82% [53].

აღდგენითი პროცესების თერმოდინამიკული ანალიზი, ლითონური ფაზის თანაარსებობის პირობებში გვიჩვენებს, რომ უფრო პერსპექტიული მეთოდი ლითონური ნარჩენების უტილიზაციისა არის მათი გამოყენება სხვა საკაზმე მასალებთან ერთად. აქედან გამომდინარე, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია სხვადასხვა მარკის და შედგენილობის სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია, რომლის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მანგანუმის და განსაკუთრებით სილიციუმის აღდგენა ნახშირბადით ხდება მანგანუმმემცველი და რკინაშემცველი ლითონური ფაზის თანაარსებობისას. აღნიშნული ტექნოლოგია საშუალებას გვაძლევს გადავამუშაოთ ყველა სახის ლითონური ნარჩენები მანგანუმის და სილიციუმის ჯამური სასარგებლო გამოყენების გაზრდით და უფრო დაბალი მატერიალურ-ენერგეტიკული დანახარჯებით.

სილიკომანგანუმის მიღების პროცესი ლითონური ფაზის თანაარსებობის პირობებში ზოგადი სახით შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:



სადაც  $Me$  - არის ლითონური ნარჩენები. იმ შემთხვევაში, როდესაც სილიციუმის აღდგენა ხდება კვარციტებიდან და არა წიდური ნალღობებიდან (4) რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა ტოლი იქნება:

$$K_p = \alpha[Si], \text{ რადგანაც } \alpha_{SiO_2} = 1, \alpha_C = 1 \text{ და } P_{CO} = 101 \text{ კ.პასკ.}$$

შემოთავაზებული ტექნოლოგიით სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის თეორიული აღწერა დაიყვანება ლითონში სილიციუმის აქტივობის განსაზღვრამდე. თეორიული წინაპირობების გათვალისწინებით

და იმის დასამტკიცებლად თუ რამდენად ცალსახაა აღნიშნული მოსაზრებები ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტული სამრწველო დნობები სილიკომანგანუმის მიღებისა, კაზმში მანგანუმის კონცენტრატთან ერთად ლითონჩანართიანი წიდების, მანგანუმშემცველი და რკინაშემცველი ლითონური ნარჩენების გამოყენებით. კაზმიდან ნაწილობრივ იქნა გამორიცხული კვარციტების გამოყენება [54].

საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა შემდეგია:

- ჭიათურის მანგანუმის კონცენტრატი – 44%  $Mn$ ; 14%  $SiO_2$ ; 12%  $H_2O$ ;
- ლითონჩანართიანი წიდები – 18-20%  $Mn$ ; 23-25%  $Mn$ ; 28-30%  $Mn$ ;
- რკინის ხენჯი – 70%  $Fe$ ;
- კოქსი – 83%  $C_{\text{ჰარი}}$ ; 14%  $H_2O$ ;
- კვარციტი – 93%  $SiO_2$ ;
- კირქვა – 52%  $CaO$ ;
- მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერი – 70%  $Mn$ .

საკაზმე მასალების გრანულომეტრიული შედგენილობაა:

- მანგანუმის კონცენტრატი, %,  $\frac{15-5\text{მმ}}{15}$   $\frac{5-3\text{მმ}}{20}$   $\frac{3-1\text{მმ}}{53}$   $\frac{-1\text{მმ}}{12}$ ;
- დამსხვრეული წიდა – 50-100მმ;
- კირქვა – 20-80მმ;
- კოქსი – 20-5მმ (80%), -5მმ (20%);
- კვარციტი – 20-90მმ;
- რკინის ხენჯი - -5მმ;
- მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერი – 0-10მმ.

საცდელი სამრეწველო დნობები ჩატარებულ იქნა რუსთავის მეტალურგიულ ქარხანაში განთავსებულ 5მვა სიმძლავრის მადანალმდგენ ელექტროლუმელში სამ ვარიანტად, რომელიც ითვალისწინებდა მანგანუმის სხვადასხვა შემცველობის ლითონჩანართიანი წიდების, ლითონური ანაცერის და რკინის ხენჯის გამოყენებას.



დნობების თითოეული ვარიანტის ხანგრძლივობა იყო 16-20 დღე-ღამე. შენადნობის გამოდნობა ხდებოდა უწყვეტი პროცესით დნობის პროდუქტების პერიოდული (2სთ) გამოშვებით. აღნიშნული ღუმელი აღჭურვილია სამი 400მმ დიამეტრის გრაფიტის ელექტროდებით. დნობების ელექტრული რეჟიმი იყო – ძაბვა ელექტროდებზე – 110 ვოლტი, ხოლო დენის ძალა კი – 19-20კ.ამპ. პროცესი ხასიათდებოდა მდგრადი ელექტრული დატვირთვით, კაზში ელექტროდების ღრმა მდებარეობითა და აირების თანაბარი გამოყოფით კაზმის მთელი ზედაპირიდან. დნობის პროდუქტების გამოშვება ხდება ცეცხლგამძლე აგურით ამოგებულ ციცხვში, საიდანაც ზედმეტი წიდა გადადის დახრილ ღარში და მიედინება საგრანულაციო ორმოში. სილიკომანგანუმის დნობის ექსპერიმენტალური გამოკვლევების შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.

დნობების ყველა ვარიანტში გამოყენებულ იქნა ჭიათურის მანგანუმის კონცენტრატი ( $Mn$  44%;  $SiO_2$  -14%), აგრეთვე ლითონჩანართიანი წიდეები მანგანუმის სხვადასხვა საერთო შემცველობით, რომელიც დნობის ვარიანტების მიხედვით ასე გამოიყურება: I – ვარიანტი -  $Mn = 28 - 30\%$  ; II – ვარიანტი -  $Mn = 23 - 25\%$  და III ვარიანტი  $Mn = 18 - 20\%$  .

ასევე მიზნად იყო დასახული ლითონის მიღება, სადაც მანგანუმის შემცველობა იქნებოდა 65-67%, ხოლო სილიციუმისა კი – 15-16%. ასეთი შედეგნილობის ლითონის წარმოება განპირობებულია ბაზარზე მისი მოთხოვნილების გაზრდის გამო.

დნობების ყველა ვარიანტში სილიკომანგანუმის მისაღები კაზმის ულუფა შედგებოდა:

- მანგანუმის კონცენტრატი – 700კგ;
- ლითონჩანართიანი წიდა – 500კგ;
- კოქსწვრილა – 190კგ;
- კირქვა – 90კგ;
- მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერი – 10კგ;
- რკინის ხენჯი – 80კგ.

შენიშვნა: მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერის (სილიკომანგანუმის ანაცერი) რაოდენობას კაზმში განსაზღვრავს ის, თუ რა რაოდენობით გროვდება იგი ლითონების დამსხვრევის და დახარისხების პროცესში.

რადგანაც კაზმში გამოყენებული იყო ლითონჩანართიანი წიდეები მანგანუმის სხვადასხვა საერთო შემცველობით (18-20; 23-25; 28-30 Mn), განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს იმის დადგენა, თუ როგორაა გადანაწილებული მასში ლითონის და თვითონ წიდის (სილიკატური ნაწილი) რაოდენობები. შესაბამისი მათემატიკური გათვლებით, ჩვენს მიერ დადგენილ იქნა ასეთ წიდეებში ლითონური ფაზის შემცველობის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც ასე გამოიყურება:

$$K = 0,72X + 0,12(100 - X)$$

სადაც  $K$  არის ლითონჩანართიან წიდეებში მანგანუმის საერთო რაოდენობა, %;

72 – ასეთ წიდეებში არსებულ ლითონში მანგანუმის შემცველობა, %;

12 – წიდეების სილიკატურ ნაწილში მანგანუმის შემცველობა, %;

$X$  - არის ასეთ წიდეებში ლითონური ფაზის რაოდენობა, კგ.

ფორმულა გათვლილია 100კგ ლითონჩანართიან წიდაზე გადაანგარიშებით.

ჩვენს შემთხვევაში დნობების ვარიანტების მიხედვით აღნიშნული ფორმულის რიცხობრივი მნიშვნელობები იქნება:

I – ვარიანტი 30 =  $0,72X + 0,12(100 - X)$ , საიდანაც  $X = 30$ კგ;

II – ვარიანტი 25 =  $0,72X + 0,12(100 - X)$ , საიდანაც  $X = 21,7$ კგ;

III – ვარიანტი 20 =  $0,72X + 0,12(100 - X)$ , საიდანაც  $X = 13,3$ კგ;

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ დნობების ყველა ვარიანტში გამოყენებული იყო მანგანუმის მეორე ხარისხის კონცენტრატი (44% Mn; 14% SiO<sub>2</sub>) და ლითონჩანართიანი წიდეები, რომლის სილიკატური ნაწილი შეიცავს Mn -12%, SiO<sub>2</sub> -48%, მაშინ ზემოთაღნიშნულის გათვალისწინებით

დნობების ვარიანტების მიხედვით, კაზმის თითოეული ულუფის მადნურ ნაწილში გვექნება:

I ვარიანტი – 700კგ მადანი + 350კგ წიდა + 35კგ კვარციტი.

II ვარიანტი – 700კგ მადანი + 392კგ წიდა + 18კგ კვარციტი;

III ვარიანტი – 700კგ მადანი + 434კგ წიდა;

დნობების I და II ვარიანტებში მცირე რაოდენობის კვარციტის დამატება გამოიწვია იმან, რომ დნობების ყველა ვარიანტისათვის გვექონდა იდენტური პირობები კაზმში კაჟმიწის და მანგანუმის თანაფარდობის თვალსაზრისით და იგი ტოლია  $SiO_2 / Mn = 0,91$ . ასევე დნობების ყველა ვარიანტისათვის დაცულია კაზმებში ნახშირბადის მოდული და იგი ტოლია  $C_{აყ.} / Mn = 0,42$ .

**ცხრილი 2. სილიკომანგანუმის სამრეწველო-ექსპერიმენტული დნობების ძირითადი მახასიათებლები**

მაჩვენებლები	მაჩვენებლების მნიშვნელობები გამოკვლევების ვარიანტების მიხედვით		
	1	2	3
საკაზმე მასალების ხარჯი, კგ/ტ:			
- მანგანუმის კონცენტრატი	1400	1470	1610
- ლითონჩანართიანი წიდა	1000	1050	1150
- კვარციტი	70	40	-
- კოქსწვრილა	380	400	437
- სილიკომანგანუმის ანაცერი	20	21	23
- კირქვა	180	190	207
- რკინის ხენჯი	160	168	174
- მადნურ ნაწილში $SiO_2 / Mn$	0,91	0,91	0,91
- ნახშირბადის მოდული, $C_{აყ.} / Mn$	0,433	0,428	0,420
მადნური ნაწილში			
- ელ. ენერგიის ხვედრითი ხარჯი, კვტ.სთ/ტ	2900	3200	3600
- ლითონის ქიმიური შედგენილობა, %			
$Mn$	67,30	66,81	66,18
$Si$	16,20	15,85	15,69
$Fe$	14,05	14,72	15,53
- მანგანუმის შემცველობა წიდაში, %	10,71	10,59	11,27
- მანგანუმის გამოყენება, %	84,20	82,41	80,50
- სილიციუმის გამოყენება, %	48,61	45,60	42,10

სამრეწველო დნობების ტექნიკო-ეკონომიკური მახასიათებლების შედარება საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ სილიკომანგანუმის სადნობ კაზმში გამოყენებული ლითონჩანართიანი წილების ხარისხის გაუარესება (30%  $Mn$  - I ვარიანტი, 25%  $Mn$  - II ვარიანტი და 20%  $Mn$  - III ვარიანტი) მკვეთრად მოქმედებს მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის ხარისხზე, საკაზმე მასალების და ელექტროენერჯის ხარჯზე. ასე მაგალითად, თუ დნობების პირველ ვარიანტში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება იყო 84,20% სილიციუმის კი 48,61%, უფრო დაბალხარისხიანი წილების გამოყენების შემთხვევაში აღნიშნული მახასიათებლები შეადგენდნენ შესაბამისად 80,50% და 42,10% (III ვარიანტი), ხოლო ელ. ენერჯის ხარჯი კი არის 2900 და 3600 კვტ.სთ/ტ. დნობების შედეგების ღრმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება ყველა შემთხვევაში კონცენტრატებიდან იყო 82-83%, ხოლო ლითონური მდგენელიდან კი – 94-96% ფარგლებში, ნაცვლად 82% მათი პირდაპირი გადადნობის შემთხვევაში. დნობების მახასიათებლებში სხვაობა შესაძლებელია გამოწვეული იყოს მხოლოდ წილებიდან, მათი სილიკატური მდგენელიდან, სასარგებლო ელემენტების ამოკრეფის სხვადასხვაობის გამო. ამ მოსაზრებას ამყარებს კიდევ ის, რომ დნობების ყველა ვარიანტში კაზმში ნახშირბადის შემცველობა (ნახშირბადის მოდული  $C_{\text{მყ}} / Mn$ ) იყო თითქმის თანაბარი და მერყეობდა 0,43-0,42-ის ფარგლებში.

სილიკომანგანუმის მიღების, როგორც ზემოთ აღწერილმა თეორიულმა განხილვამ ცხადყო, კაზმში ლითონური მდგენელის არსებობის შემთხვევაში უფრო ადვილდება სასარგებლო ელემენტების, განსაკუთრებით კი სილიციუმის აღდგენა, რაც კიდევაც დაადასტურა ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა დნობებმა. ასე მაგალითად, თუ დნობების პირველ ვარიანტში, როდესაც გამოყენებული იყო მაღალხარისხიანი ლითონჩანართიანი წილები ( $Mn_{\text{საერთო}} - 30\%$ ), მანგანუმის ამოკრეფამ შეადგინა 84,20%, სილიციუმის კი – 48,61%. დნობების მეორე ვარიანტში, როდესაც გამოყენებული იყო შედარებით საშუალო ხარისხის წილები

( $Mn_{საერთო} - 25\%$ ) აღნიშნულმა მახასიათებლებმა შეადგინა შესაბამისად 82,41 და 45,60%. ხოლო მესამე ვარიანტში, დაბალხარისხიანი წილების ( $Mn_{საერთო} - 20\%$ ) გამოყენებით, მანგანუმის ამოკრეფა იყო 80,50%, სილიციუმისა კი – 42,10%. აღნიშნული მახასიათებლები, წამყვანი ელემენტების სასარგებლო გამოყენებისა, ჩვეულებრივი ტექნოლოგიით დნობების შემთხვევაში (წილების გამოყენების გარეშე) არ აღემატება შესაბამისად 76 და 40%. ლითონური მდგენელით გამოწვეული აღნიშნული ეფექტი დაახლოებით შეიძლება შევადაროთ წიდანახშირიანი (წიდაკოქსიანი) ბრიკეტების დნობის ეფექტს. თუ არა წილების აღმდგენელთან ერთად დაბრიკეტება, ჩვეულებრივი მეთოდით შეუძლებელია წილებიდან ეკონომიკურად გამართლებული დნობის შედეგების მიღწევა. ამიტომ ლითონჩანართიანი წილების გამოყენება, როდესაც ლითონური ფაზა და სილიკატური მდგენელი მჭიდროდ, ორგანულად არიან ერთმანეთთან კავშირში, იძლევა სასარგებლო ელემენტების გამოყენების უფრო მაღალ ხარისხს, ვიდრე აღნიშნული ლითონური ჩანართების პირდაპირი გამოყენება. გარდა ამისა, ჩატარებულმა დნობებმა დაგვარწმუნა, რომ მანგანუმის, განსაკუთრებით კი სილიციუმის მაღალი ხარისხით აღსადგენად, სილიკატური ნალღობებიდან, აუცილებელია ლითონური ფაზის არსებობა.

ამრიგად, სილიკომანგანუმის დნობის შემუშავებული ტექნოლოგია, კაზმში საკუთარი წარმოების ნარჩენების გამოყენებით, საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვნად გავზარდოთ წამყვანი ელემენტების სასარგებლო გამოყენების ხარისხი და ავამაღლოთ დნობის სხვა ძირითადი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

### 2.3. დნობის პროცესის ოპტიმიზაცია მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის მიზნით

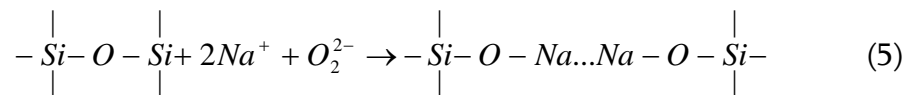
როგორც ცნობილია, მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდების ერთდროულად აღდგენისას მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სილიკატების წარმოქმნის რეაქციების მიმდინარეობაზე. ეს მოვლენა განსაკუთრებით შესამჩნევი ხდება მანგანუმის ოქსიდების კაჟმიწასთან  $SiO_2$  უშუალო კონტაქტის გაზრდის შემთხვევაში. ჩვენი ექსპერიმენტალური მონაცემებით, მანგანუმის სილიკატების წარმოქმნა საკმაოდ ინტენსიურად მიმდინარეობს უკვე  $900^{\circ}C$ . სამრეწველო-პრაქტიკული მონაცემებით მანგანუმის ღარიბი კონცენტრატების, რომლებიც შეიცავენ 25%-მდე კაჟმიწას, გამოყენების შემთხვევაში, იმის გამო, რომ სილიკატების წარმოქმნის რეაქციები მნიშვნელოვან მაჩვენებლებს აღწევს, სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესს თან ახლავს წიდის მაღალი ჯერადობა ( $>1$ ). ხშირ შემთხვევებში იგი შეიცავს 15-18% მანგანუმს და როგორც საბოლოო შედეგი – მნიშვნელოვნად ეცემა მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების მაჩვენებელი [55].

სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში მანგანუმის ლითონში ამოკრეფის გასაზრდელად არსებობს ორი გზა. პირველი, რომელიც გულისხმობს ე.წ. „გადასაყრელი“ წიდების ხელმეორედ და უფრო ღრმა აღდგენას, მაგრამ იგი დაკავშირებულია ელექტროენერჯის დამატებით მნიშვნელოვან დანახარჯებთან და მეორე – აღდგენითი პროცესების ინტენსიფიკაცია, რომელიც ერთდროულად უზრუნველყოფს ღუმელის წარმადობის გაზრდას და დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებას. ამ შემთხვევაში, მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის პრაქტიკული შესაძლებლობა ემყარება შემდეგს: კაჟმის აღდგენის სიჩქარე და სიღრმე სხვა ფაქტორებთან ერთად (ტემპერატურა, მანგანუმის ნედლეულის ხარისხი, ღუმელის ტიპი და სხვა) მნიშვნელოვნად არის

დამოკიდებული წილური ნაღობის და ნახშირბადიანი აღმდგენელის თვისებებზე. რადგანაც საბოლოო წილები კაჟმიწის შემცველობით (48-52%  $SiO_2$ ) ახლოს არიან ზღვრულ გაჯერებასთან, ამიტომ მისი როგორც ქიმიური რეაგენტის აქტიურობა განისაზღვრება ჟანგბადსილიციუმის ბადის სტრუქტურული თავისებურებებით.

ნაჩვენები კონცენტრაციის მაღალ ზღვარზე, კაჟმიწას შეუძლია წარმოქმნას სამგანზომილებიანი სტრუქტურა მყარი ფაზის გამოყოფამდეც კი. ამ დროს წიდა ხდება ძალიან ბლანტი და მისი ნახშირბადიან აღმდგენელთან ურთიერთქმედების ეფექტურობა შესამჩნევად კლებულობს. გარდა ამისა, აღდგენილი მანგანუმის მნიშვნელოვანი ნაწილი იკარგება წიდაში ჩარჩენილი ლითონის ნაწილაკების სახით. ასეთი წილების გათხევადება ტუტემიწიანი ფლუსების ჭარბი რაოდენობის გამოყენებით, როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, იძლევა უმნიშვნელო ეფექტს, ხოლო მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში მცირდება იმის გამო, რომ იზრდება წიდის ჯერადობა [56].

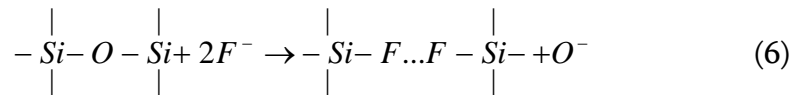
ჩვენს მიერ ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა, ნახევრადსამრეწველო და სამრეწველო გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ სილიკომანგანუმის წილებზე დადებითად მოქმედებს ტუტე ლითონების ოქსიდები -  $Na_2O$ ,  $K_2O$ . მათი გამოყენების ეფექტურობა ემყარება იმას, რომ ისინი უფრო ინტენსიურად, ვიდრე ტუტემიწათა ოქსიდები ( $CaO$ ,  $MgO$ ) არღვევენ კაჟბადჟანგბადოვან კავშირებს შემდეგი რეაქციებით [57]:



ტუტე ფლუსის მცირე რაოდენობაც კი (კაჟმის მადნური ნაწილის 2%) საკმარისია იმისათვის, რომ მივიღოთ კარგი თხევადდენადობის წიდა, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც აღდგენის კინეტიკურ პირობების, გაუმჯობესებას, ასევე ლითონის ნაწილაკების უფრო სრულ დალექვას. ექსპერიმენტებში გამოცდილი ტუტე ლითონების ნაერთებიდან ყველაზე კარგი შედეგები იქნა მიღებული მაშინ, როდესაც გამოყენებულ იქნა ტუტე

ლითონების ალუმოსილიკატები – ტუფების სახით. როგორც ჩანს, ეს გამოწვეულია იმით, რომ მათ ნატრიუმის სხვა ნაერთებთან შედარებით ახასიათებთ ყველაზე მცირე აქროლადობა და დნობის შედარებით მაღალი ტემპერატურა [58–61].

კაჟბადჟანგბადოვანი კავშირების რღვევა ფტორის მოქმედების შედეგადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს:



ამ დროს წარმოიქმნება ფხვიერი ფტორანიონური კავშირები და ჟანგბადის ჭარბი ანიონი. აღსანიშნავია ისიც, რომ კაზმში ფლუსად კალციუმის ფტორიდის გამოყენება გვადლევს ე.წ. „მოკლე“, არატექნოლოგიურ წიდებს, რომლებიც შესამჩნევად ართულებენ ღუმელიდან გამოსული ნალლობის დამუშავებას საჩამოსხმო მალში.

როგორც სილიკომანგანუმის 5 და 22,5მვა სიმძლავრის ღუმელებში გამოდნობის სამრეწველო გამოცდებმა აჩვენა, კაზმში ტუტე ლითონების ალუმოსილიკატების გამოყენებით გაუმჯობესდა დნობის ძირითადი ტექნიკური შედეგები: ღუმელის წარმადობა გაიზარდა 5-6%, მანგანუმის ლითონში ამოკრეფა 3-4% და 4-5%-ით შემცირდა ელექტროენერჯის ხარჯი.

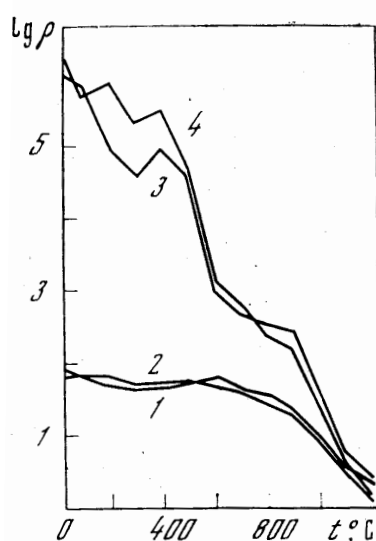
თუ წიღური ნალლობის ქიმიური აქტიურობის ამაღლება შესაძლებელია სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში ტუტე ფლუსების გამოყენებით, ნახშირბადიანი აღმდგენელების რეაქციის უნარიანობის გაზრდა შეიძლება მიღწეულ იქნას კაზმში ახალგაზრდა მცირემეტამორფოზული ქვანახშირების გამოყენებით.

ცნობილია, რომ ასეთ ნახშირებს თავისი ფიზიკური თვისებების გამო (მანგანუმშემცველი წიდებით დასველება, ფორიანობა, შრებს შორის მანძილი და სხვა) აქვთ მაღალი რეაქციის უნარიანობა და რამდენადაც მათი აქროლადები შეიცავენ ნაკლები რაოდენობის მძიმე ფრაქციებს, ადვილად დისტრუქტირებადი არიან. შესაძლებელია მათი, მაგალითად Γ მარკის,



უშუალო პირდაპირი გამოყენება სილიკომანგანუმის მისაღებ კაზმში, როგორც ღია, ასევე დახურულ ღუმელებში [62–64].

ლაბორატორიულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ ასეთი ნახშირების შემცველ სილიკომანგანუმის სადნობ კაზმს 900-1000°C-მდე აქვს მნიშვნელოვნად მაღალი ელექტროწინააღობა, ვიდრე ჩვეულებრივ, კოქსის გამოყენების შემთხვევაში (ნახ. 6). მისი ეს თვისება საშუალებას გვაძლევს სილიკომანგანუმის დნობის დროს გავზარდოთ მუშა ძაბვები და შესაბამისად დნობის ინტენსივობა.



ნახ. 6. სილიკომანგანუმის კაზმის ელექტროწინააღობის ტემპერატურული დამოკიდებულება მასში ნახშირის შემცველობაზე  
 1, 2 – კაზმში მთელი ნახშირბადი შეყვანილია კოქსით;  
 3–4 – კაზმში საჭირო ნახშირბადის 50 და 35% მყარ ნახშირბადზე გადათვლით, შესაბამისად შეყვანილია ნახშირის სახით

სამრეწველო დნობებმა 5მვა სიმძლავრის სამელექტროდიან ღუმელში, გვიჩვენა მეტალურგიული კოქსწვრილას ასეთი ნახშირებით (მყარ ნახშირბადზე გადაანგარიშებით 40%-მდე) შეცვლის მიზანშეწონილობა. ამ დროს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება გაიზარდა 2,0-3,5%, სილიციუმის კი – 4-6%.

საცდელ, სამრეწველო დნობებში გამოყენებული საკაზმე მასალები და მათი შედგენილობა მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი 3. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა, %

საკაზმე მასალები	<i>Mn</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i> + <i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>P</i>
მანგანუმის კონცენტრატი	44,3	14,0	3,8	2,0	2,47	1,26	1,8	0,19
კირქვა	–	0,4	53,6	0,67	0,17	–	0,5	–
ტუფის ღორღი	–	75,0	2,85	1,5	12,0	9,7	1,1	0,011
კოქსის ნაცარი	0,8	35,3	4,52	1,6	15,7	2,0	28,1	0,11
ნახშირის ნაცარი	–	38,1	7,32	1,5	29,1		15,5	0,12

კაზმში ნახშირის შემცველობა მერყეობდა შეყვანილი კოქსის (მყარ ნახშირბადაზე გადათვლით) 10-40% ფარგლებში. აქროლადი ნივთიერებების ნახშირბადას და წყალბადას მხედველობაში არ ვღებულობდით. ღუმელის მუშაობის მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ შეინიშნებოდა, იმის გარდა, რომ ელექტროდები იყვნენ სტაბილურად დაბალ მდგომარეობაში, რამაც საშუალება მოგვცა გვემუშავა საღუმელე ტრანსფორმატორის უფრო მაღალი მუშა დაბების პირობებში.

ქვემოთ მოყვანილია 5მვა სიმძლავრის ღუმელის მუშაობის გასაშუალებული შედეგები ჩვეულებრივი (100% კოქსი) და საკვლევი (ნახშირით) კაზმების გამოყენებით:

ფაქტიური სიმძლავრე, კვტ/სთ	2595/2800
მაბვა ტრანს. დაბალ მხარეზე, ვოლტი	100/110
წარმადობა, ტონა/დღე-ღამეში	15,1/16,3
შენადნის შედგენილობა, %	
<i>Mn</i>	73,53/73,80
<i>Si</i>	16,86/17,82
<i>P</i>	0,40/0,38
ამოკრეფა ლითონში, %	
<i>Mn</i>	74,5/78,5
<i>Si</i>	39,6/44,2
ხვედრითი ხარჯი, კვ/ტ	
მანგანუმის კონცენტრატი	2200/2100

ნახშირბადი (მყარი)	468/465
ელექტროენერჯია	4200/4308

შენიშვნა: მრიცხველში – ჩვეულებრივი კოქსიანი კაზმი;  
მნიშვნელში – საცდელი, ნახშირიანი კაზმი.

მოყვანილი მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ კაზმში ნახშირის შეყვანამ საშუალება მოგვცა გაგვეზარდა ტრანსფორმატორის მუშა ძაბვა, შესაბამისად ღუმელის ფაქტიური სიმძლავრე და წარმადობა. გაიზარდა მანგანუმის და სილიციუმის ამოკრეფა შენადნში და შემცირდა მანგანუმშემცველი ნედლეულის \_ კონცენტრატის ხარჯი.

ამავე დროს შეინიშნებოდა შენადნში ფოსფორის შემცველობის კლება, რაც დაკავშირებულია ნედლეულის ხარჯის შემცირებასთან და, მაღალი ალბათობით, ფოსფორის უფრო ინტენსიური აორთქლებით აიროვან ფაზასთან ერთად.

მყარი ნახშირბადის უმნიშვნელო კლება – შენადნის ერთ ბაზურ ტონაზე, გამოწვეულია მანგანუმის მაღალი ოქსიდების ურთიერთქმედებით ნახშირის აქროლადების ნახშირბადთან, და არა მყარ ნახშირბადთან.

გამოშვების დროს შეიმჩნეოდა აგრეთვე წიდის ტემპერატურის გარკვეული მატება და მისი თხევადდენადობის გაზრდა, რამაც საშუალება მოგვცა კაზმიდან ამოგვეღო კირქვა, რომელიც ჩვეულებრივი (კოქსიანი) კაზმის დნობის დროს გამოიყენებოდა, როგორც წიდის გამათხევადებელი.

ამასთან ერთად კაზმში ნახშირის შეყვანა იწვევს ელექტროენერჯიის ხვედრითი ხარჯის უმნიშვნელო გაზრდას, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ნახშირის წილი მყარ ნახშირბადზე გადათვლით აჭარბებს 20%. ამის ახსნა საჭიროებს კიდევ დამატებით კვლევებს, მაგრამ სავარაუდოდ, ენერჯიის ხარჯის მატება დაკავშირებულია, ერთის მხრივ, მანგანუმის და განსაკუთრებით კი – სილიციუმის ამოკრეფის გაზრდასთან, მეორეს მხრივ \_ ნახშირების პიროლიზი, რომლებსაც ისინი ღუმელში განიცდიან, მოითხოვს სითბოს დამატებით დანახარჯებს.

როგორც გამოთვლებმა გვიჩვენეს, მიუხედავად ელექტროენერჯის ხარჯის მცირე რაოდენობით გაზრდისა, კოქსის ნახშირით შეცვლა ეკონომიკურად ხელსაყრელია. ასეთი ცვლილების ორგანიზება არ მოითხოვს დამატებით კაპიტალურ დანახარჯებს და საშუალებას გვაძლევს დავზოგოთ შემოტანილი, დეფიციტური და ძვირადღირებული კოქსი.

ამრიგად, წიდის და ნახშირბადიანი აღმდგენელის ფიზიკო-ქიმიური თვისებების გაუმჯობესება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მანგანუმის და სილიციუმის სასრგებლო გამოყენება და მნიშვნელოვანი კაპიტალური დანახარჯების გარეშე შევამციროთ მანგანუმის ნედლეულის და დეფიციტური კოქსის ხარჯი.

#### **2.4. ალუმოსილიკატების გავლენა დნობის ძირითად მაჩვენებლებზე**

მძლავრ და საშუალო სიმძლავრის ელექტროლუმელებში სასაქონლო სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ფიზიკო-ქიმიური ანალიზი და წარმოების გამოცდილება მოწმობს იმაზე, რომ ჯერ კიდევ დიდია ლუმელების წარმადობის გაზრდის, შენადნობის ხარისხის გაუმჯობესების და წარმოების ეფექტურობის ამაღლების რეზერვი.

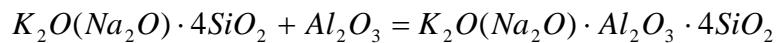
სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ინტენსიფიკაციის ერთ-ერთი მიმართულება ტრადიციულად გამოყენებული საკაზმე მასალების (კირქვა, დოლომიტი, კვარციტი) შეცვლაა კაჟმიწის, თიხამიწისა და ტუტე ლითონების ოქსიდების შემცველი კომპლექსური ნედლეულით. ასეთ ნედლეულს განეკუთვნება ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული სხვადასხვა გენეზისის ტუფები, პეგმატიტები, გრანიტები, სიენიტები, პერლიტები და სხვა. ეს ქანები, თავიანთი ფიზიკური თვისებებით აკმაყოფილებს ელექტროლუმელებში ფეროშენადნობების გამოსადნობად გამოყენებულ საკაზმე მასალებზე წაყენებულ მოთხოვნებს.

გამოკვლეულია, როგორ მოქმედებს კაზმში სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე კირქვისა და კვარციტის ალუმოსილიკატებით შეცვლა.

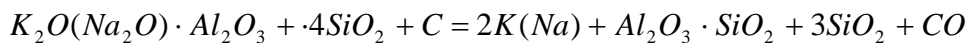
ცნობილია, რომ სხვადასხვა კაზიმებში ტუტე ლითონების ოქსიდებისა და მარილების დამატება მნიშვნელოვნად აჩქარებს ლითონების ნახშირბადით აღდგენის პროცესს მათი ოქსიდებიდან.

სილიკომანგანუმისა და ლითონური მანგანუმის გამოსადნობ კაზიმებში პეგმატიტის წარმატებით გამოყენების მაგალითმა აჩვენა, რომ მიზანშეწონილია გაგრძელდეს კვლევები სხვა უფრო პერსპექტიული, ხელმისაწვდომი და არადეფიციტური ბუნებრივი მინერალების მოძიებისა, რომლებიც ალუმოსილიკატებს შეიცავს.

მადანაღმდგენ ღუმელებში ტუტეების ქცევის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ისინი, თიხამიწის თანაარსებობის პირობებში, ძირითადად გადადის წიდაში და ამიტომ მათი აღდგენა, აირად ფაზაში გადასვლა და რეგენერაცია გაძნელებულია. ეს იმით აიხსნება, რომ ტუტე ლითონების სილიკატებს უნარი აქვს თიხამიწასთან წარმოქმნას ტუტე ალუმოსილიკატები, საიდანაც ტუტეების აღდგენა მოითხოვს შედარებით მაღალ ტემპერატურებს, რაც მათი წიდაში გადასვლის ძირითადი წინაპირობაა [65–67]:



$$\Delta G_T = -52458000 - 50230T$$

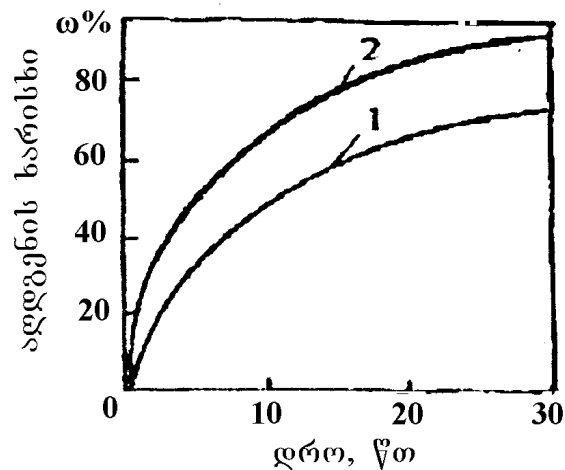


$$\Delta G_T = 691991 - 354T, \quad T_{საწ.} = 1680^\circ C$$

ტუტეშემცველი მასალების ეს თვისება მეტად მნიშვნელოვანია მანგანუმისანი ფეროშენადნობების გამოდნობისათვის გამოყენებული საკაზიმე მასალების შერჩევის თვალსაზრისით, რადგან ამ პირობებში ტუტე ლითონების გადასვლა აირად ფაზაში მინიმალური იქნება. ასეთ მინერალებს განეკუთვნება სხვადასხვა ალუმოსილიკატები, რომლებიც როგორც პეგმატიტები ვულკანური წარმოშობის მთის ქანებია. ხდება მათი ფართო გამოიმუშავება და ძირითადად სამშენებლო წარმოებაში გამოყენება. მათი ნარჩენების (10-70 მმ ფრაქციის ღორღი), რომლის ღირებულება 6-8-

ჯერ დაბალია, ვიდრე პეგმატიტის და 3-4-ჯერ ნაკლები, ვიდრე კვარციტის, გამოყენება ჯერჯერობით ვერ ხდება.

ალუმოსილიკატების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მასში კაჟმიწისა და ტუტე ლითონების ოქსიდების თანაარსებობა, რაც, როგორც ცნობილია, ხელს უწყობს სილიკატური ნაღობების სიბლანტის შემცირებას და მანგანუმისა და სილიციუმის ალდგენის პროცესების ინტენსიფიკაციას (ნახ. 7) [58, 67–68].



ნახ. 7. სილიკომანგანუმის მისაღები კაზმების ალდგენის კინეტიკური მრუდები 1600°C  
 1 – კვარციტის და კირქვის გამოყენებით;  
 2 – ალუმოსილიკატების გამოყენებით

ალუმოსილიკატები, თავისი ქიმიური შედგენილობით, განეკუთვნება მჟავე მინერალებს, რომლებიც შეიცავს, %:  $68 - 76SiO_2$ ;  $7 - 10(Na_2O + K_2O)$ ;  $13 - 17Al_2O_3$ ;  $1 - 4Fe_2O_3$ ;  $2 - 5CaO$ . მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები კი მერყეობს შემდეგ ფარგლებში [69]:

- ხვედრითი მასა (სიმკვრივე) – 2500-3500 კგ/მ<sup>3</sup>;
- მოცულობითი მასა – 1000-1800 კგ/მ<sup>3</sup>;
- ფორიანობა – 30-60%;
- წყლის შთანთქმის უნარი – 20-40%;
- თბოგამტარობის კოეფიციენტი – 0,35-0,45 ჯ/კგ.სთ.გრად;
- დნობის ტემპერატურა – 1200-1450 °C.

საცდელი-სამრეწველო დნობები 5 მვა სიმპლავრის მადანაღმდგენ ელექტრო ღუმელში ოთხ ვარიანტად ჩატარდა.

დნობების თითოეული ვარიანტის ხანგრძლივობა იყო 30 დღე-ღამე. სილიკომანგანუმის გამოდნობა ხდებოდა უწყვეტი პროცესით, დნობის პროდუქტების პერიოდული (2სთ) გამოშვებით. აღნიშნულ ღუმელს აქვს წაჭრილი კონუსისმაგვარი თალი, რომელშიდაც განთავსებულია ღუმელის საკაზმის მომსახურებისათვის განკუთვნილი სამი ფანჯარა და აღჭურვილია სამი 400 მმ დიამეტრის გრაფიტის ელექტროდებით. დნობის ელექტრული რეჟიმი შემდეგია: ძაბვა ელექტროდებზე – 110ვ, დენის ძალა – 19-21კა. დნობის პროცესი ხასიათდება მდგრადი ელექტრული დატვირთვით, კაზმში ელექტროდების ღრმა მდებარეობით და აირების თანაბარი გამოყოფით კაზმის მთელი ზედაპირიდან. დნობის პროდუქტების გამოშვება ხდება ცეცხლგამძლე აგურით (შამოტი) ამოგებულ ციციხეში, საიდანაც ზდმეტი წიდა გადადის დახრილ ღარში და მიედინება საგრანულაციო ორმოში. სილიკომანგანუმის ექსპერიმენტული დნობებისათვის გამოყენებული საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა და ვარიანტების მიხედვით დნობების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილებში 4, 5.

**ცხრილი 4. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა, %**

მასალები	Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P
მანგანუმის კონცენტრატი	42,3	16,0	3,6	2,0	2,57	1,2	0,6	1,7	0,19
კოქსის ნაცარი	0,7	35,0	4,2	1,2	2,5	1,8	1,0	27,7	0,11
კვარციტი	–	96,0	0,3	0,4	1,1	–	–	1,4	–
კირქვა	–	0,4	53,6	0,67	0,17	–	–	0,5	–

დნობების I ვარიანტში სილიკომანგანუმის გამოდნობა ხდებოდა ჩვეულებრივი, საქარხნო კაზმის გამოყენებით. დნობების II, III და IV ვარიანტებში კირქვა კაზმიდან მთლიანად იქნა ამოიღებული და კვარციტი

100%-ით შეიცვალა ალუმოსილიკატებით კვარციტის წონითი რაოდენობის 30, 60 და 100%-ის შესაბამისად.

საცდელი დნობების შედეგები გვიჩვენებს, რომ კაზმში ალუმოსილიკატების რაოდენობის გაზრდით მანგანუმის და სილიციუმის ამოკრეფა შენადნში მატულობს და მაქსიმალურ მნიშვნელობებს აღწევს, როდესაც კაზმიდან ამოღებული კვარციტი და კირქვა 100%-ით შეიცვალა ალუმოსილიკატებით. ამავე დროს, წიდაში  $(Na_2O + K_2O) / SiO_2$  ფარდობა (წილის ტუტე მოდული –  $M_{წიღ.}$ ) 0,102-დან 0,172-მდე თანდათან იზრდება, ჩვეულებრივ კაზმთან შედარებით.

ცხრილი 5. სამრეწველო დნობების ძირითადი მაჩვენებლები

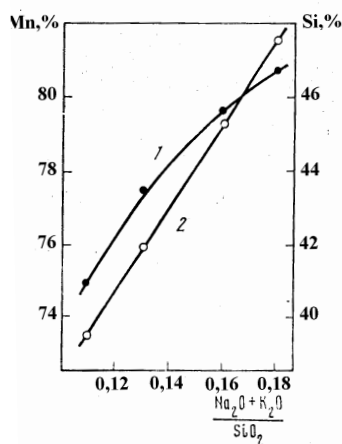
მაჩვენებლები ვარიანტი	I	II	III	IV
ხვედრითი ხარჯი, კგ/ტ				
- მანგანუმის კონცენტრატი	2250	2200	2150	2100
- კვარციტი	606	415	231	–
- კოქსწვრილა	530	515	494	480
- კირქვა	98,3	–	–	–
- ალუმოსილიკატი	–	226	445	690
ელ. ენერგიის ხარჯი, კვტ.სთ/ტ	4350	4217	4152	4048
ლითონის ქიმ. შედგენილობა, %				
<i>Mn</i>	74,2	74,2	74,1	73,8
<i>Si</i>	17,0	17,30	17,81	18,20
<i>P</i>	0,36	0,37	0,36	0,37
შენადნში გადადის, %				
<i>Mn</i>	74,5	76,1	77,8	79,3
<i>Si</i>	40,58	42,30	44,45	46,60
წილის ქიმ. შედგენილობა, %				
<i>MnO</i>	18,6	18,0	17,5	16,3
<i>SiO<sub>2</sub></i>	48,3	46,2	44,3	42,4
<i>CaO</i>	14,8	12,4	12,0	12,1
<i>MgO</i>	5,2	4,6	4,6	5,1
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	7,0	8,45	10,0	10,9
<i>Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O</i>	4,95	5,9	6,8	7,3
წილის ჯერადობა	1,15	1,08	1,00	0,95
წიდაში ოქსიდების ფარდობა				
$(CaO + MgO) / SiO_2$	0,414	0,368	0,419	0,453
$(Na_2O + K_2O) / SiO_2$	0,102	0,128	0,153	0,172
$(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$	0,707	0,692	0,680	0,670



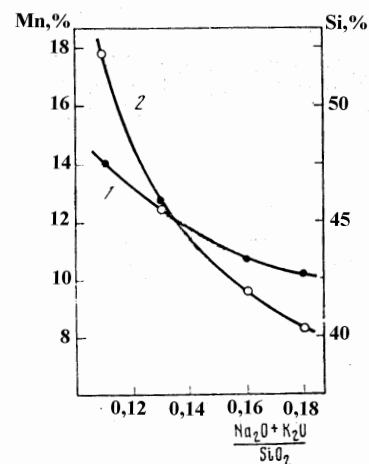
ამ ფარდობაზე დამოკიდებულებით იცვლება შენადნში მანგანუმისა და სილიციუმის ამოკრეფა (ნახ. 8) და მათი წილაში გადასვლის ხარისხი (ნახ. 9).

$M_{წილ.}$  გაზრდით სილიციუმის ამოკრეფა შენადნში იზრდება გამოკვლეული წილების მთელ ინტერვალში. მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში შესამჩნევად იზრდება  $M_{წილ.} = 0,16$  მნიშვნელობამდე, ხოლო შემდეგ უმნიშვნელოდ მატულობს. მანგანუმის ასეთი ქცევა აიხსნება იმით, რომ ალუმოსილიკატებით, კაზმში სილიციუმისა და ტუტე ლითონების ოქსიდების გარდა, შეგვყავს მნიშვნელოვანი რაოდენობის თიხამიწა  $Al_2O_3$ , რომელსაც შეუძლია მანგანუმთან შექმნას უფრო მტკიცე ნაერთები, ვიდრე კაჟმიწასთან  $SiO_2$ . ამ დროს მანგანუმის მონოოქსიდის აქტიურობა ნალღობში მცირდება და, შესაბამისად, იკლებს მანგანუმის აღდგენის ხარისხი.

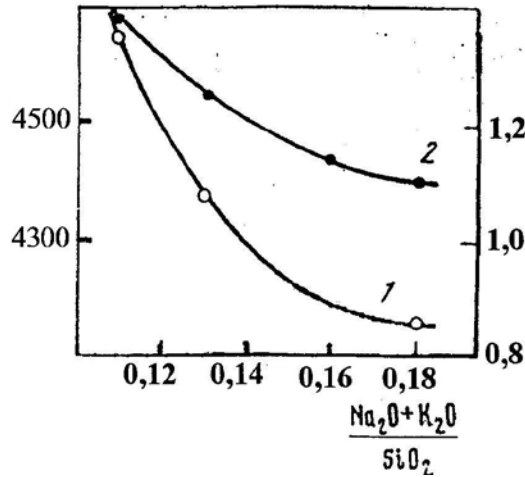
შესაბამისად, სილიკომანგანუმის დნობა კაზმში ალუმოსილიკატების შეყვანით უნდა შეფასდეს არა მისი რაოდენობით, არამედ წილაში კაჟმიწის, თიხამიწის, ტუტე ლითონების ოქსიდების შემცველობით და მათი ფარდობით, რაც კარგად დასტურდება წიდის ჯერადობისა და დახარჯული ელექტროენერგიის ხვედრითი ხარჯის დამოკიდებულებით წიდის ტუტე მოდულთან (ნახ. 10).



ნახ. 8. მანგანუმის (1) და სილიციუმის (2) ამოკრეფის დამოკიდებულება წიდის ტუტე მოდულთან



ნახ. 9. მანგანუმის (1) და სილიციუმის (2) წილაში გადასვლის ხარისხის დამოკიდებულება ტუტე მოდულთან



ნახ. 10. ელექტროენერგიის ხვედრითი ხარჯის (1) და წიდის ჯერადობის (2) დამოკიდებულება წიდის ტუტე მოდულთან

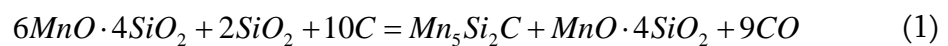
ასე მაგალითად, სილიკომანგანუმის დნობის საუკეთესო ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, საცდელი დნობების მოცემულ პირობებში, მიიღწევა მაშინ, როდესაც წიდა შეიცავს 10-12%  $Al_2O_3$ , 6-7% ( $Na_2O + K_2O$ ) და  $M_{წიღ.} = 0,16 - 0,18$ . მიუხედავად იმისა, რომ წიდის ტუტე მოდულის შემდგომი გაზრდა ხელს უწყობს სილიციუმის ლითონში ამოკრეფის მატებას, ამ დროს უმნიშვნელოდ იზრდება მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება და წიდის ჯერადობისა და ელექტროენერგიის ხვედრითი ხარჯის შემცირება.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტუტე ოქსიდების თიხამიწასთან თანაარსებობის პირობებში წარმოიქმნება ტუტე ალუმოსილიკატები, რომლებიც სილიკომანგანუმის დნობისას მყავე წიდური ნალღობებიდან მნიშვნელოვნად აჩქარებს მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის პროცესს და აუმჯობესებს დნობის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს, რაც დადასტურდა ჩატარებული სამრეწველო გამოკვლევების შედეგად. ასე მაგალითად, ლუმელის წარმადობა გაიზარდა 7%-ით, მანგანუმისა და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენება კი – 4-5 და 5-6%-ით, შესაბამისად. შემცირდა დახარჯული ელექტროენერგიის

ხვედრითი ხარჯი 6-7%, თვითღირებულებამ კი დაიკლო 30-40 ამერიკული დოლარით ერთ ტონა შენადნობზე.

## 2.5. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში ღუმელების მუშაობის ეფექტურობის შეფასება

ცნობილია, რომ ფეროშენადნობების გამოდნობის ტექნოლოგიის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებს წარმოადგენს წამყვანი ელემენტის შენადნობში ამოკრეფის სიდიდე ( $\eta$ ) და მისი ოქსიდის შემცველობა საბოლოო წიდაში. მანგანუმის ფეროშენადნობები იწარმოებიან უწყვეტი ნახშირბადთერმული პროცესით, რომელიც ემყარება მანგანუმშემცველი ნედლეულის ოქსიდების კოქსის ნახშირბადით აღდგენას შემდეგი რეაქციებით (1), რომლის დროსაც



პროცესის ეფექტურობა განისაზღვრება მანგანუმის ამოკრეფით ( $\eta$ ). იგი თავის მხრივ, გამოითვლება მანგანუმის ნედლეულის მიერ შეტანილი მანგანუმის ლითონში გადასვლის ხარისხით:

$$\eta_{Mn} = \frac{Q_{\text{ლით.}}[Mn]}{Q_{Mn\text{ნედლ.}} \langle MnO \rangle \cdot 0,7746} \quad (2)$$

სადაც  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$ ,  $[Mn]$  – შესაბამისად არის მანგანუმის ოქსიდების მასური წილი მანგანუმშემცველ ნედლეულში, წიდაში და მანგანუმის შემცველობა ლითონში;  $Q_{Mn\text{ნედლ.}}$  - არის გადასამუშავებლად მიწოდებული მანგანუმშემცველი ნედლეულის მასა; 0,7746 – მანგანუმზე გადასათვლელი კოეფიციენტი.

ელექტროდნობის რეალურ პირობებში მანგანუმის ამოკრეფის სიღრმე დამოკიდებულია ღუმელის აბაზანაში არსებულ თერმოდინამიკულ პირობებზე, რომელიც პირველ რიგში, განისაზღვრება პროცესის ტემპერატურით და კაზმში აღმდგენელის რაოდენობით, რომელიც ჩვეულებრივად გამოისახება როგორც ფარდობა კოქსში არსებული მყარი

ნახშირბადისა კაზმში მანგანუმის შემცველობასთან –  $C_{\text{მყ}}/Mn$ . მოცემულ ფაქტორებზე დიდ გავლენას ახდენენ გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეული, პირველ რიგში, მასში მანგანუმის შემცველობა, აგრეთვე სილიციუმის ოქსიდის და ფუძე ოქსიდების თანაფარდობა, რაც აუცილებელს ხდის კაზმში სხვადასხვა ფლუსის წარმომქმნელი მასალების დამატებისა. განხილული ფაქტორები ახასიათებენ ტექნოლოგიის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს, რომლებიც საბოლოო ჯამში განსაზღვრავენ მანგანუმის განაწილებას დნობის პროდუქტებს შორის [70–72].

ღუმელების მუშაობის ეფექტურობის და ტექნოლოგიური გადამუშავების სტადიაზე მანგანუმის დანაკარგების განსასაზღვრად შემუშავდა მეთოდიკა, რომელიც დამყარებულია მანგანუმის ბალანსზე. როგორც დახურულ და ჰერმეტიკულ ღუმელებში სილიკომანგანუმის გამოდნობის მატერიალური ბალანსების გამოთვლები გვიჩვენებენ, მანგანუმის დანაკარგები აორთქლებაზე არ აღემატება 0,5-1,0%, ამიტომ ჩვენ დასაშვებად ჩავთვალეთ, რომ პრაქტიკულად გამოდნობის პროცესში მონაწილე მთელი მანგანუმი ნაწილდება ლითონსა და წიდას შორის, ანუ:

$$[\eta_{Mn}] + (\eta_{Mn}) = 1 \quad (3)$$

გამოთვლების პროცესში ვუშვებთ, რომ ნედლეულში და წიდაში მანგანუმის შემცველობა გადათვლილია მანგანუმზე, ხოლო მასების ჯამი მანგანუმისა ლითონში და წიდაში ტოლია მიწოდებული ერთეული მანგანუმთან ნედლეულის მასისა. მაშინ მანგანუმთან ნედლეულიდან ლითონის და წიდის გამოსავალი იქნება:

$$\frac{\langle Mn \rangle [\eta_{Mn}]}{[Mn]} + \frac{\langle Mn \rangle (1 - [\eta_{Mn}])}{(Mn)} = 1 \quad (4)$$

ხოლო მანგანუმთან ნედლეულის ხარჯი ყოველ ერთეულ ლითონზე იქნება:

$$\frac{[Mn]}{\langle Mn \rangle} + \frac{K(Mn)}{\langle Mn \rangle} = \varphi \quad (5)$$

სადაც  $K$  – წიდის ჯერადობაა

(4) და (5) ტოლობებიდან სირთულეს არ წარმოადგენს განვსაზღვროთ თანაფარდობა მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრეფის განსაზღვრისათვის ჩამოსხმის პროცესში დანაკარგების გაუთვალისწინებლად:

$$\eta_{Mn} = \frac{1 - \langle Mn \rangle}{1 - \langle Mn \rangle [Mn]} \quad (6)$$

მიღებული თანაფარდობა მანგანუმისა ლითონში, წიდაში და ნედლეულში საშუალებას გვაძლევს რაოდენობრივად შევაფასოთ მანგანუმის ლითონში ამოკრეფა, ნედლეულის ხარისხზე, ლითონში და წიდაში მანგანუმის მასურ წილზე დამოკიდებულებით. სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 6.

ცხრილი 6. სილიკომანგანუმის დნობის პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები

შენაღობი მაჩვენებლები	[Mn], %	$\eta_{Mn}$ , %	$\eta_{Si}$ , %	K	$C_{ფყ} / Mn$	$SiO_2 / Mn$	$\langle Mn \rangle$ , %	$(Mn)$ , %
სილიკომანგანუმი (0,35-0,5% P)	68-74	79-84	33-42	1,1-1,5	0,36-0,41	1,01-1,05	38-41	11-14

მანგანუმიანი ფეროშენაღობების, კერძოდ სილიკომანგანუმის, გამოდნობის ტექნოლოგიის ანალიზი (6) გამოსახულების გათვალისწინებით, გვიჩვენებს, რომ შენაღობში მანგანუმის შემცველობის 1% (სხვა ელემენტების მასური წილის გაზრდის ხარჯზე, მაგალითად რკინის ან სილიციუმის) შემცირება იწვევს მისი ამოკრეფის გაზრდას საშუალოდ 0,30-0,35%, რაც ეთანადება მონაცემებს. მანგანუმის ამოკრეფაზე, სხვა ფაქტორებთან შედარებით, ყველაზე დიდ გავლენას ახდენს მისი შემცველობა მანგანუმიან ნედლეულში. სილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს ნედლეულში მანგანუმის წილის 1% ( $42 - 30\% \langle Mn \rangle$ ) შემცირება იწვევს მანგანუმის ამოკრეფის შემცირებას 0,59-1,3%, რაც კარგად ეთანადება სამუშაოში მოყვანილ მონაცემებს, რომელშიდაც დიდი რაოდენობის სამრეწველო მონაცემების დამუშავებით მიღებულია აღნიშნული სიდიდის

მნიშვნელობა 0,75-1,75% ფარგლებში. გამოთვლების შედეგები (6) გამოსახულების დახმარებით, ნომოგრამების სახით მოყვანილია ნახაზზე 11, სადაც წიდაში მანგანუმის მასური წილი 9-14% ფარგლებში მერყეობს. ლითონში მანგანუმის შემცველობის ცვლილება, ბუნებრივია, გამოიწვევს მრუდების დახრის შეცვლას, ანუ ნახაზზე მოყვანილი მონაცემები სამართლიანია მხოლოდ ლითონში მანგანუმის შემცველობის მოცემული მნიშვნელობისათვის, რადგანაც გამოთვლების პროცესში ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ვლებულობთ მის ერთადერთ მნიშვნელობას [73, 74].

ტექნოლოგიური პროცესის ეფექტურობა განპირობებულია არა მარტო მანგანუმის ამოკრეფით, რომელიც განისაზღვრება (6) გამოსახულებით, არამედ ელემენტის დანაკარგებით გამოშვებიდან საწყობამდე განვლილ გზაზე. ეს დანაკარგებია ციციხეებში ქერქული ნარჩენების სახით, საჩამოსხმო მანქანებზე გაშხეფებით და სხვა. რაოდენობრივად დანაკარგების განსაზღვრა შესაძლებელია წიდის ჯერადობის ( $K$ ) საშუალებით, რომელიც გამოითვლება წიდის და ლითონის მასათა შეფარდებით. ტექნოლოგიური ჯერადობა, რომელიც (6) გამოსახულებით შეესაბამება ელემენტის ამოკრეფას და (4)-(5) თანაფარდობის გამოყენებით მივიღებთ:

$$K = \frac{[Mn] - \langle Mn \rangle}{\langle Mn \rangle - (Mn)} \quad (7)$$

მოცემული თანაფარდობიდან, წიდის ჯერადობის განსასაზღვრად, შესაძლებელია აგრეთვე მივიღოთ შემდეგი კერძო გამოსახულებები:

$$K = \frac{(1 - \eta_{Mn})[Mn]}{\eta_{Mn}(Mn)} \quad \text{და} \quad K = \frac{[Mn]}{\eta_{Mn}\langle Mn \rangle} - 1 \quad (8)$$

გამოსახულებების (7) და (8) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წიდის ჯერადობა მცირდება მაშინ, როდესაც მცირდება შენადნში მანგანუმის მასური წილი

და იზრდება მანგანუმის ამოკრეფა. შესაბამისად, სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობის შემცირება ბაზურ-დასაშვებ რაოდენობამდე, იწვევს არა მარტო მანგანუმის ამოკრეფის გაზრდას, არამედ საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ მანგანუმის დანაკარგები საბოლოო წილებში. გარდა ამისა, ლითონის და წილის გამოსავალი განისაზღვრება საწყისი მანგანუმიანი ნედლეულის ხარისხით (მასში მანგანუმის შემცველობით) და იქედან მანგანუმის ამოკრეფის სიღრმით. ნედლეულში მანგანუმის შემცველობის გაზრდით წილის ჯერადობა მცირდება. ამრიგად, წილის ჯერადობა წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის ეფექტურობის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს.

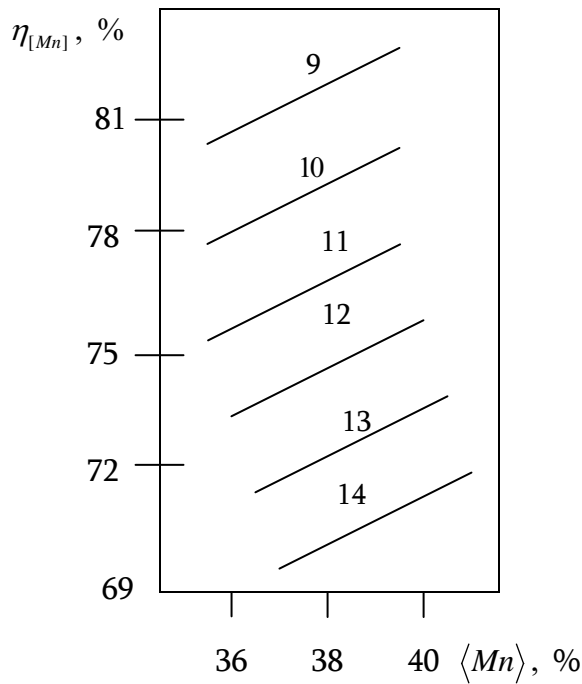
თავის მხრივ, შენადნობში მანგანუმის შემცველობა, ტოლია ლითონში გადასული მანგანუმის ფარდობის მის სრულ რაოდენობასთან და გამოსახება:

$$[Mn] = \frac{\langle Mn \rangle \eta}{1 - [(1 - \eta) \langle Mn \rangle / (Mn)]} \quad (9)$$

მოცემული თანაფარდობა სამართლიანია  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$  და  $\eta$  ერთადერთი მნიშვნელობისათვის და წილის ფაქტიური ჯერადობისთვის  $K$ , რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ წილის მასა მეტი ან ნაკლები უნდა იყოს ლითონის მასაზე. იგი ტოლია:

$$K[Mn]_{\text{გაქ.}} = [Mn]_{(9)} \quad \text{ან} \quad K[Mn]_{(9)} = [Mn]_{\text{გაქ.}}$$

სადაც  $[Mn]_{\text{გაქ.}}$ ,  $[Mn]_{(9)}$  – მანგანუმის ფაქტიური რაოდენობაა შენადნობში და (9) გამოსახულებით მიღებული გამოთვლების შემთხვევაში.



ნახ. 11. სილიკომანგანუმის დნობის ნომოგრამა მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრეფის დამოკიდებულებისა მანგანუმის შემცველ ნედლეულში და საბოლოო წილებში მანგანუმის რაოდენობასთან  $\langle Mn \rangle$  – მანგანუმის შემცველობა ნედლეულში; (9,10.....14) მანგანუმის შემცველობა წიდაში.

მანგანუმის ამოკრეფის ფაქტიური რაოდენობის საპოვნელად აუცილებელია (8)-(9) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$ ,  $[Mn]$  ცნობილი მნიშვნელობისათვის და წილის ფაქტიური ჯერადობის შემთხვევაში. გამოთვლები მიმდინარეობს მანგანუმის ამოკრეფის ისეთი მნიშვნელობის პოვნაში, რომლისთვისაც სამართლიანია მოცემული თანაფარდობები. ამრიგად, ჩვენ მივიღებთ მანგანუმის ლითონში ამოკრეფის ფაქტიურ მნიშვნელობას წილის ჯერადობის, გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეულის ხარისხის და წიდაში მანგანუმის მასური წილის რაოდენობის საფუძველზე.

მანგანუმის ამოკრეფის სიდიდის  $\eta_1$  (6) გამოსახულებით და  $\eta_2$  (8) და (9) თანაფარდობებით შესაძლებელია განისაზღვროს მანგანუმის დანაკარგები:



$$\Pi = (\eta_1 - \eta_2) \cdot 100\% \quad (10)$$

სადაც  $\eta_1$  – არის მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრევა, რომელიც უშაულოდ მიღწეულია ღუმელზე და განსაზღვრავს ლითონის ქიმიურ შედგენილობას;  $\eta_2$  – არის ე.წ. მანგანუმის კომერციული ამოკრევა, რომელიც ითვალისწინებს მანგანუმის დანაკარგებს მისი ღუმელიდან გამოშვებიდან მზა პროდუქციის მიღებამდე (რეალიზაციამდე). აქ გათვალისწინებული არაა სხმულის ფრაქციონირების დროს დანაკარგები.

ტექნოლოგიის ეფექტურობის კოეფიციენტი კი იქნება:

$$\Theta = \eta_1 / \eta_2$$

აუცილებელია შემდეგი შენიშვნის გათვალისწინება. ზემოთ მოყვანილი ყველა გამოთვლები ჩატარებულია ლითონის ერთეულ რაოდენობაზე. მანგანუმის შემცველობაში იგულისხმება მისი მასური წილი პირველად წიდურ ნაღობში, საიდანაც მიმდინარეობს აღდგენის პროცესი. მაგალითად, მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო გამოდნობის შემთხვევაში კაზმი შედგება მხოლოდ მანგანუმის ნედლეულით (მადნების ნარევი) და კოქსწვრილათი და ამიტომაც გამოთვლების დროს მხედველობაში მიიღება ნედლეულში მანგანუმის ფაქტიური შემცველობა. ფერომანგანუმის ფლუსიანი მეთოდით მიღების შემთხვევაში კაზმს დამატებით მიეწოდება კირქვა (სილიციუმის აღდგენის ხარისხის დასათრგუნად და შესაჩერებლად), რასაც მივყავართ მანგანუმის მასური წილის შემცირებამდე პირველად წიდურ ნაღობში, საიდანაც ხდება ელემენტების აღდგენა. ასე მაგალითად, მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ფლუსიანი მეთოდით დნობის დროს კირქვის ხარჯი ერთ ტონა ნედლეულზე შეადგენს 340-370 კილოგრამს წიდის 0,9-1,1 ფუძიანობის შემთხვევაში. ამიტომ (6), (7) და (8) გამოსახულებებში  $\langle MnO \rangle$  მნიშვნელობა უნდა შეიცვალოს 1,15-1,17-ით. შესაბამისად გამოთვლების დროს ნედლეულში მანგანუმის შემცველობა უნდა შემცირდეს 15-17%-ით მის ფაქტიურ სიდიდესთან შედარებით. ფეროსილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს კაზმში დამატებით შეჰყავთ კვარციტი, საიდანაც

წიდაში გადადის მის მიერ შეყვანილი  $SiO_2$ -ის 10% [6-8]. ამიტომაც მოცემულ შემთხვევაში, როგორც გამოთვლები და საბალანსო დნობების შედეგები გვიჩვენებენ, მანგანუმის მასური წილის შემცირების კოეფიციენტი ნედლეულში ტოლი იქნება 1,01 [75-79].

ამრიგად, შემუშავებულ იქნა სილიკომანგანუმის გამოდნობის ეფექტურობის გამოსაანგარიშებელი მეთოდიკა, რომელიც გამოიყენება მადანაღმდგენი ელექტროლუმელების მუშაობის გასაანალიზებლად, ტექნოლოგიური პროცესების მართვისათვის და წარმოების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების პროგნოზირებისათვის. ამ მეთოდიკის დახმარებით შესაძლებელია აგრეთვე სხვა ელემენტების ამოკრეფის გამოანგარიშება ფეროშენადნობების ნახშირბადთერმული მეთოდით მიღების პირობებში.

### 3. ნედლი მასალების მეტალურგიული თვისებების გამოკვლევა

#### 3.1. ელექტრული მახასიათებლების შესწავლა

მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გამოდნობის პროცესში მადანაღმდგენი ლუმელის მუშაობაზე უდიდეს გავლენას ახდენს გამოყენებული საკაზმე მასალების და კაზმების ელექტროწინალობა.

მაღალი ელექტროწინალობა უზრუნველყოფს კაზმში ელექტროდების ღრმა მდებარეობას და მნიშვნელოვნად ამცირებს ლუმელის ზედა ჰორიზონტებში დენების გაფანტვას. იგი საშუალებას იძლევა ელექტროენერჯის დანაკარგების გაზრდის გარეშე გავზარდოთ მუშა ძაბვა, შესაბამისად საღუმელე აგრეგატის სასარგებლო სიმძლავრე [80–81].

ელექტროწინალობის განსაზღვრა საშუალებას იძლევა შევავსოთ საკაზმე მასალების ქცევა დნობის პროცესში და ვმართოთ ტექნოლოგიური პროცესი.

კაზმის საერთო ელექტროწინალობა ძირითადად დამოკიდებულია ნახშირბადიანი აღმდგენელების და მადნის ოქსიდური კომპონენტების წინალობაზე, ასევე ფრაქციულობასა და კაზმში მათ თანაფარდობაზე. აქედან გამომდინარე ნათლად ჩანს, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს მადნების, აღმდგენელების და კაზმების ელექტროწინალობების შესწავლას.

ელექტროწინალობის გამოკვლევები ჩატარდა საქ. მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის მეთოდით, რომელიც საშუალებას იძლევა ავტომატურ რეჟიმში დააფიქსიროს საკვლევი ნიმუშის ელექტროწინალობა შესაბამის ტემპერატურაზე [82].

ხვედრით ელექტროწინალობას ვითვლით შემდეგი ფორმულით:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{\ell} \quad (1)$$

სადაც  $\rho$  – ხვედრითი ელექტროწინალობაა, ომი.მ;

$R$  – ნიმუშის ელექტროწინალობაა, ომი;

$S$  – ნიმუშის ფართობია, მ<sup>2</sup>;

$\ell$  – ელექტროდების კონტაქტებს შორის მოთავსებული ნიმუშის სიმაღლეა, მ.

ელექტროწინალობის გაზომვებს ვატარებდით ყოველ  $50^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე. გამოსაკვლევი მადნების, აღმდგენელების და სხვა კომპონენტების ფრაქციულობა იყო 0-3მმ. მათ წინასწარ ვაბრიკეტებდით ПСУ-10 ჰიდრავლიკურ წნეხზე 19,6 მპა დაწნეხვით. შემდეგ ბრიკეტებს ვაშრობდით  $105^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე მუდმივ წონამდე მიყვანით.

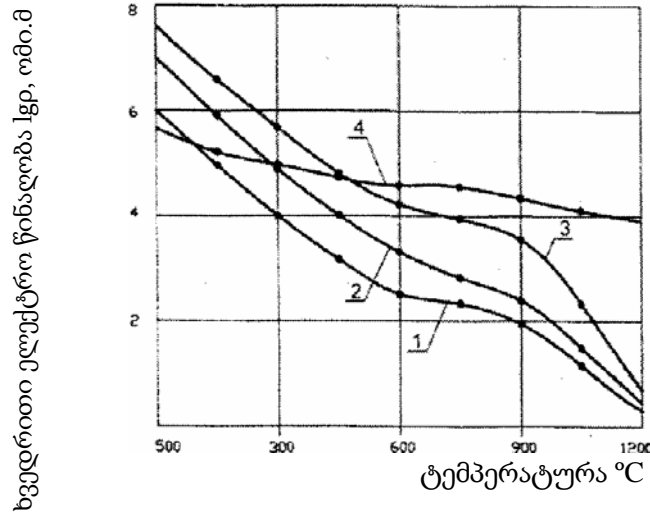
საკვლევი კომპონენტების შედგენილობა მოცემულია ცხრილში 7. ნახაზებზე 12, 13 მოცემულია ელექტროწინალობების ტემპერატურაზე დამოკიდებულება.  $0-200^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურულ ინტერვალში არაა ნაჩვენები გაზომვების მაჩვენებლები, რადგანაც ეს მაჩვენებლები გამოდიოდა ხელსაწყოს შესაძლებლობის ზღვრებიდან ( $R > 10^6$  ომი).

მრუდები ნახაზზე 12 გვიჩვენებს ელექტროწინალობის დამოკიდებულებას მადნის ხარისხზე. მთელ ტემპერატურულ ინტერვალში ყველაზე დაბალი ელექტროწინალობა აქვს I ხარისხის ( $49\% \text{Mn}$ ,  $9,5\% \text{SiO}_2$ ) მანგანუმის კონცენტრატზე დამზადებულ ბრიკეტს (მრუდი 1), ხოლო ყველაზე მაღალი – III ხარისხის კონცენტრატზე დამზადებულ ( $35,2\% \text{Mn}$ ,  $21,8\% \text{SiO}_2$ ) ბრიკეტს (მრუდი 3). I ხარისხის კონცენტრატზე დამზადებული ბრიკეტის შედარებით დაბალი ელექტროწინალობა აიხსნება მასში კარგად გამტარი მინერალის – პიროლუიზიტის ( $\text{MnO}_2$ ) არსებობით. კონცენტრატში მანგანუმის რაოდენობის შემცირება და შესაბამისად კაჟმიწის ( $\text{SiO}_2$ ) რაოდენობის გაზრდა იწვევს ბრიკეტების ელექტროწინალობის გაზრდას [82].

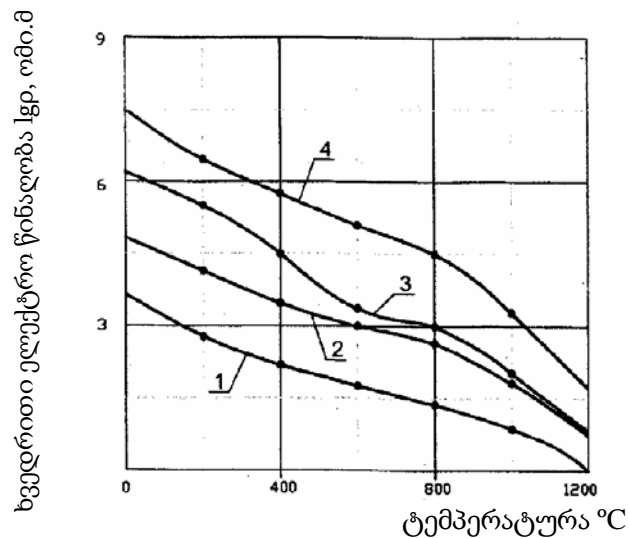
გახურების ტემპერატურის გაზრდით ბრიკეტების ელექტროწინალობა მკვეთრად ეცემა, მაგრამ  $600-900^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურულ ინტერვალში იგი ეცემა შედარებით ნელა, რაც უკავშირდება გარდაქმნებს:  $\beta\text{MnO}_2 \rightarrow \beta\text{Mn}_2\text{O}_3$  და  $\alpha\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow \beta\text{Mn}_3\text{O}_4$ .

ცხრილი 7. გამოსაკვლევი მადნების და სხვა საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა

მასალები	კომპონენტების შემცველობა, %						
	Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P
Iხ. მანგანუმის კონც.	49,0	8,10	4,17	1,1	3,0	2,1	0,18
IIხ. მანგანუმის კონც.	44,01	14,8	5,25	0,95	3,52	2,42	0,18
IIIხ. მანგანუმის კონც.	35,2	21,8	6,42	0,98	4,46	2,47	0,18
კვარციტი	–	95,05	1,10	1,50	1,40	1,0	0,03
კოქსის ნაცარი	–	37,62	4,52	1,69	17,50	28,1	0,11
ნახშირის ნაცარი	3,1	38,1	4,40	0,95	29,9	17,5	0,20



ნახ. 12. სხვადასხვა ხარისხის მადნების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1 – Mn -49%; 2. – Mn -44%; 3. – Mn -35%; 4. – კვარციტი



ნახ. 13. სხვადასხვა შედგენილობის კაზმეების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1. მადანი +100% კოქსი; 2. მადანი +70% კოქსი +30% ნახშირი; 3. მადანი+100% ნახშირი; 4. მადანი + 100% ნახშირი + კვარციტი

900°C ტემპერატურის შემდეგ ყველა ხარისხის ბრიკეტების ელექტროწინალობა შესამჩნევად მცირდება, ხოლო 1200°C ტემპერატურაზე მათი ელექტროწინალობა მინიმუმამდე ეცემა.

მნიშვნელოვანია ბრიკეტის შედგენილობაში ნახშირის გავლენა ელექტროწინალობაზე. ტყიბულის ნახშირების ელექტროწინალობების შესწავლით დადგინდა, რომ 400°C ტემპერატურამდე ნახშირები არიან დიელექტრიკები, ხოლო 400-900°C ტემპერატურებში ელექტროწინალობა მკვეთრად ეცემა, შემდეგ კი შეიმჩნევა წინალობის ნელი ვარდნა.

მადნის ბრიკეტების და ტყიბულის ნახშირის ელექტროწინალობის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ შედარებით დაბალ ტემპერატურებში ნახშირების წინალობა უფრო დაბალია, ვიდრე მადნების ბრიკეტების, ამიტომაც მადანნახშირიანი ბრიკეტების ელექტროწინალობა იმავე ტემპერატურაზე უფრო დაბალია, ვიდრე მადნური ბრიკეტის.

როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენა, ბრიკეტის შემადგენლობაში ნახშირის შეყვანა მნიშვნელოვნად მოქმედებს ელექტროწინალობაზე (ნახ.13). მადანნახშირიანი ბრიკეტების ხვედრითი ელექტროწინალობა შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე, საკმაოდ მაღალია და ნელა იცვლება, მაგრამ უკვე 400-800°C ტემპერატურულ ინტერვალში იგი საკმაოდ სწრაფად მცირდება. მაღალ ტემპერატურებზე 1000-1200°C მათი ელექტროწინალობა უახლოვდება მინიმალურ მაჩვენებელს და ბრიკეტები ფაქტიურად ელექტროგამტარები ხდებიან.

დაბალი ხარისხის მადნებზე დამზადებული მადანნახშირიანი ბრიკეტების მაღალი ელექტროწინალობა აიხსნება იმით, რომ კონცენტრატში მანგანუმის რაოდენობის შემცირება ითხოვს შესაბამისად აღმდგენელის რაოდენობის შემცირებას (31-დან 24%-მდე), რაც საბოლოო ჯამში იწვევს ელექტროწინალობის გაზრდას.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე ის, რომ რამდენადაც კვარციტს აქვს მაღალი ელექტროწინალობა, მისი დამატება კაზმში შესაბამისად იწვევს ელექტროწინალობის გაზრდას.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კაჟბადის ( $SiO_2$ ) შემცველობის გაზრდა მანგანუმის კონცენტრატში იწვევს ხვედრითი ელექტროწინალობის გაზრდას.

მადანნახშირიანი და მონოკაჟმის (კვარციტიანი) ბრიკეტების ელექტროწინალობა უფრო მაღალია, ვიდრე კოქსმადნური ბრიკეტის. ისინი მთელ ტემპერატურულ ინტერვალში ინარჩუნებენ უფრო მაღალ ელექტროწინალობის მაჩვენებელს, ვიდრე კოქსმადნური ბრიკეტები.

საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნახშირების გამოყენება სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაჟმში არის პერსპექტიული მიმართულება დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მახასიათებლების ასამაღლებლად და შესაბამისად თვითღირებულების შესამცირებლად.

მადანაღმდგენი ფეროშენადნობთა ღუმელის მუშაობის რეჟიმის ერთ-ერთი ძირითადი განმსაზღვრელი ფაქტორია ნახშირბადიანი აღმდგენელების თვისებები: რეაქციის უნარი, გრანულომეტრული შედგენილობა და ელექტროწინალობა. აღმდგენელის სწორი შერჩევა უზრუნველყოფს ელექტროდის ღრმა ჩაჯდომას კაჟმში, რაც თავისთავად ამცირებს ღუმელის საკერძეზე თბურ დანაკარგებს. გარდა ამისა, მაღალი ელექტროწინალობის აღმდგენელების გამოყენება უზრუნველყოფს ღუმელის აბაზანაში სიმძლავრის უფრო თანაბარ და სასურველ განაწილებას – იზრდება ელექტრული რკალის სიმძლავრე და მცირდება კაჟმში გამავალი დენების მიერ გამოყოფილი სიმძლავრე. ელექტრული რკალების არსებობა კი როგორც ვიცით, მრავალი ფეროშენადნობისათვის წარმოადგენს აუცილებელ პირობას.

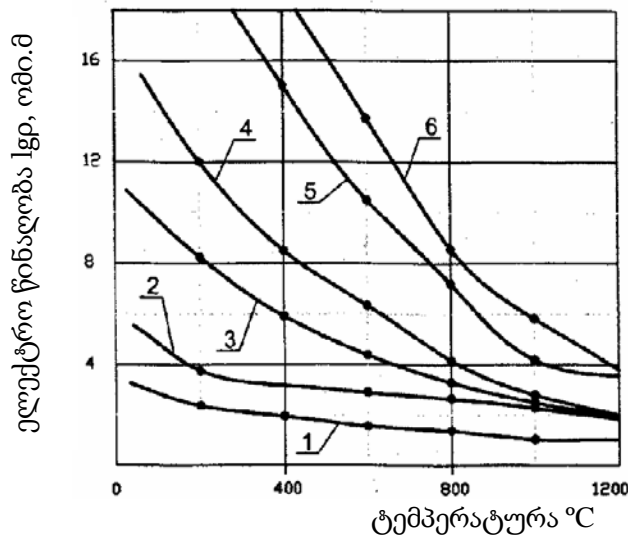
ხშირად გამოდნობილი ფეროშენადნობების ხარისხს განსაზღვრავს აღმდგენელებში მავნე მინარევების არსებობა. ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა რიგი ნახშირბადშემცველი აღმდგენელები, რომელთა ტექნიკური ანალიზი მოცემულია ცხრილში 8, ხოლო ცდების შედეგები ნახაზებზე 14, 15.

მოცემული ნახშირბადშემცველი აღმდგენელების, რომლებიც მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან აქროლადების შემცველებით,

ელექტროწინალობა განისაზღვრებოდა 0-1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში. მისი ფრაქციულობა კი იყო 0-6მმ-ის ფარგლებში.

ცხრილი 8. ნახშირბადიანი აღმდგენელების ტექნიკური ანალიზი, %

აღმდგენელი	სინესტე $W^P$	ნაცარი $A^C$	აქროლად. $V^C$	გოგირდი $S_{საერ}$
კოქსწვრილა	16	11	1,7	1,8
ანტრაციტი	4,5	5,6	2,2	0,31
ნავთობკოქსი	–	0,8	8,1	4,2
ნახევრადკოქსი	17	27	6,4	1,2
ტყვარჩელის ნახშირი	11	15	27	1,3
ტყიბულის ნახშირი	17	32	33	1,1



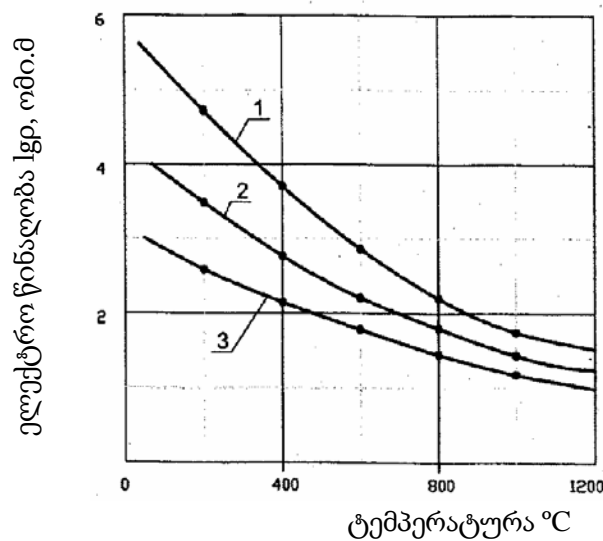
ნახ. 14. ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე და აქროლადი ნივთიერებების რაოდენობაზე: 1 – კოქსწვრილა; 2 – ანტრაციტი; 3 – ნახევრადკოქსი; 4 – ნავთობკოქსი; 5 – ტყვარჩელის ნახშირი; 6 – ტყიბულის ნახშირი.

აღმდგენელებში აქროლადი ნივთიერებების რაოდენობა და მისი შედგენილობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ღუმელის მუშაობაზე. აქროლადების დიდი რაოდენობა, ხდება რა მისი კონდენსაცია საკერძის ზედა ჰორიზონტებში, იწვევს კაჟმის თანაბარი სკლის დარღვევას და მისი აირგანვლადობის გაუარესებას (ხდება მისი შეცხობა).



როგორც ნახაზი 14-დან ჩანს, აქორლადი ნივთიერებების გამოსვლის გაზრდით ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტროწინალობა იზრდება.

ფეროშენადნობთა ღუმელების მუშაობაზე აგრეთვე დიდ გავლენას ახდენს ნახშირბადიანი აღმდგენელის ფრაქციულობა. სხვადასხვა ფრაქციის კოქსის ელექტროწინალობას ვსაზღვრავდით მაღალტემპერატურული ომმეტრით 0-1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში. ცდის შედეგები მოყვანილია ნახაზზე 15. როგორც ცდის შედეგებიდან ჩანს, ყველაზე მაღალი ელექტროწინალობა აქვს 0-5მმ ფრაქციის კოქსს, მაგრამ ასეთი ფრაქციის კოქსის გამოყენება აუარესებს ღუმელის მუშაობას. ამ დროს შესაძლებელია მოხდეს საკერძის შეცხოვა. გარდა ამისა, იგი დიდი რაოდენობით წარიტაცება გამონახობლქვი აირების მეშვეობით, რაც თავისთავად იწვევს კოქსის დიდ დანაკარგებს. 20მმ-ზე მაღალი ფრაქციის კოქსის გამოყენება აუარესებს ელექტროდების კაზმში ჩაჯდომის სიღმრეს და არღვევს ღუმელის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმს.



ნახ. 15. სხვადასხვა ფრაქციის კოქსწვრილას ელექტროწინალობის ცვლილება 0-1200°C ტემპერატურულ ინტერვალში: 1- 0-5მმ; 2 - 5-20მმ; 3 - 20-25მმ.

დაბალჭაშვიან ღუმელებში, ბრძმედისგან განსხვავებით, ოქსიდების არაპირდაპირი აღდგენის პროცესი თითქმის არ მიმდინარეობს. ნახშირბადიანი აღმდგენელი განსაზღვრავს აღდგენის პროცესის არა მარტო სიღრმეს და სიჩქარეს, არამედ იგი არის ღუმელში ენერგიის და

ტემპერატურის განაწილების რეგულატორი. ამიტომ ფეროშენადნობთა წარმოებაში გამოყენებული ნახშირბადიანი აღმდგენელის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მისი ხვედრითი ელექტროწინალობა. ამ პარამეტრის განსაზღვრა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს იმ ტემპერატურებში, როდესაც მიმდინარეობს წამყვანი ელემენტების აღდგენა და იმ პირობებში, რომლებიც მაქსიმალურადაა მიახლოებული ღუმელში მიმდინარე პროცესებს.

ნახშირბადიანი აღმდგენელი ფეროშენადნობთა ღუმელში ფორმირებას უკეთეს კაზმის სტრუქტურას, განსაზღვრავს მის აირგანვლადობას და თანაბარ სვლას. ამიტომ აღმდგენელის ხარისხის განსაზღვრის დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მის სიმსხოს, სიმკვრივეს და სიმტკიცეს.

ნახშირბადიანი აღმდგენელების ხარისხის შეფასება მრავალი წამყვანი ქარხნის და სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების კვლევის საგანია. სამწუხაროდ ნახშირბადშემცველი აღმდგენელების უმნიშვნელოვანესი თვისებების განსაზღვრა არაა უნიფიცირებული და ამიტომაც რიგ შემთხვევებში შეუძლებელია მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების შედარება.

ცნობილია კოქსის შრის ხვედრითი ელექტროწინალობის დამოკიდებულება მის სიმსხოზე და წნევაზე:

$$\lg \rho = K - m \lg P - (2m - 1) \lg d \quad (2)$$

სადაც  $\lg \rho$  – კოქსის ფენის ელექტროწინალობა, ომი.მ;

$P$  – კოქსის ფენაზე განვითარებული წნევა, კგ/სმ<sup>2</sup>;

$d$  – კოქსის ნატეხების ზომა, სმ;

$K, m$  – ყოველი აღმდგენელისათვის განსაზღვრული მუდმივებია, რომლებიც შემდეგ ზღვრებში მერყეობს  $m = 0,1 - 0,8$ ,  
 $k = 0,4 - 0,7$ .

ელექტროფეროშენადნობთა ღუმელში 2 მეტრის სიღრმეზე კაზმის სვეტის წნევა აღწევს 0,20-0,28კგ/სმ<sup>2</sup>. აღმდგენელის ნატეხოვნება სამრეწველო ღუმელებში 0,5-2,5სმ-ის ფარგლებშია.

აღმდგენელის ხვედრითი ელექტროწინალობა დამოკიდებულია არა მარტო ტემპერატურაზე, არამედ გახურების სიჩქარეზედაც. სამრეწველო ღუმელებში, რომლებშიდაც მიიღება სილიციუმისანი ფეროშენადნობები კამზის გახურების სიჩქარე  $500^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურიდან (საკერძის ზედაპირის ტემპერატურა)  $1500^{\circ}\text{C}$ -მდე შეადგენს  $10^{\circ}\text{C}/\text{წუთში}$ .

ლაბორატორიულ პირობებში კოქსის ხვედრითი ელექტროწინალობის განსაზღვრის დროს მეტად მნიშვნელოვანია აღმდგენელის ნატეხების ზომები, აგრეთვე კოქსის ფენის დიამეტრი და სიმაღლე. „უკრნისპეცსტალ“-ში (უკრაინა) ხვედრითი ელექტროწინალობის განსაზღვრისათვის მიღებულია შემდეგი პირობები: გახურების სიჩქარე  $10^{\circ}\text{C}/\text{წუთ}$ , კოქსის ფენის დიამეტრი – 55მმ, სიმაღლე 50-55მმ, ნატეხის ზომები 3-5მმ. კონტაქტებად გამოყენებულია გრაფიტიზირებული ელექტროდები, რომელთა ელექტროწინალობა ცალკე განისაზღვრება. დაწნევა გამოსაკვლევ ნიმუშზე შეადგენს  $0,22\text{კგ}/\text{სმ}^2$ . ელექტროწინალობა იზომება ელექტრონული ხიდის P329 საშუალებით. ტემპერატურა იზომება პლათინა-პლათინაროდუმიის თერმოწყვილით.

სხვა სამეცნიერო ცენტრებში და ინსტიტუტებში მიღებული გაზომვის მეთოდები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

### 3.2. იმპორტული მადნების ელექტრული მახასიათებლები

სხვადასხვა ფრაქციის იმპორტული (სამხრეთ აფრიკა, ავსტრალია) მადნის ელექტროწინალობას ვიკვლევდით ნიმუშის თაბარი გახურების პირობებში  $0,12$  გრად/წმ სიჩქარით და  $4,9 \cdot 10^4$  ნიუტონი/მ<sup>2</sup> დაწნევით. მადნის ფრაქციულობა იყო 0,5-5მმ ზღვრებში. ცდებისათვის ვიყენებდით 30მმ დიამეტრის მაგნეზიტის ტიგელებს. მასალების ფენის სიმაღლე შეადგენდა 14-15მმ.

ნახაზზე 16. მოცემულია სხვადასხვა ფრაქციის მადნების კვლევის შედეგები: 0-5მმ (ნიმუში №1), +5-20მმ (ნიმუში №2), +20-40მმ (ნიმუში №3) და +40მმ (ნიმუში №4).

გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ 1000°C-ზე დაბალ ტემპერატურებში ელექტროწინალობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნიმუშის ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობა. შედარებით დაბალ ტემპერატურებში განმსაზღვრელ ფაქტორს წარმოადგენს მანგანუმის ზეჟანგის ( $MnO_2$ )-ის რაოდენობა. მანგანუმის მინერალებს შორის ყველაზე დაბალი ელექტროწინალობა აქვს პიროლუიზიტს.

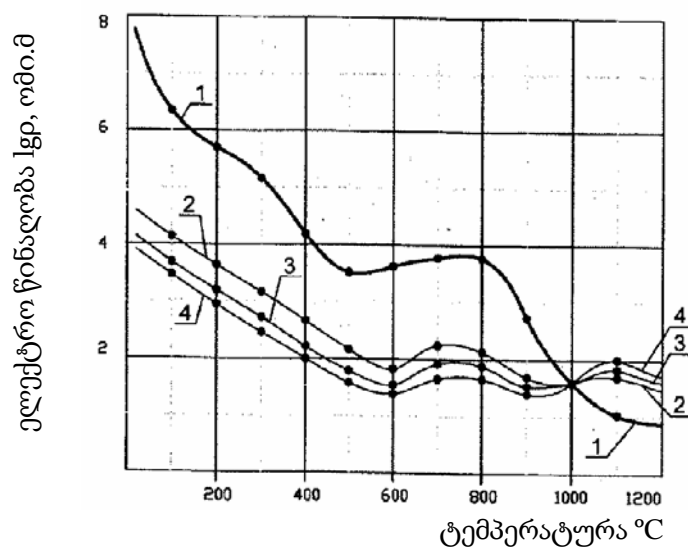
ნიმუში №1 (ნახ. 16, მრუდი 1), რომელიც შეიცავს შედარებით მცირე რაოდენობით პიროლუიზიტს (62%) აქვს ყველაზე მაღალი ელექტროწინალობა 1000°C ტემპერატურამდე. გახურებით წინალობა მკვეთრად ეცემა, ხოლო 625-790°C თანაბრდება და მცირედ იზრდება, რაც ალბათ უკავშირდება  $\beta MnO_2$ -ის,  $\beta Mn_2O_3$ -ის, და  $\beta Mn_2O_3$ -ის  $\beta Mn_3O_4$ -ში გადასვლას, რომლებსაც გააჩნიათ უფრო მაღალი ელექტროწინალობა. 1000°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე ნიმუშის ელექტროწინალობისა შემცირება, რამდენადმე ნელდება, რაც გამოწვეულია  $\beta Mn_2O_3$ -ის  $\beta Mn_3O_4$ -ში გადასვლით.

ნიმუში №2 (მრუდი 2) შეიცავს 73,5% პიროლუიზიტს და 46,4% მანგანუმს. მისი ელექტროწინალობა დაბალ ტემპერატურებში საგრძნობლად დაბალია, ვიდრე №1 ნიმუშის წინალობა. უფრო დაბალი ელექტროწინალობა აქვს №3 ნიმუშს (მრუდი 3), რომელიც შეიცავს 77,2% პიროლუიზიტს და 51,4% მანგანუმს. გახურებით №2 და №3 ნიმუშების წინალობა იცვლება ერთნაირად: თავიდან, 600°C ტემპერატურამდე მკვეთრად ეცემა, შემდეგ 760°C ტემპერატურამდე  $\beta MnO_2$ -ის  $\beta Mn_2O_3$ -ში გადასვლის გამო ელექტროწინალობა იზრდება. შემდეგ ნიმუშების წინალობები მცირდება, ხოლო 870-930°C კვლავ იზრდება, რაც გამოწვეულია  $\alpha Mn_2O_3$ -ის  $\beta Mn_3O_4$ -ში გადასვლით. შემდგომი გახურებით მათი წინალობები ნელ-ნელა ეცემა.

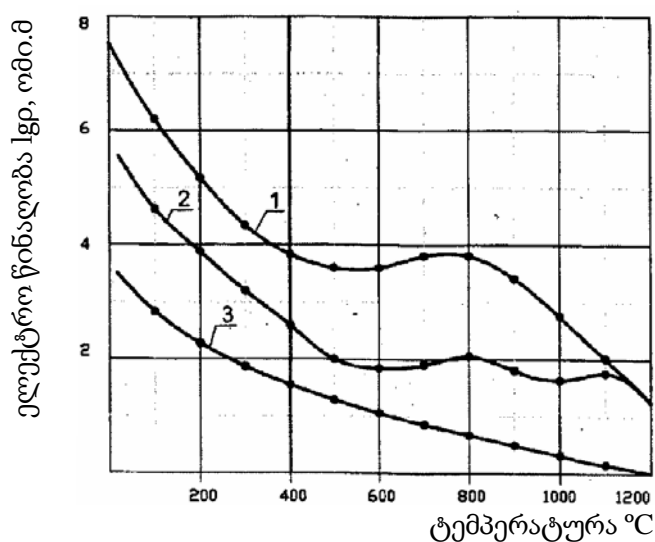
1000°C დაბალ ტემპერატურებში ყველაზე მცირე წინალობა აქვს ნიმუშს №4 (მრუდი 4), რომელიც შეიცავს ყველაზე დიდი რაოდენობით – 80,07% პიროლუიზიტს და 52,72% მანგანუმს. გახურების შედეგად წინალობის

ცვლილების ხასიათი ისეთივეა, როგორც სხვა ნიმუშების. 1000°C-ზე მაღალ ტემპერატურებში ამ ნიმუშს აქვს ყველაზე მაღალი ელექტროწინალობა.

სამხრეთ აფრიკის და ავსტრალიის გასაშუალოებული მადნების ელექტროწინალობის მრუდები მოცემულია ნახაზზე 17. იქვე შესადარებლად მოცემულია ჭიათურის I ხარისხის კონცენტრატის 57,7%  $MnO_2$  (48,5%  $Mn$ ) ელექტროწინალობის მრუდი (მრუდი 1).



ნახ. 16. სხვადასხვა ფრაქციის სამხრეთ აფრიკის მადნების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1 – 0-5მმ; 2 – 5-20მმ; 3 – 20-40მმ; 4 – +40მმ.



ნახ. 17. ჭიათურის I ხარისხის (1) სამხრეთ აფრიკის (2) და ავსტრალიის (3) მადნების ელექტროწინალობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

სამხრეთ აფრიკის კონცენტრატი, რომელიც შეიცავს 75%  $MnO_2$  (51,2%  $Mn$ ), 1050°C ტემპერატურამდე აქვს უფრო დაბალი ელექტროწინალობა, ვიდრე ჭიათურის I ხარისხის კონცენტრატს. ამ ტემპერატურის შემდეგ მათი ელექტროწინალობები თითქმის ერთნაირია.

ოთახის ტემპერატურაზე გაბონის კონცენტრატის ელექტროწინალობა ორი ერთეულით დაბალია, ვიდრე ჭიათურის Ib. კონცენტრატის, შესაბამისად მათი  $\rho$  შეადგენს  $1,8 \cdot 10^5$  და  $2 \cdot 10^7$  ომი.სმ. გახურებით სამხრეთ აფრიკის კონცენტრატის წინალობა იცვლება სინჯი 2 და 3 ანალოგიურად. 600°C მისი წინალობა ტოლია 31 ომი.სმ (აღნიშნულ ტემპერატურაზე ჭიათურის Is. კონცენტრატის წინალობა – 325 ომისმ) 1000°C ტემპერატურაზე სამხრეთ აფრიკის კონცენტრატის წინალობა შეადგენს 33 ომი.სმ (ჭიათურის მადნისა კი – 80 ომი.სმ). 1200°C ტემპერატურაზე კონცენტრატების წინალობები ერთნაირია – 2 ომი.სმ. ნახაზზე 17, შესადარებლად მოყვანილია ავსტრალიის მადნის ელექტროწინალობა. იგი შეიცავს 48%  $Mn$  და 6%  $Fe$ . როგორც ვხედავთ მისი ელექტროწინალობა გაცილებით დაბალია ჭიათურის და სამხრეთ აფრიკის იგივე ხარისხის მადნების წინალობაზე, რაც გამოწვეულია მასში გაზრდილი რაოდენობის რკინის შემცველობით.

ამრიგად, ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ მაღალ ტემპერატურებში სამხრეთ აფრიკის კონცენტრატის ელექტროწინალობის გასაზრდელად აუცილებელია მადანს მოვამოროთ წვრილი (-5მმ) ფრაქცია, რომელიც შემდგომში შეიძლება დაბრიკეტდეს ან გაუკეთდეს აგლომერაცია. ამ ღონისძიებით ამაღლება კაზმის აირგანვლადობა, რაც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ღუმელის მუშაობის რეჟიმს. გარდა ამისა, აუცილებელია მადნის მსხვილი ნატეხების დამსხვრევა, რაც ასევე გაზრდის კონცენტრატის ელექტროწინალობას და შესაბამისად შეამსუბუქებს ღუმელის აბაზანაში აღდგენითი პროცესების მიმდინარეობას.

## 4. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის ოპტიმიზაცია სხვადასხვა ნახშირბადშემცველი აღმდგენელების გამოყენებით

### 4.1. ფეროშენადნობების გამოსადნობად გამოყენებული აღმდგენელები

ნახშირბადთერმული მეთოდით ელექტროფეროშენადნობის გამოდნობის ეფექტიანობა ბევრადაა დამოკიდებული გამოყენებული მყარი ნახშირბადიანი აღმდგენლის ხარისხზე.

მყარი ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტროფეროშენადნობა წარმოებაში გამოყენების მიზნით მისი მეტალურგიული თვისებების შეფასებისას სხვადასხვა ავტორები ასახელებენ მაჩვენებელთა მრავალ ფაქტორს, რომელთაგან აღსანიშნავია სამი ძირითადი მაჩვენებელი: მექანიკური სიმტკიცე, თერმული მდგრადობა და სიმსხო [83].

ნახშირბადიანი აღმდგენლის მექანიკურმა სიმტკიცემ უნდა გამორიცხოს მათი დამსხვრევა (დაშლა) გადატვირთვისას და ტრანსპორტირების დროს უზრუნველყოს მათი დამსხვრევისას აუცილებელ სიმსხომდე მინიმალური დანაკარგები, კერძოდ მტვრის და 5მმ–ზე ნაკლები სიმსხოს სახით. ამ მიზნის მისაღწევად რეკომენდირებულია სტრუქტურული სიმტკიცის მაჩვენებლის გამოყენება, რომელიც სხვადასხვა მონაცემებით შეიძლება იმყოფებოდეს 45–68%-ის ფარგლებში ან განისაზღვროს სიმტკიცე ჩამოგდების სხვა მეთოდით (ბეტონის იატაკი, ფოლადის ფილა და სხვა) 5, 10, 25მმ სიმსხოს გამოსავლის შესაბამისად.

ლიტერატურული მონაცემებიდან ცნობილია, რომ მექანიკური სიმტკიცის განსაზღვრა სხვადასხვა კონსტრუქციის დოლებში ვერ იძლევა სასურველ ეფექტს გამოსაკვლევი მასალის წვრილ ფრაქციულობის გამო, ამიტომ სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ ხეხვაზე.

რაც შეეხება ნახშირბადიანი აღმდგენის თერმულ სიმტკიცეს, მკვლევარები თვლიან, რომ ისინი უნდა უძლებდნენ თბურ დარტყმას ღუმელში ჩატვირთვისას და არ იშლებოდეს გადნობამდე.

მყარი ნახშირბადიანი აღმდგენელის სიმსხო ფეროშენადნობებისათვის უნდა იყოს 25–5მმ ფარგლებში. დასაშვებია ზედა ზღვარის უმნიშვნელო ცვლილება, რომელიც დამოკიდებულია ამა თუ იმ გამოსადნობი ლითონის გამოდნობის სპეციფიკაზე.

ნახშირბადიანი აღმდგენელების ფიზიკო-ქიმიური თვისებების მეტალურგიული შეფასება გამოიხატება: ხვედრით ელექტროწინალობაზე, რეაქციის უნარზე, სიმკვრივეზე, ფორიანობაზე და სინესტეზე, აქროლადების შემცველობაზე, ნაცრიანობაზე და ნარევის შედგენილობაზე.

მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ჩამოთვლილი მაჩვენებლებიდან გამოვყოთ უკანასკნელი ოთხი მახასიათებელი, რომლებიც თავისი არსით წარმოადგენს აღმდგენელის ტექნიკურ ანალიზს და არის სრულიად საკმარისი აღმდგენელის დასახასიათებლად.

თავის მხრივ, გრაფიტირების უნარი და ფორიანობა მჭიდროდ უკავშირდება ნახშირბადიანი აღმდგენელის რეაქციისუნარიანობას, ხოლო ელექტროწინალობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული აღმდგენელის ნაცრიანობაზე [84].

ლიტერატურული მონაცემების ანალიზის და ელექტროფეროშენადნობებთა წარმოების პრაქტიკის გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ ნახშირბადიანი აღმდგენელისათვის წაყენებული მოთხოვნები:

- მაღალი რეაქციის უნარიანობა 1მლ/(გ.წმ)-ზე მეტი  $CO_2$ –თი.
- მაღალი ელექტროწინალობა 25000 ომი.მმ<sup>2</sup>/მ-ზე მეტი .
- ფრაქციულობა (5–25მმ).
- სიმტკიცე (45–68%).



- შესაძლებელია მაღალნაცარშემცველი (15%-ზე მეტი) აღმდგენელის გამოყენება.

ამგვარად, ნახშირბადიანი აღმდგენელის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებელს, ელექტროფეროშენადნობების წარმოებაში გამოსაყენებლად წარმოადგენს მისი რეაქციის უნარიანობა, ელექტროწინაღობა, განსაზღვრული გრანულომეტრული შედგენილობა და შესაბამისი სიმტკიცე, რაც უზრუნველყოფს ნახშირბადიანი აღმდგენელის მიერ ღუმელში ელექტროთერმული პროცესის ოპტიმალურ მიმდინარეობას.

ფეროშენადნობთა წარმოების პროცესში გამოიყენება მრავალგვარი ნახშირბადიანი აღმდგენლები: კოქსწვრილა, დაყალიბებული კოქსი, ნახევრადკოქსი, ხის ნახშირი, ანტრაციტი, ქვანახშირი, ნავთობის კოქსი, ტორფის კოქსი, ნახერხი და სხვ. ყველა ეს მასალები თავისი თვისებებით ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან (ცხრილი 9).

**კოქსწვრილა** - არის ქვანახშირებიდან მეტალურგიული კოქსის წარმოების პროცესში წარმოქმნილი თანმდევი პროდუქტი. იგი არის ყველაზე გავრცელებული და იაფი აღმდგენელი. იგი გამოიყენება ყველა პროცესებში, სადაც დასაშვებია მაღალნაცრიანი აღმდგენლის გამოყენება (მისი ნაცრიანობა 10-12%). კოქსწვრილას ხარისხი, მისი ელექტროწინაღობა, ფორიანობა, ქიმიური აქტივობა ძალიან იცვლება ქვანახშირის ხარისხის და დაკოქსების რეჟიმთან დამოკიდებულებით. იგი შეიცავს დიდი რაოდენობით წვრილ ფრაქციას (-5 მმ) რაც აუცილებლად უნდა გამოიცრას, რომელსაც შემდგომ ვიყენებთ კომპლექსური ბრიკეტების მისაღებად.

**ნახევრადკოქსი** - მიიღება არაკოქსვადი გრძელაღიანი ნახშირებიდან და იგი უკეთესი აღმდგენელია ვიდრე კოქსწვრილა. მისი ხვედრითი ელექტროწინაღობა შედარებით დაბალ ტემპერატურებში, თითქმის ორჯერ მეტია ვიდრე სხვა სახის კოქსებისა. მაგრამ გახურების კვალობაზე მისი წინაღობა მკვეთრად ეცემა და ჩვეულებრივი ხარისხის კოქსწვრილას წინაღობას უტოლდება. ქიმიური აქტივობა კი, კოქსწვრილასთან შედარებით მას უფრო მაღალი აქვს.

**დაყალიბებული კოქსი.** კოქსწვრილა და სხვა სახის კოქსები შედგენილობის და თვისებების მიხედვით საკმაოდ არაერთგვაროვანია და შეიცავენ დიდი რაოდენობით წვრილ ფრაქციას. ამიტომ ღუმელის სტაბილური მუშაობისათვის სასურველია გვექონდეს შედგენილობით და გაბარიტული ზომებით ერთგვაროვანი მასალები. ასეთ მასალას წარმოადგენს წინასწარ ფორმამიცემული (ბურთულა, დისკო და სხვა) კოქსი. იგი შეიცავს მცირე რაოდენობის წვრილ ფრაქციას და გამოირჩევა მაღალი ელექტროწინალობით.

**ცხრილი 9. ნახშირბადშემცველი აღმდგენლების დახასიათება**

	მეტალურ- გიული კოქსი	კოქს- წვრილა	ნახევრად კოქსი	ნავთობის კოქსი	ხის ნახშირი
<b>შემადგენლობა ტექნიკური ანალიზით, %</b>					
ნაცარი, A	10,65	10,80	27,0	0,71	1,45
აქროლადები, V	1,44	1,20	5,60	8,08	14,54
სინესტე, W	0,44	1,30	1,90	0,80	2,10
გოგირდი, S	0,89	1,34	0,91	4,23	0,04
მყარი ნახშირბადი	87,02	86,66	71,49	86,98	83,97
რეაქციის უნარიანობა 1323K, მლ/გ.წმ	0,69	0,92	8,0	0,42	11,1
ხვედრითი ელ. წინალობა, 10 <sup>-2</sup> ომი.მ	0,0121	0,0148	75,0	3·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>6</sup>
სტრუქტურული სიმტკიცე, %	83,0	85,0	63,7	64,3	39,0
სიმკვრივე, 10 <sup>3</sup> კგ/მ <sup>3</sup>					
ჭეშმარიტი	1,82	1,95	1,58	1,41	1,40
მოჩვენებით	0,91	0,93	0,93	1,12	0,40
ფორიანობა, % (სმ <sup>3</sup> /გ)	<u>53,1</u>	<u>49,7</u>	<u>55,0</u>	<u>21,1</u>	<u>63,8</u>
	0,49	0,51	0,67	0,18	1,1
ნაცრის ქიმიური შედგენილობა, %	35,4	36,5	75,7	46,3	1,90
SiO <sub>2</sub>	23,3	22,2	11,2	24,3	3,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,8	3,9	3,0	10,5	41,1
CaO+MgO	33,8	33,7	7,6	14,2	0,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	0,24	0,03	0,75	5,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,13	2,64	1,18	0,13	0,29
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O					

**ანტრაციტი** - მკვრივი დაბალნაცრიანი ნახშირბადშემცველი მასალაა. აქვს დაბალი ელექტროწინალობა და ქიმიური აქტივობა. მაღალ ტემპერატურაზე იმსხვრევა. ფეროშენადნობთა წარმოებაში იგი გამოიყენება სხვა ნახშირბადშემცველ აღმდგენლებთან ერთად.

**ქვანახშირები** - მათ აქვთ მნიშვნელოვნად მაღალი ელექტროწინალობა ვიდრე სხვა აღმდგენლებს, მაგრამ შეიცავენ დიდი რაოდენობით აქროლად და ფისისებრ ნივთიერებებს, რაც ხელს უშლის ღუმელის ნორმალურ მუშაობას. მათ ფეროშენადნობთა წარმოებაში ჯერ ცალკე გამოიყენება ვერ პოვეს.

**ხის ნახშირი** - არის ყველაზე უკეთესი აღმდგენელი. მას აქვს მაღალი ელექტროწინალობა, ფორიანობა, მაღალი ქიმიური აქტივობა და მცირე ნაცრიანობა. მიუხედავად ამ დიდი უპირატესობისა სხვა აღმდგენლებთან შედარებით, იგი შეზღუდულად გამოიყენება მისი სიძვირის გამო. მას მხოლოდ იმ შემთხვევებში იყენებენ, როდესაც საჭიროა დიდი ქიმიური აქტივობის და მცირენაცრიანი აღმდგენელი. მაგალითად, კრისტალური სილიციუმის, სილიკოკალციუმის და 90% ფეროსილიციუმის მისაღებად.

**ნავთობის კოქსი** - ესაა ნავთობის გამოხდის შედეგად დარჩენილი ნარჩენების დაკოქსების პროდუქტი. ისინი მცირე რაოდენობით შეიცავენ ნაცარს და აქროლადებს. აქვს საკმაოდ მაღალი ფორიანობა და ქიმიური აქტივობა. სიძვირის გამო მისი გამოყენება შეზღუდულია. იგი სხვა აღმდგენლებთან ნარევი გამოიყენება, როდესაც საჭიროა მინარევებისაგან სუფთა შენადნობების მიღება (მაგალითად კრისტალური სილიციუმის მისაღებად).

**ხის ნახერხი** – უკანასკნელ ხანებში ზოგ ფეროშენადნობთა ქარხნებში ღუმელის ელექტროწინალობის და აირგანვლადობის გაზრდის მიზნით დაიწყეს მისი გამოყენება. გასაგებია, რომ ასეთი მასალების გამოყენება წარმოებაში არის მეორეხარისხოვანი [83,84].

## 4.2. კოქსწვრილას ანაცერის დანაჭროვნება დაბრიკეტების მეთოდით და მისი გამოყენება სილიკომანგანუმის გამოსადნობად

როგორც ცნობილია, ელექტროფეროშენადნობთა წარმოებაში გამოყენებული ტრადიციული აღმდგენელი კოქსწვრილა (10–25მმ) წარმოადგენს საბრძმედე კოქსის ანაცერს, ხოლო კოქსწვრილას გაცრის შედეგად მიღებული წვრილფრაქციული (0–5მმ) კოქსის გამოყენება შეუძლებელია დანაჭროვნების გარეშე, რომლის წილი საკმარისად სოლიდურია და შეადგენს დაახლოებით (10–12%).

აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით ჩავატარეთ ჯერ ლაბორატორიული, ხოლო შემდეგ სამრეწველო კვლევები. კოქსწვრილას ანაცერის ტექნიკური ანალიზი შემდეგია: ნაცრიანობა  $A_i^d$  – 18%, სინესტე  $W^r$  – 10%, აქროლადების გამოსავალი  $V^{daf}$  – 2,4%, გოგირდი  $S_i^d$  – 1,0%, ხოლო ნახშირბადი  $C$  – 78,5%.

როგორც ლაბორატორიული, ასევე სამრეწველო კვლევებში კოქსწვრილას ანაცერის შემკვრელად გამოყენებულ იქნა არაორგანული კომბინირებული მასალა, რომლის რაოდენობას ვცვლიდით 5–დან 10%–მდე. ოპტიმალური შედეგი ხარისხობრივი მაჩვენებლის მიხედვით მოგვცა 5% შემკვრელის შეტანამ. მიღებული ბრიკეტების ხარისხობრივი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 10. ბრიკეტების სიმტკიცის გაზრდის მიზნით, ახლად მიღებულ ბრიკეტებს როგორც ლაბორატორიულს, ასევე სამრეწველოს ვაშრობდით  $150^{\circ}C - 200^{\circ}C$  –ზე 30 წთ–ის განმავლობაში.

როგორც ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული ბრიკეტები თავისი ფიზიკო–ქიმიური და მექანიკური თვისებებით მთლიანად აკმაყოფილებს მიღებულ მასალზე წაყენებულ მოთხოვნებს. ასეთივე შედეგი გვიჩვენა სამრეწველო მასშტაბით ჩატარებულმა კვლევებმაც. კერძოდ, თერმულ დარტყმაზე ბრიკეტები გამოცდილი იქნა ახლად გამოშვებული წიდის ზედაპირზე მოთავსებით, რის შედეგადაც ბრიკეტებმა შეინარჩუნეს თავიანთი ფორმა და სიმტკიცე.

ცხრილი 10. ბრიკეტების ხარისხობრივი მაჩვენებლები

ნიმუშის დასახელება	ტექნიკური ანალიზი				სიმტკიცე			
	$W^r$	$A_t^d$	$V^{daf}$	$S_t^d$	გაჭყლეტაზე (კუმშვა), მპა	ხეხვაზე, % -2 მმ	ჩამოგდებზე, % +5 მმ	რეაქციის უნარი $CO_2$ მლ/გრ.წმ
ლაბორატორიული ბრიკეტი	8,0	19,6	3,65	1,0	18,9	9,5	99,9	1,4
სამრეწველო ბრიკეტი	8,0	19,6	3,65	1,0	18,9	10,0	99,9	1,4

ბრიკეტის თერმული მედეგობა 1100–1200°C +5 მმ – 99,8%;

ბრიკეტის სიმტკიცე თერმულ დარტყმაზე 1100°C–ზე – +5 მმ – 98,1%

სამრეწველო დნობებისათვის კოქსიანი ბრიკეტები დამზადდა ვალცებიან წნეხზე, რომლის წარმადობა არის 5ტ საათში. მიღებულ ბრიკეტებს აქვთ ოვალური ფორმა, რომლის ზომებია 18×10მმ. ახლადმიღებულ ბრიკეტებს ვაშრობდით ავტომატური მოქმედების მრავალსაფეხურიან ლენტურ ტრანსპორტიორზე 30 წუთის განმავლობაში. გამშრალი ბრიკეტები იყრებოდა სპეციალურად მისთვის განსაზღვრულ ხვიშირაში.

ექსპერიმენტული დნობები ჩატარდა ქ. ქუთაისში, ყოფილი საავტომობილო ქარხნის ტერიტორიაზე განთავსებულ შპს „ჯეო ინტერპრაისი“-ს კუთვნილ 3მვა სიმძლავრის მადანაღმდგენელ ღუმელში, რომელიც აღჭურვილია სამი 300 მმ დიამეტრის გრაფიტის ელექტროდებით. საცდელი დნობები მიმდინარეობდა ტრანსფორმატორის ძაბვების მესამე საფეხურზე, რომლის დროსაც ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეზე მუშა ძაბვა იყო 110 ვოლტი, ხოლო დენის ძალა ელექტროდებზე 11 კილო ამპერი. ღუმელიდან ლითონის და წიდის გამოშვება ხდებოდა 2 საათში ერთხელ, როდესაც იხსნებოდა საშუალოდ 3100–3200 კვტ.სთ ელ.ენერგია (110ვ×11კ.ა.×1,73×0,75×2) და საშუალოდ მიიღებოდა 750–800კგ ლითონი. ლითონის და წიდის მიმღები ციცხვიდან წიდა გადაიღვრებოდა სპეციალურ საწიდურებში და ლითონის ზედაპირის წიდისგან კარგად

გასუფთავების შემდეგ ლითონის ჩამოსხმა ხდებოდა სპეციალურ, სწორკუთხა თუჯის აბაზანაში, სადაც ხდებოდა მისი გაცივება, შემდგომ ხდებოდა ლითონის და წიდის სინჯების აღება ცხელ მდგომარეობაში და ისინი საანალიზოდ მიეწოდებოდა საქარხნო ლაბორატორიას.

ექსპერიმენტული დნობები ჩატარებულ იქნა 3 ვარიანტად. დნობების პირველ ვარიანტში გამოყენებული იყო ტრადიციული საქარხნო კაზმი, რომელზედაც ქარხანა მუშაობდა ბოლო თვეების განმავლობაში. დნობების მეორე და მესამე ვარიანტში კაზმის მადნური ნაწილი (მანგანუმის კონცენტრატი, წიდა) და ფლუსი (კირქვა) როგორც ხარისხით, ასევე რაოდენობით არ შეცვლილა. კაზმმა ცვლილება განიცადა მხოლოდ აღმდგენელის ნაწილში. ასე მაგალითად: თუ დნობების I ვარიანტში კაზმის ერთ ულუფას მიეწოდებოდა 210 კგ კოქსწვრილა (აღმდგენელის 100%), II და III ვარიანტებში კაზმში კოქსის ნაცვლად ნაწილობრივ შეყვანილ იქნა კოსქის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტები შესაბამისად 30 და 50%-ის რაოდენობით. საცდელ დნობებში გამოყენებული საკაზმე მასალების თითოეული ულუფის შედგენილობა და რაოდენობა დნობის ვარიანტების მიხედვით მოცემულია ცხრილში 11, ხოლო საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში 12.

**ცხრილი 11. კაზმის ულუფის შედგენილობა დნობის ვარიანტების მიხედვით, კგ**

საკაზმე მასალები	დნობის ვარიანტები		
	I	II	III
	100% კოქსი	70% კოქსი + 30% ბრიკეტი	50% კოქსი + 50% ბრიკეტი
1. მანგანუმის კონცენტრატი	1000	1000	1000
2. წიდა	1500	1500	1500
3. კოქსწვრილა	210	140	100
4. კოქსის ანაცერის ბრიკეტები	–	70	100
5. კირქვა	90	90	90

**ცხრილი 12. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა. %**

საკაზმე მასალები	შედგენილობა, %			
	<i>Mn</i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>C</i>
– მანგანუმის კონცენტრატი	41,0	16,0	7,0	–
– წიდა	21,0	46,5	–	–
– კოქსწვრილა	–	–	10	78,5
– კოქსის ანაცერის ბრიკეტები	–	–	8	75,7

საცდელი, ექსპერიმენტული დნობების პროცესში შეიმჩნეოდა ელექტროდების კაზმში ღრმა ჩაჯდომა, ელექტროდებზე მყარი და სტაბილური ელექტრული დატვირთვების არსებობა, საკერძის მთელს ზედაპირზე კაზმის თანაბარი სვლა და დნობის პროდუქტების ღუმელიდან თავისუფალი გამოსვლა. დნობები მიმდინარეობდა შერჩეული კაზმის ულუფის უმნიშვნელო კორექტირებით.

ექსპერიმენტული დნობების ზოგიერთო ძირითადი ტექნიკური და ტექნოლოგიური მონაცემები დნობის ვარიანტების მიხედვით მოცემულია ცხრილში 13.

**ცხრილი 13. დნობის ძირითადი მახასიათებლები**

მონაცემები	დნობის ვარიანტი		
	1	2	3
დნობების რაოდენობა	36	12	12
დნობების საერთო ხანგრძლივობა, სთ	72	24	24
ლითონის ქიმიური შედგენილობა, %			
<i>Mn</i>	68,0	69,0	68,5
<i>Si</i>	15,0	15,5	15,0
წიდაში <i>Mn</i> , %	15,5	15,0	15,4
საკაზმე მასალების ხარჯი, კგ/ტ			
– მანგანუმის კონცენტრატი	1500	1500	1500
– წიდა	2250	2250	2250
– კოქსწვრილა	315	210	150
– კოქსის ბრიკეტი	–	105	150
– კირქვა	135	135	135
ელ.ენერგიის ხვედრითი ხარჯი კვტ.სთ/ტ	3925	3900	3928
მანგანუმის გადასვლა ლითონში, % მადნიდან	76,5	77,0	76,0

შენიშვნა: წიდაში მანგანუმის მაღალი შემცველობა განპირობებულია იმით, რომ საქარხნო დნობები (1 ვარიანტი, 100% კოქსი) მიმდინარეობდა კოქსის დანაკლისით და რადგანაც შესადარებლად გვინდოდა იდენტური კაზმები (2, 3 ვარიანტები), ამიტომ საცდელ დნობებში არ იქნა დამატებული აღმდგენელები, რამაც დნობის სხვა შედეგებზე ვერ მოახდინა მნიშვნელოვანი გავლენა.

გარეგანი ნიშნებით ღუმელის მუშაობა კოქსიანი ბრიკეტების გამოყენებით არაფრით არ განსხვავდებოდა სუფთა (100%) კოქსზე მომუშავე პროცესისაგან. არ შეინიშნებოდა ბრიკეტების დაშლის პროცესში წარმოქმნილი დამახასიათებელი ნაპერწკლების გამოყოფა. ღუმელიდან დნობის პროდუქტების გამოსავლის დასრულების შემდეგ ციხვის ზედაპირზე, წიდის თავზე მცირე იყო კაზმიდან გამოყოლილი კოქსი და კიდევ უფრო უმნიშვნელო კოქსიანი ბრიკეტები, რომლებსაც შენარჩუნებული ჰქონდათ ფორმა და ზომა. როგორც ჩვენმა დაკვირვებამ გვიჩვენა, კოქსიანი ბრიკეტების გამოყენების შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დნობის შერჩეულ ელექტრულ რეჟიმს, რადგანაც კოქსიანი ბრიკეტების ელექტრო წინალობა უფრო მაღალია, ვიდრე კოქსისა (მასში კოქსის ნაწილაკებს შორის გარდამავალი წინალობების გამო), ამიტომ შესაბამისად იზრდება კაზმის ელექტრო წინალობაც, რაც საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეზე მუშა ძაბვები და აღმდგენელის რაოდენობა. ჩვენს მიერ შერჩეულმა ელექტრულმა რეჟიმმა (110 ვოლტი, 11კ. ამპერი) საშუალება მოგვცა უზრუნველგვეყო კაზმის ნორმალური სვლა და ელექტროდების ღრმა ჩაჟდომა მასში.

ამრიგად, ჩატარებულმა სამრეწველო, ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში კოქსის მასური წილის შეცვლა იგივე რაოდენობის (30–50%) კოქსის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტებით არ იწვევს დნობის ძირითადი ტექნოლოგიური მაჩვენებლების (ღუმელის წარმადობა, საკაზმე მასალების და ელექტრო ენერჯის ხვედრითი ხარჯი, ლითონის ქიმიური შედგენილობა, მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება და სხვა) გაუარესებას. ხოლო თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ კოქსის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტი გაცილებით იაფია ძვირადღირებულ და დეფიციტურ კოქსთან შედარებით, თვალსაჩინო ხდება მისი გამოყენების შედეგად მიღწეული ეკონომიკური ეფექტი.



### 4.3. მაღალნაცრიანი ნახშირების გამოყენება სილიკომანგანუმის წარმოებაში

#### საცდელი სამრეწველო დნობები

2017 წლის სექტემბერ–ოქტომბერში წინასწარი შეთანხმების საფუძველზე ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში შემოტანილი იქნა შ.პ.ს. „საქნახშირი“ (ჯი–აი–ჯი ჯგუფი)–დან 1673,18 ტონა (ფიზ. წონა) ნახშირი, რომლის მიზანი იყო სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში, კაზმში კოქსის ჩანაცვლება ნახშირით.

2017 წლის 21 სექტემბერს დამტკიცდა სამოქმედო პროგრამა და დავიწყეთ ექსპერიმენტის ჩატარება (საცდელი სამუშაოები), კოქსის ნაცვლად ნაწილობრივ ჩავანაცვლეთ ტყიბულის ნახშირი. სამუშაოები დაწყებულ იქნა 1 ოქტომბერს №1 საამქროში. საცდელი სამუშაოები (4 ეტაპი) ჩატარდა №1 საამქროს სამივე ღუმელზე როგორც პროგრამით იყო გათვალისწინებული. ტყიბულის ნახშირის ტექნიკური და საცრული ანალიზი მოცემულია ცხრილში 14.

**ცხრილი 14. ქარხანაში შემოტანილი ტყიბულის ნახშირის ქიმიური და საცრული ანალიზი**

მაჩვენებლები	I პარტია 2017წ. სექტემბერი	II პარტია 2017წ. ოქტომბერი	III პარტია 2017წ. 9-13 ოქტომბერი	IV პარტია 2017წ.16-27 ოქტომბერი
ფიზიკური წონა, ტ	320,57	207,37	199,84	490,46
ტექნიკური ანალიზი, %				
აქროლადი	31,7	31,7	32,2	34,3
ნაცარი	29,9	28,4	24	39,5
გოგირდი	1,2	1,2	1,4	1,26
ნახშირბადი	40,2	39,9	43,8	40,7
შიდა ტენიანობა, %	5,2	4,7	5,6	5,8
სინესტე, %	10,2	7,7	11,2	10,5
ფრაქციული შედგენილობა, %				
+25 მმ	4,6	0,6	2,8	0,6
-25+10 მმ	88,7	93,7	94,3	93,8
-10 მმ	6,7	5,7	2,9	5,6

**შპს „ჯორჯიან მანგანუმი“-ს ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის  
№1 საამქროს მადანაღმდგენი ღუმელის ტექნიკური მახასიათებლებია:**

საამქროში განლაგებულია სამი №№ 2,4 და 6 მართკუთხა  
სამელექტროდიანი ღუმელი, თითოეულის სიმძლავრეა 11150 კვა.

ღუმელის ზომებია:	სიგრძე –	8900 მმ
	სიგანე –	5500 მმ
	სიმაღლე –	3900 მმ

ღუმელის აბაზანა:	სიგრძე –	7400 მმ
	სიგანე –	4000 მმ
	სიღრმე –	2100 მმ

ელექტროდის დიამეტრი – 1000 მმ

ელექტროდის ცენტრებს შორის მანძილი – 2100 მმ

დღეღამური წარმადობა – 38 ტონა (საშუალო)

გამოყენებული სიმძლავრე – 8,0 მეგავატი (საშუალო)

**ტესტირების პროცესში გამოყენებული მანგანუმის შემტანი  
კონცენტრატები და სხვა საკაზმე მასალები:**

ჭიათურის მანგანუმის კონცენტრატი ფრ 0–20 მმ

ჭიათურის კოოპერატივის მანგანუმის მადანი

კოქსი ფრ 10–30მმ (კოლუმბია)

ტყიბულის ნახშირი

კვარციტი

კირქვა

სილიკომანგანუმის ნაბრუნნი

მანგანუმის მტვერის გუნდა

ვიზუალური დაკვირვებით საცდელი სამუშაოებისას ღუმელები  
მუშაობდნენ ნორმალურად, ელექტროდების ჩაჯდომაც კაზმში იყო

დამაკმაყოფილებელი, ღუმელის საკერძე იყო სტაბილური. შეიმჩნეოდა აირების ცალკეული მატება საკერძეზე (IV ეტაპზე გაიზარდა აირგამწმენდზე მიღებული მტვერის რაოდენობა), მაგრამ უარყოფითი მაჩვენებლები არ დაფიქსირებულა.

2017 წლის 1 ოქტომბრიდან 10 ოქტომბრამდე (I ეტაპი) კოქსი ტყიბულის ნახშირით ჩავანაცვლეთ 16,4%-ით (მყარ ნახშირბადზე გადათვლით). 11 ოქტომბრიდან 20 ოქტომბრამდე 19,6%-ით, 21 ოქტომბრიდან 30 ოქტომბრამდე 24,9%-ით და 31 ოქტომბრიდან 9 ნოემბრამდე 29,1%-ით. ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები დნობების ეტაპების მიხედვით მოცემულია ცხრილში 15.

**ცხრილი 15. SiMn-ის წარმოებაში ტყიბულის ქვანახშირის გამოყენება  
საცდელი სამუშაოები №1 საამქრო**

ქვანახშირის (ტყიბული) გამოყენების პერიოდები	განზ -ბა	I ეტაპი	II ეტაპი	III ეტაპი	IV ეტაპი	სულ
		01.10.201– 10.10.2017	11.10.201– 20.10.2017	21.10.201– 30.10.2017	31.10.201– 09.11.2017	01.10.201– 09.11.2017
ქვანახშირის ფრაქციული შედგენილობა	მმ	ფრაქცია 10–25	ფრაქცია 10–25	ფრაქცია 10–25	ფრაქცია 10–25	ფრაქცია 10–25
კალენდარული დრო	დღე– ღამე	30	30	30	30	120
მოცდენა	დღე– ღამე	0.035	0.92	0.63	0.14	1.725
ფაქტიური დრო	დღე– ღამე	29.97	29.08	29.37	29.86	118.28
წარმოება	ტნ	1115.55	1117.15	1129.48	1161.28	4523.46
ღუმელის წარმადობა	ტნ/დ ღე.	37.22	38.42	38.46	38.89	38.24
ელ. ენერგიის ხარჯი	მვტს თ/ტ	5765.18	5618.18	5699.0	5790.38	22872.74
გამოყენებული სიმძლავრე	მვტ	8.02	8.05	8.09	8.08	8.06
Mn-ის ამოღება	%	82.57	82.96	83.13	82.61	82.82
მიღებული მტვერი	ტნ	113	125	127	138	503
სულ Mn-ის ნედლეული	კვ/ტნ	1876.45	1846,92	1850,36	1850,86	1856,07

48%-ზე გადათვლით						
Mn-ის საშ. შემცველობა კაზმში	%	38.34	37,76	37,71	37,48	37,82
კოოპერატივი 35-40%	კგ/ტნ			929,9	997	478,6
კოოპერატივი 40-45%	კგ/ტნ	295.1	310,4	311,8	304,6	305,49
ჭიათურა 0- 20მმ	კგ/ტნ	2054.2	1107,8	1046,2	2065,8	1571,76
სულ ჭიათურა	კგ/ტნ	<b>2349.3</b>	<b>2348.1</b>	<b>2355</b>	<b>2370.4</b>	<b>2355.8</b>
რუსთავის რკინის ხენჯი	კგ/ტნ	125,7	92,6	115	129,6	115,85
წიდის ნაბრუნნი + შუალედ. პროდუქტი	კგ/ტნ	560	589,1	592,1	600,1	585,5
კოქსი (10-30) კოლუმბია	კგ/ტნ	458,1	454,3	416,5	397,6	431,29
მყ. ნახშირბადი კოქსიდან	კგ/ტნ	396,3	392,8	360,1	343,8	372,94
მყ. ნახშირბადი კოქსიდან	%	83,4	80,1	74,8	70,6	77,2
ქვანახშირი	კგ/ტნ	190,6	236	294	347	267,78
მყ. ნახშირბადი ქვანახშირიდან	კგ/ტნ	78,6	97,3	121,2	143,1	110,43
მყ. ნახშირბადი ქვანახშირიდან	%	16,6	19,9	25,2	29,4	22,8
სულ მყარი ნახშირბადი	კგ/ტნ	474,9	490,2	481,4	486,9	483,37
კვარციტი	კგ/ტნ	91,4	112	87,9	87,2	94,54
მტვერი	კგ/ტნ	101	112	112	119	111,08
ელ. ენერგია ტექნოლოგიური	კვტ/ს თ/ტ	5168	5029	5046	4986	5056

დნობების შედეგები მოცემულია ცხრილებში 16, 17.

ცხრილი 16. სილიკომანგანუმის და წიდის საშუალო ქიმიური შედგენილობა

დასახელება	ქიმიური შედგენილობა								
	Mn	Si	SiO <sub>2</sub>	p	C	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	MgO
I ეტაპი									
ლითონი SiMn	74,4	17,0		0,36	1,7			6,2	
წიდა	12,61								
II ეტაპი									
ლითონი SiMn	73,6	17,4		0,39	1,6			6,8	
წიდა	12,71								
III ეტაპი									
ლითონი SiMn	73,8	17,2		0,38	1,6			6,7	
წიდა	12,74								
IV ეტაპი									
ლითონი SiMn	73,4	16,7		0,38	1,8			7,4	
წიდა	12,93								
სულ საშუალო									
ლითონი SiMn	73,8	17,1		0,38	1,7			6,8	
წიდა	12,75								

ცხრილი 17. სილიკომანგანუმის წარმოების საშუალო მაჩვენებლები და მასალების დანახარჯები

დასახელება	განზომილება	რაოდენობა
სილიკომანგანუმის წარმოება დღე/ღამეში	ტონა	38,24
დანახარჯები ერთ ტონა სილიკომანგანუმის წარმოებაზე (საშუალო)		
კოქსი	კგ	431,29
ნახშირი	კგ	267,78
ელექტროენერგია	კვატ.სთ	5056

საცდელი სამუშაოების პერიოდში 1 ოქტომბრიდან 10 ნოემბრამდე ღუმელებს ეწოდებოდა აღმდგენელი, რომელშიც კოქსის და ნახშირის ფარდობითი წილობრივი შემადგენლობა იყო 62/38 (კოქსი 62%-431,29კგ –

ნახშირი 38%–267,78კგ). ამ პერიოდში ღუმელი მუშაობდა ნორმალურად, კერძოდ:

- ელექტროდები კაზმში იჯდა საშუალოზე დაბლა;
- ლითონი და წიდა ღუმელიდან გამოდიოდა შეუფერხებლად;
- წიდაში მანგანუმი იყო სტაბილური 12,75%;
- ლითონი ქიმიურად იყო სტანდარტული;
- ელექტროენერჯის ხარჯი არ გაზრდილა.

საცდელი სამუშაოების დასრულების შემდეგ გაიცა რეკომენდაცია საამქროს ემუშავა პროპორციით (III ეტაპი) მყარ ნახშირბადაზე გადათვლით კოქსი 75% – ნახშირი 25%.

ამრიგად, კოქსი 60% – ნახშირი 40% (ფიზიკური წონით) სილიკომანგანუმის დნობის დროს ტყიბულის ნახშირის ჩანაცვლება მიგვაჩნია მიზანშეწონილად.

#### **4.4. სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობის რეგულირება და ღუმელის წარმადობის გაზრდა ციცხვში ფოლადის ჯართის გამოყენებით**

ამჟამად ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში რკინის შემცველი ნედლეულის უქონლობის გამო წარმოებულ სასაქონლო პროდუქციაში გაზრდილია Mn-ის შემცველობა 75–76%–მდე. არსებული კონტრაქტებით სასაქონლო პროდუქციაში Mn-ის შემცველობა უნდა იყოს 65%–დან – 72%–მდე. ჩვენს მიერ შემოთავაზებულ იქნა ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს ქარხანაში არსებული ჯართის გამოყენებას, რკინის შემცველი ნედლეულის დეფიციტის აღმოფხვრას და კონტრაქტით გათვალისწინებული ქიმიური შემადგენლობის სასაქონლო პროდუქციის მიღებას.

კერძოდ: ღუმელის გამოშვების წინ პირველ ციცხვში ვათავსებთ გარკვეული რაოდენობის ჯართის მასას, რომლის ჩაღობაც ციცხვში

მოხდება ღუმელიდან გამოსული შენადნის ტემპერატურით. ჩამღვალი ჯართის მასის ~95%-ის შერევა მოხდება სასაქონლო პროდუქციასთან პირველ ციხვში, რაც მოგვცემს მიღებული შენადნის რაოდენობის გაზრდას, მანგანუმის და ფოსფორის შემცველობის შემცირებას და რკინის შემცველობის გაზრდას.

გარდა ამისა, რკინის შემცველობის გაზრდა სასაქონლო პროდუქციაში აამაღლებს მის ფიზიკო-მექანიკურ სიმტკიცეს და მისი დამსხვრევისას გარკვეულწილად გაზრდის სასაქონლო პროდუქციის წილს (ანაცერის შემცირების ხარჯზე) 3–4%-ით.

გასათვალისწინებელია, რომ ფოლადის ჯართის ამ მეთოდით (ციხვში ჩაღობა) გამოყენებაზე არ იხარჯება (მანგანუმშემცველი ნედლეული, კოქსი, ნახშირი, კვარციტი, ელექტროენერგია და სხვა) მასალები, რაც იძლევა ასევე საგრძნობ ეკონომიკურ ეფექტს.

#### 4.5. სილიკომანგანუმის დნობის შემუშავებული

##### ტექნოლოგიის ეკონომიკური შეფასება

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული წინადადებების საფუძველზე ჩატარდა საცდელი-სამრეწველო დნობები ქარხნის #1 საამქროს #2 ღუმელზე (79 დნობა) და #4 საამქროს #27 ღუმელზე (1 დნობა). რკინის შემცველ მასალად გამოყენებული იქნა 25 მმ-ნი მრგვალი რკინის (წარმოებისათვის გამოუსადეგარი) ჯართი, რომელსაც ყოველი გამოშვების წინ ვათავსებდით ციხვში 450 კგ-დან 600 კგ-მდე, სასაქონლო პროდუქციის ქიმიური ანალიზებიდან გამომდინარე. საცდელ პერიოდში მიღებული იქნა შემდეგი რაოდენობის და შედგენილობის პროდუქცია:

ტონა	Mn	Si	P	C	Fe
360.580	67.2	16.6	0.31	1.6	13.9

**საცდელმა სამუშაოებმა მოგვცა შემდეგი შედეგები:**

მიღებულია 360,58 ტ. სასაქონლო პროდუქცია, რომელზეც დაიხარჯა 41,89 ტ. ჯართი, საიდანაც ~95%-ი სუფთა წონით გადავიდა ლითონში, ესე იგი 41,89 ტ. x 0,95% = 39,8 ტ. ანუ მივიღეთ მეტობით 39,80 ტონა სასაქონლო პროდუქცია, რომელზეც არ დახარჯულა (მანგანუმშემცველი ნედლეული, კოქსი, ნახშირი, კვარციტი, ელექტროენერგია და სხვა) მასალები. მისი მიღება მოხდა მხოლოდ რკინის ჯართის გამოყენებით ციცხვში. ამჟამად ჯართის ღირებულება არის 200\$, ხოლო 1ტ. ჯართის დამზადების ხარჯი შეადგენს 7,80\$-ს. ქვემოთ მოცემულია დახარჯული ჯართის თვითღირებულება.

1ტ. ჯართის ფასი \$	1ტ. ჯართის დამზადების ფასი \$	სულ 1ტ. დამზადებული ჯართის ფასი \$	სულ დახარჯული ჯართი ტ.	სულ დახარჯული ჯართის ფასი \$
200	7,80	207,8	41,89	<u>8704,7</u>

ამჟამად 1ტ. სასაქონლო პროდუქციის ფასი შეადგენს 1200 \$

1ტ. სასაქონლო პროდუქციის ფასი \$	მეტობით მიღებული სასაქონლო პროდუქცია ტ.	მეტობით მიღებული სასაქონლო პროდუქციის ფასი \$
1200	39,8	<u>47760</u>

გასათვალისწინებელია აგრეთვე, რომ 1200 \$ ღირს მაღალფოსფორიანი სილიკო-მანგანუმი და ჩვენ ფოსფორი შევამცირეთ 0,38%-დან 0,31%-მდე, რაც გარკვეულწილად ფასშიც უნდა აისახოს მეტობით.

რკინის შემცველობის გაზრდამ სასაქონლო პროდუქციაში აამალლა მისი ფიზიკო-მექანიკური სიმტკიცე და მისი დამსხვრევისას გაიზარდა სასაქონლო პროდუქციის წილი ანაცერის შემცირების ხარჯზე 3,85%-ით.

მიღ. სასაქონლო პროდუქცია. ტ	ანაცერის %-ის სხვაობა	ანაცერის %-ის სხვაობით მიღ. სას. პროდ. ტ.	1ტ. სას. პროდ. ფასი \$	სულ ანაცერის %-ის სხვაობით მიღ. სას. პროდ. \$
360,580	3,85	13,88	1200	<u>16656</u>



გამოთვლებით ჩანს, თუ როგორ გააუმჯობესა მეტობით მიღებულმა 39,8 ტ–ნა ლითონმა, №2 ღუმელის ტექნიკურ ეკონომიკური მაჩვენებლები №4 და №6 ღუმელებთან მიმართებაში 1ტ სასაქონლო პროდუქციაზე და მოგვცა ეკონომიური ეფექტი, რომელიც მოცემულია ცხრილში 18.

**ცხრილი 18. ეკონომიკური ეფექტის გაანგარიშება**

დასახელება	განზ.	№2 ღუმელი	№4 და №6 ღუმელი	სხვაობა კგ–ში	ფასი \$ 1ტ–ის	1ტ. სას.პროდ. წარმოებაზე დაზოგილი მასალების ფასი \$	39,8 ტ–ის წარმოებაზე დაზოგილი მასალების ფასი \$
ჭიათ. 0–20 მმ	კგ	2034	2398	364	137,31	49,98	1989,2
კოპე 40–45%	,—,	152	180	28	111,6	3,12	124,18
კოქსი 10–30 მმ	,—,	340	400	60	309,68	18,58	739,48
ნახშირი	,—,	128	150	22	164,69	3,62	144,08
კვარციტი	,—,	78	92	14	53,14	0,74	29,45
ელ. ენერჯის ხარჯი	კვტ/სთ	4720	5398	678	0,01889	12,81	509,84
სულ						<b>88,85 \$</b>	<b>3536,23 \$</b>

**შენიშვნა:** ფასები აღებულია 2017 წლის აპრილის სასაქონლო პროდუქციის თვითღირებულებიდან.

მეტობით მიღებულმა 39,8 ტ–ნა სასაქონლო პროდუქციამ, ანაცერის %-ის შემცირების შედეგად მიღებულმა 13,88 ტ–ნა სასაქონლო პროდუქციამ, საკაზმე მასალების და ელექტროენერჯის დაზოგვამ მოგვცა შემდეგი შედეგები:

ჯართის გადნობით მიღებული სას. პროდ. \$	ანაცერის %-ის სხვაობით მიღ. სას. პროდ. \$	39,8 ტ–ის წარმოებაზე დაზოგილი მასალები \$	დახარჯული ჯართი \$	სუფთა მოგებამ შეადგინა \$
47760	16656	3536,23	8704,7	59247,53

სულ ჯამში მოგებამ შეადგინა 47760 \$ + 16656 \$ + 3536,23 \$ – 8704,7 \$ = **59247,53 \$** ამერიკული დოლარი.

## დასკვნა

1. მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გასაზრდელად, მომხმარებელთან შეთანხმებით, მიზანშეწონილია, რომ გამოდნობილ იქნას სილიკომანგანუმი 65-66% მანგანუმის და 19-20% სილიციუმის შემცველობით, რაც საბოლოო ჯამში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებას ზრდის 7-8%.
2. კაზმში ლითონური მდგენელის არსებობის შემთხვევაში უფრო ადვილდება სასარგებლო ელემენტების განსაკუთრებით კი - სილიციუმის აღდგენა. მანგანუმის აღდგენის მაჩვენებელი წიდების ხარისხთან დამოკიდებულებით ( $Mn$  საერთო წიდაში = 20-25-30%) შესაბამისად მერყეობს 80,5-82,41-84,2%, სილიციუმისა კი - 42,11-45,60-48,61% ფარგლებში.
3. წიდის და ნახშირბადიანი აღმდგენელის ფიზიკო-ქიმიური თვისებების გაუმჯობესება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მანგანუმის და სილიციუმის გამოყენება და შევამციროთ მანგანუმის ნედლეულის და დეფიციტური კოქსის ხარჯი.
4. ალუმოსილიკატების გამოყენება კვარციტების მაგივრად აჩქარებს მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის ხარისხს და აუმჯობესებს დნობის ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. ღუმელის წარმადობა გაიზარდა 7%-ით, მანგანუმის და სილიციუმის ამოკრეფა კი შესაბამისად 4-5 და 5-6%-ით, შემცირდა ელ.ენერგიის ხვედრითი ხარჯი 6-7%-ით, ლითონის თვითღირებულებამ 1 ტონა ლითონზე დაიკლო 30 აშშ დოლარით.
5. შემუშავებულ იქნა სილიკომანგანუმის გამოდნობის ეფექტურობის გამოსაანგარიშებელი მეთოდიკა, რომელიც გამოიყენება მადანაღმდგენი ელექტროლუმელების მუშაობის გასაანალიზებლად, ტექნოლოგიური პროცესების მართვისათვის და წარმოების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების პროგნოზირებისათვის.

6. მაღალნაცრიანი ნახშირების ელექტროწინალობების შესწავლით დადგინდა, რომ  $400^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურამდე ნახშირები არიან დიელექტრიკები, ხოლო  $400-900^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურებში ელექტროწინალობა მკვეთრად ეცემა, შემდეგ კი შეიმჩნევა წინალობის ნელი ვარდნა.
7. დაბალი ხარისხის მადნებზე დამზადებული მადანნახშირიანი ბრიკეტების მაღალი ელექტროწინალობა აიხსნება იმით, რომ კონცენტრატში მანგანუმის რაოდენობის შემცირება ითხოვს შესაბამისად აღმდგენელის რაოდენობის შემცირებას (31-დან 24%-მდე), რაც საბოლოო ჯამში იწვევს ელექტროწინალობის გაზრდას.
8. სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში კოქსის მასური წილის შეცვლა იგივე რაოდენობის (30–50%) კოქსის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტებით არ იწვევს დნობის ძირითადი ტექნოლოგიური მაჩვენებლების (ღუმელის წარმადობა, საკაზმე მასალების და ელექტრო ენერჯის ხვედრითი ხარჯი, ლითონის ქიმიური შედგენილობა, მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება და სხვა) გაუარესებას. ხოლო თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ კოქსის ანაცერზე დამზადებული ბრიკეტი გაცილებით იაფია ძვირადღირებულ და დეფიციტურ კოქსთან შედარებით, თვალსაჩინო ხდება მისი გამოყენების შედეგად მიღწეული ეკონომიკური ეფექტი.
9. სილიკომანგანუმის გამოდნობის ექსპერიმენტულმა დნობებმა აჩვენა, რომ გამოსადნობ კაზმში კოქსის ჩანაცვლება ტყიბულის ნახშირით (მყარ ნახშირბადზე გადათვლით 75:25) არის ოპტიმალური და მათი ფასების გათვალისწინებით მიზანშეწონილი.
10. შემოთავაზებულია ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს ქარხანაში არსებული ჯართის გამოყენებას უშუალოდ საჩამოსხმო ციხვში ჩადნობის გზით, რაც უზრუნველყოფს შენადნის რაოდენობის გაზრდას, ფოსფორის შემცველობის და ელექტროენერჯის ხარჯის შემცირებას. საერთო ეკონომიკურმა ეფექტმა შეადგინა 59247,53 აშშ დოლარი.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Гасик М.И. Электротермия марганца. Киев: Техника, 1979. 167 с.
2. Авалиани Г.А. Марганцевые месторождения Грузии. М.: Наука, 1982, 170с.
3. Добыча, переработка и использование марганцевых руд. В.П. Урванцев, И.И. Остроухов, В.П. Логинов и др. – М.: Недра, 1980. 294с.
4. Небиеридзе Н.И. исследования по совмещению процессов химического обогащения бедных марганцевых руд и отходов марганцевой промышленности и очистке газов от сернистых соединений. В кн: металлургия марганца: тез. докл. Всесоюзного совещания, М., 1975, 38с.
5. Кучер И.Г. К вопросу повышения извлечения марганца при выплавке силикомарганца. В сб.: Комплексное использование сырья и вторичных ресурсов в электрометрии ферросплавов. Днепропетровск, 1982, с. 41-42.
6. Способ дефосфорации марганцевых концентратов /М.И. Гасик, Г.В. Губи, А.Г. Кучер, Г.Д. Ткач – А.с. 514027. Бюл. изобрет; №82.
7. Ifmfi k., Томо., Norro H. – Engineering of mining lorfl, 1970, v. 171, №3, p. 25-27.
8. Перова В.В. Влияние добавки карбонатного флотоконцентрата на спекание чиагурских марганцевых концентратов. – Производство и применение марганцевых ферросплавов. Научно-техн. сб. Тбилиси: Мецниереба, 1968, с. 17-18.
9. Мазмишвили С.М., Хвичия А.Т., Мурадова З.А., Получение силикомарганца из марганцевых флотонцентратов чиагурского месторождения методом моношихты. – марганец. Добыча, обогащение и переработка. Тбилиси, 1977, №4(13), с. 58-71.
10. Разработка технологии спекания марганцевых агломератов из смесей концентратов разных сортов. В.В. Перова, Сигуа Т.И., Джинчарадзе и др. – кн.: металлургия марганца: Тез. докл. П. Всесоюзного совещания, Тбилиси, 1977, с. 116-118.
11. О Технологическом подобии силикомарганцевых печей. В.И. Гусев, В.А. Кравченко, Г.С. Андрюхтн и др. – В сб.: Производство ферросплавов: Новокузнецк, 1980, с. 80-87.

12. Выплавка силикомарганца из необогащенных марганцевых руд. А.П. Александров, Н.М. Деханов и др. – Бюл. НТИ ЦНИИ инф. и тех. – экон. Исслед. Чер. Metallургии: 1981, №22, с. 38-39.
13. Кравченко В.А., Грищенко С.Г., Андрюхин Г.С. Влияние соотношения агломерата и концентрата на воосстановимость силикомарганцевых шихт. – В кн.: Восстановительные процессы в производстве ферросплавов. – М.: Наука, 1977, с. 200-202.
14. Зозуля Р.П., Кучер И.Г., Карманов Э.С. Влияние некоторых факторов на прчностные свойства марганцевого агломерата. – В сб.: Повышение эффективности производства и улучшение качества электроферросплавов: Тез. Докл. III Республиканской научно-техн. Конф. Днепропетровск, 1978, с. 64-66.
15. Ященко А.Г., Чаиченко А.А., Сиваченко В.М. Особенности агломерации концентратов болишетокмакского месторождения. – В ст.: Совершенствование технологии производства сплавов марганца: Тез. докл. Всесоюзного научно-техн. Сопещания. Никополь, 1980, с. 10-11.
16. Сорокин К.Г., Громов М.И. Руднофлюсоугольные марганцевые окатыши для выплавки углеродистого ферромарганца. – В кн.: Теория и практика металлургии марганца. М., 1980, с. 105-112.
17. Исследование и разработка технологии получения предварительно восстановленных офлюсованных окатышей из марганцевых концентратов / А.В. Петров, Л.А. Дрожилов, Н.Н. Бережной и др. – В кн.: Metallургия марганца: Тез. докл. II Всесоюзного совещания, Тбилиси, 1977, с. 110-111.
18. Выплавка силикомарганца из рудных брикетов в печи мощностью 16.5 Мва / А.Т. Хвичия, И.Г. Кекелидзе, С.М. Мазмишвили и др. – Сталь, 1970, №2, с. 138-142.
19. Брикетирование марганцевых концентратов на промышленной брикетустановке ЗЗФ /С.М. Мазмишвили, Т.В. Ахобадзе, З.П. Капанадзе и др. – В сб.: Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов: Материалы II республиканской научно-техн. Конф. Тбилиси, 1978, с. 86-94.
20. Гаврилов В.А. Исследования и совершенствование технологии выплавки малофосфористого шлака в мощных рудовосстановительных электропечах. – Дисс... канд. Техн. Наук. – Днепропетровск, 1980, 162с.

21. Применение чиатурских низкосортных марганцевых концентратов в производстве ферросплавов / О.Д. Хецуриани, Т.Г. Аревадзе, Т.И. Сигуа и др. – В кн.: Переработка железных и марганцевых руд Закавказья: Тбилиси, 1979, с. 104-119.
22. Получение Ферросилиция методом моношихты/ А.Т. Хвичия, Л.А. Дараселия, С.М. Мазмишвили и др. – В сб.: Труды XV научно-техн. конф. ГПИ им В.А. Ленина, Тбилиси, вып. 14, 1970, с. 31-35.
23. Чайченко А.А., Яценко А.Г. Металлургические свойства марганцевых рудоугольных брикетов. – В сб.: Производство ферросплавов: Новокузнецк, 1980, с.88-97.
24. სიმონგულაშვილი ზ. ფერომენადნობთა ელექტროთერმია, – სახელმძღვანელო სტუ-ს საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2009, 174გვ.
25. მაისურაძე ბ., ცირდავა მ., სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი. სილიკომანგანუმის მიღების ახალი ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება კაზმში მანგანუმის და ნახშირბადმემცველი ნარჩენების გამოყენებით, – საერთაშორისო სამეცნიერო პრაქტიკული კონფერენციის შრომები. ქუთაისი, 2010, გვ. 233–235.
26. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ბ., ცირდავა მ., ნებიერიძე ს. ეკოლოგიურად საშიში მანგანუმემცველი ნარჩენების უტილიზაცია ფერომენადნობთა წარმოების სანედლეულო ბაზის გაფართოების მიზნით. – საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენციის შრომები. თბილისი, 2010, გვ. 116–119.
27. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. Москва, «Металлургия», 1988, 784с.
28. Гасик М.И., Емлин Б.И. Электрметаллургия ферросплавов. Киев – Донецк, «Виша школа», 1983, 374с.
29. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. Metallургия марганца Украины. Киев, «Техника», 1996, с. 472.
30. Гладких В.А., Гасик М.И. Выплавка низкофосфористого силикомарганца из отвального шлака//Производство ферросплавов. Москва, Metallургия, 1974. Вып. 3. с. 38-40.

31. Гасик М.И., Гладких В.А., Лысенко В.Ф. и др. Исследование марганцевых шлаков//»Черметинформация», Серия «Ферросплавное производство» - Вып. 1. 1981. с. 28.
32. Гладких В.А., Гасик М.И. Особенности восстановления кремния из брикетированных марганецсодержащих шлаков при выплавке силикомарганца//Известия вузов. Черная металлургия. 1995. №8. с. 41-44.
33. Симонгулашвили З.А., Небиеридзе С.С. Влияние оксидов щелочных металлов на процесс совместного восстановления марганца и кремния.//»Керамика», Тбилиси, 2014, №1(31), с. 3-6.
34. Симонгулашвили З.А., Мазмишвили С.М., Мирзелашвили М.Г., Хасиев Т.С. Использование туфа в шихте при выплавке силикомарганца.//Металлургия черных металлов, Научные труды ГПИ, №6(216), Тбилиси, 1979, с. 21-25.
35. Кучер А.Г., Чепеленко Ю.В., Шестаковский О.Ф. и др. Выплавка углеродистого ферромарганца на термически подготовленной шихте//Сталь – 1980, №10, с. 37-39.
36. Величко Б.Ф. Опыт и эффективность использования вторичных ресурсов//Сталь. 1988. №12. с. 33-35.
37. Рукин В.В., Острик П.Н., Дзnelадзе Ж.И. Сажистое железо. Москва, «Металлургия», 1987. с. 104.
38. Гасик М.И., Емлин Б.И. Электрометаллургия ферросплавов. – Киев: «Виша школа». 1983, - 374с.
39. Александров А.П., Деханов Н.М., Мураховский В.В. Пути повышения извлечения марганца при выплавке силикомарганца. Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов. Тбилиси, - 1983, ст. 324-325.
40. Коваль А.В., Гасик М.И., Люборец И.И. и др. Сравнительная оценка качества сырья для выплавки марганцевых сплавов. Сталь. 1997, №1. ст. 27-30.
41. Гасик М.И. Марганец. – М.: Металлургия, 1992-608с.
42. Толстогузов Н.В. Теоритические основы восстановления марганца, кремния и примесей при плавке ферромарганца и силикомарганца: учеб. пособие. - Новокузнецк: СибМИ, 1991-128с.
43. Гасик М.И., Ишутин В.И., Шевченко В.А. и др. Повышение извлечения марганца при выплавке металлического марганца модифицированного железом. Сталь. 1985, №6, ст. 38-41.

44. Гасик М.И. Электротермия марганца. – Киев: Техника, 1979, - 196с.
45. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. и др. Металлургия марганца Украины. – Киев: Техника, 1996. – 472с.
46. Гасик М.И., Хитрик С.И., Горбачев Р.Ф. и др. Повышение качества марганцевых концентратов и ферросплавов. – Днепропетровск: Проминь, 1972, – 109с.
47. სიმონგულაშვილი ზ., ქურდაძე გ., აბესაძე რ. და სხვ. სილიკომანგანუმის ოპტიმალური შედგენილობის შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდას. სტუ-ს შრომები, №1(499), 2016, გვ. 42–47.
48. Гасик М.И. Электротермия марганца. – Киев: Техника, 1979, - 196с.
49. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1988, - 784с.
50. Гасик М.И. Марганец. – М.: Металлургия, 1992-607с.
51. Гладких В.А. – В кн.: Восстановительные процессы в производстве ферросплавов. – М.: Наука, 1977, с. 66-71.
52. Столяр О.Ю., Игнатьев В.С., Мельниченко А.А. и др. // Металлургия и коксохимия. Респ. межвед. научн.-техн. сб.-Киев:Техника, 1986, - Вып. 90 / Электрометаллургия стали и ферросплавов.
53. Величко Б.Ф., Рогачев И.П., Грищенко С.Г. и др. Передовой опыт утилизации вторичных ресурсов производства марганцевых ферросплавов. – Днепропетровск: 1991, с. 12-14.
54. სიმონგულაშვილი ზ., ქურდაძე გ., აბესაძე რ. სილიკომანგანუმის გამოდნობა კაზმში საკუთარი წარმოების ნარჩენების გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, თბილისი, 2016, №1(77), გვ. 94–101.
55. Белоусов В.Ф., Ярцев К.Н., Кравченко В.А., Ишутин В.И. Анализ показателей производства силикомарганца в мощных печах с помощью ЭВМ. – В кн.: Производство ферросплавов, №3, М., „Мнталлургия“, 1974.
56. სიმონგულაშვილი ზ., ქურდაძე გ. სილიკომანგანუმის დნობის პროცესის ოპტიმიზაცია მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენების



- გაზრდის მიზნით. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, თბილისი, 2017, №1(81), გვ. 58–162.
57. Соколовская И.Б. Исследование углеродотермического процесса получения малофосфорного марганцевого шлака. Автореф. канд. дис. Днепропетровск, ДмутИ, 1974.
58. სიმონგულაშვილი ზ., ქურდაძე გ. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესის გამოკვლევა კაზმში ტუფების გამოყენებით // კერამიკა, №1(35), 2016, გვ. 41-45.
59. Симонгулашвили З.А., Камкина Л.Г. Кинетика восстановления силикомарганцевых шихт // Марганец, Тбилиси, 1989, с. 26-28.
60. სიმონგულაშვილი ზ., ნებიერიძე ს., მიქელაძე მ., გოცირიძე შ. მანგანუმის და სილიციუმის ერთობლივი აღდგენის თერმოდინამიკა და კინეტიკა // საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. თბილისი. 2013, №2, ტ. 13.
61. Симонгулашвили З.А., Небиеридзе С.С. Влияние оксидов щелочных металлов на процесс совместного восстановления марганца и кремня // „Керамика,, Тбилиси, 2014, №1(31), с. 26-28.
62. Аронов С.Г. Комплексная химико-технологическая переработка углей. Киев, „Техніка“, 1968.
63. Серебрянников А.А., Андрюхин Г.С., Гусев В.И. и др. Шихта для выплавки силикомарганца. Авт. свид. №482510, 1975, №32.
64. Рунов М.А., Андрюхин Г.С. Об извлечении марганца при выплавке силикомарганца. Физико-химические основы металлургии марганца. М., 1977, с. 187-190.
65. Гасик М.И., Кучер А.Г., Ткач Г.Д. и др. Исследование процесса выплавки силикомарганца с использованием в шихту пегматита // сб.: Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов. Материалы III республиканской научно-техн. конф. Тбилиси, 1978, с. 145-153.
66. Гасик М.И., Садовский М.Г., Бойцов Л.И. и др. Результаты промышленного опробования гранитов при производстве маталлического марганца // Материалы II всесоюзного совещания. Металлургия марганца. Тбилиси, 1977, с. 147-149.

67. Казаков И.Н., Ткач Г.Д., Гасик М.И., Кучер А.Г. Использование пегматита в шихту при выплавке силикомарганца. Бюл. СНИИТЭМ ЧМ, 1979, №16, с. 37-38.
68. Симонгулашвили З.А., Камкина Л.Г. Кинетика восстановления силикомарганцевых шихт // Марганец. Тбилиси, 1989, с. 26-28
69. Ацагорциян З.А., Мартиросян О.А. Туфы и мраморы Армении. – Ереван: Армгосиздат, 1977, с. 80-85.
70. სიმონგულაშვილი ზ., ქურდაძე გ., მიქელაძე მ. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში ლუმელის მუშაობის ეფექტურობის შეფასება. „კერამიკა“, თბილისი, 2017, №2(38), გვ. 52–56.
71. Александров А.П., Деханов Н.М., Мураховский В.В. Пути повышения извлечения марганца при выплавке силикомарганца. Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов. Тбилиси, - 1983, ст. 324-325.
72. Коваль А.В., Гасик М.И., Люборец И.И. и др. Сравнительная оценка качества сырья для выплавки марганцевых сплавов. Сталь. 1997, №1. ст. 27-30.
73. Гасик М.И. Марганец. – М.: Металлургия, 1992-608с.
74. Толстогузов Н.В. Теоритические основы восстановления марганца, кремния и примесей при плавке ферромарганца и силикомарганца: учеб. пособие. - Новокузнецк: СибМИ, 1991-128с.
75. Гасик М.И., Ишутин В.И., Шевченко В.А. и др. Повышение извлечения марганца при выплавке металлического марганца модифицированного железом. Сталь. 1985, №6, ст. 38-41.
76. Гасик М.И. Электротермия марганца. – Киев: Техника, 1979, - 196с.
77. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. и др. Металлургия марганца Украины. – Киев: Техника, 1996. – 472с.
78. Гасик М.И., Хитрик С.И., Горбачев Р.Ф. и др. Повышение качества марганцевых концентратов и ферросплавов. – Днепропетровск: Проминь, 1972, – 109с.
79. Куцин В.С., Кучер И.Г., Ольшанский В.И. и др. Оценка эффективности работы печей для выплавки марганцевых ферросплавов. Сталь, №6, 2006, ст. 74-77.

80. Мизин В.Г., Укамаков Н.М. Электросопротивление насыпного слоя углеродистых восстановителей. М.: Кокс и Химия, 1980, №7, с. 24-25.
81. Жучков В.И., Микулинский А.С. Роль Электросопротивления шихты в общем сопротивлении вынны руднотермической печи. М.: Электротермия, 1986, вып. 5.
82. ქურდაძე გ. ელექტრული რეჟიმის გავლენა სილიკომანგანუმის გამოდნობის შედეგებზე. სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო-სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული, თბილისი, 2018.
83. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Metallurgia, 1976, 230с.
84. Онусайтис Б.А. Образование и структура каменно-угольного кокса. АН СССР, М. МГИ 1980, 479с.

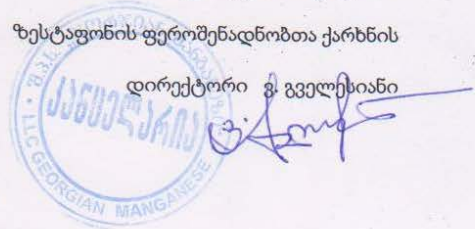
ရန်ကင်း

ვამტკიცებ :

შპს „ჯორჯიან მანგანეზის“

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის

დირექტორი გ. გველესიანი



აქტი

გ. ქურდაძის სადისერტაციო სამუშაოში „სილიკომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის გამოკვლევა და ოპტიმიზაცია მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების გაზრდის მიზნით“ მიღებული შედეგების წარმოებაში დანერგვის შესახებ.

ჩვენ ქვემოთ ხელის მომწერნი შპს „ჯორჯიან მანგანეზის“ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის წარმომადგენლებმა, ქარხნის ტექნიკური განყოფილების უფროსმა ბ. გაჩეჩილაძემ, №1 და №4 საამქროს უფროსებმა ბ. ფერაძემ, ვ. არევაძემ, ცენტრალური ლაბორატორიის უფროსმა გ. მაგრაქველიძემ, ტექნიკური კონტროლის განყოფილების უფროსმა მ. ბუცხრიკიძემ და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორმა ზ. სიმონგულაშვილმა (სამუშაოს ხელმძღვანელი) შევადგინეთ წინამდებარე აქტი მასზედ, რომ სადისერტაციო სამუშაოს ფარგლებში განხილული ერთ-ერთი აქტუალური საკითხი-სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობის რეგულირება და ღუმელის წარმადობის გაზრდა ციცხვში ფოლადის ჯართის გამოყენებით, ახლებურადაა გადაწყვეტილი და ცდების შედეგები დანერგილია წარმოებაში.

საცდელი სამრეწველო დნობები ჩატარებულ იქნა ქარხნის №1 საამქროს №2 და №6 ღუმელებზე (79 დნობა) და №4 საამქროს №27 ღუმელზე (11 დნობა). მიღებულ იქნა 360,58ტ. სასაქონლო პროდუქცია, რაზედაც დაიხარჯა 41,89ტ. ფოლადის ჯართი, რამაც მოგვცა 39,80ტ. პროდუქციის მატება. წარმოქმნილი ნაჭარბი პროდუქციის მისაღებად არ დახარჯულა რაიმე სახის ნედლი მასალები და ელექტრო ენერგია. მიღებულმა ეკონომიკურმა ეფექტმა საცდელ პერიოდში შეადგინა 59247,53 აშშ დოლარი.

ტექნიკური განყოფილების უფროსი		ბ. გაჩეჩილაძე
№1 საამქროს უფროსი		ბ. ფერაძე
№4 საამქროს უფროსი		ვ. არევაძე
ცენტრალური ლაბორატორიის უფროსი		გ. მაგრაქველიძე
ტექნიკური კონტროლის განყოფ. უფროსი		მ. ბუცხრიკიძე
სტუ-ს პროფესორი		ზ. სიმონგულაშვილი