

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

**დარეჯან რობაქიძე**

**ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის კონტროლისა  
და მართვის რაციონალური ტექნოლოგიის დამუშავება**

საინჟინრო მეცნიერებებში დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

**დისერტაცია**

კონტროლის მეთოდები და დიაგნოსტიკა მანქანათმშენებლობაში

სამეცნიერო ხელმძღვანელები:

**სეირან მაზმიშვილი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
პროფესორი,  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

**რაულ გვეტაძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
პროფესორი,  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ქუთაისი 2009

## სარჩევი

შესავალი _____	4
<b>თავი 1. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმა</b>	
1.1. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის სპეციფიკა და თავისებურებანი _____	8
1.2. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმა _____	13
1.3. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმისათვის განკუთვნილი არაკონდიციური ფხვნილოვანი მასალების დოზირების თანამედროვე მეთოდები და მოწყობილობები _____	20
1.4. არაკონდიციური მასალების დოზირების რეჟიმების ავტომატური კონტროლისა და რეგულირების ძირითადი პრინციპები _____	25
1.5. წვრილფრაქციული ფეროსილიკომანგანუმის დოზირების რაციონალური მეთოდი და მათი ნაკლოვანებების ანალიზი _____	29
1.6. დასკვნები _____	30
<b>თავი 2. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა სამრეწველო პირობებში</b>	
2.1. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის თეორიული კვლევის მეთოდიკა (მათემატიკური მოდელირება) _____	32
2.2. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა _____	35
2.3. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის თეორიული კვლევის შედეგები _____	40
2.4. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები _____	43
2.5. ტრადიციული და სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული ფეროსილიკო- მანგანუმის შედარებითი ხარისხობრივი ანალიზი _____	56
2.6. დასკვნები _____	61
<b>თავი 3. არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესის პროგნოზირების, კონტროლისა და მართვის რაციონალური ტექნოლოგიის დამუშავება</b>	
3.1. არაკონდიციური მისართის დოზირების რაციონალური ტექნოლოგიის ახალი კონცეპცია _____	63
3.2. არაკონდიციური მისართის თხევად ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადში ჩანერგვის რაციონალური ინტენსივობის ანალიზური განსაზღვრა _____	64

3.3. მკვებავის ახალი კონსტრუქცია ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდინციური მისართის უწყვეტი დოზირებისათვის _____	71
3.4. არაკონდინციური მისართის დოზირების პროცესის კონტროლი და ტექნოლოგიური (აბსოლიტური) უზუსტობის ცდომილების რეგისტრაცია _____	74
3.5. არაკონდინციური მისართის დოზირების პროცესის მართვა _____	78
3.6. დასკვნები _____	81
<b>თავი 4. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის კონტროლისა და რეგულირების სისტემის ეფექტურობის და პროდუქციის ხარისხის მართვის თავისებურებანი</b>	
4.1. ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდინციური მისართის სუსპენზიური გრანულების ქიმიური და ფრაქციული შედგენილობის კონტროლის მეთოდის სრულყოფა _____	82
4.2. არაკონდინციური მისართისა და თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ურთიერთრეაგირების ტემპერატურული ეფექტის საწარმოო კონტროლი და რეგულირება _____	88
4.3. ფეროსილიკომანგანუმის ხარისხის მართვა ჩამოსხმის რეჟიმებსა და თხევად ჭავლში მისაწოდებელი არაკონდინციური მისართის ფიზიკური მახასიათებლების (გრანულომეტრიული შედგენილობის და ტემპერატურის) რეგულირებით _____	92
4.4. სხმულების ქიმიური შედგენილობის მართვა, თხევად ჭავლში მისაწოდებელი არაკონდინციური მისართის ქიმიური შედგენილობის რეგულირებით ____	97
4.4.1. ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების ქიმიური შედგენილობის კორექტირება.	
4.4.2. რკინა ნახშირბადის შენადნობების ქიმიური შედგენილობის რეგულირება სუსპენზიური ტექნოლოგიის გამოყენებით. _____	99
4.5. დასკვნები _____	101
<b>თავი 5. სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის დანერგვით მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტი _____</b>	<b>102</b>
<b>საერთო დასკვნები და რეკომენდაციები _____</b>	<b>107</b>
<b>ლიტერატურა _____</b>	<b>110</b>
<b>დანართი _____</b>	<b>118</b>

## შესავალი

მსოფლიო ეკონომიკური კრიზისიდან გამომდინარე მსოფლიოში ფოლადის და თუჯის წარმოების ტემპების შემცირების და პროდუქციის ხარისხისადმი წაყენებული პირობების გამკაცრებისა და სარეალიზაციო ფასების შემცირების ტენდენციის გამო დღეისათვის განსაკუთრებულ ყურადღებას იპყრობს ისეთი რესურსდამზოგი და უნარჩენო ტექნოლოგიების ფართო ათვისება, რომლებიც ითვალისწინებენ თხევადი ლითონის დამუშავებას ღუმელგარეთ ციციხვებსა და მიქსერებში.

ფეროშენადნობის წარმოების შემთხვევაში მანგანუმიანი ფეროშენადნობებისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნების გამკაცრების შედეგად დღეისათვის სილიკომანგანუმის გრანულომეტრიული შედგენილობის დასაშვები ზღვარი შეადგენს  $10 \div 100$  მმ, ხოლო მინიმალურად დასაშვები სიმკვრივე  $\delta = 6000$  კგ/მ<sup>3</sup>. რაც მოითხოვს, დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩართვას საწარმოო ციკლში და განაპირობებს პროდუქციის თვითღირებულების გაზრდას და წარმოების რენტაბელობის შემცირებას. ამ ფონზე ფეროსილიკომანგანუმის პროდუქტის ხარისხის ამაღლებისა და ამავე დროს თვითღირებულების შემცირების საკითხით პირველ რიგში დაინტერესებულია ფეროშენადნობთა მსხვილმწარმოებელი საწარმოები, მათ შორის ს.ს. “გ.ნიკოლაძის სახელობის ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა”. ეხლა უკვე შპს “ჯორჯიან მანგანუმი” ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან გამომდინარე, ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის სრულყოფა კონტროლისა და მართვის სისტემების დამუშავების გზით აქტუალური საკითხია. როგორც წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ასევე თვით სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის ეფექტიანობის ამაღლებისა და პრაქტიკული გამოყენების არეალის გაფართოებისათვის, რაც მიზნად ისახავს ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის რაციონალური ტექნოლოგიის დამუშავებას და ამ პროცესის მართვის თეორიული და პრაქტიკული საფუძვლების შემუშავებას. ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის სრულყოფილი კვლევები მიზნად ისახავს შემდეგი საკითხების გადაჭრას:

- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის მისი თავისებურებების კვლევა ეფექტიანობის ამაღლების მიზნით;
- არაკონდიციური მისართის თხევად ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადში ჩანერგვის რაციონალური ინტენსივობის ანალიტიკური განსაზღვრა;

- არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესის კონტროლისა და მართვის ახალი პრინციპების ჩამოყალიბება მაქსიმალური ეფექტურობის უზრუნველყოფის მიზნით;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმების ავტომატური კონტროლის და რეგულირების მეთოდების დამუშავება;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის მაქსიმალური ეფექტურობის განმპირობებელი ტექნოლოგიური ფაქტორების უზრუნველყოფის მექანიზმის დამუშავება პროდუქციის ხარისხის ავტომატიზირებული მართვისათვის.

სადისერტაციო ნაშრომის შესასრულებლად ვიყენებდით კვლევის კომპლექსურ მეთოდებს, როგორც ანალიზურს, თეორიულს, ისე ლაბორატორიულსა და ნახევარსამრეწველოს.

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმისა და კრისტალიზაციის პროცესის ექსპერიმენტულ კვლევას ვაწარმოებდით ნახევრადსამრეწველო პირობებში, ფეროშენადნობთა ქარხნის №1 საამქროს საჩამომსხმელო მანქანის გვერდით სპეციალურად კონსტრუირებულ საცდელ სტენდზე, შოთის სხმულების ზედაპირის, გულისა და ფსკერის ტემპერატურის ცვლილების კონტროლს ვაწარმოებდით 10მმ დიამეტრის გარსაცმით დაცული ვოლფრამ რენიუმის თერმოწყვილების მეშვეობით, რომელთა ცივ ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ფიქსირდებოდა ელექტრონული პოტენციომეტრით ЭП - 107. როგორც კედლების გახურების ტემპერატურას ვზომავდით ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილების და პოტენციომეტრების PK -15-ის გამოყენებით. ხარისხობრივ თვისებებს (სიმკვრივე, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მსხვრევადობა და ფქვადობა) ვიკვლევდით ჰიდრაულიკური წნეხის ЗИМ П-10, სტანდარტული პიკნომეტრის ПИМ ლაბორატორიული მსხვრევანის ДЛШ-10 და ცხავის ГТЛ-15/0,05 გამოყენებით.

სხმულის მიკროსტრუქტურული აგებულების შესწავლისათვის ვიყენებდით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ოპტიკურ-მიკროსკოპ-მეტალოგრაფს “Neophot-2”, ხოლო რენტგენოსპექტრულ კვლევებს ვაწარმოებდით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “მინერალოგიის პეტროგრაფიის და გეოქიმიის” კათედრასთან არსებული ემისიური – სპექტრული კვლევის და “ლითონთა სტრუქტურული კვლევის” ცენტრებში არსებული მოწყობილობებით ASTM 3-1039 და „Cameca“.

სამრეწველო და ნახევრადსამრეწველო პირობებში წარმოებული ექსპერიმენტული

და მასთან მაქსიმალურად მისადაგებული თეორიული კვლევების საფუძველზე შესწავლილია ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული სხმულის ჩამოსხმისა და კრისტალიზაციის პროცესი, რომლის გამოკვლევის შედეგად მიღებულია:

- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის ს.ს., ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის“ პირობებში ათვისების თეორიული და პრაქტიკული საფუძვლები;
- სუსპენზიური ჩამოსხმის მათემატიკური მოდელი, პროცესის ეფექტურობის დიაგნოსტიკისათვის;
- არაკონდიციური მისართის თხევად ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადში ჩანერგვის რაციონალური ინტენსივობის ანალიზური განსაზღვრის მეთოდის წარმოების რეალური პირობებისათვის;
- შემუშავებულია არაკონდიციური მისართის უწყვეტი დოზირებისათვის განკუთვნილი მკვებავ-დოზატორის ახალი კონსტრუქცია;
- არაკონდიციური მისართის თხევად ლითონში დოზირებული მიწოდების პროცესის კონტროლის და მართვის მეთოდოლოგია;
- შემუშავებულია სუსპენზიური მეთოდით მიღებული შოთის ხარისხის მართვის მეთოდის, რომელიც ითვალისწინებს ჩამოსხმის ტექნოლოგიური ფაქტორების კონტროლსა და რეგულირებას, აგრეთვე მისართის გრანულომეტრიული და ქიმიური შედგენილობა.

ფეროშენადნობების წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად ჩამოსხმის ტექნოლოგიის სრულყოფის, კერძოდ, ჩამოსხმის სუსპენზიური პროცესის კონტროლისა და მართვის გზით, შეგვიძლია ფეროსილიკომანგანუმის წარმოების “მეტალურგიული ნარჩენების” შემცირება და ამ ნარჩენების უტილიზაციის პრობლემების მაღალეფექტური გადაწყვეტა.

ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის სუსპენზიური ტექნოლოგიის სრულყოფა, პროდუქციის ხარისხის კონტროლი და მართვა, ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზაცია, პრაქტიკული ღირებულების თვალსაზრისით ძალიან მნიშვნელოვანი საკითხებია, როგორც საწარმოს ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების, ასევე საერთაშორისო ბაზარზე კონკურენტუნარიანი პროდუქციის სტაბილური წარმოების თვალსაზრისით. შედარებისთვის ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ პროდუქციის მსხვრევადობა შემცირებულია 10 %-ით, ფქვადობა – 9,5 %-ით, სიმტკიცის

ზღვარი გაიზარდა 4 %-ით.

ექსპერიმენტული, ლაბორატორიული და თეორიული კვლევების შედეგებმა გვიჩვენა, რომ სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული სხმული ტრადიციული მეთოდით მიღებულთან შედარებით, გამოირჩევა მკვრივი, სტაბილური მიკრო და მაკრო აგებულებით. ნიმუშთა სპექტოგრამებს შორის არსებითი სხვაობა არ შეიმჩნევა, ორივე შემთხვევაში ლითონის ფაზური შედგენილობა იდენტურია. აქედან გამომდინარე შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ ძირითადი დებულებები:

- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის მათემატიკური მოდელი;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმის ეფექტურობის, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგები;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმის პროცესში გამოყენებული არაკონდიციური მისართის დოზირების კონტროლისა და მართვის ახალი მეთოდები;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის არაკონდიციური მისართის უწყვეტი დოზირებული მიწოდებისთვის განკუთვნილი მკვებავის ახალი კონსტრუქცია;
- პროდუქციის ხარისხის მართვის მეთოდები;
- ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ავტომატური რეგულირების სტრუქტურული მოდელი.

## თავი I. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმა.

### 1.1. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის სპეციფიკა და თავისებურებანი

რკინა ნახშირბადის შენადნობების ფეროშენადნობებით დამუშავება უზრუნველყოფს განსაზღვრული ტექნოლოგიური მახასიათებლების მქონე ლითონური მასალების მიღებას. თანამედროვე მეტალურგიაში ფეროშენადნობებს უკვე იყენებენ არა მხოლოდ თუჯების და ფოლადების განჟანგვის, ლეგირების ან მოდიფიცირებისათვის, არამედ ფერადი ლითონების და შენადნობების რაფინირებისათვისაც.

ფოლადების განჟანგვისა და ლეგირების მიზნით ფეროშენადნობების გამოყენება მნიშვნელოვნად აიოლებს მათი დამუშავების პროცესს, რაც იმით აიხსნება, რომ მალეგირებელი ელემენტების შენადნობები რკინასთან ხასიათდებიან დნობის შედარებით დაბალი ტემპერატურით, ვიდრე თვით ეს ელემენტები თავისუფალი სახით. ფეროშენადნობებით დამუშავების პროცესის ერთ-ერთ ღირსებად ასევე შეიძლება ჩაითვალოს მისი სიიაფე, ტექნიკურად სუფთა ლითონებით დამუშავებასთან შედარებით.

პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების და თვითღირებულების შემცირების მიზნით უკვე XX საუკუნის 70-იანი წლებიდან ფეროშენადნობების მწარმოებელ, როგორც საზღვარგარეთის, ასევე პოსტსაბჭოთა სივრცის ქარხნებში გააქტიურდა წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფის საკითხი. ამ პერიოდიდან აქცენტი გამახვილდა დნობის, გამოშვების და ჩამოსხმის ახალი ტექნოლოგიების დამუშავებასა და ტექნიკის მოდერნიზაციაზე.

ჩამოსხმა ფეროშენადნობების წარმოების ერთ-ერთი ყველაზე საპასუხისმგებლო ოპერაციაა, ვინაიდან ფეროშენადნობების ხარისხობრივი მახასიათებლები და მათ შორის ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებები: სიმკვრივე, სითბოტევადობა, თბოგამტარობა, მექანიკური სიმტკიცე, მსხვრევადობა, ფშვნადობა, ფარდობითი აბრაზულობა, მისი ქიმიური შედგენილობის შემდეგ ყველაზე მეტად არიან დამოკიდებულნი სტრუქტურულ-ფაზურ შედგენილობაზე, ე.ი. ჩამოსხმის ტექნოლოგიაზე და კრისტალიზაციის პირობებზე. აქედან გამომდინარე ეს უკანასკნელნი არსებით გავლენას ახდენენ შოთების დაქუცმაცების შემდეგ მიღებული, ლუმელში გამოსადნობად ვარგისი 10-2 მმ ფრაქციის და გამოსადნობად უვარგისი 2-0 მმ ფრაქციის ნარჩენების გამოსავლიანობაზე და როგორც შედეგი, მოქმედებენ პროდუქციის თვითღირებულებაზე.



აღნიშნულიდან გამომდინარე აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს ფეროშენადნობების ჩამოსხმის პროცესის ეფექტიანობის ამაღლება, როგორც საჩამოსხმო მანქანა-დანადგარების მოდერნიზაციისა და კრისტალიზაციის ოპტიმალური პირობების უზრუნველყოფის გზით, ასევე აღნიშნული ნარჩენების უტილიზაციის რაციონალური მეთოდების შემუშავებით. პროფ. მაზმიშვილის [59, 61] მიერ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში დანერგილი იყო მეტალურგიული ნარჩენების გადამუშავების მეთოდი, ისეთი როგორიცაა კაზმში მადნური ნაწილის გამოყენებისათვის ბრიკეტების (კუთრი სიმტკიცე 8-12 მპა, კაზმი 4-6%, შემკვრელი 6-8%, მეტალურგიული ნარჩენი 30%, მინიმალური წნევა 19,6 მპა) გამოყენება. ამ მეთოდის მაღალი ეფექტურობის მიუხედავად, იგი მოითხოვს ბრიკეტების დამზადებისათვის ზედმეტ შრომის დანახარჯს.

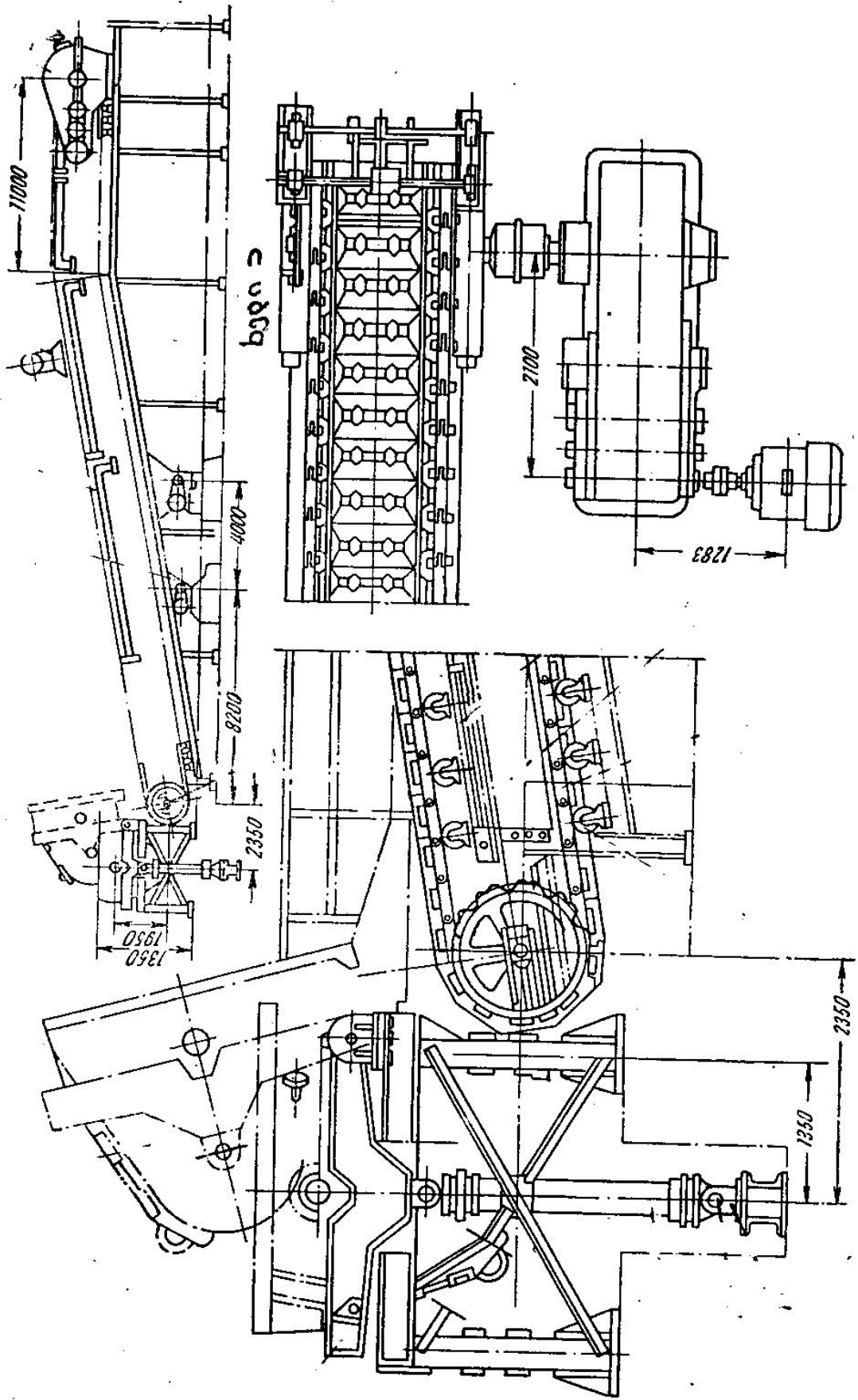
მსოფლიოში ფართოდაა აპრობირებული ფეროშენადნობების ჩამოსხმის რამდენიმე მეთოდი. ეს მეთოდებია: შენადნობის «შრე და შრე» ჩამოსხმა, «წიდის ქვეშ» ჩამოსხმა, კონვეიერული ჩამოსხმა და სუსპენზიური ჩამოსხმა.

შენადნობების «შრე და შრე» ჩამოსხმა, ხორციელდება სტაციონალურ, ტრაპეციული განივი კვეთის ბოყვებში. ჩამოსხმის დაწყებამდე ციციხვიდან წურავენ წიდას, შემდეგ ციციხვს ათავსებენ «საყირაო» მექანიზმში, რომელიც მისი მდოვრე აყირავებით ახდენს შენადნობის 80 მმ სისქის რამოდენიმე შრის ჩამოსხმას თანმიმდევრულად, თითოეულის ზედაპირული გამყარების შემდეგ [77].

რუსეთში, ჩელიაბინსკის მეტალურგიის საკვლევ-სამეცნიერო ინსტიტუტისა და ელექტრომეტალურგიული კომბინატის ურთიერთთანამშრომლობით 1990 წელს დაინერგა სხმულების მსხვილ შოთებად ჩამოსხმის და მექანიკური სამჭედლო უროებით დაქუცმაცების ახალი ტექნოლოგია [20.1].

ყაზახეთში, ქალაქ სეროვის ფეროშენადნობთა ქარხანაში იყენებენ ე.წ. «წიდის ქვეშ» ჩამოსხმის მეთოდს. აქ ფეროქრომის ჩამოსხმა ხდება 1740×1140 მმ ზომის თხევადი წილით ნახევრამდე შევსილ ბოყვებში. სხმულები კი იმსხვრევა წყლის ძლიერი ჭავლის გამოყენებით, კერძოდ კი - ზედაპირისა და ფსკერის ინტენსიური გაცივების, ანუ სხმულის შიგნით მკუმშავი, ხოლო პერიფერიებში გამჭიმავი ძაბვების აღძვრის გზით [93].

დღეისათვის ფეროშენადნობების ჩამოსხმას ძირითადად ახდენენ კონვეიერული ტიპის მანქანებზე (ნახ.1.1) [54, 57]. მანგანუმიანი, სილიციუმიანი და ქრომიანი ფეროშენადნობების ასევე გადასაკეთებელი წიდეების ჩამოსხმა კონვეიერულ მანქანაზე



ნახ.1.1.კონვეიერული ტიპის საჩამოსხმო მანქანის საერთო ხედი

ხორციელდება პნევმო ან ჰიდროცილინდრული ამპრავებით აღჭურვილ საყირაო მექანიზმში ჩადგმული ციციხვის თანდათანობით, მდოვრე დახრით და თხევადი შენადნობის სამსხმო ღარში ჩამოდინების მეშვეობით. სამსხმო ღარიდან, რომლის მუშა ზედაპირები ამოგებულია ცეცხლგამძლე შამოტის აგურით, ფეროშენადნობების ღია ჭავლი ხვდება კონვეიერის «უსასრულო» ჯაჭვზე ჩამაგრებულ მულდებში. მულდების შიგა ზედაპირები ნადნობის მინადულებისა და ამორეცხვისაგან დასაცავად დაფარულია ჩამქრალი კირის თხელი ფენით, რომლის სიმკვრივე საშუალოდ 1,1 გრ/სმ<sup>3</sup>-ია. ამასთან კონვეიერული მანქანის მულდებზე ჩამომსხმული ფეროშენადნობების შოთები, როგორც ნახევარპროდუქტი სამსხვრევ უბნამდე გადააქვს.

სტანდარტებით რეგლამენტირებულ გრანულომეტრული შედგენილობის უზრუნველყოფის მიზნით ფეროსილიკომანგანუმის შოთების დაქუცმაცება-დახარისხების შესახებ შეიძლება ითქვას, რომ არაკონდიციური ფრაქციის გამოსავალზე ძირითად გავლენას ახდენს შოთების მაკროსტრუქტურა და დაქუცმაცების რეჟიმები.

მანგანუმიანი ფეროშენადნობთა დამსხვრევის თავისებურებების შესწავლის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 1.1 [78]. ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს, რომ სასურველი ფრაქციების მიღებისათვის აუცილებელია დადგინდეს სამსხვრევების ყბებს შორის გამომავალი ყელის ოპტიმალური სიგანე.

ცხრილი 1.1

მანგანუმიანი ფეროშენადნობთა დამსხვრევის შედეგად მიღებული ფრაქციები

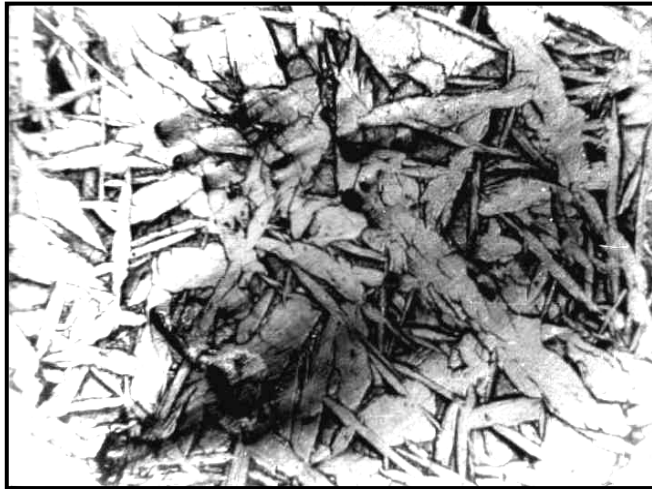
სამსხვრევის გამოსასვლელი ყელის სიგანე მმ	ფრაქციის წონითი წილი				
	+50	20-50	10-20	5-10	0-5
45	1,0	37,0	28,0	13,0	21,0
60	3,0	42,0	27,0	10,0	18,0
70	22,0	59,0	8,0	3,0	8,0
85	48,0	39,0	6,0	3,0	4,0

5-50 მმ ფრაქციის მაქსიმალური გამოსასვლელი მიიღწევა გამომავალი ყელის 60 მმ-იან სიგანის დროს, 20-50 მმ ზომის ფრაქციის მაქსიმალური გამოსავალი უზრუნველყოფილია 70 მმ ყელის სიგანისას, რადგანაც ამ დროს წარმოიქმნება  $\approx 10\%$  არაკონდიციური ფრაქციები.

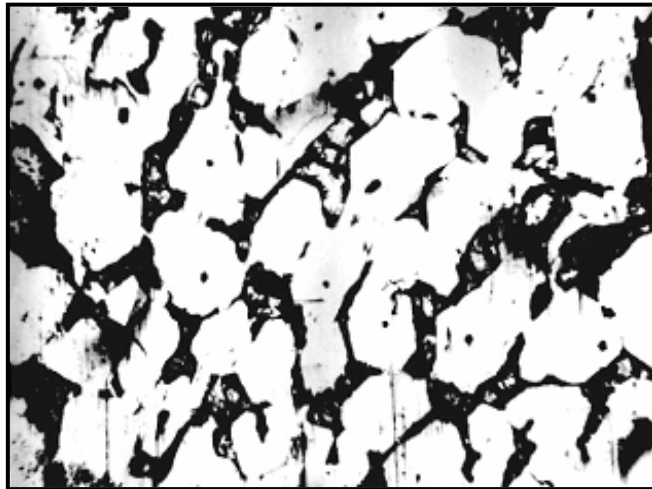
შრომებში [44, 56] მიკრორენტგენული, სპექტრალური და მეტალოგრაფიული

ანალიზებით გამოკვლეულია სილიკომანგანუმის შოთის ცენტრალური და პერიფერიული ნაწილების მიკროსტრუქტურები(ნახ.1.2.)

1)



2)



ნახ.1.2 ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის მიკროსტრუქტურები:

1. ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის ქერქის (განივი კვეთის) მიკროსტრუქტურა (x 400)
2. ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის ტრანსკრისტალიზაციის ზონის (განივი კვეთის) მიკროსტრუქტურა (x 400)

დადგენილია, რომ შოთის ცენტრალურ ნაწილში უპირატესად გავრცელებულია მანგანუმის სილიციდის  $(Mn;Fe)_5Si_3$  თეთრი ფერის ფაზა. დანარჩენი ფაზის შემადგენელი განლაგებულია მის მარცვლებს შორის და წარმოქმნიან მუქ ნაცრისფერ წინწკლებს. ეს სილიციუმისა და ნახშირბადის მყარი ხსნარია მანგანუმში და რკინაში. ეს არის კარბოსილიციდი -  $(Mn,Fe)_3(SiC)$ , განსხვავება ცენტრალურ და პერიფერიულ ზონებს შორის მხოლოდ მარცვლების ზომეებშია.

შენადნობში ფოსფორი არის მარცვლებშორის სივრცეში ფოსფიდური ევტექტიკის სახით. მარცვალთშორის მისი არსებობა ხელს უწყობს ცივი ბზარების წარმოშობას მარცვალთა საზღვარზე.

არაკონდიციური 10-2 მმ მისართის უტილიზაციის ტექნოლოგიების ასპექტით, მსოფლიოში არსებული გამოცდილებიდან განსაკუთრებით საინტერესოა უკრაინაში ნიკოპოლის ფეროშენადნობთა ქარხანაში დანერგილი სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს აღნიშნული მისართის დოზირებულ შერევას სამსხმელო ღარში გამდინარე თხევადი შენადნობის ნაკადში და მიღებული სუსპენზიის უწყვეტ ჩამოსხმას 100-110 მმ სისქის შოთებად 0,012 მ<sup>3</sup> ტევადობის თუჯის როფებით აღჭურვილ კონვეიერულ სამსხმელო მანქანაზე.

## 1.2. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმა

«გაადნე ცხლად, და ჩამოასხი ცივად» -პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებულმა სხმულის მიღების ამ მეთოდმა, რომელიც მოხსენებული აქვს გ.ფ.ბალანდინს, თავის მონოგრაფიაში [48, 49] მეორედ დაბადება განიცადა სხმულის მიღების ისეთ ეფექტურ მეთოდში, როგორცაა სუსპენზიური ჩამოსხმა. სუსპენზიური ჩამოსხმა, სხმულის მიღების ისეთი მეთოდია, რომლის დროსაც სამსხმელო ყალიბის შევსების პროცესში ან შევსების შემდეგ ნადნობის მოცულობაში წარმოიქმნება ეზოგენური ან ენდოგენური კრისტალიზაციის ცენტრები, რომელთა ინოკულირებული მოქმედება ვლინდება, როგორც გამყარების სიჩქარის გადიდებასა და მოცულობითი გამყარების უპირატეს განვითარებაში, ასევე ჩამოსხმული ლითონის სტრუქტურის დისპერგირებაში.

პირველად სუსპენზიური ჩამოსხმის სფეროში მუშაობდა ე. შეილი [48, 49], იგი აწარმოებდა ალუმინის და ფოლადის სხმულების ჩამოსხმას ქვიშის ყალიბებში, რომელშიც წინასწარ დგამდნენ ფოლადის ან ალუმინის კოპს ან ლენტს.

ამ დროისათვის ერთ-ერთმა ფრანგულმა ფირმამ შენადნობის შემადგენლობის შეცვლის მიზნით, შესთავაზა გამოიყენონ აირის ჩაბერვა ან მასში ლითონური ან არალითონური ნაწილაკების შეყვანა. ჩამოსხმის წინ თხევად გადახურებულ ლითონში შეყავთ ისეთივე მარკის ალუმინის ნატეხები, როგორიც ნადნობია. მყარი დანამატების წონა დგინდება ისე, რომ მთლიანად იქნას მოხსნილი ლითონის გადახურება.

სუსპენზიური ჩამოსხმის არსი მდგომარეობს შენადნობში კრისტალიზაციის დამატებითი აქტიური კრისტალიზაციის ცენტრების წარმოქმნაში. დღეისათვის განასხვავებენ სუსპენზიური ჩამოსხმის რამდენიმე სახეს: ენდოგენური, ეგზოგენური და შეთავსებული (ცხრილი 1.2).

ენდოგენური სუსპენზიური ჩამოსხმისას თხევად ლითონში შეყავთ ფრაქციის ფხვნილოვანი მასალა 1,5% (0,5±0,3 მმ) რაოდენობით, როგორცაა რკინის ფხვნილი, ფოლადის და თუჯის საფანტი, სხვადასხვა ლითონის მარცვალი, ფეროშენადნობები ან ლიგატურები, ინოკულიატორების სახით შეიძლება გამოყენებული იქნას ლითონის საფანტი, «კოპები», ბურბუშელა და სხვა.

ცხრილი 1 .2.

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის სახეები

სუსპენზიური ჩამოსხმის მეთოდები	ძირითადი და ტექნოლოგიური თავისებურება	რეალიზებული ტექნოლოგიური პროცესი და ტექნოლოგიური უპირატესობა
ეგზოგენური	თხევად ლითონში დისპერსიული არაკონდინციური ფრაქციის შეყვანა ჩამოსხმისას	სუსპენზიური მოდიფიცირება , ლეგირება და განჟანგვა, სხვადასხვა დაბალნახშირბადიანი ნადნობის მიღება, ბაზური შემადგენლობის საწყისზე და ლეგირება; ბიმეტალის მიღება; წარმოების ნარჩენების უტილიზაცია.
	ჩამოსხმულ ლითონში მიკრომაცივრების «ინოკულიატორის» შეყვანა.	სხმულელებისა და შოთების დაარმირება; წარმოების საკუთარი ნარჩენების უტილიზაცია, გამყარების პროცესის მაკროპეტროგერული კომპოზიტების მიღება.
ენდოგენური	მყარი ინოკულიატორებით ზემოქმედება დაკრისტალებად თხევად ფაზაზე.	უწყვეტი სუსპენზიური ჩამოსხმა მაკროსტრუქტურის სტაბილიზაციით.
შეთავსებადი	ენდოგენური და ეგზოგენური ჩამოსხმის შეთავსება.	ტექნოლოგიის ეფექტურობის ამაღლება შეთავსებადი სხვადასხვა ზემოქმედების ხარჯზე.

ენდოგენური სუსპენზიური ჩამოსხმა წარმოებს ნადნობის მოცულობაში კრისტალიზაციის დამატებითი აქტიური ენდოგენური კრისტალიზაციის ცენტრების სხვადასხვა ტექნოლოგიური გზით შეყვანის მემშვეობით.

ამ შემთხვევაში კრისტალიზაციის ცენტრი შეიძლება იყოს მყარი ფაზა ან დისპერსი-

ული ნაწილაკები, რომელიც წარმოადგენს ნადნობის კომპონენტებს შორის რეაქციის პროდუქტს, თხევად ფაზაში ერთგვაროვანი თბოგადაცემის ინტენსიფიკაციის დროს.

სუსპენზიური ჩამოსხმა შეიძლება გამოყენებული იქნას ნადნობის ხარისხის გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ჩამოსხმის ასეთი მეთოდით მიღებულ სხმულს ახასიათებს ფიზიკო-ქიმიური თვისებების და სტრუქტურული არაერთგვაროვნება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ეგზო და ენდოგენური სუსპენზიური ჩამოსხმის სახეებს გააჩნიათ ინდივიდუალური უპირატესობა, არ გააჩნიათ ერთმანეთის მიმართ კონკურენტუნარიანობა, პირიქით მათი ერთიან კომპლექსში გამოყენება აუმჯობესებს ეფექტურობას და აფართოებს ტექნოლოგიის გამოყენების სფეროს. ამ თვისებით წარმოდგენილი სუსპენზიური ჩამოსხმის შეთავსებული მეთოდის პერსპექტიული გამოყენება. სუსპენზიური ჩამოსხმის მნიშვნელოვან უპირატესობას წარმოადგენს კონცენტრირებული ჩაჯდომის ფუქვილას შემცირება, ჩაჯდომის ქვედა და ღერძული სიფხვიერის ლიკვიდაცია, რაც განპირობებულია ბევრი ფაქტორით, კერძოდ კი კრისტალიზაციის ხასიათის ისეთი პოზიტიური ცვლილებებით, როგორცაა სტრუქტურის ერთგვაროვნების (მარცვლების დეზორიენტაციის) უზრუნველყოფა და დენდრიტების «კვების» გაუმჯობესება.

სუსპენზიური ჩამოსხმის ძირითადი არსი ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე მდგომარეობს თხევადი ლითონის კრისტალიზაციის პროცესის მართვაში [67].

დისპერსიული ინოკულიატორები ახდენენ თხევადი ლითონის კრისტალიზაციის პროცესის მართვას ანუ თხევადი ლითონიდან სითბოს აკუმულირებას, რომელიც იხარჯება მის გაცხელებასა და გადნობაზე. სწორედ ეს არის ყველაზე მნიშვნელოვანი განსხვავება სუსპენზიური ჩამოსხმისა ჩამოსხმის სხვა მეთოდებისაგან. (ნახ.1.3)

თხევადი ლითონის გადახურების ტემპერატურის დაწევას ( $\Delta T_{\infty} \rightarrow 0$ ) მივყავართ სითბოს  $Q$  საერთო რაოდენობის შემცირებამდე, რომელიც აუცილებელია ნადნობს მოცილდეს კრისტალიზაციის პროცესში

$$Q=L+C (\Delta T_{\infty} + \Delta T_{\Delta A}) \quad (1.1)$$

რაც თავის მხრივ განაპირობებს გამყარების ხანგრძლივობის შემცირებას

$$\tau = AQ^2 \quad (1.2)$$

სადაც:  $L$ -კრისტალიზაციის ფარული სითბო;

$C$ -კუთრი სითბოტევადობა;

$\Delta T_{\infty}$ -კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი;

$A$ - პროპორციულობის კოეფიციენტი.

სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიური პროცესის მაღალი ეფექტის მისაღწევად უმნიშვნელოვანეს პარამეტრად გვევლინება დისპერსიული ინოკულიატორების გრანულ-მეტრული მაჩვენებლები. ინოკულატორთა ოპტიმალური მაქსიმალურად დასაშვები ზომა შეიძლება დადგინდეს გაცხელების ხანგრძლივობის და ნაწილაკების დნობის სიჩქარის პროგნოზირებით [46].

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ სუსპენზიური ჩამოსხმის არსი მდგომარეობს მყარი არაკონდიციური მისართის თხევადი ლითონის ნაკადში შეყვანასა და ჩამოსხმაში. არაკონდიციური მისართის ნამსხვრევები თხევად ლითონში ფაქტობრივად კრისტალიზაციის დამატებით ცენტრებს წარმოადგენენ და უზრუნველყოფენ როგორც გამყარების სიჩქარის გაზრდას, ასევე ჩამოსხმული ლითონის სტრუქტურის დისპერსირებას. ამასთან ერთად თხევად ლითონში შეყვანილი ნაწილაკები ახდენენ გასამყარებელი ნადნობის სითბოს აკუმულირებას, რაც ამცირებს ცხელი ბზარების წარმოშობის შესაძლებლობას.

სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ერთ-ერთი ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრია ჩამოსასხმელი ლითონის ტემპერატურა, ვინაიდან ეს განსაზღვრავს ლითონის გადახურების სიდიდეს, რომელზეც თავის მხრივ, დამოკიდებულია თხევად ნაკადში მისართი მყარი წვრილმანის დასაშვები წონა. დადგენილია, რომ სამრეწველო პირობებში ჩამოსასხმელი სილიკომანგანუმის ტემპერატურა იცვლება 1310-1340 °C ზღვარში [78, 79, 80]. ე.ი. მისი ლიკვიდუსის ტემპერატურა აჭარბებს 40-80 °C-ს.

თხევად ლითონში მისართი არაკონდიციური წვრილმანის მაქსიმალური დასაშვები წონის გამოთვლა, რომელიც შეიძლება გადნეს ჩამოსხმისას გადახურებული ნადნობის სითბოთი, წარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{m}{M} = \frac{C_{sf} (t_{xfv} - t_{kbr}) 100}{C_{v.} (t_{cjk} - t_{cfo.}) + L + \frac{C_{sf} + C_{v.}}{2} (t_{kbr} - t_{cjk})} \quad (1.3)$$

სადაც:  $m$ -მყარი მისართის წონაა, კგ;

$M$ -თხევადი ნადნობის წონაა, კგ;

$C_{თბ}$ -ნადნობის კუთრი სითბოტევადობაა თხევად მდგომარეობაში, ჯ/კგ. გრად.

$t_{სოლ}$ -სოლიდუსის (გამყარების) ტემპერატურაა, °C;

$C_{მყ}$ -ნადნობის კუთრი სითბოტევადობაა მყარ მდგომარეობაში, ჯ/კგ;

$t_{ჩ}$ -ჩამოსხმის ტემპერატურაა, °C;

$t_{ლიკ}$ -ნადნობის ლიკვიდუსის ტემპერატურაა, °C;



$t_{საწყ}$ –შეყვანილი მყარი მისართის საწყისი ტემპერატურა, °C;

L-ნადნობის კუთრი სითბო, ჯ/კგ.

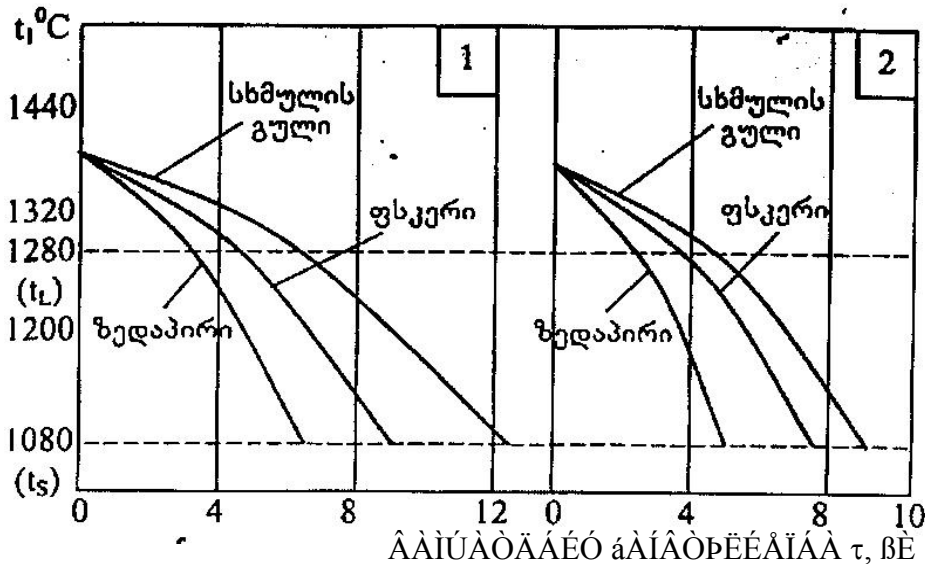
გამოსაკვლევ შუალედში ტემპერატურის დამოკიდებულება კუთრ სითბოტევადობასთან აღწერილია განტოლებაში:

$$C_{გამ} = 690,6 + 0,067t \text{ ჯ/კგ} \quad (1.4)$$

სადაც:  $C_{გამ}$  - კუთრი სითბოტევადობა, ჯ/კგ;

t - ტემპერატურა, °C.

პრაქტიკული სითბური გამოთვლის ჩატარებისას შენადნობის დნობის კუთრი სითბო განისაზღვრება სუფთა კომპონენტების დნობის სითბოს ადიტიური მეთოდით. ამ შემთხვევაში სუფთა კომპონენტების დნობის სითბო მიღებულია ლიკვიდუსის ტემპერატურაზე, რომლის მნიშვნელობა ტოლია 477,02 კჯ/კგ-სა.



ნახ.1.3. საჩამოსხმელო მანქანის როფში ფეროსილიკომანგანუმის

სხმულის გამყარების კინეტიკური მრუდები:

1 - ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმული;

2 - სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმული.

ნიკოპოლის ფეროშენადნობ ქარხნის მონაცემებით სილიკომანგანუმის ჩამოსხმისას, როცა ლითონის გადახურების ლიკვიდუსის ტემპერატურა არ აღემატება 100°C-ს, მაშინ მისართი წვრილმანის მაქსიმალური დასაშვები წონა შეადგენს 6,5%-ს. ეს ეფექტი გამოკვეთილად მჟღავნდება შოთის ცენტრალურ ნაწილში, სადაც გამყარების მთლიანი დრო შემცირებულია 30%-ით.

შრომების [29, 78] მიხედვით სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული შოთების დამსხვრევისას ფეროსილიკოლმანგანუმში არ აღმოჩნდა ლითონური მაკრო ჩანართები, რაც

მიუთითებს სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმისას თხევადი ლითონის მიერ ლითონური მისართის სრულ შეთვისებაზე.

სუსპენზიური ჩამოსხმის დროს არაკონდიციური მისართის შეთვისების ეფექტურობა განისაზღვრება სუსპენზიური ნაწილაკების ზომებით და მისართი წვრილმანის წონით, ასევე შენადნობში წვრილმანის შეყვანის მეთოდით.

სუსპენზიური ჩამოსხმის დროს მისართის ნაწილაკის მაქსიმალურად დასაშვები ზომა დამოკიდებულია ნაწილაკების დნობის ხანგძლივობაზე.

ნაწილაკის დნობის ხანგძლივობის საპროგნოზო ფორმულას აქვს სახე

$$\tau_{ly} = \frac{0,493LR^2}{a_{sf} C_{sf} (t_x - t_{kbr})} \quad (1.5)$$

სადაც: R-შესაყვანი ნაწილაკების სავარაუდო რადიუსია, მ;

$a_{sf}$ -ტემპერატურა გამტარობაა.

შენადნობის 100°C-ით გადახურების დროს 5-20 მმ ზომის ნაწილაკებისათვის დნობის ხანგძლივობაა 15-70 წმ, რაც საგრძნობლად მცირეა ზოდის გამყარების დაწყების დროსთან შედარებით.

ლიტერატურების [27, 88] მიხედვით ჩამოსხმის დროს, თხევად ლითონში არაკონდიციური მისართის შეყვანის მარტივ ტექნოლოგიურ მეთოდს წარმოადგენს მანქანის თავზე დამონტაჟებული ბუნკერის მკვებავიდან მისი დოზირება. ამ შემთხვევაში დანადგარი უნდა უზრუნველყოფდეს ჩასასხმელ ნადნობში მისართის მიწოდების უწყვეტ დოზირებას.

ო.სტოლიარის [78, 80] ნაშრომების მიხედვით ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის დროს სამრეწველო პირობებში წვრილმანის შეყვანის რაციონალური ადგილის განსაზღვრის მიზნით გამოიკადა თხევად ლითონში წვრილმანის შეყვანის 4 ვარიანტი:

- 1 - როფის ფსკერზე ნადნობის ჭავლის ქვეშ შეყვანა;
- 2 - ნაწილის შეყვანა ლითონის ნაკადში ლუმელის გამოსაშვებ ღარში და ნაწილის როფის ძირზე მოყრით;
- 3 - ლითონის ნაკადში სამსხმელო მანქანის ღარზე ციცხვიდან ჩამოსხმისას;
- 4 - ციცხვიში მოთავსდება შენადნობის გამოშვებამდე 10 წმ-ით ადრე.

გამოკვლევების შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ I ვარიანტი იძლევა არადამაკმაყოფილებელ შედეგს. მკვლევართა აზრით სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმულ

პროდუქციას განსაკუთრებით ქვედა ზედაპირზე გააჩნია მისართის მხოლოდ ნაწილობრივი შეღებვითი ნაწილაკები, ისინი მინიმალური მექანიკური ზემოქმედებით იფშვნილობდნენ.

მეორე შემთხვევაში როფის ფსკერზე წვრილმანი მისართის (10% საერთო წონის) მცირე ნაწილის შეყვანა უზრუნველყოფს თხევადი ლითონის მიერ ნაწილაკების შედარებით უკეთეს შეთვისებას.

დამაკმაყოფილებელი შედეგია მიღებული მე-3 და მე-4 ვარიანტის გამოცდის დროს. ჩამოსხმელი მანქანის ღარზე არაკონდიციური მისართის გაღობის სიჩქარის პროგნოზირებისათვის შემოღებულია გაღობის კოეფიციენტი, რომლის პროგნოზირება შესაძლებელია ფორმულით:

$$K = \frac{a_{sf} c_{sf} (t_{xlv} - t_{kbr}) \rho}{0,986Lr}, \quad (1.6)$$

სადაც:  $\rho$  - შეყვანილი ნაწილაკების სიმკვრივეა, კგ/მ<sup>3</sup>;

$r$  - შეყვანილი ნაწილაკების საშუალო რადიუსი, მ.

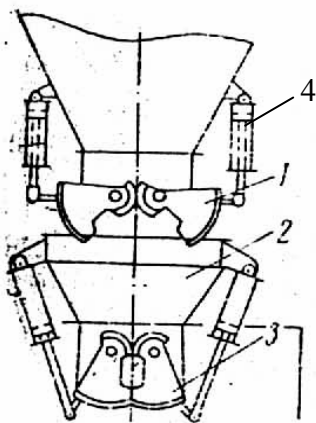
ამ ფორმულიდან სჩანს, რომ ღნობის პროცესში არაკონდიციურ მისართს უნდა ჰქონდეს დაბალი თბოგამტარობა, ვინაიდან ამ დროს სასაზღვრო ფენიდან სითბოს ართმევის სიჩქარე უნდა იყოს მინიმალური. რაც ხელს უშლის შეყვანილი ნაწილაკების ზედაპირზე ძირითადი ლითონის ნაფენების ჩამოყალიბებას, რითაც მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი ნაწილაკის ზედაპირზე თბოიზოლაციური გარსის მიღების შესაძლებლობა [52].

ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ფეროშენადნობთა სუსპენზიური ჩამოსხმა ერთ-ერთი ყველაზე პროგრესიული მეთოდია. ამდენად, მისი თავისებურებების ანალიზი და ეფექტურობის კიდევ უფრო ამაღლების შესაძლებლობათა კვლევა ფეროშენადნობების წარმოებაში, წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე არსებითი მნიშვნელობის საკითხს.

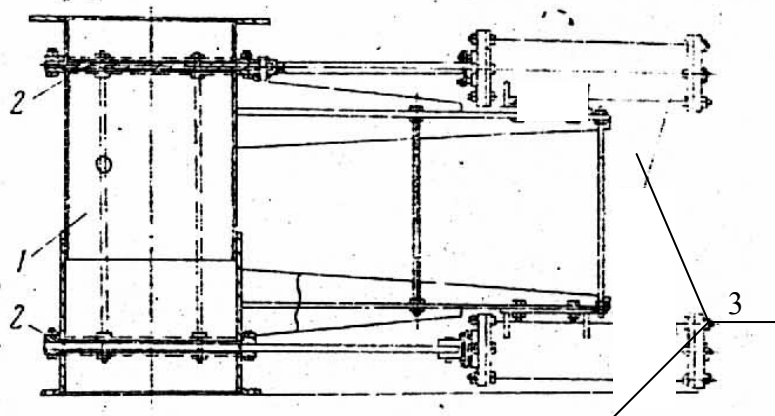
### 1.3. ფეროსილოკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმისათვის განკუთვნილი არაკონდიციური ფხვნილოვანი მასალების დოზირების თანამედროვე მეთოდები და მოწყობილობები

როგორც ცნობილია, დოზატორები გამოიყენება ნივთიერების ერთი და იგივე მოცულობის და წონის მისაწოდებლად. აქედან გამომდინარე, ისინი შეიძლება იყოს მოცულობითი და წონითი [47]. მოცულობითი თავის მხრივ იყოფიან ბუნკერულ და შიბერულ ტიპის დოზატორებად [12, 13, 47, 62].

ბუნკერული დოზატორი (ნახ.1.4) გამოიყენება მშრალი წვრილფრაქციული მასალების მისაწოდებლად. იგი შედგება ორი ყბებიანი ჩამკეტის 1, 3 და შუალედური ბუნკერისაგან 2. ყველა ეს მოწყობილობები ერთად შედიან დოზატორის შემადგენლობაში. ჩამკეტის გაღება და დახურვა წარმოებს პნევმოცილინდრის 4 მეშვეობით.



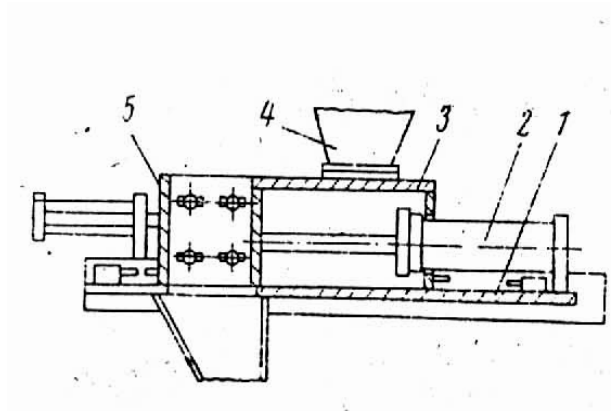
ნახ. 1.4. ბუნკერული დოზატორი



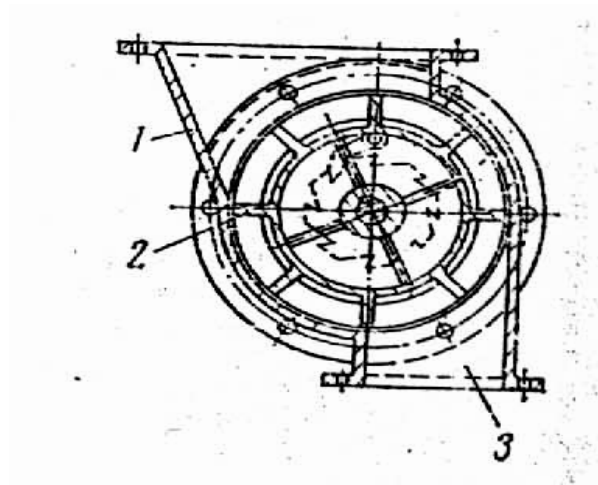
ნახ.1.5. შიბერული დოზატორი

შიბერული დოზატორი (ნახ.1.5) წარმოადგენს სწორკუთხა კვეთის მილს 1, რომელსაც რიგ-რიგობით კვეთს ორი შიბერი 2, მათი გადაადგილება ხორციელდება პნევმოცილინდრების 3-ის მეშვეობით. მილის მოცულობა, მოქცეულია ორ შიბერს შორის და განსაზღვრავს წვრილფრაქციული მასალის ერთ დოზას.

წვრილფრაქციული ნივთიერების დოზირებისათვის [12, 62] ზოგჯერ იყენებენ ყუთისებრ და დოლურ დოზატორს (ნახ.1.6 ა,ბ), ხოლო ისეთ კონსტრუქციებში [39] რომელიც ნაჩვენებია ნახ.1.7 -ზე, ულუფის მოცულობის შეცვლა სრულდება ხელით. ამ ოპერაციის მექანიზირების მიზნით, დოზატორში საწყაო ტევადობის საშუალო ნაწილის გადამადგილებელი კვანძი სრულდება საყრდენზე დამაგრებული ამძრავიანი ხრახნის სახით, ამასთან ვერტიკალური მიმართველი აღჭურვილია მანჭვლიან ქანჩთან ურთიერთმოქმედი საბოლოო გამომრთველით.



ა)

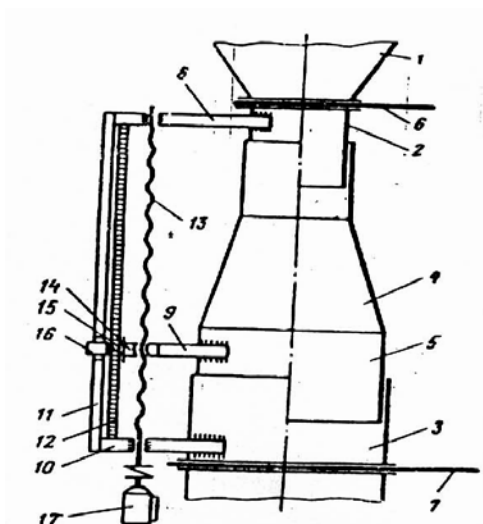


ბ)

ნახ. 1.6. ა) ქუთისებრი დოზატორი;

ბ) დოლური დოზატორი

ზედა ჩამკეტის გაღებისას დოზირებული ნივთიერება ბუნკერიდან იყრება საწყაო ტევადობაში, რომლის ავსების შედეგად ზედა ჩამკეტი იღება და მიეწოდება საჭირო დოზა, რომლის მოცულობის შეცვლა ხდება გამომრთველის გადაადგილებით ვერტიკალური მიმართველის შკალის საჭირო დანაყოფამდე. ამის შემდეგ ჩაირთვება ამძრავი, ხრახნი და საწყაო ტევადობის მოძრავი საშუალო ნაწილი იწყებს გადაადგილებას ქანჩთან ერთად. საბოლოო გამომრთველის ბერკეტის ურთიერთქმედებით მანჭვლიან ქანჩთან ამძრავი გამოირთვება და საწყაო ტევადობის საშუალო ნაწილი ჩერდება საჭირო მოცულობის მდგომარეობის შესაბამისად.



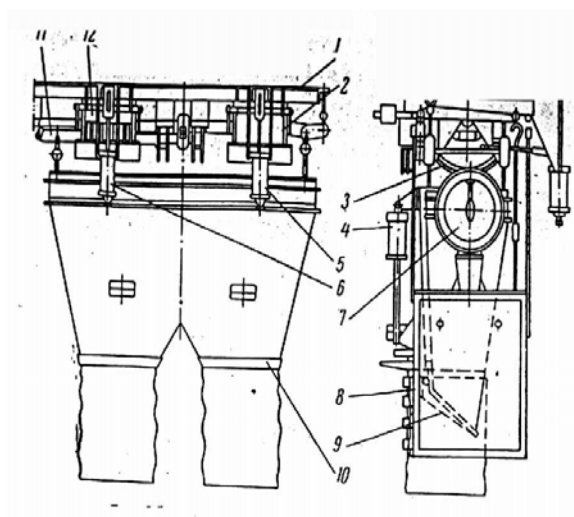
ნახ.1.7. მოცულობითი დოზატორი

1-ბუნკერი; 2-საწყაო ტევადობის ზედა ნაწილი; 3-საწყაო ტევადობის ქვედა ნაწილი; 4-საწყაო ტევადობა; 5-საწყაო ტევადობის მოძრავი შუა ნაწილი; 6-ზედა ჩამკეტი; 7-ქვედა ჩამკეტი; 8-ზედა მბჯენი; 9-შუა მბჯენი; 10-ქვედა მბჯენი; 11-ვერტიკალური მიმმართველი; 12-ერთეული მოცულობის ტარირებული შკალა; 13-ხრახნი; 14-ქანჩი; 15-მანჭვალი; 16-საბოლოო გამომრთველი; 17-ამძრავი.

წონითი დოზატორები თავის მხრივ გვხვდება პერიოდული და უწყვეტი მუშაობის პრინციპით [12, 47, 62].

პერიოდული მოქმედების პრინციპით მომუშავე დოზატორი გამოიყენება მშრალი არაკონდინციური ნივთიერების დოზირებისათვის (ნახ.1.8).

პერიოდული მოქმედების პრინციპით მომუშავე წონითი დოზატორი შეიცავს ჩარჩოს, რომელზეც დამაგრებულია ორი ძაბრი 2, 12 გადაფარული სექტორული ჩამკეტით 3. ჩამკეტის გაღება-ჩაკეტვა წარმოებს ცილინდრით 5 და 6. ჩარჩოს გააჩნია წონის მექანიზმი, რომელთანაც მაგრდება ორმაგი ბუნკერი 10 გამომშვები ყელით. ეს ყელი გადაფარულია ძროთი 9, რომელიც საჭიროების დროს იღება პნევმოცილინდრით 4, ბერკეტული ამწონი სისტემა აღჭურვილია ციფერბლატური მაჩვენებლით 7, რომელზეც ფიქსირდება ნივთიერების ყველა ულუფა (პორცია) ამწონი მექანიზმისათვის „დავალება“ აქვს სასწორის მხრეულს, რომელიც დამონტაჟებულია კარადაში 8.

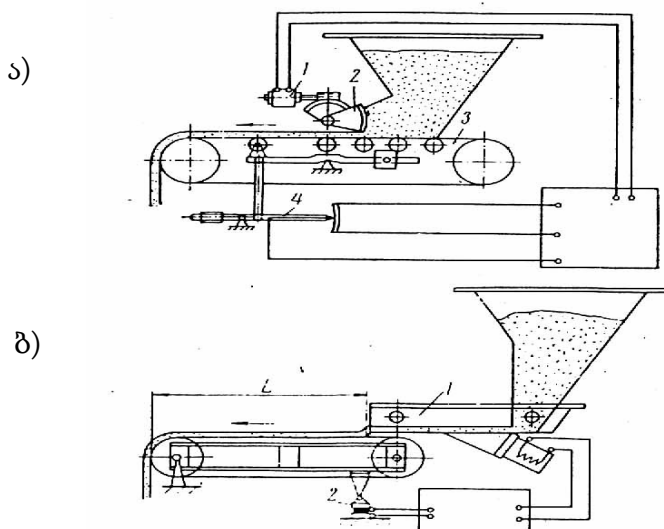


ნახ.1.8. პერიოდული მოქმედების პრინციპით მომუშავე წონითი დოზატორი ДИ-1200

დოზატორის საჭირო რეჟიმზე მუშაობისათვის მომზადება ხდება მხრეულაზე საწონის გადაადგილებით. დოზატორის მუშაობა წარმოებს ავტომატურად, წინასწარ მომზადებული პროგრამით.

უწყვეტი მოქმედების პრინციპით მომუშავე დოზატორები (ნახ.1.9 ა,ბ) შეიძლება იყოს ერთსაფეხურიანი და ორსაფეხურიანი [12,47,62]. პირველი დანადგარი მოიცავს არაკონდინციური ნივთიერების აწონის და მიწოდების მარეგულირებელ მექანიზმს, ხოლო მეორეს დამოუკიდებლად გააჩნია აწონის, მიწოდების და რეგულირების მექანიზმი.

ერთ საფეხურიან დოზატორს (ნახ.1.9.ა) საფარი 2-ის გადასაადგილებლად გააჩნია რვერსიული თვითმოდრავი მოწყობილობა 1. დოზატორის წარმადობა დგინდება ბერკეტზე 4 ძირის გადაადგილებით. დაყენებული წარმადობის შესაცვლელად ირთვება სერვოდრავი, რომელიც ბრუნავს საფარის მდგომარეობის შესაცვლელად. მიუხედავად იმისა, რომ ასეთი დოზატორები მარტივი კონსტრუქციისაა, მაინც ვერ უზრუნველყოფს წონის მაღალ სიზუსტეს, რადგანაც ხდება ლენტის 3 ჩაწევა მადოზირებელი ნივთიერების ზემოქმედების შედეგად. გარდა ამისა, დოზატორებს გააჩნიათ აწონის საგრძნობი ინერციული სისტემა.



ნახ.1.9. უწყვეტი მუშაობის პრინციპით მომუშავე დოზატორი

ორსაფეხურიან დოზატორს ნივთიერების ლენტზე მიწოდების ვიბრო ღარით 1 (ნახ.1.9.ბ) გააჩნია ხისტი მაგნიტური მაჩვენებელი 2, რომელიც მექანიკურ დამაბულობას გარდაქმნის ელექტროიმპულსურში.

ორივე ტიპის დოზატორებში არაკონდიციური ნივთიერება იწონება ე.წ. თეორიულ ბაქანზე, ე.ი. განსაზღვრულ ჰორიზონტალურ უბანზე, სადაც ტრანსპორტიორის ლენტა მოძრაობს უწყვეტად, ამასთან ერთად აწონვა შეიძლება ინტერვალებით და მუდმივად.

პირველ შემთხვევაში არაკონდიციური ნივთიერების წონა თითოეულ მოცემულ მომენტისათვის ტოლი იქნება:

$$G = \int_0^L qdL, \text{ კგ} \quad (1.7)$$

სადაც  $q$ -ნივთიერების წონაა 1 მ-ზე, კგ;

$L$ -თეორიული ბაქნის სიგრძეა, მ.

ორ გაზომვას შორის შუალედი დრო გამოითვლება ფორმულიდან

$$t_0 = \frac{L}{v}, \text{ წმ} \quad (1.8)$$

სადაც  $v$ -ლენტის მოძრაობის სიჩქარეა, მ/წმ.

ნივთიერების საშუალო ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:



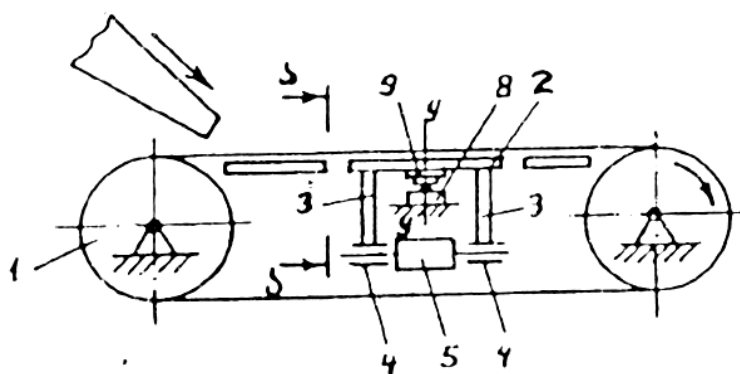


მომუშავე დოზატორის მარეგულირებელი მოწყობილობა შესრულებულია ულუფის რაოდენობის ავტომატიზირებული მაჩვენებლის სახით.

დოზირებისას ულუფის საჭირო რაოდენობის დავალება მიეცემა მართვის ბლოკს 7, იღება შიბერი 2 და ჩაირთვება ავტომატიზაციის მაჩვენებელი 5, დოზირებული ნივთიერება ბუნკერიდან 1 ხვდება ციცხვის 3 ერთ-ერთ სექციაში, ციცხვის გავსებისას მიეცემა სიგნალი მაჩვენებლიდან 5 მმართვის ბლოკს 7, ციცხვის 3 გადაყირავების მომენტში ხდება მადოზირებელი ნივთიერების საწინააღმდეგოდ მდებარე სექციის გავსება. ამის შემდეგ ხდება ციცხვის 3 გადაყირავება მაჩვენებლის 5 შესაბამისად ბლოკიდან 7. საჭირო ულუფის მიღების შემთხვევაში მართველი ბლოკი 7 აძლევს ბრძანებას შიბერის 2 ჩამკეტ მექანიზმს 8. დოზის მოცულობის რეგულირება ხორციელდება ციცხვის 3 დახრის კუთხის შეცვლით დოზის მავალბლის 6 მეშვეობით.

ლენტური დოზატორით (ნახ.1.11) [5] შესაძლებელია აწონვის სიზუსტის ამაღლება ტვირთმიმღებ ელემენტზე 2. ტვირთის ზემოქმედებისას წარმოიქმნება ძალა, რომელიც წარმოშობს მგრეხ მომენტს სახსრის 4 ირგვლივ. მგრეხი მომენტი კომპენსირდება ბერკეტების 5 და ლენტური საჭიმის 9 საშუალებით. ბერკეტები სახსრულადაა დაკავშირებული საყრდენ ჩარჩოზე, ხოლო მისი შუა ნაწილი ტვირთმიმღები ელემენტის შვერილზე 8. ეს უკანასკნელი დაკავშირებულია გადამწოდთან 10.

ნახ. 1.11 . ლენტური დოზატორი



მოწყობილობა შეიცავს კონვეიერს 1, რომლის ლენტის ქვემოთ დაყენებულია ტვირთმიმღები ელემენტი 2, შესრულებული, ტვირთმიმღები ბაჟნის სახით, რომელზედაც დამაგრებულია ორი ვერტიკალური ელემენტი, მაგალითად, დგარი 3, თითოეული ვერტიკალური დგარი 3 სახსრით 4 დაკავშირებულია ჰორიზონტალურად განლაგებული ბერკეტების 5 თითო ბოლოსთან, რომელთა მეორე ბოლოები სახსრებით 6 შეერთებულია საყრდენ ჩარჩოსთან 7. ბერკეტები 5 ერთმანეთის მიმართ განლაგებულია პარალელურად

და ერთმანეთთან შეერთებულია განივი მოსაჭიმით. ტვირთიმღებ ელემენტის 2, ბაქნის ქვეშ დამაგრებულია შვერილი 8, ლენტური საჭიმი 9 თავისი შუა ნაწილით დაკავშირებულია შვერილთან 8, ხოლო მისი ბოლოები დამაგრებულია საყრდენ ჩარჩოზე 7. წონის საზომი გადამწოდის 10 განლაგებულია ჩარჩოზე 7 და კონტაქტშია შვერილთან 8.

მოწყობილობა მუშაობს შემდეგნაირად: მასალით დატვირთული კონვეიერის 1 ლენტის მოძრაობის დროს წარმოიშობა ხახუნის ძალები ლენტსა და ბაქანს 2 შორის. იმის გამო, რომ ბერკეტები 5 განლაგებულია განივად კონვეიერის 1 ლენტის მოძრაობის მიმართ, წარმოქმნილი ხახუნის ძალები აღიქმება სახსრებით 6, რის გამოც ეს ძალები არ მოქმედებენ გადამწოდზე 10.

ტვირთიმღებ ბაქანზე 2 თანაბრად განაწილებული მასალით დატვირთვისას (ან ცენტრალური დატვირთვისას) ლენტური საჭიმი 9 და ბერკეტების 5 სახსრები აღმოჩნდებიან მთლიანად განტვირთული.

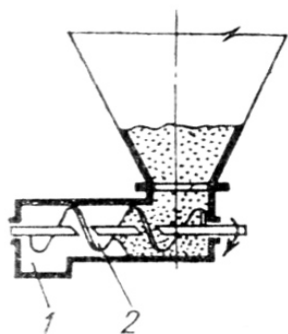
იმის გამო, რომ ტვირთიმღები ბაქნის 2 საყრდენი წერტილი წონის საზომ გადამწოდზე 10 და ლენტური საჭიმის 9 დამაგრების ადგილი ერთმანეთთანაა შეთავსებული, წონის საზომ გადამწოდზე 10, ძალვის გადაცემისას გვერდითი და განივი ძალების არასასურველი მოქმედება გამოირიცხება, რაც ამაღლებს აწონვის სიზუსტეს.

იმის გამო, რომ ტვირთიმღები ბაქნის 2 საყრდენი ზედაპირის ცენტრი შვერილის საშუალებით ხისტად არის დაკავშირებული ლენტური საჭიმის 9 შუა ნაწილთან, იგი გადამწოდის 10 მუშა დეფორმაციის დროს გადაადგილდება ვერტიკალურად, რის გამოც გამოირიცხება ტვირთიმღები ბაქანსა 2 და კონვეიერის 1 ლენტის ურთიერთგადაადგილება.

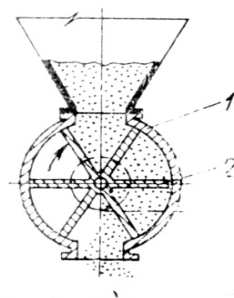
წონის საზომი გადამწოდის 10 განლაგების ადგილის შერჩევით მოწყობილობა იძლევა საშუალებას გადიდდეს ან შემცირდეს, ან ადეკვატურად გადაიცეს დატვირთვის სიდიდე წონსაზომ გადამწოდზე 10; კერძოდ, წონის საზომი გადამწოდის 10 შეიძლება იყოს დაყენებული ტვირთიმღებ ელემენტსა და ლენტურ საჭიმს 9 შუა რკალისებური შვერილის 8 საშუალებით.

ტვირთიმღები ელემენტებიდან წონის საზომ გადამწოდებზე დატვირთვის გადამცემი მოცემული მოწყობილობა შეიძლება იყოს გამოყენებული, უპირველესად, იმ ტვირთიმღებ ელემენტებთან, სადაც აუცილებელია გამოირიცხოს გვერდითი შემდგენი ძალების მოქმედება ძალის გადამწოდზე, მაგალითად, ბუნკერებთან, ამწევ-ამწონ მექანიზმებთან, ან ბაქნებთან.

თანამედროვე ტექნიკაში ფართოდ არის გამოყენებული ხრახნიანი( ნახ.1.12) და ფრთებიანი (ნახ.1.13) დოზატორები, ხრახნიანი დოზატორი [62] შედგება ღარის 1 და ორი, სამი ან მეტი ჰორიზონტალურად მდებარე ხრახნისაგან 2. საბოლოოდ ასეთი კონსტრუქციით ფხვიერი მასალა გადაადგილდება ბუნკერის მთელი სიგრძიდან, რაც გამორიცხავს ბუნკერის კედლებზე ნივთიერების «ჩამოკიდებას». საჭირო ულუფის ნივთიერების მიწოდების რეგულირება წარმოებს ხრახნის ბრუნვის რიცხვის ცვლილებით.

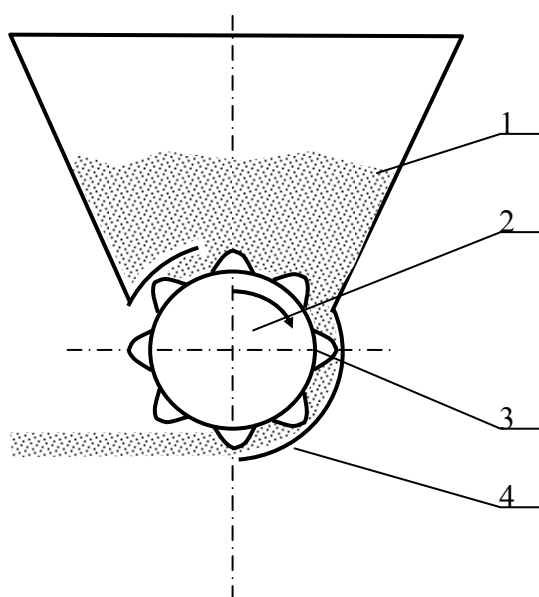


ნახ.1.12. ხრახნიანი დოზატორი



ნახ.1.13. ფრთებიანი დოზატორი

ნახ.1.14. ქვიშის გამანაწილებელი აგრეგატი



ფრთებიანი დოზატორი [62] შეიცავს კორპუსს 1, რომლის შიგნით ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ მბრუნავ როტორზე დამაგრებულია ფრთები 2. როტორის ბრუნვა რიცხვის შეცვლით რეგულირდება ბუნკერიდან ფხვიერი მასალის მიწოდების ხარჯი.

ნახაზ 1.14-ზე მოცემულია ქვიშის გამანაწილებელი აგრეგატი [1], რომელიც შედგება ხვიმისა 1 და ხსნარის მმართველ ფარისაგან 4, ხვიმირის ქვედა ნაწილში მოთავსებულია მბრუნავი ცილინდრული დოლი 2, ქვიშის თანაბარი სისქით გასანაწილებლად, იმავდროულად მისი ფხვიერ ფუმეში ჩასატკეპნად დოლის ზედაპირზე ხისტადაა დამაგრებული დოლის ღერძის მიმართ პარალელურად განლაგებული სამკუთხა ფორმის მქონე თამასები 3, რომლებიც ერთმანეთისგან თანაბრად არიან დაშორებული.

### 1.5. წვრილფრაქციული ფეროსილიკომანგანუმის დოზირების რაციონალური მეთოდები და მათი ნაკლოვანებების ანალიზი

ზემოთ აღნიშნული მადოზირებელი მოწყობილობებისა და სისტემების შესაძლებლობების, ტექნოლოგიურობის, კომპაქტურობისა და საიმედოობის სისტემური და შედარებითი ანალიზი აჩვენებს, რომ ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდინციური ფრაქციების დოზირებისათვის უმჯობესია გამოყენებული იქნას ლენტური, ხრახნული ან ფრთებიანი დოზატორები. ეს დოზატორები განსაკუთრებით ეფექტური იქნება დოზირების რეგულირების მართვის თვალსაზრისითაც, რადგანაც ჩვენ შემთხვევაში საქმე გვაქვს არაკონდინციური მისართის ფეროსილიკომანგანუმის მცირე ხარჯით უწყვეტად და სტაბილურად მიწოდების აუცილებლობასთან.

აღსანიშნავია, რომ საწარმოო პირობებში რომელიმე ზემოთ დასახელებული დოზატორის უშუალო გამოყენება, მაინც დაკავშირებულია გარკვეულ ტექნიკურ რისკთან. მაგალითად, ხრახნისა და ფრთებიანი დოზატორების ექსპლოატაციისას მოსალოდნელია ხრახნულ კონვეიერსა და ფრთებიანი დოლის გაჭეჭვა, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს ცილინდრის მუშა შიგა ზედაპირსა და ფრთების პერიფერიულ უბნებს შორის არსებულ ღრეჩოებში ამ უკანასკნელზე დიდი ზომის ნამსხვრევის (ან ნამსხვრევების) მოხვედრით, მოძრავ და უძრავ ზედაპირებს შორის მოხვედრილი მასალის გადაადგილებით გამოწვეული ხახუნის ზრდის აგრეგატის ენერგოტევადობას, ამასთან ხრახნისა და დოლის მბრუნავი მომენტის გაზრდის აუცილებლობის შემთხვევაშიც, დასახელებული მიზეზების გამო მკვეთრად გაიზრდება დეტალების ცვეთა და მათი მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა. თავის მხრივ ლენტური დოზატორის ნაკლოვანებას წარმოადგენს ის, რომ წვრილფრაქციული (თვითდენადი) ლითონურ მასალებზე

მუშაობისას ამ უკანასკნელის ჩამოდინების ინტენსივობის მკვეთრი არასტაბილურობის გამო ადგილი ექნება დოზირების არსებით ცდომილებებს.

ზემოთაღნიშნული ნაკლოვანებების აღმოფხვრის ღონისძიებათა ანალიზი მიუთითებს იმაზე, რომ ფეროსილიკომანგანუმის წარმოების პირობებისათვის ყველაზე უპრიანი იქნება ლენტური და ფრთებიანი დოზატორების სინთეზი, მაგრამ ახალი დოზატორის საიმედო ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია აღმოფხვრილი იქნას ფრთებიანი დოლის გაჭექვის შესაძლებლობა. ამისათვის კი საკმარისია ფრთებიანი დოზატორის კონსტრუქციის მოდერნიზაცია, იმგვარად, რომ ცილინდრული გარსაცმის ხისტი მუშა უბანი შეცვლილი იქნას მოქნილი თვითმბრუნვადი სეგმენტურ- მისაბჯენი, ფირფიტოვან- სახსრული მინიტრანსპორტიორით.

## 1.6. დასკვნები

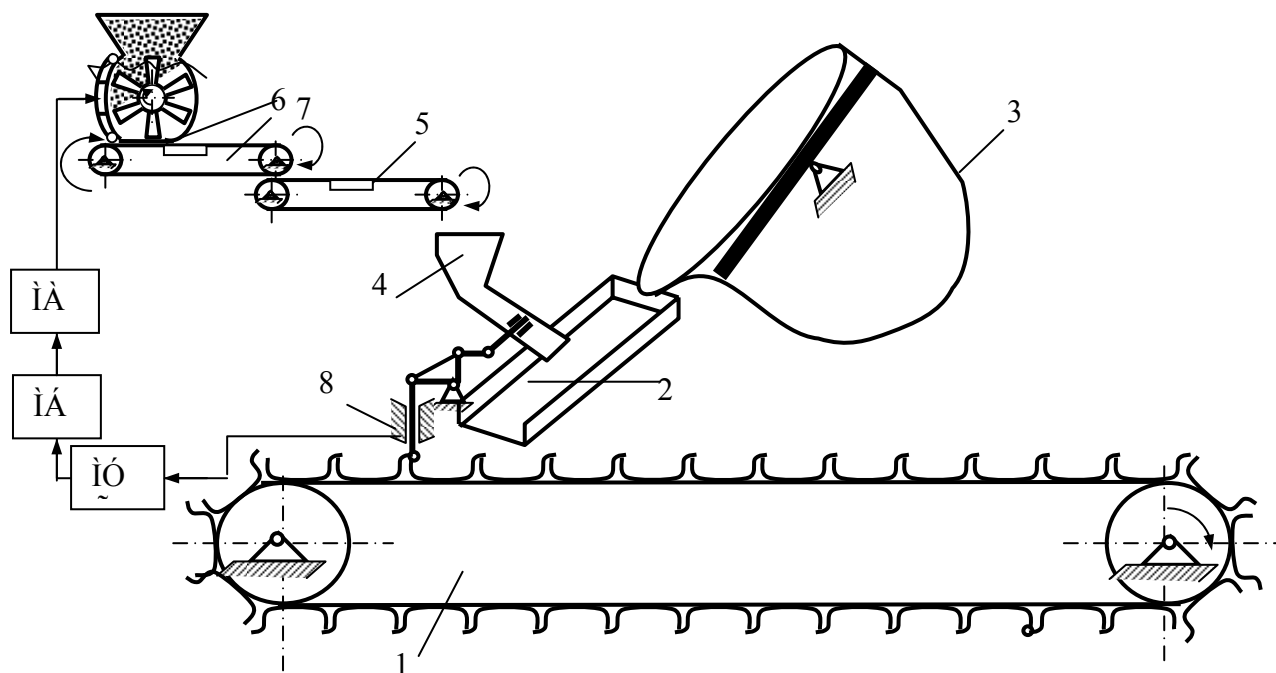
1. ფეროსილიკომანგანუმის კონვეიერული ჩამოსხმის არსებული მეთოდების შედარებითი ანალიზით დადგინდა, რომ სუსპენზიური ჩამოსხმა, ჩამოსხმის თანამედროვე მეთოდებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე პროგრესული მეთოდია.
2. სუსპენზიური ჩამოსხმისათვის აუცილებელი წვრილფრაქციული ლითონური ნარჩენების გამოსავალი, ფეროსილიკომანგანუმის წინა ჩამოსხმის შოთების დაქუცმაცება-დახარისხებისას დამოკიდებულია არა მხოლოდ დაქუცმაცების რეჟიმებზე (სამსხვრევის გამომავალ ყელის სიგანესა და შოთების მიწოდების სიჩქარეზე), არამედ შენადნობის მაკროსტრუქტურაზეც, ანუ ჩამოსხმის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე (ჩამოსხმის ტემპერატურაზე, სიჩქარეზე, არაკონდინციური მისართის ხარჯზე, შოთების გაცივების ინტენსივობაზე).
3. ფხვიერი მასალის დოზირების თანამედროვე მეთოდებისა და მოწყობილობების სისტემური ანალიზით დადგინდა, რომ ფეროსილიკომანგანუმის წარმოების შემთხვევაში წვრილფრაქციული ლითონური ნარჩენების (არაკონდინციური მისართის) შენადნობის ჩამოსხმისას თხევად ნაკადში დოზირებული და უწყვეტი მიწოდებისათვის უპრიანია ლენტური და ფრთებიანი დოზატორების ბაზაზე შევიმუშავოთ ახალი კომბინირებული მოწყობილობა, რომელშიც აღმოფხვრილი იქნება ცალ-ცალკე თითოეული მანქანისათვის დამახასიათებელი დოზირების რეჟიმების სტაბილურობასთან და ფუნქციონირების საიმედოობასთან

დაკავშირებული ნაკლოვანებანი. დოზირების ახალი მოწყობილობის მართვის (დოზირების რეჟიმების რეგულირების) სისტემა ასევე მოითხოვს სრულყოფას, რაც განპირობებულია შენადნობის ქიმიურ შემადგენლობასა და ჩამოსხმის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე (ჩამოსხმის ტემპერატურაზე, ჩამოსხმის სიჩქარეზე) არაკონდინციური მისართის დოზირების რეჟიმების დამოკიდებულების გათვალისწინების აუცილებლობით.

## თავი 2. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა სამრეწველო პირობებში

### 2.1. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის თეორიული კვლევის მეთოდის (მათემატიკური მოდელირება)

სუსპენზიური მეთოდით ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესი სქემატურად შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით (ნახ. 2.1)



ნახ.2.1. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში არაკონდიციური მისართის საჩამოსხმო ღარში მიწოდების სქემა.

1- საჩამოსხმო მანქანა. 2 - საჩამოსხმო ღარი. 3 - ციცხვი. 4- არაკონდიციური მისართის მისაწოდებელი არხი. 5-6 - ლენტური პრეცეზიული დოზატორები. 7 - ფრთებიანი მკვებავი, 8 - არხის შიბერი მექანიზირებული ამძრავით. მა - მკვებავის ამძრავი, მზ - მართვის ბლოკი, მსდ - მმართველი სიგნალის განმსაზღვრელი და გადამწოდი მექანიზმი.

არაკონდიციური მისართის თითოეული ლითონური ნაწილაკი შეგვიძლია ჩავთვალოთ, როგორც სფერული ფორმის მქონე იზოტროპული სხეული [17, 25, 43], რომელიც ციცხვიდან გადმოსხმული ლითონის ჩამოსხმის ნაკადის საპირისპირო მიმართულებით მიეწოდება (როგორც ეს სქემაზეა ნაჩვენები). ლითონში არაკონდიციური ფრაქციის შერევისთანავე იწყება არაკონდიციური ნაწილაკების იზოტროპულ სხეულში



სიტბოს გადანაწილება, რომელიც აიწერება სიტბოგამტარობის კანონით [14, 15, 82,83].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^z \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.1.)$$

სადაც  $u=u(t, x, y, z)$  – ტემპერატურაა წერტილში  $M(x,y,z)$  დროის  $t$  მონაკვეთში.

დროის საწყის მომენტში ჩავთვალოთ, რომ ტემპერატურა ლითონური ნაწილაკის ყველა წერტილში მუდმივია [37, 38] და ის საამქროს ტემპერატურის ტოლია, აგრეთვე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ლითონური ჩანართის ტემპერატურა ძირითადად დამოკიდებულია ორ ფაქტორზე: დროზე და ზედაპირიდან ცენტრამდე მანძილზე. ე.ი. რადიუსზე. მაშინ ფორმულა 2.1. შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^z \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right); \quad 0 \leq r \leq R, \quad t > 0 \quad (2.2)$$

სადაც  $R$  - ლითონური ჩანართების რადიუსია.

ამგვარად შეიძლება განისაზღვროს საწყის მომენტში ჩანართების ტემპერატურა. იგი შეგვიძლია ჩავთვალოთ ლითონური ჩანართის ყველა წერტილში მუდმივად და  $U_0$ -ის ტოლად.

$$u|_{t=0} = u_0, \quad 0 \leq r \leq R, \quad (2.3)$$

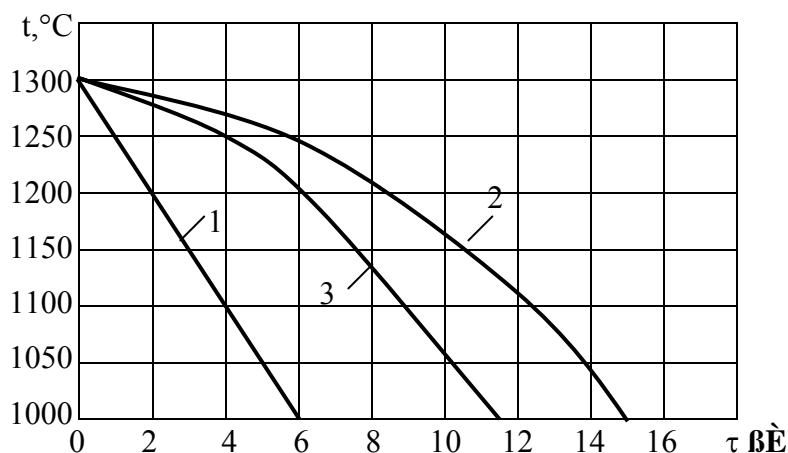
საწყის მომენტად ჩავთვალოთ ის მომენტი, როცა სასხმო ღარის მიმმართველი არხი მთლიანად შეივსება თხევადი ლითონის ნაკადით, რომელიც მასში ჩაყრილ ლითონურ ჩანართებს საჩამომსხმო მანქანის მულდებში თან ჩაიყოლებს. ჩვენი მიზანია, დავადგინოთ ამ ლითონური ჩანართების სასაზვრო განტოლება. ამისათვის აღვნიშნოთ, რომ სხმულის ტემპერატურა ზედაპირზე, ფსკერზე და შუაგულში სხვადასხვაა. ყოველივე ამ პირობების გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ სასაზვრო განტოლება შემდეგი სახით:

$$u|_{r=R} = f_i(t), \quad i=1,2,3 \quad (2.4)$$

სადაც  $f_i(t)$  -ს გააჩნია ნახაზზე გამოსახული სახე [10].

ჩვენი საბოლოო მიზანია განვსაზღვროთ თხევად ლითონში ჩაყრილ ლითონურ ჩანართებზე სიტბოს გადანაწილება, რომელიც ჩაიწერება შემდეგნაირად

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) & 0 \leq r \leq R; \quad t > 0 \\ u|_{t=0} = u_0, & 0 \leq r \leq R \\ u|_{r=R} = f_i(t), & i = 1, 2, 3 \end{cases} \quad (2.5)$$



ნახ.2.2. ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის ზედაპირის (1) გულის (2 და ფსკერის (3) ტემპერატურების დამოკიდებულება შენადნობის ჩამოსხმიდან გასულ  $t$  დროზე [10]

ფუნქციის ექსპერიმენტალური ემპირიული გამოსახულებები  $f_i(t)$   $i=1,2,3$  მონაცემთა ბაზის ლა-გრანჟის საინტერპოლაციო ფორმულის გამოყენებით ნახაზ 2.2.-ზე წარმოდგენილი დიაგრამიდან მიღებულია მეორე რიგის ერთუცნობიანი განტოლებები.

$$f_1(t) = \frac{(t-6)(t-10)}{60} 1300 - \frac{t(t-10)}{6 \cdot 4} 1180 + \frac{t(t-6)}{10 \cdot 4} 1000 = \frac{(t-6)(t-10)}{60} 1300 - \frac{t(t-10)}{24} 1180 + \frac{t(t-6)}{40} 1000 = -2.5t^2 - 642t + 32 \quad (2.6)$$

$$f_2(t) = \frac{(t-10)(t-16)}{160} 1300 - \frac{t(t-16)}{60} 1290 + \frac{t(t-10)}{96} 1030 = -2.6t^2 - 252t + 1300 \quad (2.7)$$

$$f_3(t) = \frac{(t-8)(t-14)}{112} 1300 - \frac{t(t-14)}{48} 1240 + \frac{t(t-18)}{84} 1000 = \frac{(t-8)}{112} 1300 - \frac{t(t-14)}{48} 1240 + \frac{t(t-8)}{84} 1000 = 0.01t^2 - 109t + 56.6 \quad (2.8)$$

მაშასადამე, ფუნქცია  $f_i(t)$  განისაზღვრება ექსპერიმენტალურ მონაცემთა აპროქსიმაციის გზით და სისტემაში 2.5. შეიძლება ჩაწერილი იქნეს შემდეგი სახით:

$$f_i(t) = \begin{cases} f_1(t) = -2.5t^2 - 642t + 32 \\ f_2(t) = -2.6t^2 - 252t + 1300 \\ f_3(t) = 0.01t^2 - 109t + 56.6 \end{cases}$$

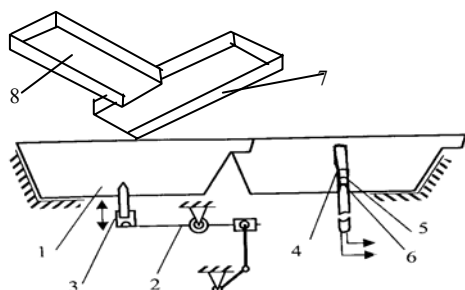
ანუ 
$$U|_{r=R} = 462.8 - 93.609t - 1.59t^2$$

შემუშავებული მეთოდის ამოხსნისათვის პროგრამა "Matcad"-ის გამოყენებით მიღებულია სივრცითი დიაგრამები მიკრონაწილაკების საშუალო რადიუსის

დამოკიდებულებით ჩამოსხმიდან გასულ დროზე.

## 2.2 ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდика

კვლევის შედეგების სარწმუნოების მაღალი ხარისხის მიღწევისა და მათი ეფექტური პრაქტიკული რეალიზაციის თვალსაზრისით უპრიანია, რომ ექსპერიმენტული სამუშაოები შესრულდეს უშუალოდ სამრეწველო პირობებში, მაგრამ გარკვეული ტექნიკური სირთულეების გამო კვლევები ჩატარებული იქნა საწარმოსთან მაქსიმალურად მიახლოებულ ნახევრადსამრეწველო, სპეციალურად კონსტრუირებულ საცდელ სტენდზე (ნახ.2.3).



ნახ. 2.3. სამსხმელო-საცდელი სტენდის სქემა ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის პროცესის ექსპერიმენტული გამოკვლევისათვის:

- 1-კონვეირული სამსხმელო მანქანის როფი;
- 2-როფის ფსკერის გასახსნელი მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმი (სხმულიდან თხევადი ფაზის ჩამოსადვრელად);
- 3-კერამიკის ზონდი თხევადი ფაზის ჩამოღვისათვის;
- 4-თერმოწყვილი სხმულის ზედაპირის ტემპერატურის კონტროლისათვის;
- 5-თერმოწყვილი გულის ტემპერატურის კონტროლისათვის;
- 6-თერმოწყვილი ფსკერის ტემპერატურის კონტროლისათვის;
- 7-თხევადი ლითონის ჩამოსასხმელი სეგმენტურად მოძრავი ღარი.
- 8-თხევად ლითონში წვრილფრაქციული მისართის მისაწოდებელი ღარი.

ამდენად შეიძლება ითქვას, რომ ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმისა და კრისტალიზაციის პროცესის ექსპერიმენტალურ კვლევას ვაწარმოებდით ნახევრადსამრეწველო პირობებში. აღნიშნული სტენდი განთავსებული იყო ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის N1 საამქროს საჩამოსხმელო მანქანის გვერდით.

კრისტალიზაციის პროცესში ვახდენდით, როგორც სხმულის ტემპერატურული ველის კონტროლს, ასევე სხმულიდან თხევადი ფაზის ჩამოდვრას. კერძოდ, ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების ზედაპირის, გულისა და ფსკერის ტემპერატურათა ცვლილებების კონტროლს ვაწარმოებდით კვარცის 10 მმ დიამეტრის გარსაცმით დაცული ვოლფრამ-რენიუმის თერმოწყვილების მეშვეობით [91], რომელთა ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ფიქსირდებოდა ელექტრონული პოტენციომეტრებით ЭП107.

ექსპერიმენტული კვლევის დროს განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა სხმულში მყარი შრის (ქერქის) ჩამოყალიბებისა და გავრცელების ანუ ზრდის კინეტიკას, რის შესახებაც მონაცემებს ვიღებდით დროის სასურველი მომენტისათვის სხმულში ფორმირებული მყარი ფაზის სისქის უშუალო გაზომვით, თხევადი ფაზის (ლითონის) მთლიანი ჩამოდვრის შემდეგ. ამ გზით ვსაზღვრავდით როფების კედლების საწყის და გახურების ტემპერატურის გავლენას ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის ფაქტობრივ სიჩქარეზე. როფების კედლების გახურების ტემპერატურას ვზომავდით ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილების და პოტენციომეტრების PK-15 გამოყენებით. თავის მხრივ სხმულში არსებული ტემპერატურული ველის კონტროლის მეთოდით ვადგენდით როფების კედლების საწყის ტემპერატურას. როფების დამცავი კირის შრის სისქისა და ტენშემცველების გავლენას ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის პროცესზე [8, 9]. მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების მაკროსტრუქტურულ კვლევას ვაწარმოებდით სხმულის განივი ტეხის ვიზუალური ოპტიკური კონტროლით, ხოლო მიკროსტრუქტურული გამოკვლევისათვის წინასწარ ვამზადებდით ორ ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეში პოლირებულ მიკრო-ხერხებს, რომელთა ზედაპირებს ვამუშავებდით აზოტმჟავას 5 %-იანი ხსნარით ეთი-ლის სპირტში. სხმულის მიკროსტრუქტურული აგებულების შესწავლისათვის ვიყენებდით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტის ოპტიკურ მიკროსკოპ მეტალოგრაფს «Neophot-2», გადიდების ზღვრებით 20x1000. მარცვლების საშუალო ზომას ვსაზღვრავდით 1მმ<sup>2</sup> ფართობში მოთავსებული მარცვლების რაოდენობის განსაზღვრის მეთოდით, ხოლო რენდგენოსპექტრულ კვლევას ვაწარმოებდით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “მინერალოგიის, პეტროგრაფიის და გეოქიმიის“ კათედრასთან არსებულ ემისიურ-სპექტრულ კვლევის ცენტრში მოწყობილობით ASTM3-1-39.[56] ფეროშენადნობების მთავარი ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებები, განისაზღვრება ლიტერატურაში [9, 45] მიღებული მეთოდით და განიხილება

შემდეგი სპეციფიკური მაჩვენებლებით:

- მსხვრევადობა (D) ანუ 0-1,5 მმ ფრაქციის ხვედრითი წილი დაქუცმაცებული ფეროშენადნობების საერთო წონიდან, %.
- მსხვრევადობის კოეფიციენტი (f), ანუ დაქუცმაცების პროცესში ერთი და იგივე ენერგეტიკული დანახარჯებისას შენადნობით შოთების ნატეხებად დაცალკავების ხარისხის მაჩვენებელი.
- ფქვადობა (F), ანუ 0-0,4 ზომის ფრაქციის ხვედრითი წილი, %.
- ფარდობითი აბრაზიულობა ( $A_{10-25}$ ), ანუ დაქუცმაცებული ფეროშენადნობის დახარისხებისას (გაცრისას) გამოყენებული ცხაურის წონის დანაკარგი მასზე 10-1,5 მმ ზომების ნამსხვრევების მოძრაობისას გრ/ტ.

XX საუკუნის მეორე ნახევრის სამეცნიერო-ტექნიკურ ცნობარებში, მონოგრაფიებში [21,22,23,30,32,92], დისერტაციებში [53,78] და სტატიებში [29,51,80] სამრეწველო ფეროშენადნობების ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებების შესახებ მოიპოვება მხოლოდ ერთეული შრომებში და ისიც აგებული, ლაბორატორიულ პირობებში შესრულებული კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით. ამასთან, ან პრობლემებზე მომუშავე მკვლევარების უმეტესობა ფეროშენადნობების ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებების შესწავლისას წინასწარ გათვლილი ზომების გამოსაცდელი ნიმუშების მიღებას ახდენდნენ გამოსაცდელი ფეროშენადნობების ჩამოსხმით სპეციალურ ფორმებში (თიხის ყალიბებ-ში და კოკილებში), რაც ცხადია, საკმაოდ არარეალურ სურათს იძლეოდა. მაგალითად: დ.კალამის მონაცემებით ფეროსილიკომანგანუმის (17%-Si) სიმტკიცე 70-80 მპა-ს შეად-გენს, ხოლო გორელკინისა და ჩუვატინის [29] მიხედვით ამავე შენადნობის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 100-105 მპა-ია.

სადისერტაციო ნაშრომის ექსპერიმენტალური ნაწილის შესრულებისას საჭირო იყო ფეროსილიკომანგანუმის ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო მახასიათებელთა ფაქტიური მნიშვნელობის განსაზღვრის აუცილებლობა, რამაც განაპირობა ექსპერიმენტული კვლევების შესრულება უშუალოდ წარმოებაში არსებული კონვეირული მანქანებით ჩამოსხმულ შოთებზე. ამ მხრივ გამოირჩევა ა. კოსტავასა და გ.ჯანდიერის შრომები [2,3]. ამიტომ, როგორც ტრადიციული ისე სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის ტექნოლოგიურ და საექსპლუატაციო მახასიათებლების კვლევას ვაწარმოებდით მათი მეთოდის მიხედვით, სახელდობრ:

ფეროსილიკომანგანუმის სიმტკიცის განსაზღვრისათვის შოთიდან ვიღებდით (ამოვტეხავდით) 200-250 გრ. წონის ნატეხს, რომელსაც ვასუფთავებდით მახვილი კუთხეებისა და ნაწიბურებისაგან. ამის შემდეგ ვახდენდით ნატეხის (ნატეხების) დაწახნაგებას 4A132A8/493 მოდელის სახეხ ჩარხზე. ნიმუშის დამზადებისას ვიყენებდით  $\Phi 300$  დიამეტრის III ტიპის მსხვილ მარცვლოვან აბრაზიულ ქარგოლს შავად დამუშავებისათვის და წვრილ მარცვლოვანს – საბოლოო, სუფთად ხეხვის დროს. შესაბამისად ფეროშენადნობის ნიმუში ხეხვის გზით დაგვყავდა  $30 \times 30 \times 30$  მმ. ზომების კუბამდე ( $\pm 0,5$ მმ), რის შემდეგაც ამ უკანასკნელს ვათავსებდით ЗИМ II-10 მოდელის ჰიდრავლიკური წნეხის პუასონზე, რომლის გადაადგილების სიჩქარე კუმშვაზე გამოცდის დროს შეადგენდა 2-2,5 მმ/წთ-ს.

ფეროსილიკომანგანუმის ნიმუშის კუმშვაზე გამოცდისას ამ უკანასკნელზე მოსული დატვირთვის დაფიქსირებას ვახდენდით წნეხის დინამომეტრის მეშვეობით. კუმშვაზე სიტკიცის ზღვრის დადგენისას ზემოთაღწერილ ცდას ვიმეორებდით 10 სხვადასხვა ნიმუშისათვის ცალ-ცალკე. ათივე ნიმუში აიღებოდა ერთი პარტიის (დნობის) შოთებიდან, ამ უკანასკნელთა ერთი და იმავე ზონებიდან. მასთან პირველი ხუთი ნიმუშის გამოცდისას კუმშვის მიმართულება ემთხვეოდა ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის მიმართულებას, ხოლო დანარჩენი ხუთი ნიმუშისათვის კუმშვის მიმართულება იყო შენადნობის კრისტალიზაციის მიმართულების პერპენდიკულარული. ორივე შემთხვევაში იანგარიშებოდა გაზომვათა შედეგების საშუალო კვადრატული ცდომილება, რისთვისაც ვსარგებლობდით ფორმულით:

$$\sigma = (+) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\xi)^2}{n(n-1)}} \quad (2.9)$$

სადაც,  $\xi$ -აბსოლიტური ცდომილებაა (სხვაობა გაზომვათა საშუალო სიდიდისა და ცალკეული გაზომვების ჩვენებებს შორის)

$$\xi = 0.2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) - \sigma_i \quad (i=1, 2, \dots, 5)$$

სადაც  $n$ -გაზომვათა რაოდენობაა, ( $n=5$ )

ფეროსილიკომანგანუმის ფრაქციის ხვედრითი წილი ( $D$ ), მსხვრევადობის კოეფიციენტის ( $f$ ) და ფქვადობის ( $H$ ) განსაზღვრისათვის შოთებიდან ვიღებდით 200-250 გრ. წონის ნატეხებს, რომელთაც სიმტკიცეზე გამოცდისას, წინასწარ ვამორებდით მახვილ კუთხეებსა და წიბოებს და მხოლოდ ამის შემდეგ ვაქუცმაცებდით 10 მმ გამომავალი

ღრეზოს მქონე ყბებიან სამსხვრეველაში ДПШ-10.

მსხვრევის შედეგად მიღებულ მასას ვუმატებდით საცრულ ანალიზს (ГОСТ 22310-91), ამ უკანასკელის 2.5-10მმ, -2.5, -0,4 მმ ფრაქციებად დახარისხების შემდეგ კი ვსაზღვრავდით ფეროსილიკომანგანუმის ცალკეული ნატეხების (თითოეული დნობის შოთებიდან ხუთ-ხუთი გამოსაცდელი ნიმუშის) მსხვრევადობას და ფქვადობას, ხოლო მსხვრევადობის კოეფიციენტს ვანგარიშობდით ფორმულიდან:

$$f = d_1 / d_2 \quad (2.10)$$

სადაც  $d_1$  – გამოსაცდელი ნიმუშის (ნატეხის) პირობითი დიამეტრია (სმ)

$$d_1 = 3 \sqrt{\frac{m}{g}} \pi$$

სადაც  $m$  - ნიმუშის წონაა, (გრ), ხოლო  $g$ -სიმკვრივე, (გრ/სმ<sup>3</sup>).

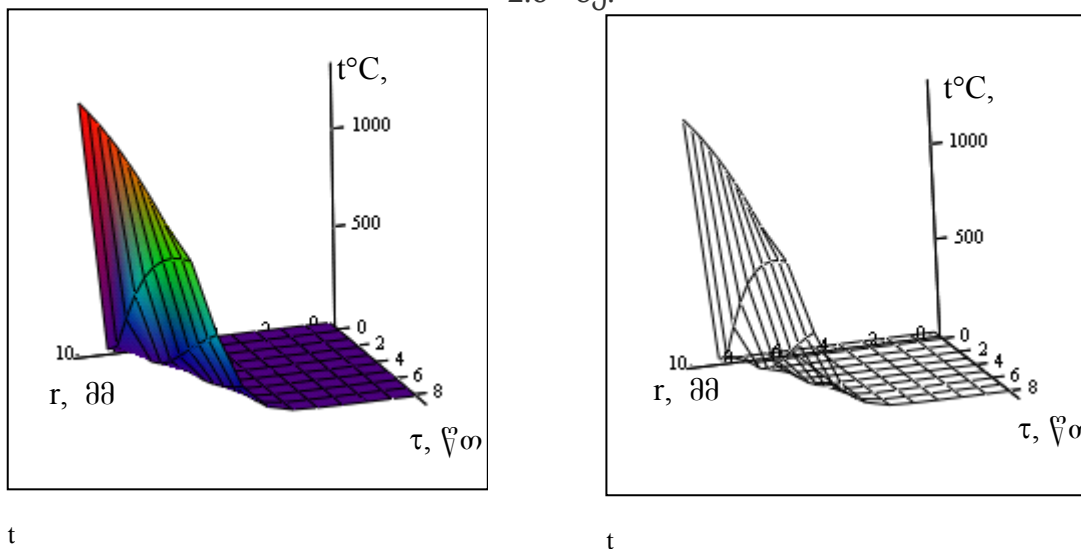
$d_2$  - ნიმუშის დაქუცმაცების შედეგად მიღებული 1,5-10 მმ ფრაქციის ნამსხვრევების საშუალო დიამეტრია (მმ).

$d_i$ -ცალკეული წვრილი (0-10მმ) ფრაქციის ხვედრითი წილი, ანუ მისი წონის შეფარდება ნიმუშის თავდაპირველ წონასთან.

$n$ -გასაზომად აღებული ნამსხვრევების რაოდენობა.

### 2.3. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის თეორიული კვლევის შედეგები

პარაგრაფ 2.1-ში წარმოდგენილი კვლევის შედეგების ფორმულების 2.2, 2.3, 2.4 პროგრამა “Matcad”-ით დამუშავების შედეგად მიღებული დიაგრამები წარმოდგენილია ნახ.2.4, 2.5, 2.6 -ზე.

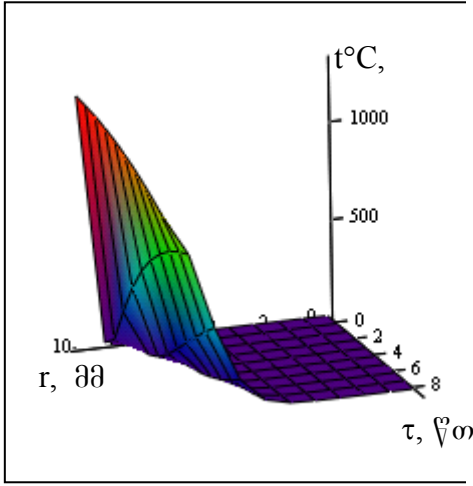


ნახ.2.4. თხევად ლითონში მიწოდებული 0-3 მმ ზომის არაკონდიციური მისართის ტემპერატურული ველის სურათი მისართის რადიუსის და თბური ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით

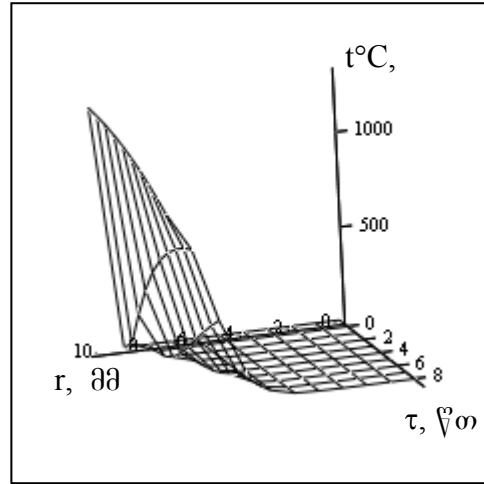
$$t1 := \begin{pmatrix} 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 & 26 & 30 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 & 28 & 34 & 44 & 60 \\ 24 & 24 & 24 & 25 & 30 & 42 & 65 & 96 & 134 & 177 \\ 24 & 24 & 30 & 61 & 115 & 184 & 257 & 329 & 397 & 459 \\ 24 & 80 & 263 & 428 & 557 & 654 & 727 & 781 & 821 & 848 \\ 1.3 \times 10^3 & 1.292 \times 10^3 & 1.28 \times 10^3 & 1.262 \times 10^3 & 1.24 \times 10^3 & 1.212 \times 10^3 & 1.18 \times 10^3 & 1.142 \times 10^3 & 1.1 \times 10^3 & 1.052 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

დროის ფიქსირებული მომენტისათვის 2.2+2.3+2.4 ამოცანის (როცა 2.4 განტოლების ამონახსნი აკმაყოფილებს 2.3 და 2.4 განტოლების პირობებს) ამონახსნის მნიშვნელობის რადიუსზე დამოკიდებულობები მოცემულია ფორმულებით 2.11, 2.12, 2.13.





t

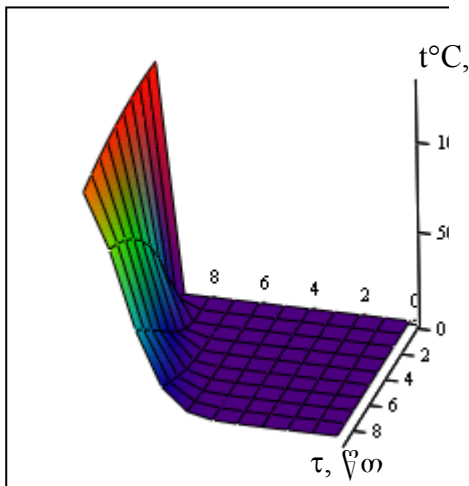


t

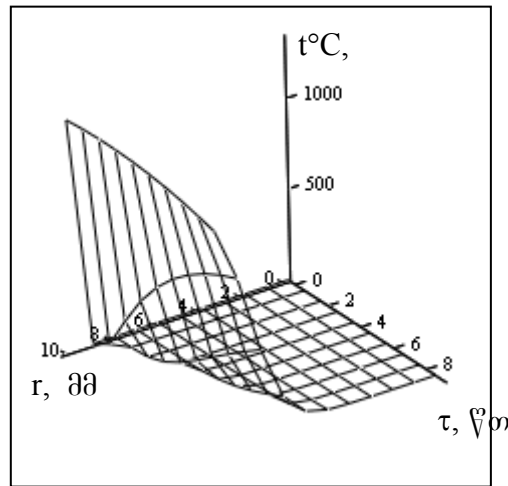
ნახ.2.5. თხევად ლითონში მიწოდებული 3-5 მმ ზომის არაკონდიციური მისართის ტემპერატურული ველის სურათი მისართის რადიუსის და თბური ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით

$$t_2 := \begin{pmatrix} 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 & 26 & 30 \\ 24 & 24 & 24 & 25 & 30 & 43 & 66 & 98 & 139 & 185 \\ 24 & 24 & 30 & 61 & 117 & 189 & 267 & 345 & 422 & 493 \\ 24 & 81 & 266 & 440 & 579 & 690 & 779 & 852 & 910 & 957 \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$\left( 1.3 \times 10^3 \quad 1.323 \times 10^3 \quad 1.34 \times 10^3 \quad 1.353 \times 10^3 \quad 1.36 \times 10^3 \quad 1.361 \times 10^3 \quad 1.358 \times 10^3 \quad 1.349 \times 10^3 \quad 1.334 \times 10^3 \quad 1.315 \times 10^3 \right)$$



t



t

ნახ.2.6. თხევად ლითონში მიწოდებული 5-10 მმ ზომის არაკონდიციური მისართის ტემპერატურული ველის სურათი მისართის რადიუსის და თბური ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით

$$\mathbf{K} := \begin{pmatrix} 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 \\ 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 24 & 25 & 28 & 34 & 45 & 61 \\ 24 & 24 & 24 & 25 & 30 & 43 & 65 & 98 & 139 & 185 & 185 \\ 24 & 24 & 30 & 61 & 116 & 187 & 262 & 345 & 422 & 493 & 493 \\ 24 & 80 & 265 & 435 & 569 & 674 & 756 & 852 & 910 & 957 & 957 \\ 1.3 \times 10^3 & 1.309 \times 10^3 & 1.313 \times 10^3 & 1.312 \times 10^3 & 1.307 \times 10^3 & 1.297 \times 10^3 & 1.283 \times 10^3 & 1.271 \times 10^3 & 1.259 \times 10^3 & 1.248 \times 10^3 & 1.237 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

გრაფიკებზე თარაზულ სიბრტყეში ერთ ღერძზე გადაზომილია გრანულების რადიუსი  $r$  მმ, მეორე ღერძზე – დრო  $\tau$  წთ, ხოლო ვერტიკალურზე – ტემპერატურა  $^{\circ}\text{C}$ . გრაფიკებიდან ჩანათლად ჩანს ტემპერატურის ცვლილების დინამიკა. გრანულებში, რომლის ხასიათი იდენტურად ასახავს თხევადი სხმულების გაცივების ტემპერატურული ცვალებადობის დინამიკასაც. გრანულების რადიუსი საკმაოდ მცირედ იკლებს, ნულის ტოლი არასოდეს ხდება. ე.ი. გრანულები ახდენენ სითბოს ინტენსიურ ართმევას, რითაც გავლენას ახდენენ სხმულის სტრუქტურის ჩამოყალიბების პროცესზე, რაც ხელს უწყობს მოცულობითი კრისტალიზაციის ინიცირებას. მკვრივი და მტკიცე წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის ფორმირებას.

#### 2.4. ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები მიღებული იქნა პარაგრაფ 2.2-ში მოყვანილი მეთოდის მიხედვით და წარმოდგენილია ცხრილებით (2.1, 2.2, 2.3, 2.4), დიაგრამებით (2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15).

მოცემული ცხრილებიდან ჩანს, რომ ორივე მეთოდით მიღებული ნიმუშის ერთ და იგივე პირობებში გამოცდისას სუსპენზიური მეთოდით მიღებულ სხმულს გააჩნია შედარებით დიდი სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე – 4%, გრანულომეტრიული შედგენილობა 2%, ხოლო ფორიანობა მცირდება 0,5% - ით.

თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესში დანაკარგების გამოვლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგები მოცემულია გრაფიკულად ნახ.2.7-ზე. საიდანაც თვალნათლივ ჩანს, რომ თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის გაშხეფვის

ინტენსივობა პირდაპირ პროპორციულია შენადნობის ჩამოსხმის სიჩქარის, ტემპერატურისა და უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია შენადნობში სილიციუმის კონცენტრაციისთან, ხოლო საჩამოსხმო ღარში მიღებული ქერქოვანი ნაფენებისრაოდენობა უკუპროპორციულია ჩამოსხმის ტემპერატურის სიჩქარის და პირდაპირპროპორციულია სილიციუმის შემცველობის.

ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესის ნახევრადსამრეწველო ექსპერიმენტულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ სხმულის კრისტალიზაციის სიჩქარე ჩამოსხმიდან 0,5-1 წთ-ის შემდეგ მცირდება როფისკედლების გახურებისა და არაკონდიციური მისართის გადადნობაზე გადაცემული სითბოს ხარჯზე [63,70,71].

სხმულის კრისტალიზაციის პროცესში დიდ როლს თამაშობსროფების საწყისი ტემპერატურა. მაგ. 200°C-მდე გახურებულ როფში ჩამოსხმული 1310°C-იანი ფეროსილიკომანგანუმის გამყარების ხანგრძლივობა 2-ჯერ მეტია ვიდრე 200-250°C-მდე ტემპერატურის მქონე როფში ჩამოსხმის იგივე ტემპერატურის მქონე ფეროსილიკო მანგანუმის გამყარების ხანგრძლივობა. ამავე დროს კრისტალიზაცია ფსკერიდან უფრო სწრაფად მიმდინარეობს ვიდრე ზედაპირიდან. [33,64,65]

ტრადიციული მეთოდით ჩამოსხმული შოთების მექანიკური მახასიათებლები ცხრილი 2.1

ღნობა №	ქიმიური შედგენილობა, %							ნომრის ნომერი	ნომრის მომები a×b×hმმ	მუშა გელაპირების ფართობი, მმ	მაქსიმალური დატვირთვა მპა	სიმკვების მღვარი კუმშვამე. მპა	სამუშაო კეპლრატული ცდომილებები	სისალე HB	შენიშვნა
	Mn	Si	Fe	C	P	S									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
72							1	30×30,1×29,5	903	51000	56,47	(+)-0,25		სისალე გა- მოილია ΠII-2M მოღელის სისალემო- მით	
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	2	29,2×30,2×30	881,84	50600	57,38	(+)-0,25			
							3	29,8×30,1×29,6	896,98	50850	56,69	(+)-0,25	627		
							4	30,1×30,1×30	906,01	51100	56,40	(+)-0,25			
							5	29,8×29,2×29,1	870,16	49000	56,31	(+)-0,25			
72							6	30,1×30×30,5	903	60000	66,445	(+)-0,8			
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	7	30,8×30,2×30	930,16	64000	68,81	(+)-0,8			
							8	29,9×29,5×29,1	882,05	58500	66,32	(+)-0,8	627		
							9	29,2×29,4×29,0	858,48	55000	64,06	(+)-0,8			
							10	29,7×29,5×30	876,15	65800	64,83	(+)-0,8			
73							1	30,1×30,2×29,8	909,02	51500	56,65	(+)-0,5			
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	2	29,7×29,5×30	876,15	48000	54,60	(+)-0,5			
							3	31,0×30×30,1	930	53000	56,98	(+)-0,5	415		
							4	29,7×30×29,5	891	49000	55,89	(+)-0,5			
							5	29,8×29,9×29	891,02	48200	54,09	(+)-0,5			
73							6	29,9×30×30,4	897	53000	59,08	(+)-0,7			
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	7	28,7×29,2×30	838,04	51500	61,45	(+)-0,7			
							8	29,5×29,8×29,5	879,1	52000	59,15	(+)-0,7	415		
							9	30,1×30×29,6	903	55500	61,462	(+)-0,7			
							10	30,2×30,5×30	921,1	58000	62,968	(+)-0,7			
74							1	29,1×30,2×30,2	878,82	48500	55,187	(+)-0,1			
	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	2	29,5×30,1×30	887,95	49100	55,29	(+)-0,1			
							3	29,8×29,5×30	879,1	49000	55,738	(+)-0,1	601		
							4	31,0×30,0×29,5	930,0	51500	55,376	(+)-0,1			
							5	30,0×30,1×30,3	903,0	50000	55,370	(+)-0,1			

## ცხრილი 2.1-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
74	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	6 7 8 9 10	29,5×30,0×30,8 29,7×29,9×30,0 30,1×29,5×29,8 30,3×30,0×29,5 29,5×31,0×30,0	885 888,03 887,95 909,0 914,5	52500 53000 52900 61000 62500	59,322 59,682 59,576 67,106 68,343	(+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6	601	
75	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	1 2 3 4 5	30,5×30,8×30,3 30,2×29,9×30,1 30,4×30,5×29,8 30,8×30,4×30,5 30,2×30,6×30,1	939,4 902,98 927,2 936,32 924,12	60630 59300 62950 62430 69970	64,54 65,69 67,57 66,68 64,90	(+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5	627	
75	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	6 7 8 9 10	29,5×29,8×30,2 30,1×30,0×29,5 29,9×30,2×30,5 29,5×29,8×29,7 30,2×29,5×30,2	879,1 903 902,98 879,1 890,9	61490 61860 62440 59070 59500	69,95 68,51 69,15 67,20 66,79	(+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58	627	
76	73,0	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	1 2 3 4 5	30,3×29,8×30,0 29,9×30,0×29,5 30,1×30,3×29,5 29,8×29,9×30,1 30,5×29,4×30,0	902,94 897 912,03 891,02 896,7	55570 56860 58880 55760 57210	61,55 63,40 64,56 62,59 63,78	(+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64	601	
76	73,0	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	6 7 8 9 10	29,8×30,2×29,5 29,7×29,9×30,4 29,8×30,2×29,80 30,2×30,3×30,15 29,8×29,9×30,4	899,96 888,03 899,96 915,06 891,02	59270 61050 60170 63780 60250	65,86 68,75 66,86 69,70 67,85	(+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68	601	
77	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	1 2 3 4 5	29,8×30,1×30,0 30,3×30,2×30,4 30,8×30,7×30,5 29,8×30,4×30,7 28,9×29,5×29,8	896,98 915,06 945,56 905,92 852,55	70760 72970 73600 72600 67540	78,89 79,75 77,85 80,15 79,23	(+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39	653	
77	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	6 7 8 9 10	30,2×29,8×30,5 29,8×30,3×30,1 30,5×31,0×30,8 29,7×30,2×29,9 29,8×30,8×30,5	899,96 902,94 945,5 896,94 917,84	76820 74560 83060 79380 79630	85,36 82,58 87,85 88,50 86,76	(+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05	653	

ცხრილი 2.2.

ჩამოსხმის სუსკენზიური მეთოდით მიღებული შორთების მექანიკური მახასიათებლები

ღწიბა №	ქიმიური შედგენილობა, %							ნიმუშის ნომერი	ნიმუშის ზომები a×b×hმმ	მუშა გეოლოგიის ფართობი, მმ	მაქსიმალური ლაგირთვა მპა	სიმტკიცის მღვარი კუმუზამე, მპა	სამუქალო კვადრატული ცდომილება	სისაღე HB	შენიშვნა
	Mn	Si	Fe	C	P	S									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
72							1	30×30,1×29,5	903	57885	64,11	(+)-0,25		627	სისაღე გპ-მომილია III-2M მოღელის სისაღემომით
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	2	29,2×30,2×30	881,84	57431	65,13	(+)-0,25			
							3	29,8×30,1×29,6	896,98	77941	86,89	(+)-0,25			
							4	30,1×30,1×30	906,01	78043	86,13	(+)-0,25			
							5	29,8×29,2×29,1	870,16	55615	63,91	(+)-0,25			
72							6	30,1×30×30,5	903	68160	75,48	(+)-0,8		627	
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	7	30,8×30,2×30	930,16	72640	78,09	(+)-0,8			
							8	29,9×29,5×29,1	882,05	66397	75,27	(+)-0,8			
							9	29,2×29,4×29,0	858,48	62897	73,26	(+)-0,8			
							10	29,7×29,5×30	876,15	74683	85,23	(+)-0,8			
73							1	30,1×30,2×29,8	909,02	58195	64,02	(+)-0,5		415	
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	2	29,7×29,5×30	876,15	54240	61,90	(+)-0,5			
							3	31,0×30×30,1	930	59890	64,39	(+)-0,5			
							4	29,7×30×29,5	891	55370	62,15	(+)-0,5			
							5	29,8×29,9×29	891,02	54466	61,12	(+)-0,5			
73							6	29,9×30×30,4	897	59890	66,77	(+)-0,7		415	
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	7	28,7×29,2×30	838,04	54695	65,26	(+)-0,7			
							8	29,5×29,8×29,5	879,1	58760	66,84	(+)-0,7			
							9	30,1×30×29,6	903	62715	69,45	(+)-0,7			
							10	30,2×30,5×30	921,1	65540	71,15	(+)-0,7			
74							1	29,1×30,2×30,2	878,82	55047	62,63	(+)-0,1		601	
	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	2	29,5×30,1×30	887,95	55728	62,76	(+)-0,1			
							3	29,8×29,5×30	879,1	55615	62,26	(+)-0,1			
							4	31,0×30,0×29,5	930,0	58452	62,86	(+)-0,1			
							5	30,0×30,1×30,3	903,0	56750	62,82	(+)-0,1			

## ცხრილი 2.2.-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
74	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	6 7 8 9 10	29,5×30,0×30,8 29,7×29,9×30,0 30,1×29,5×29,8 30,3×30,0×29,5 29,5×31,0×30,0	885 888,03 887,95 909,0 914,5	59587 60155 60041 69235 79937	67,32 67,73 67,61 76,16 77,56	(+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6 (+)-0,6	601	
75	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	1 2 3 4 5	30,5×30,8×30,3 30,2×29,9×30,1 30,4×30,5×29,8 30,8×30,4×30,5 30,2×30,6×30,1	939,4 902,98 927,2 936,32 924,12	69118 67602 71763 71170 78365	73,57 74,91 77,39 76,01 84,79	(+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5 (+)-0,5	627	
75	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	6 7 8 9 10	29,5×29,8×30,2 30,1×30,0×29,5 29,9×30,2×30,5 29,5×29,8×29,7 30,2×29,5×30,2	879,1 903 902,98 879,1 890,9	70098 70520 71181 67339 67830	79,73 78,09 78,82 76,59 76,13	(+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58 (+)-0,58	627	
76	73,0	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	1 2 3 4 5	30,3×29,8×30,0 29,9×30,0×29,5 30,1×30,3×29,5 29,8×29,9×30,1 30,5×29,4×30,0	902,94 897 912,03 891,02 896,7	63071 64536 66828 63287 64933	69,85 71,94 73,27 71,02 72,41	(+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64 (+)-0,64	601	
76	73,0	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	6 7 8 9 10	29,8×30,2×29,5 29,7×29,9×30,4 29,8×30,2×29,80 30,2×30,3×30,15 29,8×29,9×30,4	899,96 888,03 899,96 915,06 891,02	67271 69291 68292 72390 68383	74,74 78,02 75,88 79,10 76,74	(+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68 (+)-0,68	601	
77	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	1 2 3 4 5	29,8×30,1×30,0 30,3×30,2×30,4 30,8×30,7×30,5 29,8×30,4×30,7 28,9×29,5×29,8	896,98 915,06 945,56 905,92 852,55	81374 83915 84640 83490 77671	90,71 91,70 89,52 92,16 85,74	(+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39 (+)-0,39	653	
77	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	6 7 8 9 10	30,2×29,8×30,5 29,8×30,3×30,1 30,5×31,0×30,8 29,7×30,2×29,9 29,8×30,8×30,5	899,96 902,94 945,5 896,94 917,84	88343 85744 95519 91287 91574	98,16 94,96 101,02 101,77 99,77	(+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05 (+)-1,05	653	

## ცხრილი 2.3.

სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული სილიკონგანუმის ხარისხობრივი მახასიათებლები

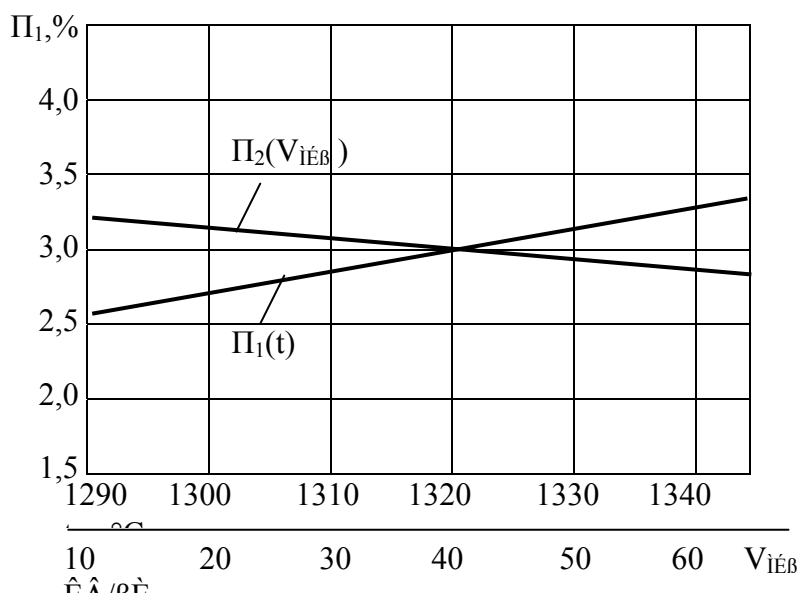
დნობა №	ქიმიური შედგენილობა, %						ნიმუშის ნომერი	ნიმუშის მოცულობა (სმ <sup>3</sup> )	ნიმუშის წონა (გრ)	უაქტიური სიმკვრივე (გრ/სმ <sup>3</sup> )	გრანულომეტრიული შემადგენლობა %				ფორიანობა		
	Mn	Si	Fe	C	P	S					+10	10-5	3-5	0-3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
72							1	29,9×30,2×29,5	26,46	159,289	6,020					3,44	
							2	29,8×29,5×31,0	27,25	166,879	6,124					1,9	
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	3	30,2×29,8×30,0	26,99	164,983	6,113	3,6	49,26	18,27	29,94	2,09	
							4	30,4×29,6×30,3	27,265	167,434	6,141						1,6
							5	30,1×29,7×29,6	26,46	160,130	6,052						3,02
73							1	29,5×29,8×30,0	26,37	149,010	5,651					7,86	
							2	30,2×29,6×31,0	27,71	158,113	5,706					7,0	
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	3	30,4×29,9×30,3	27,54	156,890	5,697	3,52	52,77	10,44	33,26	7,2	
							4	29,8×30,1×29,7	26,64	151,580	5,690						7,3
							5	29,7×30,2×29,2	26,19	147,810	5,644						7,07
74							1	29,6×29,2×29,4	25,41	148,648	5,850					6,1	
							2	30,1×29,8×29,6	26,55	156,560	5,897					5,3	
	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	3	29,7×30,2×30,4	27,26	162,250	5,952	3,4	52,55	13,62	30,36	4,5	
							4	30,3×30,9×30,1	28,18	168,260	5,971						4,3
							5	29,5×29,9×29,7	26,19	154,049	5,882						5,6
75							1	29,7×29,8×29,3	25,93	155,580	6,011					3,8	
							2	30,1×29,6×30,4	27,08	166,0	6,130					2,01	
	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	3	29,3×29,5×30,1	26,02	158,20	6,079	4,3	50,28	16,75	28,57	2,7	
							4	30,4×30,6×30,0	27,90	171,580	6,154						1,53
							5	30,5×29,8×29,6	26,90	164,090	6,105						2,4
77							1	29,2×29,8×30,1	26,19	162,370	6,199					1,54	
							2	29,9×28,9×29,5	25,49	157,520	6,181					1,73	
	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	3	29,7×29,9×29,9	25,75	159,390	6,192	4,2	46,7	23,4	27,1	1,63	
							4	30,1×30,3×29,6	26,99	168,150	6,235						1,06
							5	29,9×30,1×30,3	27,26	170,370	6,250						0,77



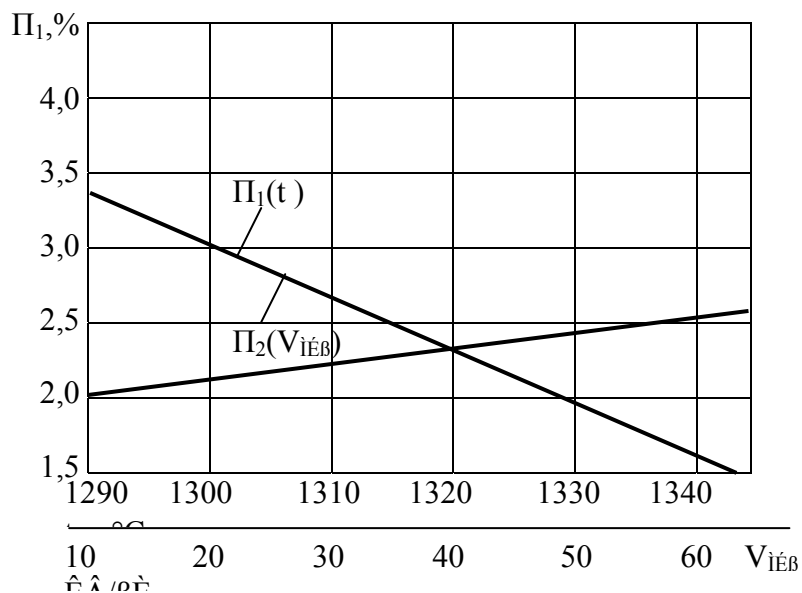
ცხრილი 2.4.

ტრადიციული მეთოდით ჩამოსხმული სხმულის ხარისხობრივი მახასიათებლები

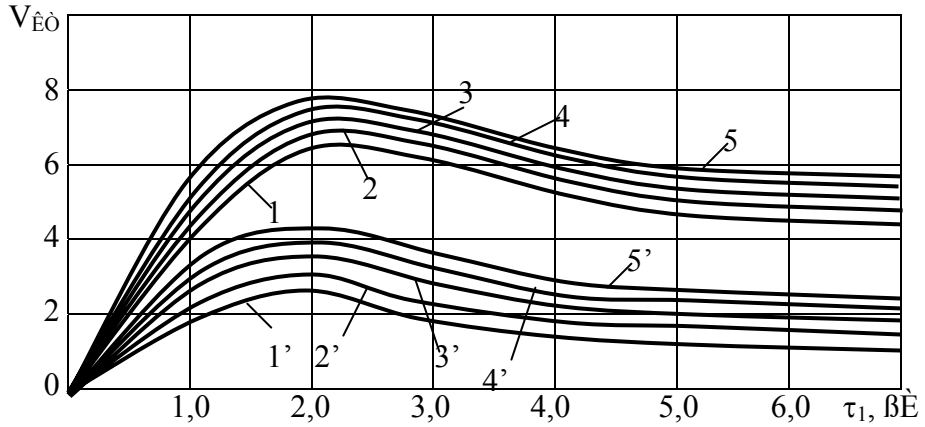
ღრობა №	ქიმიური შედგენილობა, %					ნიმუშის ნომერი	ნიმუშის მოზები მმ	ნიმუშის მოცულობა (სმ <sup>3</sup> )	ნიმუშის წონა (გრ)	უაქტიური სიმკვრივე (გრ/სმ <sup>3</sup> )	გრანულომეტრიული შემადგენლობა %					ფორიანობა
	Mn	Si	Fe	C	P						S	+10	10-5	3-5	0-3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
72							1	29,9×30×29,5	26,46	159,289	6,020					3,6
							2	29,8×29,5×31,0	27,25	166,879	6,124					2,0
	730	18,2	6,9	1,3	0,26	0,03	3	30,2×29,8×30,0	26,99	164,983	6,113	3,6	48,26	16,27	31,85	2,2
							4	30,4×29,6×30,3	27,265	167,434	6,141					1,7
							5	30,1×29,7×29,6	26,46	160,130	6,052					3,16
73							1	29,5×29,8×30,0	26,37	149,010	5,651					8,26
							2	30,2×29,6×31,0	27,71	158,113	5,706					7,3
	70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	3	30,4×29,9×30,3	27,54	156,890	5,697	3,52	51,77	9,04	35,66	7,5
							4	29,8×30,1×29,7	26,64	151,580	5,690					7,6
							5	29,7×30,2×29,2	26,19	147,810	5,644					8,37
74							1	29,6×29,2×29,4	25,41	148,648	5,850					6,4
							2	30,1×29,8×29,6	26,55	156,560	5,897					5,6
	72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	3	29,7×30,2×30,4	27,26	162,250	5,952	3,4	51,65	12,62	32,26	4,7
							4	30,3×30,9×30,1	28,18	168,260	5,971					4,5
							5	29,5×29,9×29,7	26,19	154,049	5,882					5,8
75							1	29,7×29,8×29,3	25,93	155,580	6,011					3,9
							2	30,1×29,6×30,4	27,08	166,0	6,130					2,1
	73,3	17,9	7,17	1,3	0,23	0,03	3	29,3×29,5×30,1	26,02	158,20	6,079	4,3	49,38	15,25	30,97	2,8
							4	30,4×30,6×30,0	27,90	171,580	6,154					1,6
							5	30,5×29,8×29,6	26,90	164,090	6,105					2,5
77							1	29,2×29,8×30,1	26,19	162,370	6,199					1,6
							2	29,9×28,9×29,5	25,49	157,520	6,181					1,8
	73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	3	29,7×29,9×29,9	25,75	159,390	6,192	4,2	46,5	22,9	26,4	1,7
							4	30,1×30,3×29,6	26,99	168,150	6,235					1,1
							5	29,9×30,1×30,3	27,26	170,370	6,250					0,8



ნახ.2.7. თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის პროცესში დანაკარგების (გაშხეფილი ლითონის) რაოდენობის დამოკიდებულება ჩამოსხმის ტემპერატურასა და არაკონდინციური მისართის მიწოდების ინტენსივობაზე.



ნახ.2.8. საჩამოსხმო ღარში ჩამოყალიბებული ნაფენების რაოდენობის დამოკიდებულება ჩამოსხმის ტემპერატურაზე და არაკონდინციური მისართის მიწოდების ინტენსივობაზე



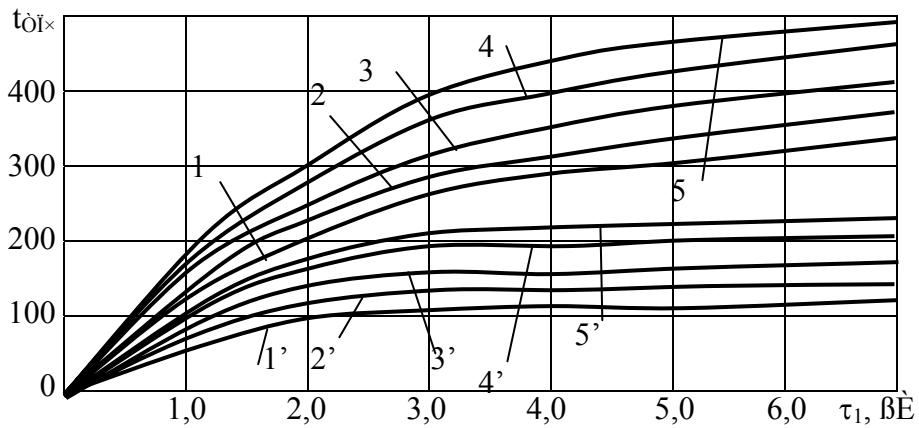
ნახ.2.9. 120 მმ სიმაღლის სხმულის კრისტალიზაციის სიჩქარის ცვლილება ჩამოსხმიდან გასულ დროსთან დამოკიდებულებაში:

ტრადიციული მეთოდით სხმულის მიღების შემთხვევაში.

სუსპენზიური მეთოდით სხმულის მიღების შემთხვევაში.

- 1. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1330°C.
- 2. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1320°C.
- 3. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1310°C.
- 4. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1300°C.
- 5. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1290°C.

- 1'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1330°C.
- 2'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1320°C.
- 3'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1310°C.
- 4'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1300°C.
- 5'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1290°C.



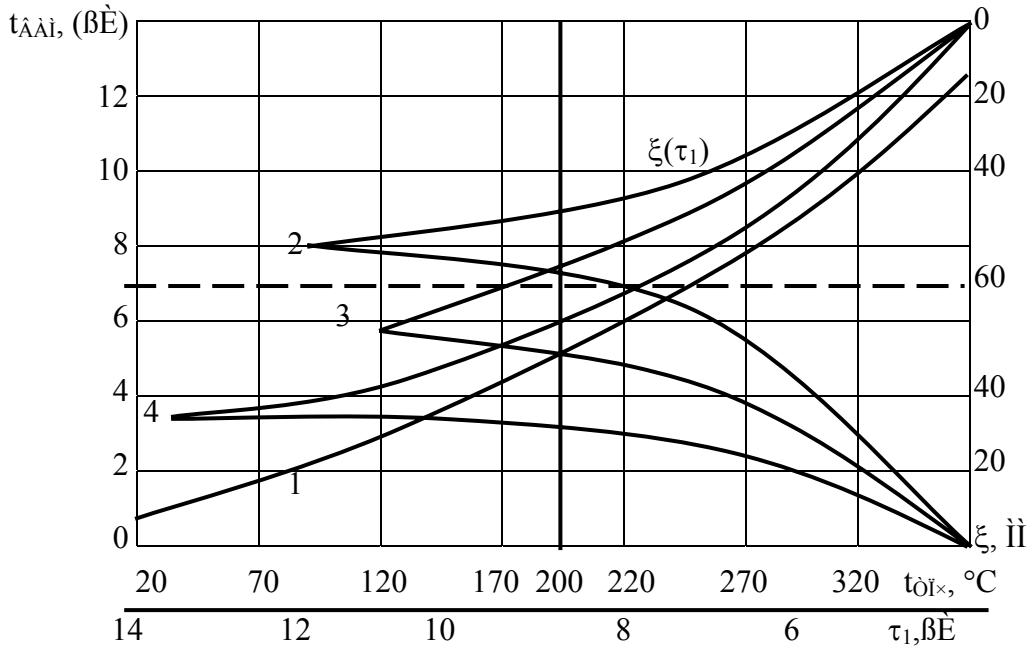
ნახ.2.10. კონვეიერული სამსხმელო მანქანის როფების კედლების (ფსკერის) ტემპერატურის ცვლილება ფეროსილიკომანგანუმით შევსებიდან გასული დროის მიხედვით:

ტრადიციული მეთოდით სხმულის მიღების შემთხვევაში

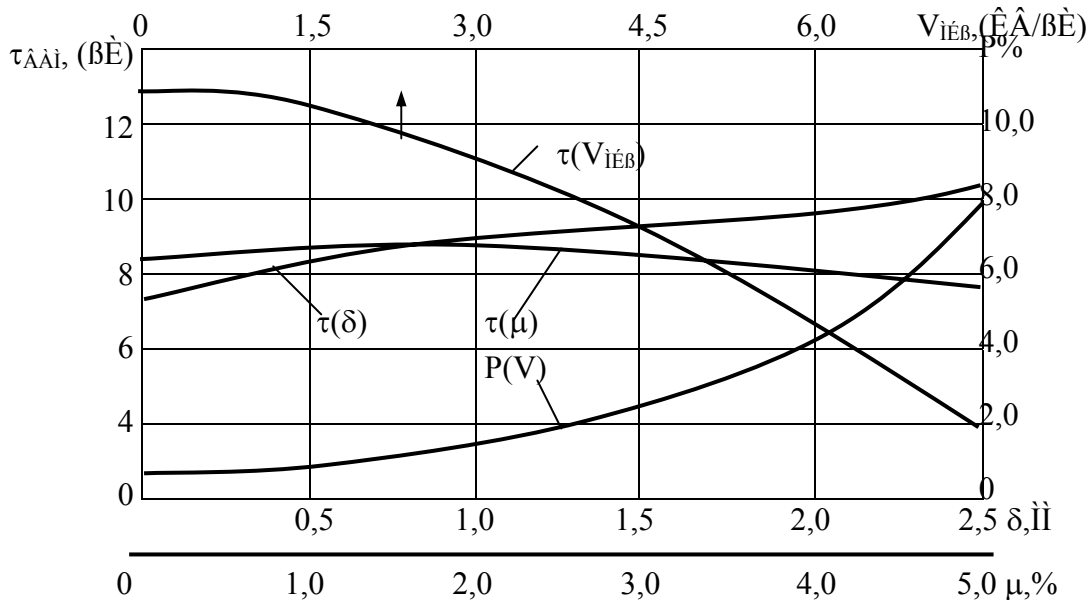
სუსპენზიური მეთოდით სხმულის მიღების შემთხვევაში

- 1. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1330°C.
- 2. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1320°C.
- 3. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1310°C.
- 4. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1300°C.
- 5. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1290°C.

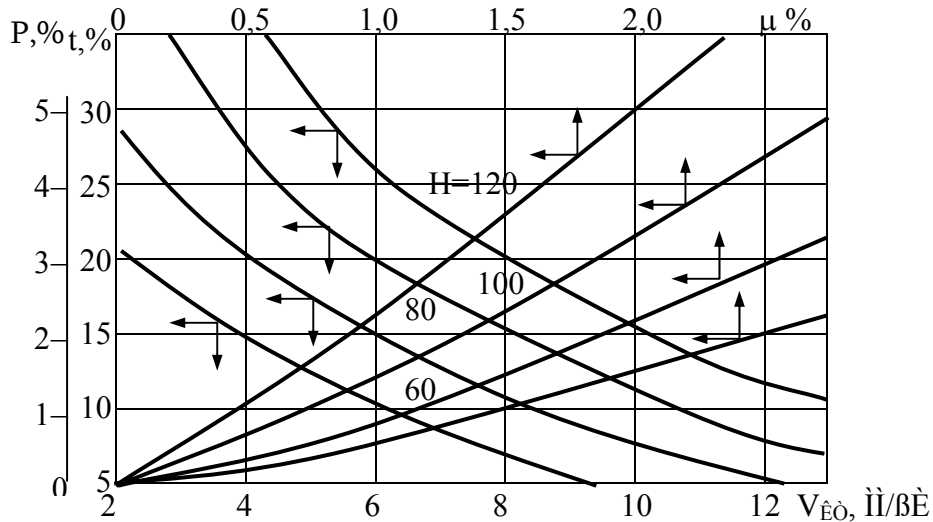
- 1'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1330°C.
- 2'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1320°C.
- 3'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1310°C.
- 4'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1300°C.
- 5'. ჩამოსხმის ტემპერატურა – 1290°C.



ნახ.2.11. (1) როფების საწყისი ტემპერატურის გავლენა 120 მმ სიმაღლის სხმულების გამყარების ხანგრძლივობაზე; (2) კრისტალიზაციის ფრონტების გადაადგილება 200°C-ტემპერატურაზე გახურებულ როფში ჩამოსხმულ ფეროსილიკომანგანუმში; (3) კრისტალიზაციის ფრონტების გადაადგილება 20-25°C-ან როფში ჩამოსხმისას. (4) კრისტალიზაციის ფრონტების გადაადგილება 400°C-ტემპერატურამდე გახურებულ როფში ჩამოსხმისას.



ნახ.2.12. არაკონდიციური მისართის მიწოდების რაოდენობის კონვეიერული სამსხმელო მანქანის როფების დამცავი კირის შრის სისქისა და ტენუმეცველობის გავლენა 120 მმ სიმაღლის სხმულების (17% Si) ფორიანობასა და გამყარების ხანგრძლივობაზე.

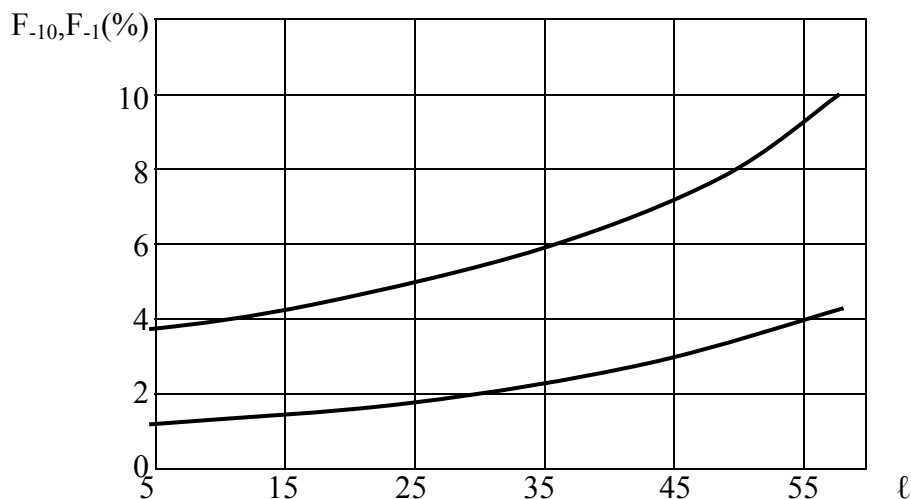


ნახ.2.13. კრისტალიზაციის სიჩქარის და არაკონდიციური მისართის ტენიანობის გავლენა ფეროსილიკომანგანუმის (17% Si) სხმულების გულში კონცენტრირებული მაკროდენდრიტების გავრცელების ზონასა და ფორიანობაზე.

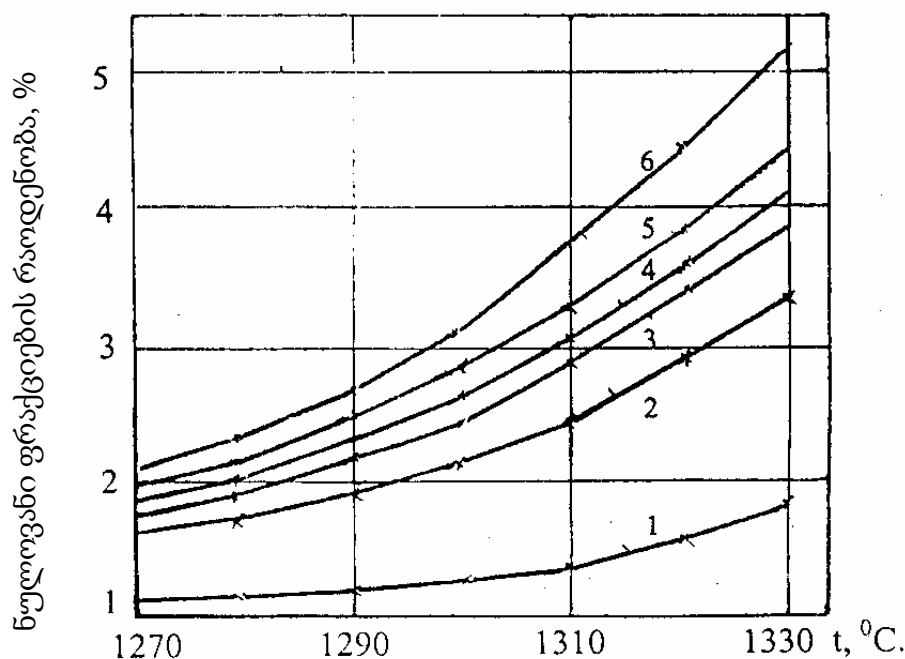
როგორც ნახაზებიდან (2.12., 2.13), ჩანს კრის შრე და არაკონდიციური მისართის ტენიანობა საგნძნობ გავლენას ახდენს სხმულის ფიზიკურ აგებულებაზე [8], კერძოდ ფორიანობაზე, სახელდობრ კრის შრიდან ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმისას გამოყოფილი წყლის ორთქლი, წყლის დისოციაციით წარმოქმნილი წყალბადი და ჟანგბადი იწვევენ სხმულის “დუღილს”. ამ დროს კრის შრიდან გამოყოფილი აირები აღწევენ სხმულის მოცულობაში და ამოდიან მის ზედაპირზე. რასაც მოწმობს გასიკის და სხვების მიერ აღწერილი მასალებიც [32]. სხმულის დუღილი ზოგჯერ კრისტალიზაციის პროცესშიც გრძელდება და წარმოქმნიან გამჭოლ მაკროფორებს. სინესტე შეიძლება სხმულში შევიდეს აგრეთვე არაკონდიციური ფრაქციის შეტანის დროსაც, მაგრამ კრისტალიზაციის ხელოვნური ცენტრების ჩამოყალიბებების, კერძოდ კი ინტენსიფიცირებული გამყარების გამო დუღილის ეფექტით განპირობებული დეფექტები მინიმიზირებულია.

ნახ.2.13-დან ჩანს, რომ ფეროსილიკომანგანუმის 120 მმ – სიმაღლის სხმულების 10 მმ/წთ სიჩქარით გამყარების დროს მაკროდენდრიტებისაგან ფორმირებულ გულს შორის უკავია განივი ტების 15%. კრისტალიზაციის სიჩქარის 6 მმ/წთ-მდე შემცირების დროს კი 20%, ხოლო ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის საშუალო სიჩქარის კიდევ 2 მმ/წთ-ით შემცირებისას მაკროდენდრიტებისაგან შედგენილი ცენტრალური ზონა შეადგენს სხმულის განივი ტების 25%-ს.

ფეროსილიკომანგანუმის მიკროსტრუქტურული კვლევებით ნახ.2.16, 2.17 დადგინდა, რომ სხმულის ქერქის ტრანსკრისტალიზაციის ზონები ერთმანეთისაგან არის განსხვავებული მხოლოდ მარცვლების საშუალო ზომით. ამდენად შეიძლება ითქვას, რომ ამ ზონიდან ამოღებულ ნიმუშის მსხვრევაზე გამოცდის შედეგად მიღებული არაკონდიციურ ფრაქციებს შორის 35 %-იანი სხვაობა სწორედ აღნიშნული ფაქტორის გამო არის გამოწვეული (ნახ.2.14).



ნახ.2.14. ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების ქერქისა და ტრანსკრისტალიზაციის ზონიდან არაკონდიციური  $-10$  და  $-1$  მმ მისართის გამოსვლის დამოკიდებულება მათ მიკროაგებულებაზე;



ნახ.2.15. ჩამოსხმის ტემპერატურის არაკონდიციური ფრაქციის შემცველობის გავლენა ფეროსილიკომანგანუმის ვარგის გამოსავლიანობაზე:  
1) Si – 16,4%; 2) Si – 17,9%; 3) Si – 18,2%; 4) Si – 18,5%; 5) Si – 19,5%.

სხვადასხვა ქიმიური შედგენილობის ფეროსილიკომანგანუმის მსხვრევაზე გამოცდის შედეგად მიღებული გრაფიკული გამოსახულებები (ნახ.2.15, 2.16) გვიჩვენებს, რომ სხმულების დაქუცმაცებისას წარმოქმნილი არაკონდინციური მისართის გამოსავლიანობაზე არსებით გავლენას ახდენს Si-ის შემცველობა და ჩამოსხმის ტემპერატურა, კერძოდ 16%-იანი სილიციუმის შემცველი ფეროსილიკომანგანუმის შოთებისაგან პროდუქციის ვარგისი გამოსავალი 1,5-2-ჯერ მეტია, ვიდრე 19%-იანი Si-ის სხმულების შემთხვევაში. ნულოვანი ნარჩენები კი 2,5-3-ჯერ მცირეა. ნახ.2.15-ის გაანალიზებიდან გამომდინარეობს, რომ ჩამოსხმის 1300°C-ზე მეტ ტემპერატურაზე მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის პროდუქციის ვარგისი გამოსავლიანობა შედარებით ნაკლებად იკლებს, ვიდრე მატულობს სხმულის ცენტრალური ზონიდან მიღებული ნულოვანი ფრაქციები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ჩამოსხმის ტემპერატურა უფრო მეტ გავლენას ახდენს მიკროდენდრიტებისაგან ფორმირებული გულის მოცულობაზე, ვიდრე შენადნობის მიკროაგებულებაზე.(ნახ.2.17)



ნახ.2.16. სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის მაკროაგებულება.

გაცივების სიჩქარე 10-15 °C/წთ, ჩამოსხმის ტემპერატურა 1350 °C.



ნახ. 2.17. გაცივების ინტენსივობის გავლენა სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის მიკროაგებულებაზე. ბზარები ფორმირებულია SiMn-ის სხმულის გაცივებით 30°C/წთ სიჩქარით, ლითონის საწყისი 1320°C ტემპერატურისას.

## 2.5. ტრადიციული და სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების შედარებითი ხარისხობრივი ანალიზი

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, თხევად ლითონში შეყვანილი არაკონდიციური მისართი დიდ გავლენას ახდენს მიღებული სხმულის სტრუქტურაზე და შემდგომ მის ხარისხზე. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული სხმული (ნახ.2.18) გამოირჩევა შედარებით სტაბილური და მკვრივი მაკროაგებულებით, რომლის მიკროსტრუქტურული ანალიზი (ნახ.2.20) გვიჩვენებს, რომ დომინანტ ფაზას წარმოადგენს ე.წ. სილიკოკარბიდი (ნათელი ფერის მარცვლები), რომლებიც ჭარბადაა სილიციდურ კარბიდულ მარცვლებს შორის ევტექტიდაში. სილიკოკარბიდის ზუსტი ფაზური შედგენილობის ( $Mn\alpha$  Fe $\beta$ ) (Si $\gamma$  C $\delta$ ) განსაზღვრა, მოითხოვს დამატებით პრეცეზიულ რენტგენოსპექტრულ გამოკვლევებს, რაც შემდგომი კვლევის საგანია.



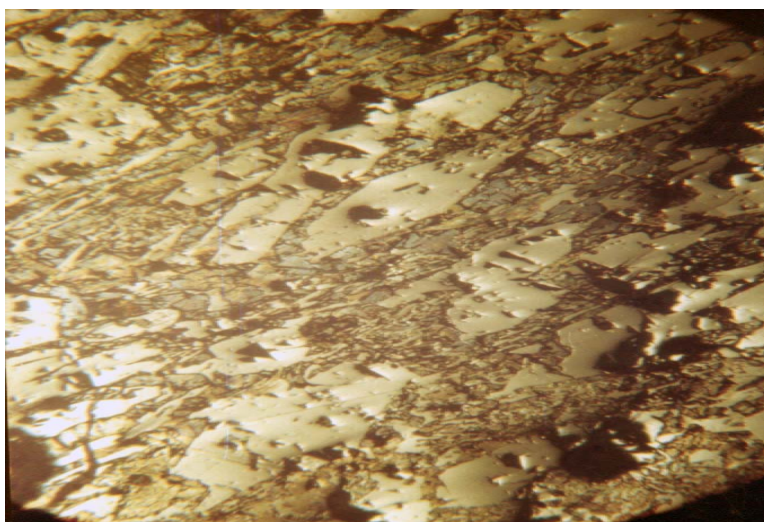


ნახ.2.18. სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის ტრანსკრისტალიზაციის და გულის მიმდებარე ზონის მაკროსტრუქტურა

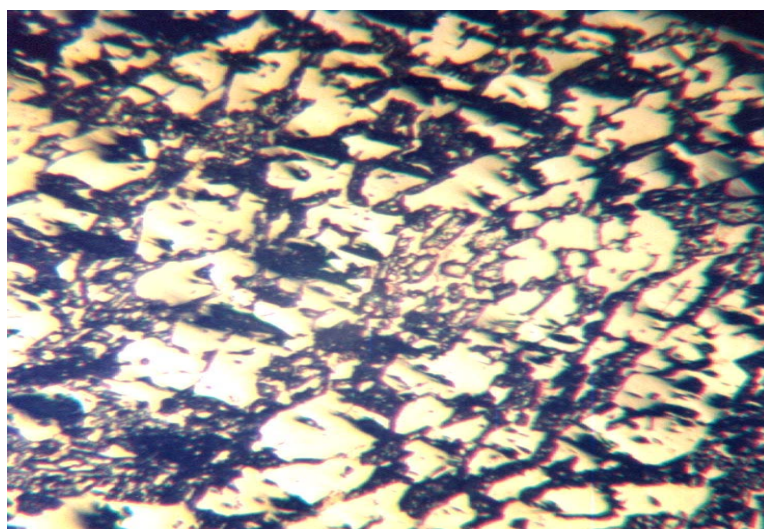


ნახ.2.19. ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმულის ტრანსკრისტალიზაციის და გულის მიმდებარე ზონის მაკროსტრუქტურა

სურ.2.19-ზე მოცემულია ტრადიციული მეთოდით ჩამოსხმული სხმულის მაკროსტრუქტურა. ნიმუშის მაკროაგებულება, კერძოდ კი მაკრორელიეფი აჩვენებს, რომ ნიმუშის რღვევა მოხდენილია სილიციდურ-კარბიდულ ევტექტიკაში, რაც განპირობებულია ფაზათაშორისი დამაბულობით და გამოიხატება დამახასიათებელი მიკრობზარებით. ფეროსილიკომანგანუმის მარცვლებშორისი კრისტალიზაციური ბზარების წარმოშობაზე მეტყველებს რუხი ფერის ზედაპირები, რომლებიც ფორმირებულია მაღალტემპერატურული სხმულის გაცივებისა და უპირატესი ჟანგვის პროცესში. ხოლო თეთრი ზედაპირები მიღებულია გაცივებული სხმულის მყიფე რღვევის შედეგად, რაც თვალნათლივ ჩანს იმავე მიკროსტრუქტურულ ანალიზში (ნახ.2.21).



ნახ.2.20. სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის მიკროსტრუქტურა X250.



ნახ.2.21. ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმულის მიკროსტრუქტურა X250.

სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის მიკროსტრუქტურული ანალიზი (ნახ.2.20) გვიჩვენებს, რომ ამ შემთხვევაშიც დომინანტურ ფაზას წარმოადგენს სილიკოკარბიდი, მაგრამ სილიციდურ კარბიდულ მარცვლებს შორის ევტექტიკაში ქარბობს ნახშირბადით ღარიბი და სილიციუმით მდიდარი შედარებით რუხი ფერის ფაზა, შედგენილობით Mn-Fe-Si. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულებზე მექანიკური ზემოქმედებისას მყიფე რღვევა იწყება ამ რუხი ფერის მარცვლების უპირატესი დაშლის შედეგად. ფეროსილიკომანგანუმის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები შედარებითი ანალიზის მიზნით მოცემულია ცხრილებში 2.1. და 2.2.

## ცხრილი 2.1

სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის მექანიკური მახასიათებლები

Mn	ძირითადი ელემენტის შემცველობა, %					მსხვრევალობა, %	მსხვრევალობის კოეფიციენტი f	ფქვალობა, %	სიმტკიცის მდღარი გაჭიმვაზე, მპა
	Si	Fe	C	P	S				
73,0	18,2	6,9	1,3	0,26	0,02	24,6±0,31	4,8±0,18	5,3±0,17	60,8
70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	26,2±0,35	5,7±0,18	6,4±0,21	69,2
72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	24,5±0,21	5,4±0,14	5,7±0,24	59,7
73,3	17,9	7,17	1,30	0,23	0,03	22,9±0,2	4,6±0,16	4,1±0,15	64,5
73,5	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	20,9±0,36	4,8±0,16	4,7±0,19	58,8
73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	20,9±0,16	4,1±0,16	2,9±0,21	66,3

## ცხრილი 2.2

ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმულის მექანიკური მახასიათებლები

Mn	ძირითადი ელემენტის შემცველობა, %					მსხვრევალობა, %	მსხვრევალობის კოეფიციენტი f	ფქვალობა, %	სიმტკიცის მდღარი გაჭიმვაზე, მპა
	Si	Fe	C	P	S				
73,0	18,2	6,9	1,3	0,26	0,02	27,3±0,31	5,3±0,18	5,9±0,17	56,7
70,9	19,5	7,6	1,2	0,24	0,03	29,1±0,35	6,4±0,18	6,8±0,21	66,1
72,3	18,7	7,2	1,2	0,29	0,03	27,2±0,21	6,1±0,14	6,6±0,24	55,6
73,3	17,9	7,17	1,30	0,23	0,03	25,5±0,2	5,2±0,16	4,6±0,15	60,8
73,5	18,5	6,6	1,4	0,24	0,03	23,2±0,36	5,4±0,16	5,4±0,19	55,4
73,8	16,4	7,5	1,8	0,18	0,03	23,3±0,16	4,6±0,16	3,4±0,21	62,8

ორივე მეთოდით მიღებული სხმულის ხარისხობრივი მაჩვენებლების ექსპერიმენტული გამოკვლევებისა და შედარებისათვის ცდები ჩატარებული იქნა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის ცენტრალური საქარხნო ლაბორატორიის ფიზიკური კვლევის სექტორში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მინერალოგიის, პეტროგრაფიისა და გეოქიმიის კათედრასთან არსებულ ემისიურ-სპექტრული კვლევის ცენტრში ჩატარებული რენტგენოსპექტრული ანალიზის (დანართი 1) მონაცემთა დამუშავების გზით მიღებულია ორივე მეთოდით ჩამოსხმული სხმულების ქიმიური შედგენილობები, რომლებიც მოცემულია ცხრილ 2.3-ში. მაგრამ გამონაკლის შემთხვევაში, როცა სხმულში ხვდება არალითონური მინარევი, კერძოდ წიდა ან მულდების კირის შრის დამცავი ჩანართები, ადგილი აქვს ქიმიური შედგენილობის ერთი შეხედვით მკვეთრ, მაგრამ ლოკალურ ცვლილებას (იხ.დანართი 1, შედეგი №15), რასაც საწარმოო პირობებში არსებითი ხასიათი არ გააჩნია. ცხრილებში მოყვანილი მო-ნაცემების შედარებითი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ნიმუშის ერთი და იგივე პირობებში გამოცდისას სუსპენზიური მეთოდით მიღებულ სხმულს გააჩნია შედარებით მაღალი სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 4%-ით მეტი, მსხვრევადობა შემცირებულია 10%-ით, ხოლო ფქვადობა 9,5%-ით. გამოსაკვლევი ნიმუშების რენტგენოგრამებიდან (იხ. დანართი 2, 3) ჩანს, რომ ჩვეულებრივი ტექნოლოგიით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის მარცვლების საშუალო ზომა არის 21,5 მკმ, ხოლო სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულისათვის ეს მაჩვენებელი ტოლია 10 მკმ-ის, რაც კანონზომიერია. გამოსხივების სპექტრთა შედარებით დგინდება, რომ ნიმუშთა სპექტროგრამებს შორის არსებითი სხვაობა არ შეიმჩნევა, ორივე შემთხვევაში ლითონის ფაზური შედგენილობა პრაქტიკულად იდენტურია და შედგება რკინის მყარად გახსნილი Mn-ის, Fe-ისა და C-ის ატომებისაგან.

მარცვლებშორის ევტექტიკა, რომლის საშუალო ზომა 13-15 მკმ. შედგება ნათელი ფერის სილიციდურ-კარბიდული ჭარბი მანგანუმის, სილიციუმის და უპირატესად ფოსფორის მყარი ხსნარისაგან, რომლებიც, როგორც მეტალოგრაფიული კვლევიდან დადგინდა, ძირითადად წარმოქმნის შედარებით მუქი ფერის სილიციუმით და ფოსფორით მდიდარ დაბალი სიმტკიცის მანგანუმ სილიციდურ ფაზას.

ქიმიური შედგენილობის რენტგენოსპექტრული ანალიზის მონაცემთა დამუშავების გზით მიღებული შედეგები

№	ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმულის ქიმიური შემადგენლობა, %				სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის ქიმიური შემადგენლობა, %				ტრადიციული და სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის ქიმიური შემადგენლობებს შორის სხვაობა, %			
	Mn	Si	Fe	P	Mn	Si	Fe	P	Mn	Si	Fe	P
1	71,4	19,70	5,40	0,10	74,70	9,40	12,00	0,02	3,30	10,30	6,60	0,08
2	73,1	6,80	4,90	0,10	64,00	17,00	9,60	0,10	9,10	10,20	4,70	0,01
3	76,9	12,70	6,10	0,70	66,90	10,10	11,70	0,10	16,00	3,60	5,60	0,60
4	68,2	22,80	5,40	0,20	69,20	11,90	12,60	0,06	1,00	10,90	7,20	0,14
5	71,8	26,70	5,50	0,07	49,00	15,50	12,10	0,30	22,20	11,20	6,60	0,23

## 2.6. დასკვნები

1. შემუშავებულია სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში სხმულის გამყარების პროცესის მათემატიკური მოდელი, რომელიც უზრუნველყოფს თხევად ლითონში შეყვანილი არაკონდინციური მისართის მიერ მოხდენილი თბური ეფექტის განსაზღვრას. არნიშნული მოდელიდან გამომდინარე პროგრამა "Mftcad Profesional"-ის გამოყენებით მიღებულია სივრცითი დიაგრამები მაკრონაწილაკების საშუალო რადიუსსა და ჩამოსხიდან გასულ დროზე ტემპერატურის დამოკიდებულებით.
2. ექსპერიმენტულმა კვლევებმა გვაჩვენა, რომ ჩამოსხმის პროცესის ეფექტის ამაღლება შესაძლებელია ტექნოლოგიური რეჟიმების რეგულირებით, კერძოდ მაქსიმალური მწარმოებლობა (ანუ მინიმალური დანაკარგი ფორიანობით გამოწვეული მსხვრევადობის შედეგად FeMnSi17-სათვის) მიიღწევა ჩამოსხმის ტემპერატურისას 1320 °C, არაკონდინციური მისართის მიწოდებისას 40-45 კგ/წთ ინტენსივობის პირობებში.
3. ხარისხობრივი მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რაციონალური ტექნოლოგიური რეჟიმებით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმი ხასიათდება 10% -

ით ნაკლები მსხვერველობით, 9,5 %-ით ნაკლები ფქვადობით და 4,3-ჯერ მომატებული სიმტკიცით და სიმკვრივით.

4. საწარმოო პირობებიდან და მართვის პრაქტიკული შესაძლებლობებიდან გამომდინარე ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ეფექტურობის ამაღლების დამატებით კრიტერიუმებად შეიძლება განვიხილოთ საჩამოსხმელო მანქანის როფების საწყისი ტემპერატურა და საჩამოსხმო როფში ლითონის მიწვის საწინააღმდეგო კირის შრის სისქე.

### თავი 3. არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესის კონტროლისა და მართვის რაციონალური ტექნოლოგიის დამუშავება

#### 3.1. არაკონდიციური მისართის დოზირების რაციონალური ტექნოლოგიის ახალი კონცეპცია

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის თანამედროვე მდგომარეობის და არსებული პრობლემების გადაწყვეტის გზების სისტემური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის ეფექტურობის ამაღლებისათვის, სახელდობრ რაციონალური მაჩვენებლების უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია ჩამოვყალიბოთ დოზირების ტექნოლოგიური პროცესის ახალი უფრო სრულყოფილი კონცეფცია, რომელიც ითვალისწინებს:

- ფხვიერი ფეროსილიკომანგანუმის მოცულობითი დოზირების (ფრთებიანი დოზატორის) მოწყობილობის ახალი კონსტრუქციის შემუშავებას, მისთვის უნივერსალური მკვებავის თვისებების მინიჭების, ანუ ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოების მიზნით;
- ფხვიერი ფეროსილიკომანგანუმის დოზირების (ხარჯის კონტროლის) სისტემის სრულყოფას პროცესის საიმედოობის ამაღლების თვალსაზრისით.
- ფეროსილიკომანგანუმის თხევად ნაკადში უწყვეტი მიწოდების სიჩქარის რაციონალური მნიშვნელობის განსაზღვრას;
- დოზირების პროცესის ავტომატური რეგულირების სისტემის (ალგორითმის) დამუშავებას ჩამოსხმის რეჟიმების (კერძოდ ჩამოსხმის ტემპერატურისა და მისართის და არაკონდინციური მისართის მიწოდების) რაციონალური მნიშვნელობის უზრუნველსაყოფად;

ზემოთ აღნიშნული ტექნიკური მოთხოვნების კონცეპტუალური მნიშვნელობიდან გამომდინარე შესაძლებელია კვლევის ძირითადი ამოცანის ანუ ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმისას არაკონდინციური მისართის უწყვეტი დოზირებული მიწოდების რაციონალური ტექნოლოგიის დამუშავების მთავარ კრიტერიუმად დასახელდეს ახალი, კომპლექსურად ავტომატიზირებული (თვითკონტროლირებადი და რეგულირებადი) ტექნოლოგიური სისტემის შემუშავება.

### 3.2. არაკონდინციური ფხვნილოვანი მისართის თხევად ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადში ჩანერგვის რაციონალური ინტენსივობის ანალიზური განსაზღვრა

დისერტაციის I თავში, კერძოდ პარაგრაფში 1.2 მოყვანილი გვაქვს არაკონდინციური მისართის რაციონალური წონის საანგარიშო ფორმულა. თანამედროვე სახით ეს ფორმულა უზრუნველყოფს საძიებელი სიდიდის გამოთვლას სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესებზე მოქმედი ისეთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორების გათვალისწინებით როგორცაა: კრისტალიზაციის კუთრი სითბო, არაკონდინციური ფრაქციის საწყისი ტემპერატურა, სხეულში მყარი ფაზის ტემპერატურა, ჩამოსხმის ტემპერატურა, ფეროსილიკომანგანუმის სიმკვრივე, არაკონდინციური მისართის საწყისი ტემპერატურა, ფეროსილიკომანგანუმის დნობისა და კრისტალიზაციის კრიტიკული ტემპერატურები. მაგრამ საწარმოო პირობებისათვის აღნიშნული გამოსახულების უშუალო გამოყენება ვერ იძლევა არაკონდინციური მისართის მიწოდების რაციონალური სიჩქარის პროგნოზირების საშუალებას, რადგანაც გამოთვლილი სტატიკური მაჩვენებელი მოითხოვს დროზე დამოკიდებულებას ისეთ დინამიური სიდიდესთან როგორცაა არაკონდინციური მისართის მასალის ხარჯი წუთში, რომლის გამოთვლისთვის ფორმულა (1.3) მარტივი გარდაქმნების შედეგად იძენს შემდეგ სახეს:

$$V = \frac{\rho \cdot \nu_{xfv} \cdot C_v \cdot (t_{xfv} - t_{ly \text{ lfcfch}})}{C_v \cdot (t_{ufv. \text{ lfcfch}} - t_{lfcfo.}) + L + 0.5\Delta t (C_{s\text{td}} + C_v)} \quad (3.1)$$

სადაც: V-არაკონდინციური ფრაქციის ხარჯია, კგ/წთ

$\rho=6300$  (კგ/მ<sup>3</sup>) თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის სიმკვრივეა

$V_{ჩ.მ.}=0.05 \div 0,5$  (მ<sup>3</sup>/წთ) თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის სიჩქარეა

$C_{მყ.}=690,6+0,067 [t_{მყ.}]$  ფეროსილიკომანგანუმის კუთრი სითბოტევადობაა მყარ მდგომარეობაში, ჯ/კგ·გრად

$C_{თხ.}=1912,3-0,84 [t_{თხ.}]$  ფეროსილიკომანგანუმის კუთრი სითბოტევადობაა თხევად მდგომარეობაში, ჯ/კგ·გრად

$t_{საწყ.}$  – არაკონდინციური მისართის საწყისი ტემპერატურაა გრად.

$\Delta t$  – ფეროსილიკომანგანუმის დნობა-კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი გრად.

L - ფეროსილიკომანგანუმის კრისტალიზაციის კუთრი სითბო, კჯ/კგ

$t_{დნ.დას.}=1280^{\circ}C$  -ფეროსილიკომანგანუმის დნობის დასასრულის ტემპერატურაა,  $^{\circ}C$

$t_{გამყ.დასას.}=1170^{\circ}C$  - ფეროსილიკომანგანუმის გამყარების დასასრულის ტემპერატურაა,



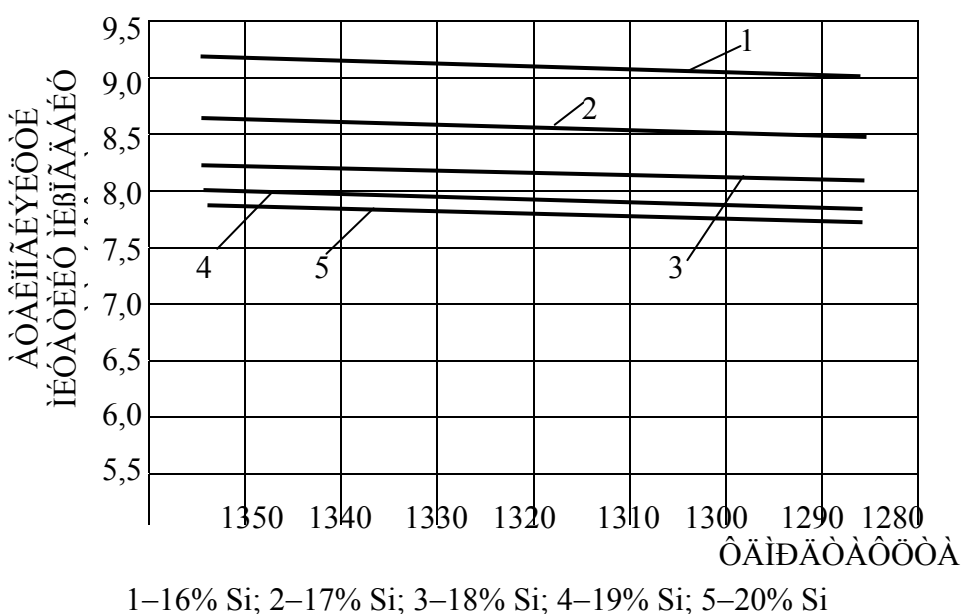
$$\Delta t = -882,5 + 1,05 [S_i] - 2,5 [S_i^2]$$

სადაც  $S_i$  – ფეროსილიკომანგანუმში სილიციუმის პროცენტული შემცველობა (16-20 %).

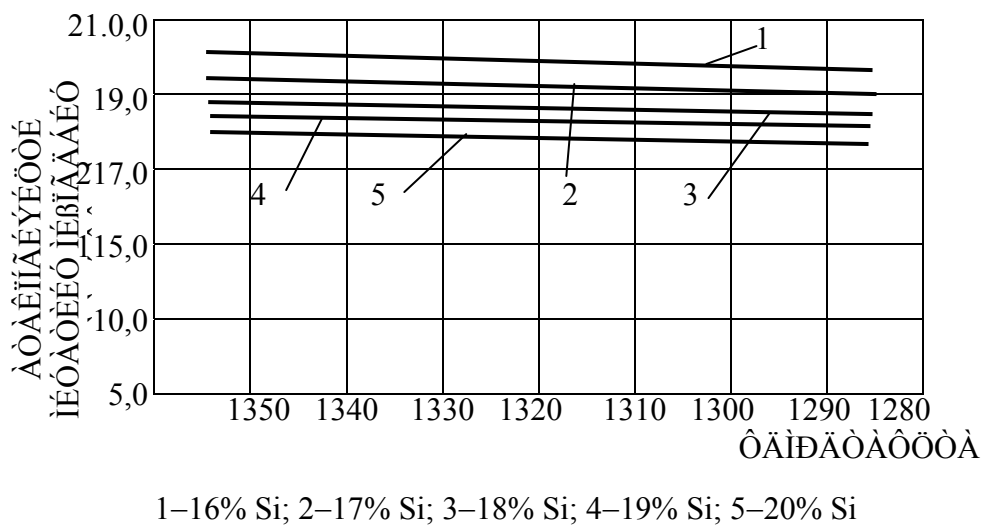
ზემოთაღნიშნული ანალიზური გამოსახულების 3.1-ში გათვალისწინებით მივიღებთ თხევად ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდინციური მისართის მიწოდების რაციონალური ინტენსივობის საპროგნოზო შემდეგ ფორმულას:

$$V = \frac{(6300 \cdot v_x) \cdot (191,3 - 0,85[t_a] [t_x - 1280])}{t_x (690,6 - 73,7[t_a]) \cdot 1145 + L + (440,95 - 0,3865[t_a]) \cdot (-882,5 + 1,05[S_{Si}] - 2,5[S_{Si}^2])} \quad (3.2)$$

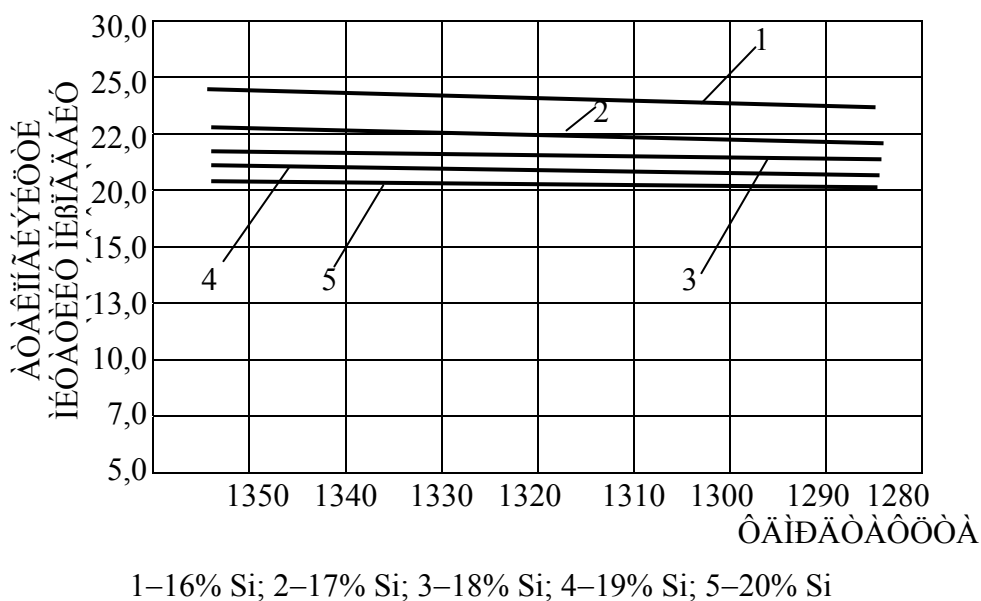
მიღებული საპროგნოზო გამოსახულების შედეგების (დანართი 5) მიხედვით აგებულია  $V_{არაკ.მისართის}$  ( $T, S_i, V_{ჩამ}$ ) ფუნქციის დამოკიდებულების დიაგრამები (ნახ.3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10) [16,28], რომელთა მიხედვითაც დგინდება, რომ 16%  $S_i$ -ის შემცველი ფეროსილიკომანგანუმის 0,05 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით 1350°C-დან 1280°C ტემპერატურულ დიაპაზონში ჩამოსხმისას თხევად ლითონში არაკონდინციური მისართის მიწოდების რაციონალური სიჩქარე იცვლება 9,2-დან 9,0 კგ/წთ-მდე.



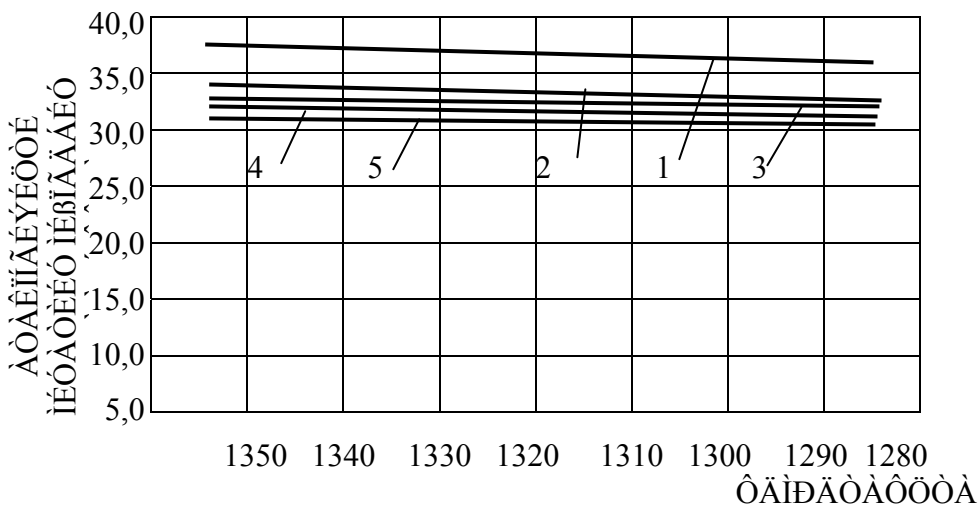
ნახ.3.1 არაკონდინციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევად ლითონის 0,05 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას



ნახ.3.2. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,1 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.

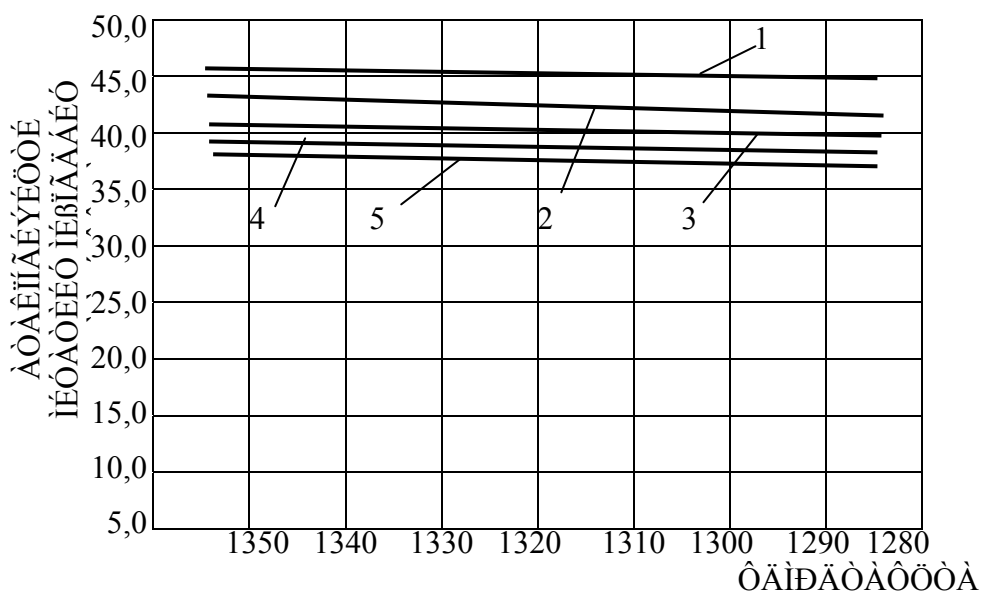


ნახ.3.3. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,15 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.



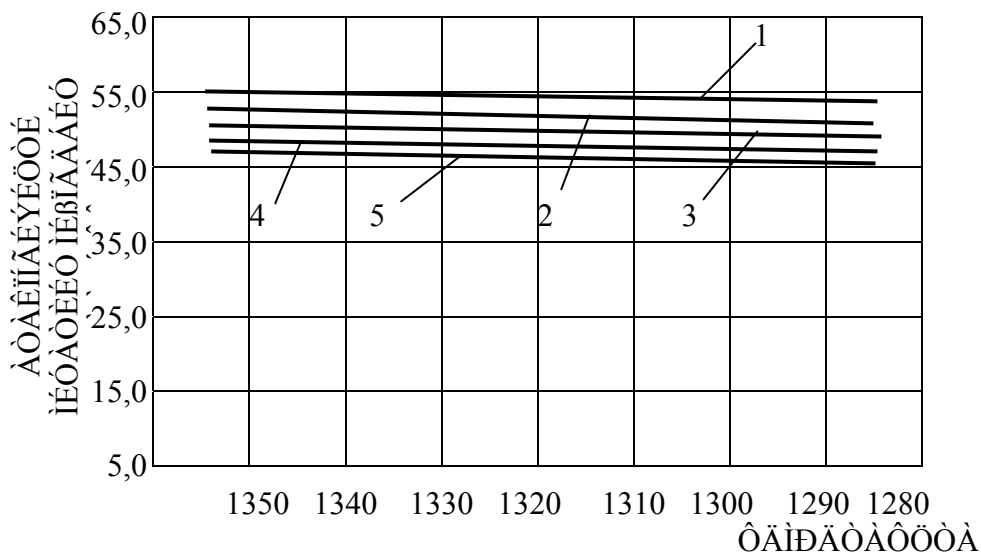
1–16% Si; 2–17% Si; 3–18% Si; 4–19% Si; 5–20% Si

ნახ.3.4. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,20 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.



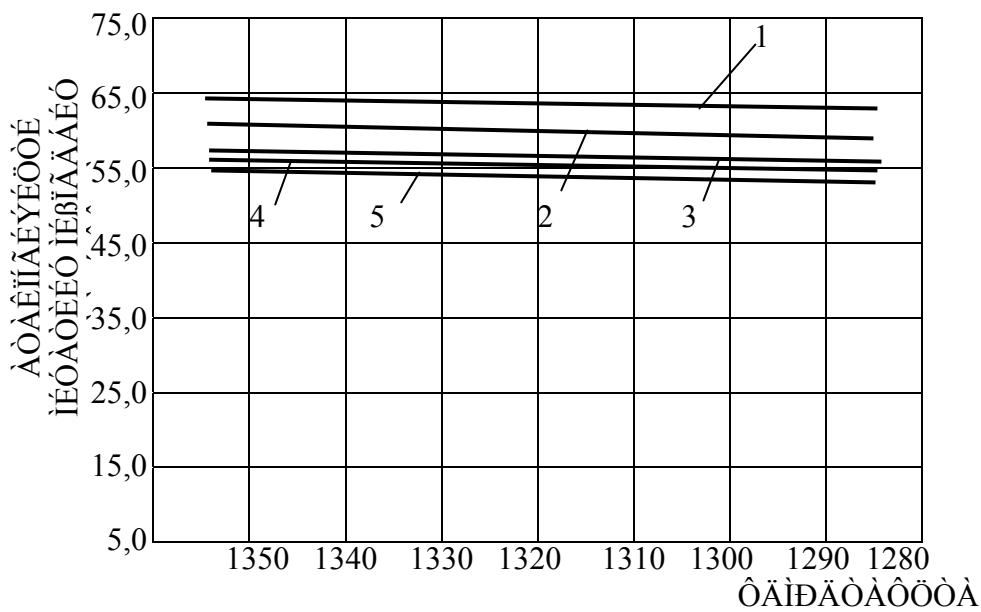
1–16% Si; 2–17% Si; 3–18% Si; 4–19% Si; 5–20% Si

ნახ.3.5. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,25 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.



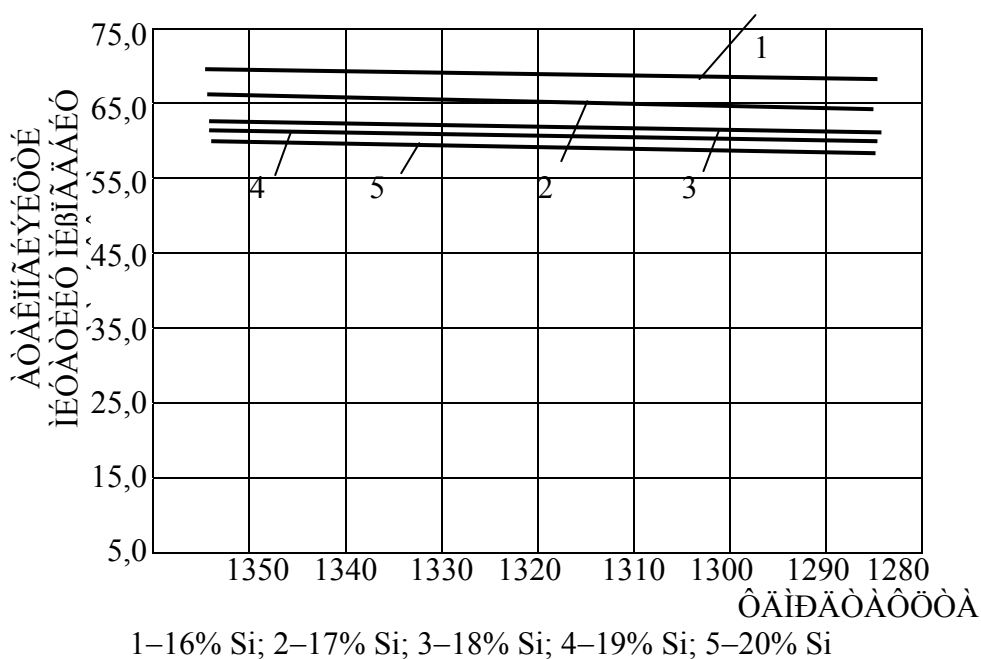
1–16% Si; 2–17% Si; 3–18% Si; 4–19% Si; 5–20% Si

ნახ.3.6. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,30 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.

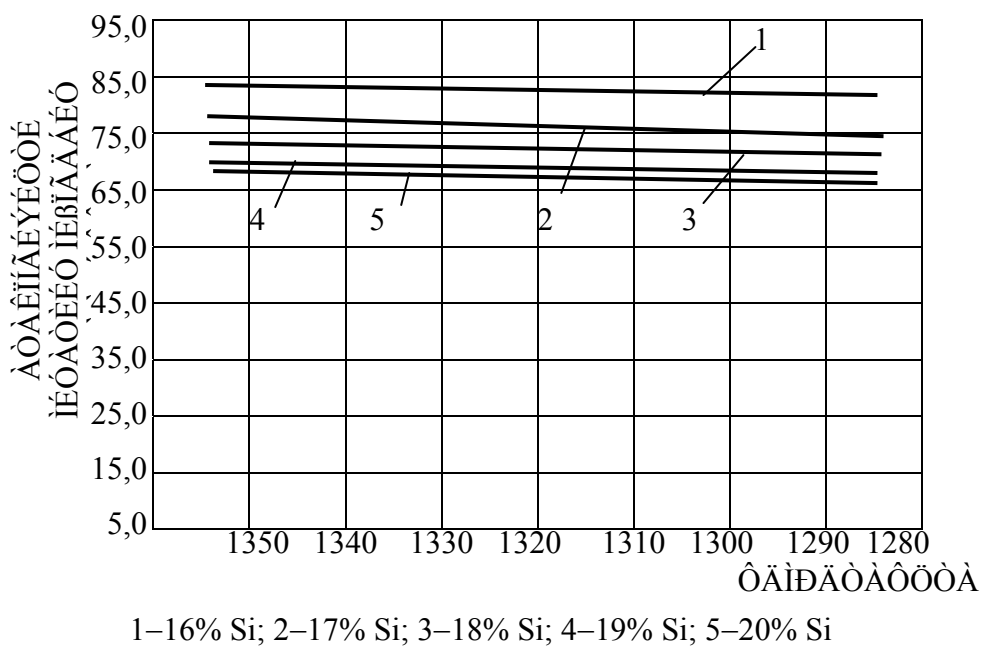


1–16% Si; 2–17% Si; 3–18% Si; 4–19% Si; 5–20% Si

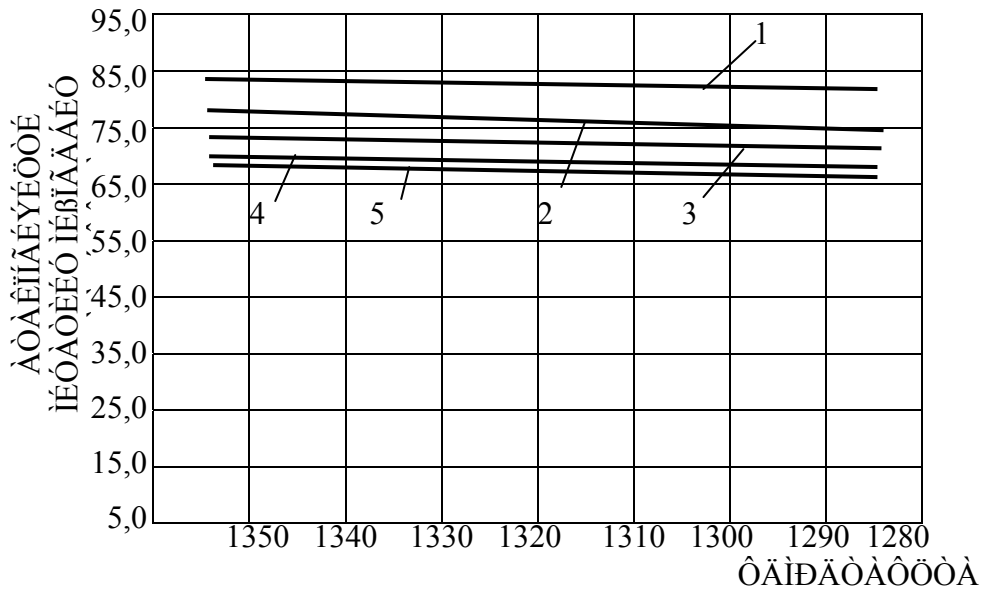
ნახ.3.7. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,35 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.



ნახ.3.8. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,40 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას .



ნახ.3.9. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,45 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.



1–16% Si; 2–17% Si; 3–18% Si; 4–19% Si; 5–20% Si

ნახ. 3.10. არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობის დამოკიდებულება 16÷20% Si-ის შემცველ ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურაზე თხევადი ლითონის 0,50 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას.

17%-იანი ფეროსილიკომანგანუმისათვის იმავე რეჟიმებით ჩამოსხმისას არაკონდიციური მისართის მიწოდება ინტენსივობა იკლებს 8,65-დან 8,40 კგ/წთ-მდე.

18%-იანი Si-ის შემცველი ფეროსილიკომანგანუმისათვის მიწოდების სიჩქარე 8,20 კგ/წთ-დან მცირდება 8,05 კგ/წთ-მდე.

19%-იანი ფეროსილიკომანგანუმისათვის ეს მაჩვენებელი 7,9 კგ/წთ-დან კლებულობს 7,75 კგ/წთ-მდე, ხოლო 20% Si-ის კონცენტრაციისას მცირდება 7,8 კგ/წთ-დან 7,60 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,05მ<sup>3</sup>/წთ ჩამოსხმის სიჩქარისას არაკონდიციური მისართის კონცენტრაციის ცვლილებისას 16÷20%-მდე, 1350÷1280°C ტემპერატურულ დიაპაზონში არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობა მცირდება 9,2 კგ/წთ-დან 7,9 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,1 მ<sup>3</sup>/წთ ჩამოსხმის სიჩქარისას არაკონდიციური მისართის მიწოდების რაციონალური სიჩქარე შენადნობში Si-ის კონცენტრაციის ცვლილებისას 16-დან-20%-მდე, 1350÷1280°C ტემპერატურულ დიაპაზონში ჩამოსხმის პირობებში მცირდება 18,4 კგ/წთ-დან 15,2 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,15 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარის ჩამოსხმისას, ამავე ტექნოლოგიური პარამეტრების შემთხვევაში არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობა იცვლება 27,7 კგ/წთ-დან 22,7 კგ/წთ-მდე დიაპაზონში.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,20 მ<sup>3</sup>/წთ ინტენსივობით იმავე რეჟიმებში ჩამოსხმის რეჟიმებში არაკონდიციური მისართის მიწოდების რაციონალური სიჩქარე 36,8 კგ/წთ-დან კლებულობს 30,3 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმი 0,25 მ<sup>3</sup>/წთ თხევად ლითონში არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობა 41,1 კგ/წთ-დან მცირდება 37,9 კგ/წთ-მდე. თავის მხრივ 0,30 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობა იმავე ტექნოლოგიური რეჟიმებისათვის მერყეობს 55,3 კგ/წთ-დან 45,5 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,35 მ<sup>3</sup>/წთ ჩამოსხმისას ჩამოსხმის ტემპერატურის 1350°C-დან 1280°C-მდე შემცირებით შენადნობში Si-ის კონცენტრაციის 16%-20-მდე გაზრდასთან ერთად, ფხვიერი მისართის მიწოდების რაციონალური მცირდება 64,5 კგ/წთ-დან 52,1 კგ/წთ-მდე.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,40 მ<sup>3</sup>/წთ სიჩქარით ჩამოსხმისას იმავე ტექნოლოგიური რეჟიმებისათვის არაკონდიციური მისართის მიწოდების ინტენსივობა 73,7 კგ/წთ-დან კლებულობს 60,6 კგ/წთ-მდე.

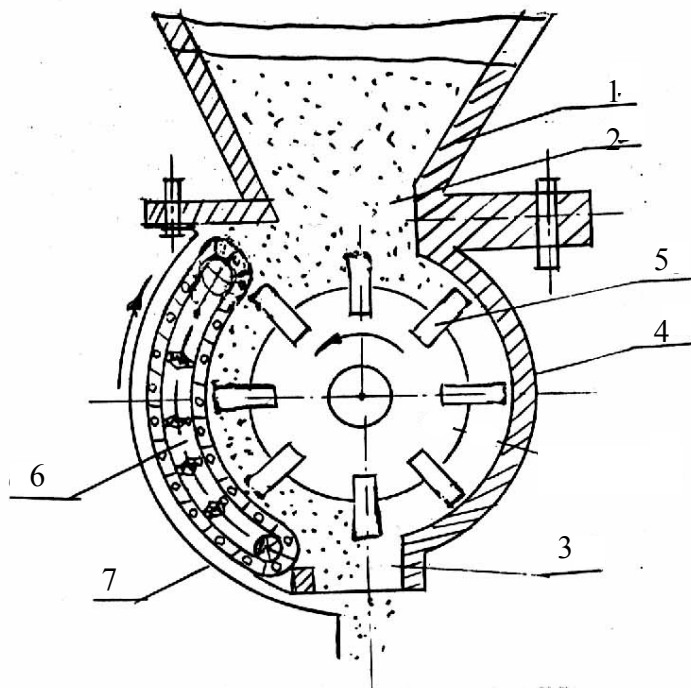
ფეროსილიკომანგანუმის 0,45 მ<sup>3</sup>/წთ ჩამოსხმის სიჩქარის პირობებში თხევად ფეროსილიკომანგანუმში შესაყვანი არაკონდიციური ფხვიერი მისართის მიწოდების ინტენსივობა მერყეობს 83,0 წთ-დან 68,20 კგ/წთ დიაპაზონში.

ფეროსილიკომანგანუმის 0,50 მ<sup>3</sup>/წთ-ში ჩამოსხმისას ზემოთ მოყვანილი ტექნოლოგიური რეჟიმებისა და იგივე ქიმიური შედგენილობის მქონე შენადნობის ჩამოსხმისას მყარი მისართის მიწოდების ინტენსივობა მცირდება 92,2 კგ/წთ-დან 75,8 კგ/წთ-მდე.

### **3.3. მკვებავის ახალი კონსტრუქცია ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდიციური მისართის უწყვეტი დოზირებისათვის**

ზემოთ აღნიშნული კონცეფციის (§3.1) თანახმად ფხვიერი (არაკონდიციური) ფეროსილიკომანგანუმის დოზირებისათვის გამოყენებული ფრთებიანი როტორული მოწყობილობების ფუნქციონირების სტაბილურობის თვალსაზრისით აუცილებელია არსებულის იმგვარი მოდერნიზაცია, რომ აგრეგატმა შეუფერხებლად უზრუნველყოს 1,0÷10,0მმ ფრაქციის მასალის საჭირო რაოდენობის მიწოდება სტაბილური წონითი

ხარჯის უზრუნველსაყოფად. დოზირების ახალის სისტემა ბუნებრივია უნდა აღიჭურვოს მიწოდებული მასის (წონის) საკონტროლო დანადგარებით, რომლის პროტოტიპით მოცემულია ლიტერატურაში [74]. აღნიშნული პირობის გათვალისწინებით შემუშავებულია არაკონდიციური მისართის ფეროსილიკომანგანუმის თხევადი ლითონის ჩამოსხმის ზონასთან უწყვეტი და დოზირებული მიწოდების მოწყობილობის ახალი კონსტრუქცია, რომელის სქემატური ნახაზი მოცემულია ნახ.3.11-ზე დოზატორის ახალ მოწყობილობაზე საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრის «საქპატენტის» მიერ გაცემულია საქართველოს პატენტი: U 1082, 2003.05.21 2004.03.10 №5 (დანართი 6).



ნახ.3.11. ფხვიერი (არაკონდიციური) ფეროსილიკომანგანუმის უწყვეტი დოზირებული მიწოდების მოწყობილობის ახალი კონსტრუქცია

ახალი კონსტრუქციის დოზატორი შეიცავს: ხვიმირას 1, შემავალი 2 და გამომავალი ყელით 3, კორპუსს 4, მასში თარაზულ სიბრტყეში ბრუნვის შესაძლებლობის ფრთებიან როტორით 5, და მის ერთ-ერთ გვერდით ზედაპირზე შვეულად განლაგებულ სეგმენტური თვით ამპრადი მისაბჯენი ტრანსპორტიორით 6, ფრთებიანი დოლის ქვემოთ განლაგებულია პირველადი და მეორადი თარაზული ტრანსპორტიორი, რომელთა ქვემოთ თავის მხრივ დამონტაჟებულია პირველადი და მეორადი (პრეცეზიული) ტენზომეტრული გადამწოდები (ტენზოგარდამქმნელები), რომელთა ძირითადი ფუნქციაა



ტრანსპორტიორის მიერ გადატანილი მასალის ფაქტობრივი წონის განსაზღვრა [69,72,73].

ახალი კონსტრუქციის მკვებავი მუშაობს შემდეგნაირად: ფხვნილოვანი მასალა ხვიმირიდან 1 გრავიტაციული (მიზიდულობის) ძალის ზეგავლენით თვითდინებით ჩაედინება კორპუსში 2, სადაც ხდება ჰორიზონტალური ბრუნვის ღერძის ირგვლივ მბრუნავ როტორზე 5 დამაგრებულ ფრთებს შორის, ორ მეზობელ ფრთას შორის განთავსებული მასალა როტორის 3 ბრუნვითი მოძრაობით გადაიტანება ფირფიტოვან სახსრულ სეგმენტურ-ტრანსპორტიორთან 6 აღნიშნული ტრანსპორტიორის 6 მუშა შტოს ზედაპირსა და ფხვნილოვან მასალას შორის პირველივე კონტაქტისთანავე თავისუფალი ბრუნვის შესაძლებლობის სეგმენტური ტრანსპორტიორი 5 იწყებს მოძრაობას როტორის 3 ბრუნვის თანხვედრი მიმართულებით. მისაბჯენი ტრანსპორტიორის შიგა ზედაპირსა და როტორის ფრთების გარე პერიფერიულ ზედაპირებს შორის მოხვედრილი მსხვილი ნამსხვრევები მათზე როტორიდან გადაცემული მაბრუნე მომენტის ხარჯზე აღძრავს რა აღნიშნული ტრანსპორტიორში მუშა შტოს, გამორიცხავს ფრთებიანი როტორის გაჭექქვის შესაძლებლობას კორპუსში. ასევე მინიმუმამდე დაიყვანება სრიალის ხახუნი და მასთან დაკავშირებული ინტენსიური ცვეთა. ყოველივე ამით არსებითად უმჯობესდება დოზატორის ფუნქციონირების ხარისხი, მნიშვნელოვნად მატულობს მისი საიმედოობა და ხანგამძლეობა. სეგმენტური ტრანსპორტიორის 6 და ბოლოში გამომშვები ყელთან 3 როტორის ფრთებს შორის მოთავსებული ფხვიერი მასალის ჩასვლის შემდეგ. აღნიშნული ფრთების და ტრანსპორტიორის მიერ შექმნილი ჩაკეტილი სივრცის გახსნის გამო არაკონდიციური მისართი თვითდინებით იწყებს ჩადინებას თარაზულ ტრანსპორტიორზე, რომლიდანაც ფხვიერი ფეროსილიკომანგანუმი მიეწოდება ტრანსპორტიორს. თავის მხრივ ტრანსპორტიორიდან არაკონდიციური მისართი ხვდება მიმმართველში, რომელიც ამ უკანასკნელს მიმართავს თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადისაკენ ბუნკერის მეშვეობით.

### 3.4. არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესის კონტროლი და ტექნოლოგიური (აბსოლუტური) უზუსტობის ცდომილობის რეგისტრაცია

არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესის კონტროლი საწარმოო პირობებში აუცილებელია იმდენად, რამდენადაც ადგილი აქვს მისაწოდებელი მასალის არაერთგვაროვნებას (აღნიშნული არაკონდიციური ფეროსილიკომანგანუმის გრანულომეტრიული შედგენილობა მერყეობს  $1 \pm 10$ მმ დიაპაზონში) [16, 66, 75, 76, 77]. ხვიმირაში მოთავსებული ცალკეული ახალი პარტიის ფხვიერი ფეროსილიკომან-განუმის შემადგენელი ძირითადი ფრაქციის ცვალებადობა განაპირობებს ფრთებიანი როტორისა და სეგმენტური მისაბჯენი ტრანსპორტიორის მეშვეობით თანაბარი მოცულობით მოწოდებულ ულუფების წონების არსებით ცვალებადობებს. ეს ფაქტორი არის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მიზეზი იმისა, რომ ჩვენს შემთხვევაში მოცულობითი დოზატორების უშუალო გამოყენება პრაქტიკულად გამორიცხულია. ყოველივე აღნიშნული მოითხოვს დოზირების პროცესის წონის კონტროლს. წინა 3.2 პარაგრაფში იყო აღნიშნული, რომ ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმი-სათვის უპრიანია არა მიწოდებული მასალის უშუალო წონის განსაზღვრა, არამედ არაკონდიციური ფრაქციების წუთური ხარჯის უწყვეტი და ოპერატიული კონტროლი დოზატორის ახალ კონსტრუქციაში ამ მიზნით გათვალისწინებულია ორ თარაზულ ტრანსპორტიორის მიერ წუთის განმავლობაში გადაადგილებადი მასალის წონის ოპერატიული კონტროლის ტენზომეტრული მექანიზმი, რომლის პროტოტიპად აღებულია ლიტერატურაში [84,86,90] წარმოდგენილი ტენზოგადამწოდები. ნახაზზე 3.12 წარმოდგენილია ტენზორეზისტორული გადამწოდების შვეულ სიბრტყეში ტრანსპორტირების მზიდი შტოს ქვემოთ განლაგების ტექნოლოგიური სქემა.

არაკონდიციური მისართის დოზირების სიზუსტეზე [11,40] მოქმედებს მადო-ზირებელი ნივთიერებების მექანიკური დენადობის თვისება, მიმწოდებელი სისტემის ცვალებადობა, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა. ეს ფაქტორები განაპირობებენ შემთხვევითი ცდომილების წარმოქმნას

$$f(m) = \frac{1}{a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(m_i - a)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3)$$

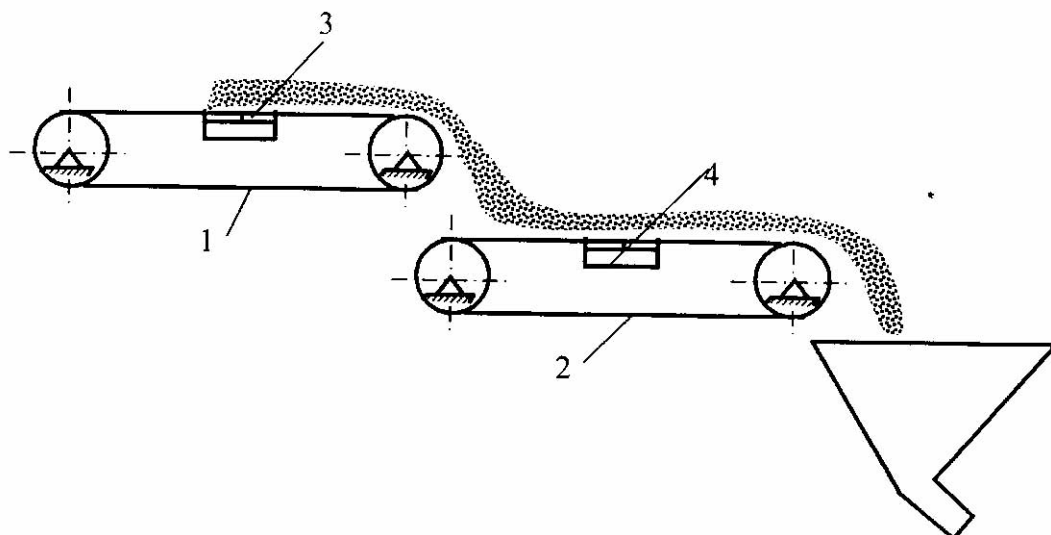
სადაც  $f(m)$ - ალბათობის განაწილების სიმკვრივეა

$m_i$ -კომპონენტის წუთიერი ხარჯი

a- მათემატიკური ლოდინი

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{m^i}{n}$$

m – n შედეგის საშუალო არითმეტიკული



ნახ.3.12. არაკონდინცირებული ფეროსილოკომანგანუმის დოზირების პროცესის წუთური ხარჯის საკონტროლო სისტემის ტექნოლოგიური სქემა:

1. ლენტური კონვეიერი ფირფიტოვანი მავთულიანი ტენზოგადამწოდებით
2. ლენტური კონვეიერი პრეცეზიური ნახევარგამტარული ტენზოგადამწოდებით.

$\sigma$  საკონტროლო სინჯის საშუალო კვადრატული გადახრა

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - m)^2}{n - 1}} \quad (3.4)$$

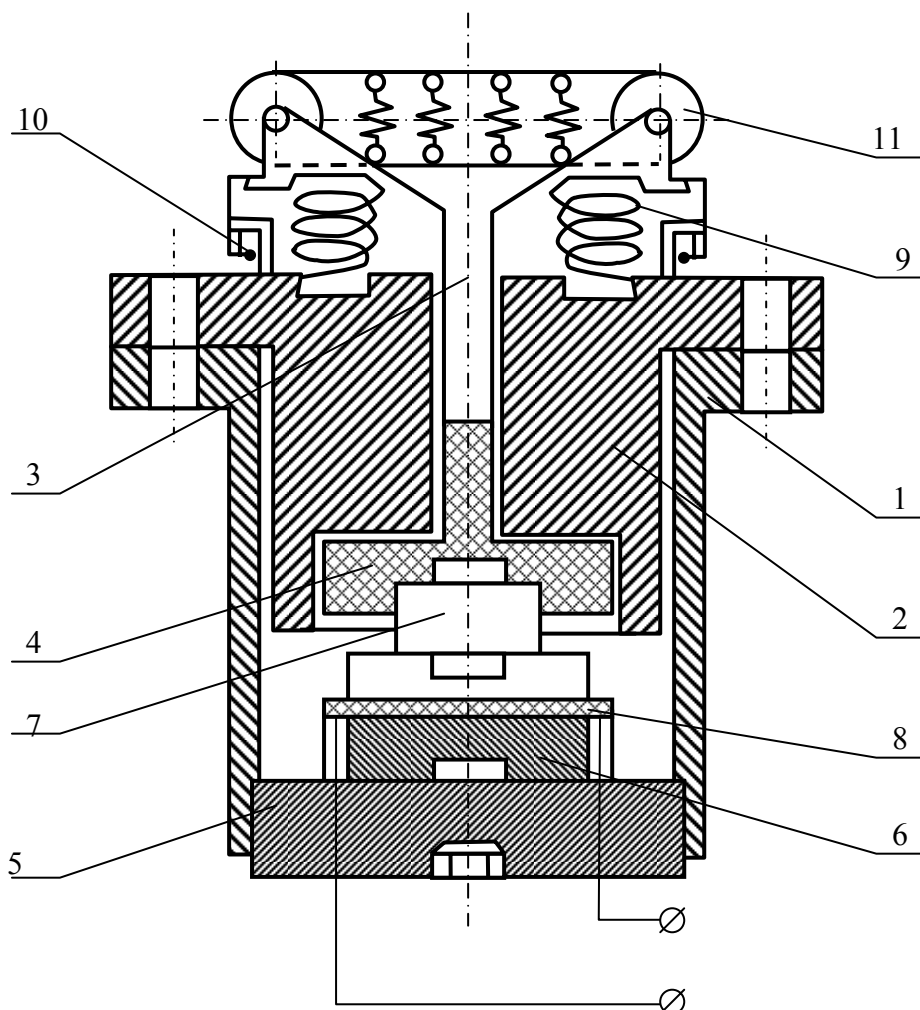
გადახრის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობა ზოგჯერ გამოიყენება შემთხვევითი ცდომილების რაოდენობრივი შეფასებისათვის

$$\Delta = \pm(2 \div 3)\sigma \quad (3.5)$$

დოზირების სიზუსტე (%-ში) გამოითვლება ვარიაციის კოეფიციენტით

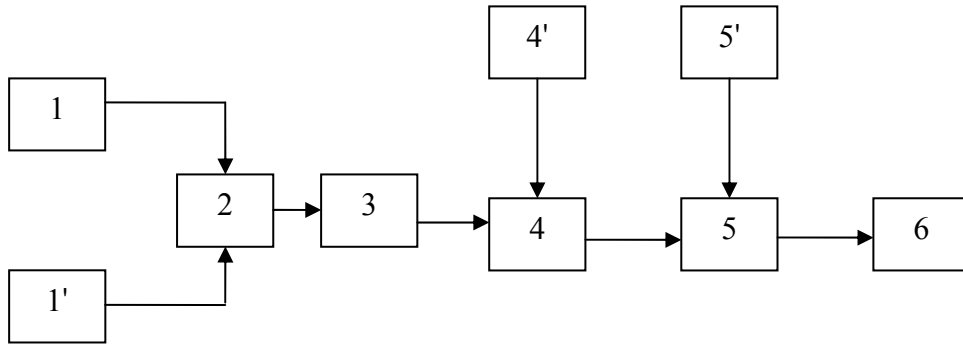
$$K = \frac{Q}{m} 100 \quad (3.6)$$

თავის მხრივ ტენზოგადამწოდებლის სათანადო მდგომარეობაში დამფიქსირებელი ხელსაწყო (რომლის კონსტრუქციაც ასევე ახლად შემუშავებულია) წარმოდგენილია ნახაზზე 3.13.



ნახ. 3.13. ტენზოგადამწოდი. სათანადო მდგომარეობაში დამფიქსირებელი ხელსაწყო.

1-კორპუსი; 2-კორპუსის სახურავი; 3-მექანიკური დატვირთვის მიმმართველი ღერო; 4-ძალის გადამცემი ცილინდრი; 5-ტენზოგადამწოდის სამაგრი ფილის მაფიქსირებელი ტორსი; 6-ტენზომეტრული გადამწოდის სამაგრი ფილა; 7-შუასადები; 8-ტენზომეტრული გადამწოდი; 9-კუმშვაზე მომუშავე ტრანსპორტიორი; 10-მინიტრანსპორტიორის მაფიქსირებელი ღერძი; 11-თვითმძრავი ლენტური მინიტრანსპორტიორი



ნახ 3.14. ფხვიერი ფეროსილიკომანგანუმის დოზირების სიზუსტის წონითი კონტროლის ავტომატური სისტემის სტრუქტურული სქემა:

სადაც: 1 და 1' ტენზომეტრული გარდამქნელებია;

2 –პირველადი სიგნალების გადასამუშავებელი ბლოკი;

3 –გამომავალი სიგნალის გამაძლიერებელი ბლოკი;

4 –წითური ხარჯის განმსაზღვრელი მოწყობილობა;

4' –დროის ათვლის მოწყობილობა (ტაიმერი);

5 –ფაქტობრივი და ნომინალური სიგნალების შესადარებელი ბლოკი;

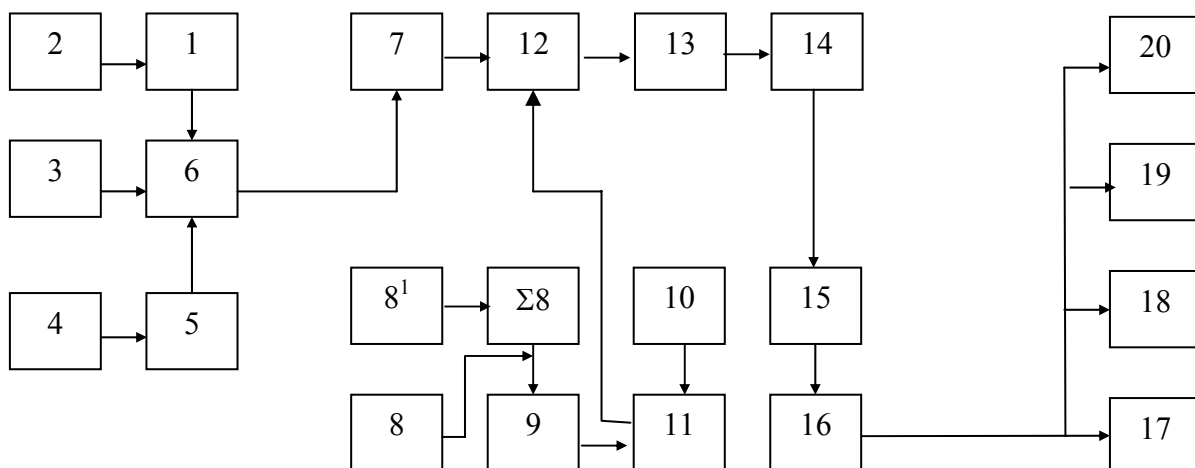
5' –ნომინალური სიგნალის გამომუშავების სისტემა;

6 –ცდომილების განმსაზღვრელი ბლოკი;

ტენზორეზისტორული გარდაქმნელებიდან 1 და 1' გამომუშავებული სიგნალები მიეწოდება გამაშუალებელ ბლოკს 2, რომელიც განსაზღვრავს მოცულობით მკვებავ-დოზატორის (ფრთებიანი როტორის) მიერ გამოტანილი მასალის ზუსტ წონას, ბლოკში 2 ფორმირებული სიგნალი გამაძლიერებელი ბლოკის 3 გავლით მიეწოდება წითური ხარჯის განმსაზღვრელ მოწყობილობას 4, რომელიც თავის მხრივ არაკონდინციური ფეროსილიკომანგანუმის მიწოდების სიჩქარის განსაზღვრისათვის ბლოკიდან 4' იღებს ინფორმაციას დროის ეტალონური (5÷10 წმ-იანი) პერიოდების განმავლობის შესახებ; წითური ხარჯის ფაქტობრივი მონაცემების ტოლფასი სიგნალი მიეწოდება შემადარებელ ბლოკს 5, რომელშიც ბლოკიდან 5' აგრეთვე მიეწოდება ნომინალური ანუ დასაყრდენი სიგნალი, სხვაობას ფაქტობრივი და სასურველი სიდიდის ხარჯს შორის განსაზღვრავს ბლოკი 6, რომელიც ამავე დროს ახდენს დაფიქსირებული ცდომილების ილუსტრირებას ციფრული გამოსახულების სახით და აუცილებლობის შემთხვევაში, საწარმოო მდგომარეობიდან და საჭიროებიდან გამომდინარე დისტანციურად გადასცემს ტექნოლოგიური პროცესის მმართველ პერსონალს საოპერატორო ტაბლოზე.

### 3.5. არაკონდიციური მისართის დოზირების პროცესების მართვა.

წარმოების რეალური პირობებიდან გამომდინარე, სადაც ცვალებადია როგორც ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა, ასევე თხევადი ლითონის ჩამოსხმის ტემპერატურა და სიჩქარე, მისართის დოზირების პროცესის ავტომატური მართვა, სუსპენზიური ჩამოსხმის მაღალეფექტურობის უზრუნველყოფის მთავარი კრიტერიუმია. პროცესის რეგულირების სისტემის კონსტრუირებისას გათვალისწინებული იქნა ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შემადგენლობის, ჩამოსხმის ტემპერატურის და თხევადი ლითონის ხარჯის (ჩამოსხმის სიჩქარის) ოპერატიული კონტროლის აუცილებლობა, რის შედეგადაც დოზირების პროცესის მართვის სისტემის ფუნქციონალური ბლოკ-სქემა ანუ სტრუქტურული მოდელი ჩამოყალიბდა შემდეგნაირად:



ნახ. 3.15. თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ნაკადში არაკონდიციური მისართის ავტომატური მიწოდების პროცესის მართვის სისტემის სტრუქტურული მოდელი.

სადაც: ბლოკი 1 - თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ხარჯის (ჩამოსხმის სიჩქარის) ოპერაციული კონტროლის სექცია;

ბლოკი 2 - ჩამოსხმის სიჩქარის გამზომი მოწყობილობის მართვის სისტემა;

ბლოკი 3 - ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ტემპერატურის ოპერატიული კონტროლის სექცია;

ბლოკი 4 - თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შემადგენლობის ოპერაციული კონტროლის სექცია;

ბლოკი 5 - ნადნობის თბოფიზიკური თვისებების პროგნოზირების სისტემა;

ბლოკი 6 - არაკონდიციური მისართის მიწოდების რაციონალური მნიშვნე-ლობის ხარჯის (წუთიერი) განსაზღვრის (პროგნოზირების) სისტემა;

ბლოკი 7 - ნორმირებული სიგნალის გამომუშავების სისტემა;

ბლოკი 8 - პირველადი ტენზომეტრული გარდამქმნელი;

ბლოკი 8<sup>1</sup> - პრეცეზიული ტენზომეტრული გარდამქმნელი;

ბლოკი 8Σ - არაკონდიციური მისართის ფაქტობრივი წონის განმსაზღვრელი სისტემა;

ბლოკი 9 - გამაძლიერებელი მოწყობილობა;

ბლოკი 10 - დროის ათვლის მოწყობილობა;

ბლოკი 11- არაკონდიციური მისართის მიწოდების სიჩქარის ფაქტიური მნიშვნელობის რეგისტრაციის მოწყობილობა;

ბლოკი 12- საყრდენი სიგნალისა და რეგისტრაციის ბლოკის მიერ დაფიქსირებული სიდიდის შემადარებელი სისტემა;

ბლოკი 13 - ლოგიკური ბლოკი, რომელიც განსაზღვრავს დოზირების პროცესში ჩარევის საჭირო დროს და დოზატორის ტექნოლოგიური პარამეტრების კორექტირების ხასიათს;

ბლოკი 14 - მმართველი ზემოქმედების გამომუშავების სექცია;

ბლოკი 15 - მუდმივი დენის გენერატორის მმართველი სისტემა;

ბლოკი 16 - მუდმივი დენის გენერატორი;

ბლოკი 17, 18, 19, 20 - დოზატორის როტორის კონვეიერული მანქანის და ტრანსპორტიორის ამბრავები;

დამუშავებული სტრუქტურული სქემის ფუნქციონირების პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში:

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის საწყის ეტაპზე ბლოკების 1, 3, 4 და შესაბამისად სათანადო საზომი მოწყობილობების მეშვეობით განისაზღვრება შენადნობის ჩამოსხმის სიჩქარე, ჩამოსხმის ტემპერატურა და წამყვანი ქიმიური ელემენტების - სილიციუმისა და მანგანუმის კონცენტრაცია. ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობის შესაბამისი სიგნალები ბლოკიდან 4 მიეწოდება თხევადი შენადნობის ფაქტობრივი თბოფიზიკური თვისებების საპროგნოზო ბლოკს 5. ბლოკებიდან 1, 2 და 5 გამომავალი სიგნალები ფიქსირდება და მიეწოდება არაკონდიციური ფრაქციების მიწოდების რაციონალური ინტენსივობის პროგნოზირების

სისტემას (ბლოკი 6), რომლიდანაც გამომავალი ინფორმაცია თავის მხრივ მიეწოდება ნორმირებული (საყრდენი) სიგნალის გამომუშავების ბლოკს (7), საიდანაც ფორმირებული სიგნალი გადაეცემა ფაქტობრივი და საყრდენი სიგნალების შემდარებელ სისტემას (ბლოკი 12). ბლოკში 12 ინფორმაცია ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდიციური ფრაქციის მიწოდების ფაქტობრივი ინტენსივობის შესახებ მიეწოდება 8; 8<sup>1</sup>; Σ8; 9; 10 და 11 ბლოკების სექციისაგან, კერძოდ ბლოკიდან 8 და 8<sup>1</sup> გამავალი სიგნალები, რომლებიც მოიცავენ ინფორმაციას ტრანსპორტიორის მუშა ზედაპირზე მოსულ ძალური დატვირთვის შესახებ შეჯამდება ბლოკში Σ8, რომელიც განსაზღვრავს მოცულობითი დოზატორისა და გამომავალი მასალის აქტიურ წონას და აწვდის სიგნალის გამამლიერებელ ბლოკს 9. ამ უკანასკნელიდან გამომავალი სიგნალი რეგისტრირდება ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდიციური ფრაქციის მიწოდების ფაქტობრივი სიჩქარის განმსაზღვრელ ბლოკში 11, სადაც ამავე დროს ბლოკიდან 10 ფიქსირდება იმპულსური დროის სასურველი ინტერვალების ხანგრძლივობის შესახებ. ბლოკში 11 ფორმირებული სიგნალი ფხვიერი მისართის მიწოდების ფაქტობრივი ინტენსიობის (ხარჯის) შესახებ, როგორც ზემოთ აღნიშნა მიეწოდება შედარების ბლოკს 12. ფაქტობრივი და ნორმირებული სიგნალების შედარების შედეგად მიღებული სიგნალი ფიქსირდება ლოგიკურ ბლოკში 13, რომელიც საზღვრავს დოზირების რეჟიმების კორექტირების მიზანშეწონილობას და ხასიათს. ლოგიკური ბლოკიდან 13 გამომავალი სიგნალი მოცულობითი დოზატორის როტორის ბრუნვის სიჩქარის მომატება-მოკლების შესახებ მიეწოდება მმართველი ზემოქმედების გამომუშავების ბლოკში 14. აღნიშნული ბლოკიდან გამომუშავებული სიგნალის შესახებ რეაგირებას ახდენს მუდმივი დენის გენერატორის მართვის სისტემა 15, რის შედეგადაც, თავის მხრივ, იცვლება მუდმივი დენის გენერატორიდან 16 გენერირებული ელექტრული ენერჯის პარამეტრები. შესაბამისად რეგულირდება დოზატორის, მოტორისა და ტრანსპორტიორების 17÷20 ამძრავის ბრუნვათა რიცხვი. მაშასადამე ავტომატურად კორექტირდება არაკონდიციური ფრაქციის ხარჯი ანუ ხვიმირიდან მისი გამოშვების ინტენსივობა. დოზირების პროცესის მართვის დამუშავებული სისტემა უზრუნველყოფს რა არაკონდიციური ფეროსილიკომანგანუმის ფრაქციის ავტომატურ თვითრეგულირებად მიწოდებას, მნიშვნელოვნად აამაღლებს სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ეფექტურობას.



### 3.6. დასკვნები

- 1) გამოვლენილია არაკონდიციური მისართის (მაკროგრანულების) თხევად ლითონში დოზირებული მიწოდების პროცესის სრულყოფის კრიტერიუმები, რომელთა მეშვეობით თეორიულ-ანალიტიკური მიდგომით გადაწყვეტილია საკითხები:
  - თხევად ფეროსილიკომანგანუმში მყარი მისართის “ჩანერგვის” (მიწოდების) რაციონალური ინტენსივობის განსაზღვრის შესახებ.
  - მისართის გრანულების საიმედო და უწყვეტი მიწოდების უზრუნველყოფის შესახებ. შემუშავებულია ახალი კონსტრუქციის მკვებავ-დოზატორი და შესაბამისად დამუშავებულია ალგორითმი (სისტემა ბლოკ-სქემის სახით) პროცესის მიმდინარეობის კონტროლისათვის და აღმოჩენილი ხარვეზების ოპერატიული ავტომატიზირებული აღმოფხვრისათვის.
- 2) გათვლები აჩვენებს, რომ საშუალოდ, სტანდარტული ფეროსილიკომანგანუმისთვის ( $16 \pm 20\%$  Si) არაკონდიციური მისართის მიწოდების რაციონალური ინტენსივობა თხევადი ლითონის ჩამოსხმის სიჩქარისას  $0,05 \text{ მ}^3/\text{წთ} - 0,5 \text{ მ}^3/\text{წთ}$  დიაპაზონში იცვლება  $9,2-92,2 \text{ კგ/წთ-მდე}$  ზღვრებში. აღნიშნული დამოკიდებულებები წარმოდგენილია გრაფიკული სახით, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნას უშუალოდ საწარმოო პირობებისათვის, ნომოგრამების სახით როგორც კონვეიერულ, ასევე სტაციონალურ ბოყვებში ჩამოსხმის პირობებში.
- 3) სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში არაკონდიციური მისართის თხევად ლითონში მიწოდების ოპერაციის ეფექტიანობის მაქსიმიზაციისათვის შექმნილ მართვის სისტემის სტრუქტურულ მოდელში შემავალ პარამეტრებად გათვალისწინებულია ის ტექნოლოგიური რეჟიმები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობასა და საბოლოო პროდუქტის ხარისხზე – ეს პარამეტრებია: თხევადი შენადნობის საწყისი ტემპერატურა, ჩამოსხმის ფაქტიური ინტენსივობა და მისართი გრანულების მიწოდების სიჩქარე.

#### თავი 4. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის კონტროლისა და რეგულირების სისტემის ეფექტურობის და პროდუქციის ხარისხის მართვის თავისებურებანი.

##### 4.1. ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდიციური მისართის სუსპენზიური გრანულების ქიმიური და ფრაქციული შედგენილობის კონტროლის მეთოდის სრულყოფა

XXI საუკუნის დასაწყისში მსოფლიო სამრეწველო ბაზარზე ქიმიურ თვისებებთან ერთად დიდი ყურადღება ექცევა ფეროსილიკომანგანუმის პროდუქციის ე.წ. ფიზიკურ ხარისხს, ეს ტენდენცია უკვე შეიმჩნეოდა XX საუკუნის 90-იანი წლებიდან, როდესაც დაიწყო შენადნობებისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნების გამკაცრება [34, 35].

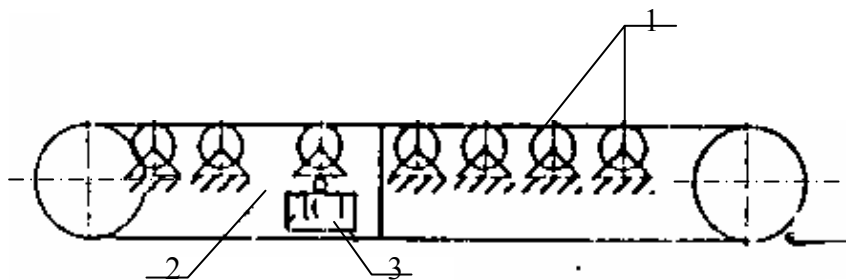
ფეროსილიკომანგანუმის მსხვრევის დროს მიღებული არაკონდიციური მისართის გამოსავალი (სხმულების ფორიანობის შემდეგ) ძირითადად დამოკიდებულია მასში წამყვანი ელემენტების Si-ისა და Mn-ის კონცენტრაციაზე, სხმულის სტრუქტურულ აგებულებაზე - მექანიკურ თვისებებზე, სიმტკიცეზე, სიმკვრივეზე, მსხვრევადობასა და ფქვადობაზე. ეს უკანასკნელნი კი დამოკიდებულნი არიან ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის და კრისტალიზაციის პროცესზე, ზემოთ შესრულებული კვლევებიდან გამომდინარე დადგინდა, რომ არაკონდიციური ფრაქციის გამოსავალი დამოკიდებულია ფეროსილიკომანგანუმის შოთის ხარისხსა და ქიმიურ შემადგენლობაზე, კერძოდ კი სილიკომანგანუმში სილიციუმის კონცენტრატის მომატება იწვევს სიმკვრივის შემცირებას, რაც შესაბამისად ამცირებს სხმულის სიმტკიცეს, რაც თავის მხრივ განაპირობებს მსხვრევადობისა და ფქვადობის გაზრდას.

როგორც აღვნიშნეთ ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის ხარისხი დამოკიდებულია მისივე სტრუქტურულ აგებულებაზე, რომელზეც დიდ გავლენას ახდენს სხმულის კრისტალიზაციის სიჩქარე, რაც აუცილებლად უნდა იქნას გათვალისწინებული ქიმიური და ფრაქციული შედგენილობის კონტროლის მეთოდის სრულყოფისათვის, როგორც აღვნიშნეთ ფეროსილიკომანგანუმის სასაქონლო სახის მიცემის პროცესში ადგილი აქვს შენადნობის წილის არასტანდარტულ ფრაქციებად დაშლას, კერძოდ:

- საჩამოსხმო მანქანის როფიდან სხმულის გამოგდების შემთხვევაში.
- დამხარისხებელ მოწყობილობისათვის მიმწოდებელ ტრანსპორტიორზე გადაადგილებისას.

– მახარისხებელ ცხავებზე მოხვედრისა და ვიბრირების დროს.

აქედან გამომდინარე, კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი ხდება ფეროსილიკომანგანუმის “ნარჩენი” არაკონდიციური მისართის გრანულომეტრიული შედგენილობის კონტროლის აუცილებლობა, რადგან ჩამოსხმის მეთოდის და დახარისხების რეჟიმის სრულყოფით [16, 41, 42, 75, 76], შესაძლო გახდება, როგორც სასაქონლო ფრაქციების გამოსავალის მაჩვენებლის ამადლება, ანუ სასაქონლო პროდუქტის ხარისხის გაუმჯობესება, ზედმეტი შრომითი დანახარჯების გარეშე. ასევე მაქსიმალური სასაქონლო მწარმოებლობის უზრუნველყოფა. ს.ს. “ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში“ დახარისხება წარმოებს K04 მოდელის სამსხვრევ-მახარისხებელ მოწყობილობაზე, მაგრამ ავტორთა [6, 14, 18] მიერ შემუშავებულია ალტერნატიული კონსტრუქციის მახარისხებელი (ნახ.4.2), მახარისხებლის ტრანსპორტიორთა თითოეული მზიდი შტოს ქვემოთ განლაგებულია გორგოლაჭ საყრდენები და წონით სახსრული დრეკადი ელემენტები. პროდუქციის წონის მაკონტროლებელი და მთლიანობაში სილიკომანგანუმის გრანულომეტრიული შედგენილობის განმსაზღვრელი ლენტური მოწყობილობის თანამედროვე ტიპური სქემა მოცემულია ნახ. 4.1.

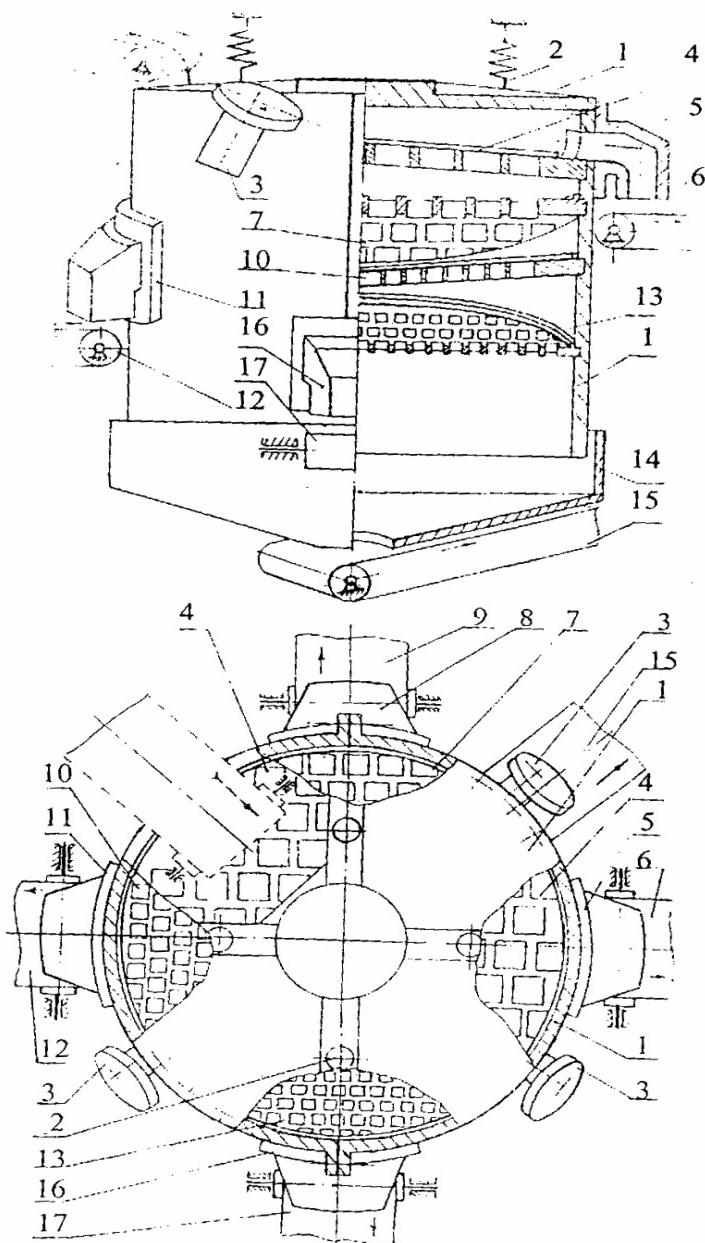


ნახ. 4.1. წონის მაკონტროლებელი მექანიზმი:

- 1-კონვეიერის საყრდენი გორგოლაჭები;
- 2-ამწონი ზონის საყრდენი გორგოლაჭები;
- 3-ტენზოგადამწოდი;

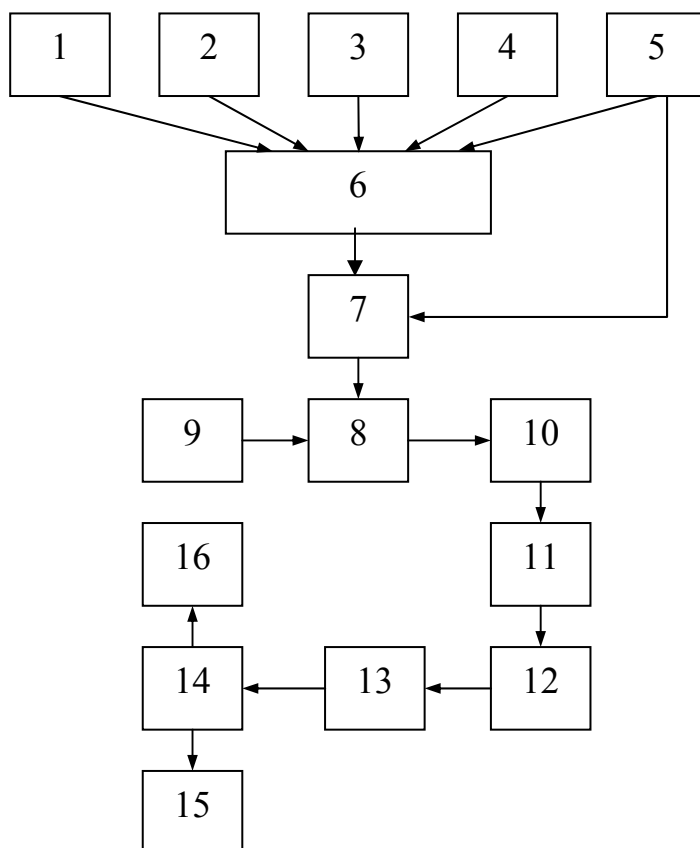
ფეროსილიკომანგანუმის მახარისხებელ და გრანულომეტრიული შედგენილობის მაკონტროლებელი მოწყობილობა დახარისხების პროცესშივე ახდენს თითოეული დაცალკავებული ფრაქციის წონის ერთდროულ და ოპერატიულ კონტროლს. ფეროსილიკომანგანუმის დახარისხებისას არაკონდიციური 0-10 მმ ფრაქციის 5%-ზე მეტი რაოდენობის გამოსვლის შემთხვევაში ხდება მახარისხებელ-გრანულომეტრის სიჩქარის

რეგულირება, ერთის მხრივ და სიგნალის გადაცემა ჩამოსხმის სექტორში ტექნოლოგიური რეჟიმების კონსტრუირებისათვის.



ნახ.4.2. ფეროსილიკომანგანუმის მახარისხებელი მოწყობილობის ახალი კონსტრუქცია:  
 1-ცილინდრული კორპუსი; 2-ამორტიზატორები; 3-დებალანსები  
 4,7,11,13,14-ცხავი, 5,8,10,16-ფანჯარა, 9,6,12,15-ტრანსპორტიორი, 15,17-  
 მიმართველი ტრანსპორტიორი კონტროლს ექვემდებარება 10÷25 და 0-10  
 ფრაქციების გამოსავალი.

ფეროსილიკომანგანუმის შედგენილობის რეგულირების ავტომატური სისტემის სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახ.4.3. [88,90].



ნახ.4.3. ფეროსილიკომანგანუმის ფრაქციული შედგენილობის რეგულირების ავტომატური სისტემის სტრუქტურული სქემა.

სადაც: ბლოკი 1, 2, 3, 4, 5 - დახარისხებული მისართის გადამტანი ტრანსპორტიორების ქვეშ განლაგებული ტენზომეტრული გადამწოდებისაგან გამომუშავებული სიგნალის მარეგისტრირებელი მოწყობილობებია.

ბლოკი 6 - დახარისხებული შენადენის ჯამური წონის განმსაზღვრელი;

ბლოკი 7- არაკონდიციური მისართის ხვედრითი წონის გამოსათვლელი ლოგიკური ბლოკი;

ბლოკი 8 - შემადარებელი მოწყობილობა;

ბლოკი 9 - დამავალელებელი მოწყობილობა;

ბლოკი 10 - მართვის მოქმედების გამომუშავების ბლოკი;

ბლოკი 11 - შემსრულებელი მექანიზმი;

ბლოკი 12 - რეოსტატი;

ბლოკი 13 - მაგნიტური გამაძლიერებელის მმართველი ბლოკი;

ბლოკი 14-მუდმივი დენის გენერატორი;

ბლოკი 15 - მახარისხებელ - გრანულომეტრის მკვებავი სხმულების მიმწოდებელი;

ტრანსპორტიორის ძრავის მარეგულირებელი ბლოკი

ბლოკი 16- დებალანსური ვიბრატორის ძრავათაბრუნვის სიხშირე.

ქიმიური ანალიზის ატომურ-ემისიური [44, 45] ექსპრეს-მეთოდი ძალიან რთული, შრომატევადი და ხანგრძლივი პროცესია. მათ შორის არასტანდარტული პროდუქციის თავიდან აცილების მიზნით ქიმიური ანალიზის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს 15-20 წთ-ს. აქედან გამომდინარე სპექტრული გამოსახულების მიღება და რეგისტრაცია წარმოადგენს ერთ-ერთ პროგრესიულ მეთოდს. ატომურ-ემისიური სპექტრული ანალიზი ავტომატური ფოტომარეგისტრირებით გამოირჩევა ოპერატიულობით, უსაფრთხოებითა და უბრალოებით. ეს მეთოდი ფართოდაა გამოყენებული ფეროშენადნობების წარმოებაში.

ფეროშენადნობების დნობის პროცესში ატომურ-ემისიურ სპექტრულ ანალიზში გამოიყოფა შემდეგი ოპერაციები:

1. ღუმელის გამომშვები არხიდან (ღარიდან) ნიმუშის აღება.
2. ნიმუშის გაწმენდა წიდის ქერქისაგან.
3. გამოსხივების წყაროში ნიმუშის მოთავსება.
4. ოპტიკური გამოსხივების გარდაქმნა სწორხაზოვან სპექტრად.

ფართოდ გავრცელებული სპეციალური CPM-25 რენდგენოსპექტრომეტრული მოწყობილობის მეშვეობით და გასასინჯი ქიმიური ელემენტების სპექტრული ხაზის სიშავის ხარისხის რეგისტრაცია [18, 19, 20] მოითხოვს საკონტროლო სინჯების სპეციალურ დამუშავებას, რომელიც დაკავშირებულია ისეთ პროცესთან, როგორცაა სინჯის დაფქვა, ბორის მჟავით დამუშავება და დისკური ბრიკეტების დამზადება. ეს აგრეთვე ხანგრძლივი და შრომატევადი პროცესია. ვინაიდან სუსპენზიური მეთოდით ჩამოსხმა წარმოების სტოქარტიური პროცესია და აქ წარმოუდგენელია კონტროლის არაოპერატიული და ექსპრეს მეთოდების გარეშე მუშაობა, ჩვენს წინაშე დგება ამოცანა-ქიმიური შედგენილობის კონტროლი ვაწარმოოთ უშუალოდ ტრანსპორტიორზე მოძრავ ფხვიერ მასებზე. ამიტომ ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობის კონტროლისათვის გათვალისწინებულია ჩვენს მიერ მოდერნიზირებული პორტატიული რენდგენო-ფლიორესცენსიული ანალიზატორი «NiTON» XLT-800-ის გამოყენება [68], ნახ.4.4.



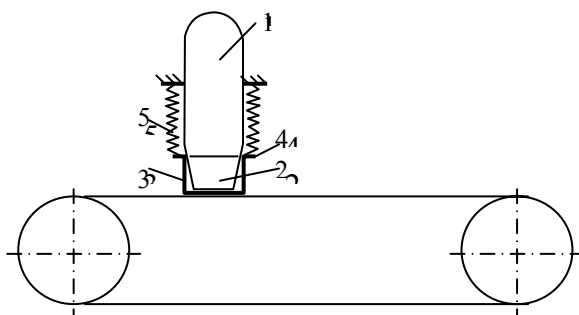
ნახ.4.4. ფლიორესცენსიული ანალიზატორი

ანალიზატორი გათვალისწინებული ლითონების სტაციონალური ულუფების ქიმიური ანალიზის ოპერატიული კონტროლის უზრუნველყოფისათვის.

ანალიზატორის გამოყენება გვაძლევს საშუალებას:

- სწრაფად მივიღოთ მაღალი სიზუსტის ანალიზი მინიმალური ცდომილებით  $\pm 0,1\%$ .
- აპარატის გადართვის გარეშე მივიღოთ მრავალ ელემენტისანი (ერთდროული) ანალიზის პასუხი.

ფეროშენადნობების წარმოების, კერძოდ კი სუსპენზიური ჩამოსხმის რეალურ პირობებში, მოძრავ ნაკადში ამ აპარატის გამოყენებისათვის პორტატიული ანალიზატორი მოთავსებულია მაღალმტკიცე შალითაში, ისე, რომ რენტგენოდეტექტორი მოთავსდეს შალითის ამოღებულ ოთხკუთხა ნახვრეტში, რომელიც დაცულია ბრონირებული მინის კარკასით. მიერთებული დისპლეი პრაქტიკულია შესემლებელიადა პროგრამულ უზრუნველყოფა. აგრეთვე შესაძლებელია მუშაობის პროცესი მთლიანად იყოს ავტომატიზირებული.



ნახ.4.5. ფლიურესცენსიული ანალიზატორის ექსპლუატაციის კინემატიკური სქემა:

- 1-ანალიზატორი; 2-ანალიზატორის თავაკი; 3-ანტიფრაქციული შალითა;  
4-გარსაცმის საყრდენი ჩარჩო; 5-გაჭიმვაზე მომუშავე ზამბარები.

#### 4.2. არაკონდიციური მისართის და თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ურთიერთრეაგირების ტემპერატურული ეფექტის საწარმოო კონტროლი და რეგულირება

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებიდან გამოჩნდა, რომ პროცესის ეფექტიანობის მაქსიმიზაციის და პროდუქციის ხარისხის მართვისათვის აუცილებელია ჩამოსხმის რეჟიმების საწარმოო კონტროლი. მათ შორის გადამწყვეტი მნიშვნელობისაა გამყარების პროცესის დიაგნოსტირება და რეგულირება შენადნობის რაციონალური მაკროსტრუქტურის უზრუნველყოფისათვის.

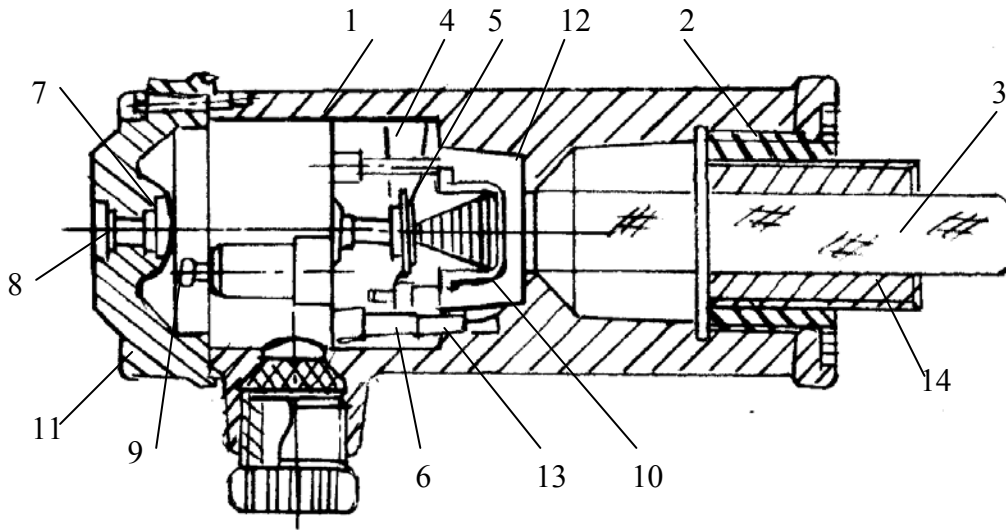
წარმოების რეალურ პირობებში სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმების, კერძოდ კი თხევადი ლითონისა და მყარი წვრილფრაქციული მისართის ურთიერთრეაგირების პროცესის კონტროლის ერთადერთ პრაქტიკულ საშუალებას წარმოადგენს სხმულების ზედაპირების დისტანციური კონტროლი, ხოლო მისი რეგულირების ყველაზე მარტივად რეალიზებადი ხერხია, როგორც ორივე მასალის ასევე საჩამოსხმო მანქანის მულდების საწყისი ტემპერატურის ცვალებადობა. ცხადია ურთიერთრეაგირების პროცესის ინტენსიფიცირებისათვის, მეტი შელღობისათვის უმჯობესია უზრუნველყოფილი იყოს მაღალი ტემპერატურები, მაგრამ ხშირად, მაღალი მწარმოებლობის უზრუნველყოფისათვის უპირატესობა ენიჭება წარმოების რეალურ პირობებისათვის არსებული პარამეტრებით ჩამოსხმას, რაც სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესს ერთი შეხედვით ანიჭებს აბსოლუტურად უმართავ, სტოქასტიურ ხასიათს.

ლიტერატურაში [21,24,26,31,36] დღეისათვის პროცესის მართვის ერთადერთ საშუალებად მიიჩნევა არაკონდიციური მისართის რაოდენობის რეგულირება, მაგრამ ჩვენს შემთხვევაში აქტუალურია არა მარტო თხევადი ლითონიდან არაკონდიციური მისართის მეშვეობით შიგნიდან ართმეული სითბოს სავარაუდო განსაზღვრა, რასაც უზრუნველყოფს დამუშავებული მათემატიკური მოდელი [43], არამედ – სხმულის მიერ გარემოზე გადაცემული სითბოს კონტროლის განხორციელება. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ამისათვის უპრიანია დისტანციური პარამეტრების გამოყენება. სისტემა სხმულების ზედაპირების ტემპერატურის უწყვეტი კონტროლისათვის დამუშავებულია შრომაში [9, 9.1, 10]. პრაქტიკა აჩვენებს, რომ საჩამოსხმო მანქანის გახურებული მულდების კირის წყლის აბაზანაში ამოვლებისას გამოყოფილი წყლის ორთქლი საგრძნობლად აუარესებს ხილვადობის ხარისხს სხმულის ზედაპირსა და პირომეტრებს შორის. ამიტომ რიგ საწარმოებში საპასპორტო მონაცემებით გათვალისწინებულია სპეციალური გამწოვი



აეროდინამიკური აგრეგატები.

ამდენად, ცნობილ ოპტიკურ რადიაციული პირომეტრის TEPA50 კონსტრუქციაში შევიტანეთ ცვლილება. სახელდობრ, პირომეტრის ოპტიკური ლინზების ადგილზე ჩაეხრახნება ღრუტანიანი უჟანგავი ფოლადის მილისა, რომელშიც თავის მხრივ ჩამონტაჟებულია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი მინის ცილინდრული ღერო. ისე, რომ ის მილისის ჩახრახვნის შემდეგ კონტაქტში მოდიოდეს პირომეტრის თერმოელემენტების ნაკრებთან (სურ. 4.6.).



ნახ. 4. 6. მოდერნიზირებული რადიაციული პირომეტრი TEPA-50

ფეროსილიკომანგანუმის სხმულების ზედაპირის ტემპერატურის გაზომვისათვის [98].

1. ტელესკოპის კორპუსი; 2. გარსაცმი; 3. მინის ღერო; 4. თეროელემენტის კორპუსი; 5. თერმოელემენტი; 6. საკონპენსაციო წინაღობა; 7. ოკულარი; 8. დამცავი მინა; 9. საკონტაქტო ხრახნი; 10. დიაფრაგმა; 11. სახურავი; 12. თერმოელემენტების მისაბჯენი ტორსი; 13. სამაგრი ხრახნი; 14. მილისა.

არაკონდიციური მისართისა და თხევადი ფეროსილიკომანგანუმის ურთიერთრეაგირების რაციონალური წარმოებისათვის კრიტერიუმად ჩაითვლება სხმულის თხევადი ფაზის მყარ ფაზაში სრული გადასვლის მომენტის სწორი დაფიქსირება მულდების მინიმალური ტემპერატურის უზრუნველყოფის პირობა გამოსახება ტოლობით (4.1.) [44.1].

საჩამომსხმო მანქანის საექსპლუატაციო პირობებიდან გამომდინარე, შოთის როფზე მინიმალური ზემოქმედების პირობაა:

$$\tau_1 = \tau_2$$

(4.1)

სადაც:  $\tau_1$  – გამყარების ხანგრძლივობაა, წთ.

$\tau_2$  – როფის ჩამოსხმის ზონიდან სხმულის გადმოგდების ზონამდე გავლის დროა, წთ.

გარკვეული გარდაქმნების შედეგად ვღებულობთ

$$H^2/4a^2=L/v_a \quad (4.2)$$

სადაც  $v_a$  – შეესაბამება მულდის გადაადგილების მაქსიმალურ დასაშვებ სიჩქარეს

$$v_a=4La^2/H^2 \quad (4.3)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ კონვეიერის გადაადგილებით  $v_a$  მანძილზე წუთში ივსება  $N$  რაოდენობის როფი.

$$N= v_a/p$$

სადაც  $p$  – კონვეიერის როფის ბიჯია, მ.

ჩამოსხმის მაქსიმალური ინტენსივობა შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულით:

$$v_{\beta}= v_a \cdot V_0/p=4La^2V_0/H^2p \quad (4.4)$$

სადაც  $V_0$  – ერთი როფის ტევადობაა მ<sup>3</sup>.

სეგმენტური ორსექტორიანი როფისათვის:

$$V_0 = \frac{2}{3} H \left( bi + H(b+1)tg\beta + 2Htg\beta^2 + 0,5(bi(bi + 2H(b+1)tg\beta + 4H^2tg^2\beta) \right)^{0,5} - \quad (4.5)$$

$$- 0,5\pi^2 (b + ytg\beta) )$$

$$V_{\beta}^{მ_{აქს}} = \frac{8La^2}{3Hp} \left( bi + H(b+1)tg\beta + 2Htg^2\beta + 0,5(bi(bi + 2H(b+1)tg\beta + 4H^2tg^2\beta) \right)^{0,5} - \quad (4.6)$$

$$- 0,5\pi^2 (b + ytg\beta) )$$

სადაც:  $b$  და  $i$  როფის მუშა ნაწილის სიგრძე და სიგანეა, მ

$\beta$ - როფის გვერდის დახრის კუთხეა, გრად.

$\mu$  - განივი რადიუსია, მ.

განსაზღვრის მაქსიმალური დასაშვები  $V_{\beta}^{მ_{აქს}}$  გვამლევს საშუალებას მივადწიოთ საჩამოსხმელო მანქანის მაქსიმალურ წარმოებულობას, რაც თავის მხრივ ამცირებს ფეროშენადნობის ნარჩენებს (ციცხვში ქერქის წარმოქმნას).

საწარმოო პირობებში საჩამოსხმელო მანქანები აღჭურვილნი არიან საფეხურებრივი ამძრავი სადგურებით. ამ საფეხურებზე როფის გადაადგილების სიჩქარე ტოლია: I - 1,8 მ/წთ, II - 3,5 მ/წთ, III - 5,0 მ/წთ, IV - 10,8 მ/წთ და საფეხურების შედარებით დიდი ეფექტურობა გამოითვლება ფორმულით:

$$V_{\partial}' = \begin{cases} 1,8 \\ 3,5 \\ 5,0 \\ 10,8 \end{cases} \left. \vphantom{V_{\partial}'} \right\} \text{როცა } \tau_1 \leq \tau_2 \quad (4.7)$$

ხოლო წარმადობა

$$Q_{\text{მკს}} = \frac{60Y_2 V_{\partial}' K}{1000} = 0,06Y_2 V_{\partial}' K \quad (4.8)$$

სადაც  $K$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ოპერაციის მომზადებაზე დროის დანაკარგს.  $K=0,3$ ;

$V_{\beta}'$  -როფის გადაადგილების შესაბამისად ჩამოსხმის ინტენსივობა;

$V_{\partial}'$  -როფის გადაადგილების სიჩქარე.

შედეგების შედარებითი ანალიზითა და ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში ფეროსილიკომანგანუმის ჩამოსხმის ( $16\% \leq Si \leq 20\%$ ) პირობებში გამოთვლის შედეგებით დადგინდა, რომ საჩამოსხმო როფებზე ცხელი შოთების თერმოზემოქმედება დროის მინიმალურ პირობებში შესაძლო მაქსიმალური სიჩქარით ჩამოსხმისას საჩამოსხმო მანქანის მაღალი წარმადობა მიიღწევა ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმების ისეთ პირობებში, რომლის მაჩვენებლებიც მოცემულია ცხრილში 4.1.

ცხრილი 4.1

ჩამოსხმის რაციონალური რეჟიმები SiMn-ის ქიმიურ შედგენილობასა და საჩამოსხმო მანქანის სიგრძესთან დამოკიდებულებით

ტექნოლოგიური პარამეტრები	პარამეტრების შემცველობა Si -ის შემდეგი შემცველობით %			
	16	17	18	19
როფის შევსების სიმაღლე, მმ	60/80	60/70	80/70	80/60
როფის გადაადგილების სიჩქარე, მ/წთ	10,8/10,8	10,8/10,8	5,0/10,8	5,0/10,0

შენიშვნა: მრიცხველშია - საჩამოსხმო მანქანისათვის M 125

მნიშვნელი - საჩამოსხმო მანქანისათვის M 210.

### 4.3. ფეროსილიკომანგანუმის ხარისხის მართვა ჩამოსხმის რეჟიმებისა და თხევად ჭავლში მისაწოდებელი არაკონდიციური მისართის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და საწყისი ტემპერატურის რეგულირებით

ცნობილია, რომ სხეულს სითბოშემცველობა დამოკიდებულია მის გვარობაზე და ზომებზე. აქედან გამომდინარე ფეროსილიკომანგანუმის არაკონდიციური ფრაქციის გრანულომეტრიული შედგენილობისა და თხევად ჭავლში მისი მიწოდების ინტენსივობის რეგულირება, როგორც ზემოთ აღინიშნა, აქტუალურია ჩამოსასხმელი ლითონისათვის “ართმეული“ სითბოს კონტროლისა და მართვის თვალსაზრისით. გარდა ამისა, როგორც ზემოთ დავადგინეთ, ჩამოსხმის სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის ხარისხი ასევე დამოკიდებულია თხევად ჭავლში მისაწოდებელი არაკონდიციური ფრაქციის რაოდენობაზე, ვინაიდან ეს ლითონური ჩანართები წარმოშობენ, ან თავად წარმოადგენენ ე.წ. მიკრომაცივრებს რითაც ხელს უწყობენ კრისტალიზაციის პროცესის ინტენსიფიკაციას და თავის მხრივ აყალიბებენ შედარებით მკრივ და თანაბარლერძულ მიკროსტრუქტურას. ამ თვალსაზრისით ზოგჯერ აუცილებელს წარმოადგენს მისართის საწყისი ტემპერატურის რეგულირება.

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმისას მეტად მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს მისაღები პროდუქციის ხარისხის მართვა, რის შედეგადაც შეგვიძლია მივიღოთ ფეროსილიკომანგანუმი სასურველი ხარისხობრივი მაჩვენებლებით.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ სუსპენზიური მეთოდის არსი მდგომარეობს შინაგანი სითბოგადაცემისა და ამავე დროს დამატებითი კრისტალიზაციის ხელოვნური კერების წარმოქმნაში. არაკონდიციური ჩანართების გადნობაზე დახარჯული სითბო თავის მხრივ ხელს უწყობს კრისტალიზაციის პროცესის დაჩქარებას.

ექსპერიმენტული სამუშაოების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ არაკონდიციური მისართი ლღობის ინტენსივობის მიხედვით შეიძლება დავყოთ 3 ჯგუფად.:

1. ადვილდნობადი (არაკონდიციური მისართი ზომით 0-3 მმ)
2. საშუალოდნობადი (არაკონდიციური მისართი ზომით 3-5 მმ)
3. ძნელადდნობადი (არაკონდიციური მისართი ზომით 5-10 მმ)

I ჯგუფის მისართის გამოყენების შემთხვევაში დიდ როლს თამაშობს სითბოგადაცემის პროცესი. არაკონდიციური მისართის ათვისება იწყება როცა იგი მყარი მდგომარეობიდან იწყებს თხევად მდგომარეობაში გადასვლას, ანუ როცა მისი გარსი

დაიწყებს დაშლას და ხსნარში დიფუნდირებას.

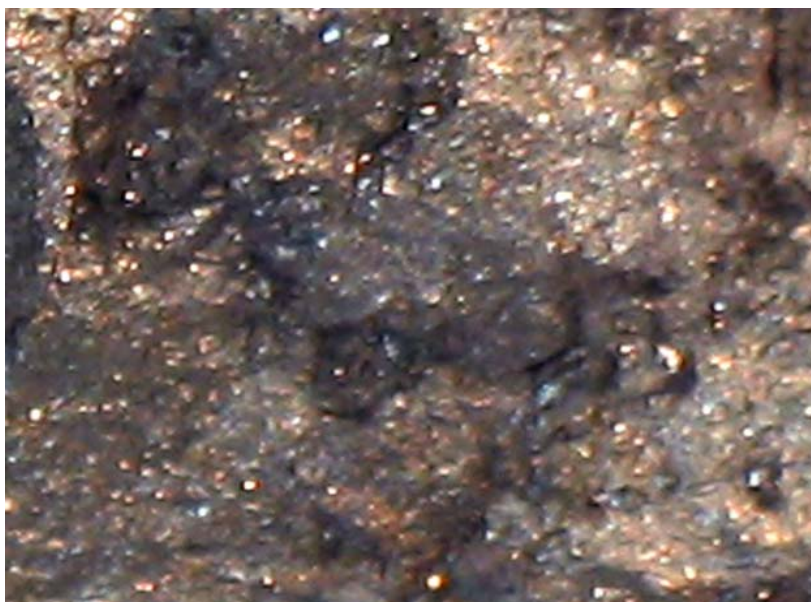
II და III ჯგუფის მისართის დნობისას გარსის შემოღობის პერიოდი თითქმის ერთნაირია, რადგან თბოგადაცემის პროცესი მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე მასათა ცვლა. ამიტომ არაკონდიციური მისართის გადნობის და ათვისების პერიოდი არის უფრო ხანგრძლივი, ვიდრე I ჯგუფის მისართის შემთხვევაში. ჯგუფების მიხედვით არაკონდიციური მისართის გამოყენების ათვისების მაგალითები წარმოდგენილია ექსპერტიმენტული კვლევებით ნახ.4.7, 4.8, 4.9.



ნახ.4.7. არაკონდიციური მისართის (0-3მმ) გამოყენებით სუსპენზიური მეთოდით მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის მაკროსტრუქტურა



ნახ.4.8. არაკონდიციური მისართის (3-5მმ) გამოყენებით სუსპენზიური მეთოდით მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის მაკროსტრუქტურა

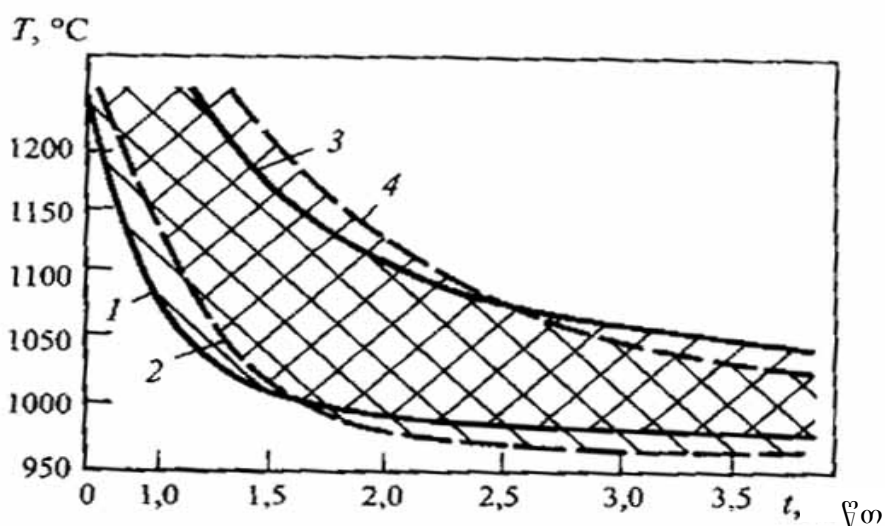


ნახ.4.9. არაკონდიციური მისართის (5-10 მმ) გამოყენებით სუსპენზიური მეთოდით მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის სხმულის მაკროსტრუქტურა.

ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის არაკონდიციური მისართის გრანულომეტრიული შედგენილობის ცვალებადობით სხმულების მაკროაგებულების მართვის პრინციპული შესაძლებლობის დასაბუთებისათვის შესრულებული ექსპერიმენტული გამოკვლევების შედეგებიდან (მაკროსტრუქტურებიდან) (ნახ.4., 4.8, 4.9) თვალნათლივ ჩანს, რომ არაკონდიციური მისართის გრანულომეტრიული შედგენილობა არსებით გავლენას ახდენს ჩამოსხმული ლითონის ხარისხზე.

ამდენად, თხევად ლითონში მისაწოდებლად პირველი ჯგუფის მისართის გამოყენება უპრიანია შედარებით დაბალტემპერატურული  $1280-1300^{\circ}\text{C}$  ფეროსილიკომანგანუმისათვის. მეორე ჯგუფის მისართის გამოყენება შედარებით მაღალტემპერატურული  $1300-1330^{\circ}\text{C}$ -იანი ფეროსილიკომანგანუმისათვის, ხოლო მესამე ჯგუფისა კი  $1330-1350^{\circ}\text{C}$ -იანი ფეროსილიკომანგანუმისათვის.

კვლევებით მიღებული შედეგების პროგრამული [43] დამუშავების შედეგად (იხ. დანართი 6) ფეროსილიკომანგანუმისათვის  $\text{FeMnSi17P30}$  0,3% ფოსფორის შემცველობით და ექსპერიმენტალურ მონაცემთა შედარება მოცემულია ნახ.4.10.

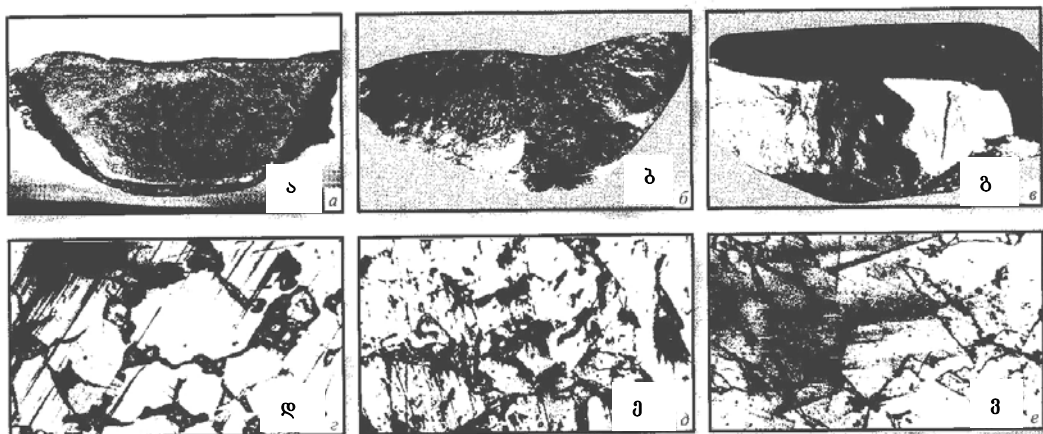


ნახ.4.10. სხვადასხვა ზომის მიკრომისართის გამოყენებით მიღებული FeMnSi17P30-ის ზოდის გამყარების მრუდი (თხევად ლითონში მიწოდებული მისართის რაოდენობა არ იცვლება)

1-2 - მისართი  $R_{\text{მინ}}=1$  მმ; 3-4 - მისართი  $R_{\text{მაქს}}=5$  მმ.

მუქი ხაზი - ექსპერიმენტალური შედეგი; წყვეტილი ხაზი - გამოსავლის შედეგად მიღებული მონაცემები.

ს.ს. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის საწარმოო პირობებში ჩატარებული ექსპერიმენტალური შედეგები მოცემულია ნახ.4.11. და 4.12, ხოლო ფეროსილიკომანგანუმისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკური შედარებითი ანალიზი მოცემულია ცხრილში 4.2.

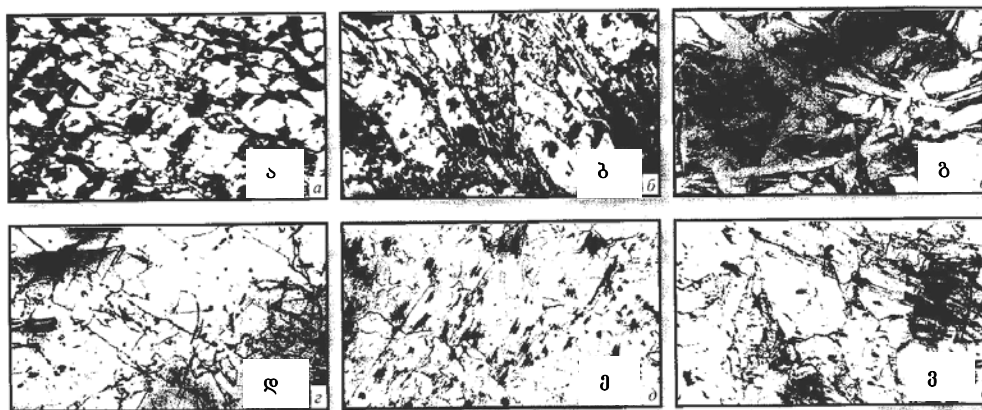


ნახ.4.11. ჩამოსხმის 1300 °C-ზე ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმის FeMnSi17 შოთის მაკრო (ა, ბ  $\times 4$ ) და მიკრო (გ, დ, ე  $\times 200$ ).

ა, გ - გაგრილების სიჩქარე  $v_{\text{გაგრ}}=40-45$  °C

ბ, დ - გაგრილების სიჩქარე  $v_{\text{გაგრ}}=65-70$  °C

ვ, ე - გაგრილების სიჩქარე  $v_{\text{გაგრ}}=90-95$  °C



ნახ.4.12. ჩამოსხმის  $t_{ჩამოს}$  და გაგრილების სიჩქარე  $v_{გაგრი}$  სხვადასხვა ტემპერატურაზე სუსპენზიური მეთოდით მიღებული ფეროსილიკომანგანუმის FeMnSi17 შოთის მიკროსტრუქტურა (x200).

- ა)  $t_{ჩამოს}=1320\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=55-60\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$   
 ბ)  $t_{ჩამოს}=1310\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=75-80\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$   
 გ)  $t_{ჩამოს}=1300\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=80-85\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$   
 დ)  $t_{ჩამოს}=1290\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=100-105\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$   
 ე)  $t_{ჩამოს}=1280\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=110-120\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$   
 ვ)  $t_{ჩამოს}=1270\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრი}=130-140\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$

ცხრილი 4.2.

გაცივების სხვადასხვა სიჩქარით გამყარების შედეგად მიღებული FeMnSi17

შენადვნის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

სგაგრი $^{\circ}\text{C/წთ}$	$\rho$ $\text{ტ/მ}^3$	$\sigma_{კუმშ}$ მპა	D, %(კგ)	f. %	II %(კგ)
40-45	5,95	85	31,5	5,4	4,5
55-60	6,10	90	28,0	4,7	4,3
65-70	6,15	105	24,0	3,8	4,2
75-80	6,18	107	23,5	2,9	4,13
80-85	6,22	109	22,9	2,1	4,08
90-95	6,25	110	22,2	1,9	4,0
100-105	6,29	114	21,0	1,5	3,6
110-120	6,27	111	23,3	2,0	3,9
130-140	6,21	106	23,5	2,5	4,15

შენიშვნა:  $\rho$ - მიახლოებითი სიმკვრივე,  $\sigma_{კუმშ}$ - სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, D - მსხვრევალობა, f - ფქვალობის კოეფიციენტი, II - ცვეთადობა.

მონაცემების ანალიტიკურმა და ექსპერიმენტალურმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ჩამოსხმის პარამეტრების რეგულირება და მისართის მიწოდება (მისართის საწყისი ტემპერატურის გათვალისწინებით) ზოდში ტემპერატურული გრანულების მინიმალური უზრუნველყოფა გვადლევს მაკრო და მიკრო სტრუქტურების მართვის რეალურ შესაძლებლობებს. დიდი სიჩქარით გამყარების შემთხვევაში ზოდში (ნახ.4.12 დ, ე)



წარმოიქმნება ფორიანობა რაც არასასურველია ნადნობის აირნაჯერობის თვალსაზრისით.

მიკროსტრუქტურის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ საუკეთესო სტრუქტურა მიღებულია გამყარების რეჟიმებში:  $t_{ჩამოს} = 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრ} = 80-85\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$ ;  $t_{ჩამოს} = 1270\text{ }^{\circ}\text{C}$   $v_{გაგრ} = 130-140\text{ }^{\circ}\text{C/წთ}$ . ეს ადასტურებს აგრეთვე, რომ საამქროს პირობებში მისართის საწყისი ტემპერატურა 20-30  $^{\circ}\text{C}$  მოქმედებს გამყარების ეფექტზე. ამ დროს გამყარების სიჩქარე შეადგენს 80-100  $^{\circ}\text{C}$ . შედეგად ზოდში სწორხაზოვანი მყიფე- ნემსისმაგვარი დენდრიტული წყობის ნაცვლად მივიღეთ არასწორხაზობრივი უჯრედისებური სტრუქტურა, რომელიც ხასიათდება ჩვეულებრივი სხმულის ნიმუშთან შედარებით მაცალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. კერძოდ, კი სიმკვრივე გაიზარდა 5-6%-ით, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე გაიზარდა 85-114 მპა-ით, შესაბამისად გაიზარდა ფეროსილიკომანგანუმისათვის დამახსიათებელი მახასიათებლები: ფქვადობა შემცირდა 1,3-ჯერ და წლიურმა გამოსავალმა შეადგინა 90 %.

#### 4.4. სხმულების ქიმიური შედგენილობის მართვა თხევად ჭავლში მისაწოდებელი არაკონდიციური მისართის ქიმიური შედგენილობის რეგულირებით.

##### 4.4.1. ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობის კორექტირება

ფეროსილიკომანგანუმის რაციონალური ქიმიური შედგენილობის უზრუნველყოფის საკითხი მჭიდროდაა დაკავშირებული ფოლადისა და თუჯის წარმოების ხარისხთან. ცნობილია, რომ ლითონის ხარისხის ამაღლების პრობლემის გადაწყვეტა ხდება არამარტო მისი მიღების სტადიაში, არამედ მის შემდგომ ტექნოლოგიურ ოპერაციებზეც. აქედან გამომდინარე სასურველი შედგენილობის ფეროშენადნობების განსაზღვრის და უზრუნველყოფის საკითხისადმი კომპლექსური მიდგომა საშუალებას გვაძლევს ყოველ მხრივ განვიხილოთ მისი მახასიათებლები და ურთიერთზემოქმედება დასამუშავებელ ნადნობზე. ელემენტების მიზანდასახული შერჩევა უნდა უზრუნველყოფდეს მის სწრაფ გადნობას და ნარჩენების მოცულობაში ელემენტების გაწონასწორებულ განლაგებას. აგრეთვე უნდა ხდებოდეს ტემპერატურის მინიმალური დაწევა და დასამუშავებელი ლითონის ნაკლებად დაბინძურება. ამასთან

ფეროსილიკომანგანუმის რაციონალური ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრისათვის განიხილავენ შემდგომ თანმიმდევრობას:

- ელემენტების წინასწარი არჩევა მოცემული ლითონისათვის სასურველი თვისებების მინიჭების შესაბამისად.
- ელემენტების შეფარდების ოპტიმალური განსაზღვრა შენადნობის ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლის საფუძველზე.

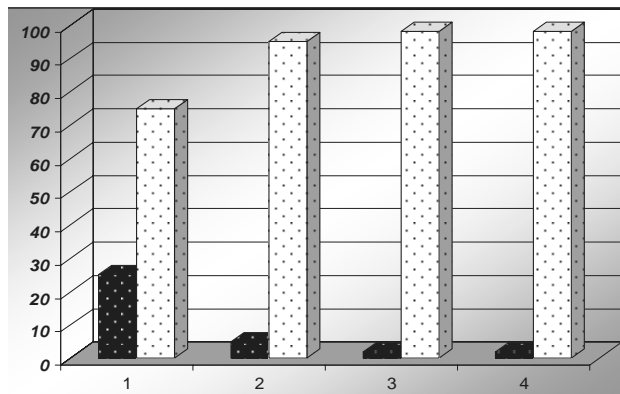
საწარმოო პირობებში, ნებისმიერ მომენტში, შეიძლება დადგეს საკითხი გამოშვებული ფეროსილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობის ოპერატიული კორექტირების ან რეგულირებისათვის, მით უფრო, როდესაც ასეთი შემთხვევები გარდაუვალია ტექნოლოგიური პროცესის ნორმებიდან გადახვევასა და არასტანდარტული ნაღობის მიღების დროს. ქიმიური შედგენილობის მართვა შენადნობის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში შესაძლოა განხორციელდეს არაკონდიციური მისართის იმგვარი შერჩევით, რომ თხევად ლითონში მისი შეყვანის შემდეგ ავტომატურად გაიზარდოს სასურველი კომპონენტის კონცენტრაცია. ასე მაგალითად, თუ SiMn-ში შევიყვანთ FeSi-ის მისართს შენადნობში გაიზრდება Fe-ისა და Si-ის შემცველობები. თუ შევიყვანთ FeMn-ის მისართს, ცხადია მოიმატებს Fe და Mn-იც. ქიმიური შედგენილობის ამგვარი კორექტირებით გასათვალისწინებელია ერთ-ერთი მოთხოვნა, მასზედ რომ, სწორად იქნას შერჩეული მისართის ქიმიური შედგენილობა და პროპორცია.

აღნიშნულ მეთოდოლოგიაში, შესაბამისი პირობების გათვალისწინებითა და პროპორციების დაცვის საშუალებით პრაქტიკულად სუსპენზიური ჩამოსხმის გზით, შემუშავებული კონტროლისა და მართვის პრინციპების გამოყენებით შესაძლებელია ღუმელებისა და მეორადი გადამუშავების გარეშე მიღებული იქნას მრავალი სხვადასხვა სახის კომპლექსური განმჟანგველები, მოდიფიკატორები და ლიგატურები: Mn, Si, Cr, V, Fe, Mo, Ti და Ni -ის ბაზაზე - FeMnSiAl, FeMnSiMg, FeCrAl, FeCrMn, FeMnV, FeMnMo, FeMnTi, FeMnNi.

#### 4.4.2. რკინა-ნახშირბადის შენადნობების ქიმიური შედგენილობის რეგულირება სუსპენზიური ტექნოლოგიის გამოყენებით

სუსპენზიური ტექნოლოგიის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა ქიმიური შედგენილობის ღუმელსაგარე კორექტირების (მათ შორის ლეგირების, მოდიფიცირების და ა.შ.) ეფექტური განხორციელება ტრადიციულთან შედარებით უფრო ამაღლებული ეკონომიურობითა და ეკოლოგიურობით. ფოლადის ან თუჯის სხვადასხვა ელემენტებით ლეგირება წარმოებს ამ ელემენტების ოქსიდის ან კარბიდის გამოყენებით და აღდგენით უშუალოდ თხევადი ნადნობის სითბოს ხარჯზე. მაგალითად, მანგანუმით ფოლადის პირდაპირი ლეგირების ტექნოლოგიაში გათვალისწინებულია მალეგირებელი დანამატების გამოყენება აგლომერატის სახით.

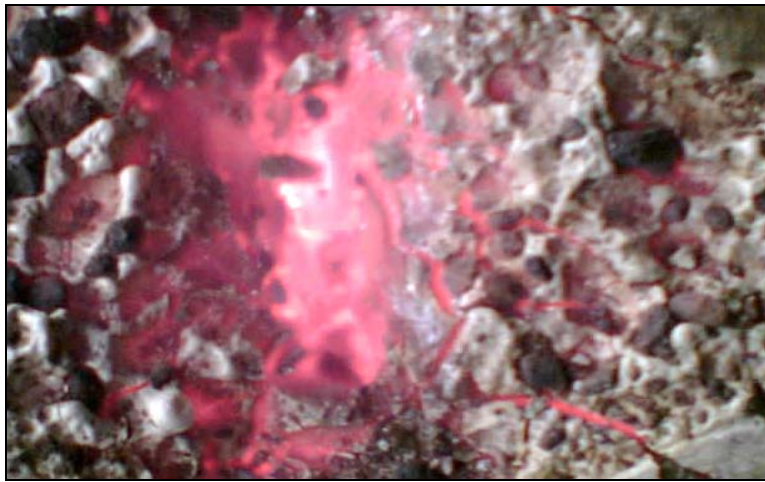
ამრიგად, დამუშავებული მეთოდოლოგიით ფოლადის ან თუჯის პირდაპირი ლეგირების ტექნოლოგიას პრაქტიკულად არ ახლავს ე.წ. უკანდაუბრუნებადი დანაკარგები, ხოლო აგლომერატიდან მანგანუმის ამოღების ხარისხი აღწევს 95%, ფეროშენადნობის წარმოების პროცესში ფოსფორის და მანგანუმის შედარებითი ბალანსი მოცემულია დიაგრამის სახით ნახ.4.13.



ნახ.4.13. მანგანუმის და ფოსფორის ბალანსი ფოლადის პირდაპირი და ფეროშენადნობებით ლეგირების შემთხვევაში

1. მანგანუმის ბალანსი ფეროშენადნობებით ლეგირებისას, მანგანუმის დანაკარგი 25%, ფოლადში გადასული 75%;
2. მანგანუმის ბალანსი პირდაპირი ლეგირების დროს, წიდაში გადასული მანგანუმი (დაკარგული) 5%, ლითონში გადასული – 95%;
- 3,4. ფოსფორის ბალანსი წიდაში 2%, ფოლადში 98%.

ექსპერიმენტული გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ წარმოების პირობებში, სხვადასხვა მარკის შენადნობის გამოდნობისას. პირდაპირი ლეგირების ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზაციის მაღალეფექტურობისა და სტაბილურობის ხელშემშლელ ფაქტორად გვევლინება პროცესის სტოქასტიურობა და დნობის ტექნოლოგიური პარამეტრების არასტაბილურობა. როგორებიცაა: გამოშვებული ნადნობის არსებული ტემპერატურის არსებითი ცვალებადობა, ამონაგის საწყისი ტემპერატურის არასტაბილურობა და ციცხვის ამონაგის თვისებების არაერთგვაროვნება, ციცხვის შევსების სიმაღლის ცვალებადობა და წიდის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები (ნახ.1.14).



ნახ.4.14. კარბონატული მანგანუმის და ალმდგენელის ბრიკეტების აუთვისებელი ნარჩენები რკინა-ნახშირბადის შენადნის წიდაში.

ზოგიერთ კერძო შემთხვევაში მთავარ შემაშფოთებელ ფაქტორად გვევლინება სუსპენზიური ტექნოლოგიით მიწოდებული ბრიკეტების სიმკვრივის არსებითი სიმცირე თხევადი ლითონის სიმკვრივესთან. ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალური ხდება, როცა გვესაჭიროება ისეთი ძნელდნობადი ლითონებით ლეგირება როგორებიცაა ვანადიუმი, ნიობიუმი, ვოლფრამი. ანალოგიური პრობლემა მწვავდება მაშინაც როდესაც შეუძლებელია ციცხვის ავზის მექანიკური მორევა, ამ დროს მასში - თხევად ლითონურ ნაწილში გაუმდნარი მანგანუმის ბრიკეტები ამოცურდებიან წიდის ფენაში, სადაც დაბალი ტემპერატურის გამო მალეგირებელი ელემენტის ალდგენის პროცესის შეწყვეტის გამო თხევადი შენადნის დამუშავების პროცესი არაეფექტურად მიმდინარეობს, ვერ მიიღწევა სასურველი შედეგი. ასეთ

შემთხვევებში კვლავ წარმოიქმნება თხევადი ლითონის ქიმიური კორექტირების აუცილებლობა, რაც ბუნებრივია აუარესებს საწარმოო მაჩვენებლებს.

აქედან გამომდინარე დნობის კომპონენტების სასურველი საწყისი სიჩქარის რეაქციის მიღწევისათვის და თვით პროცესის აღდგენისათვის არაა საკმარისი მხოლოდ მისართი მყარი ფრაქციის გრანულომეტრული შედგენილობისა და თხევადი შენადნის საწყისი ტემპერატურის ემპირიული ცვალებადობა (რეგულირება). დნობა-აღდგენის ფიზ-ქიმიური რეაქციის სასურველი ინტესიურობის უზრუნველყოფა მოითხოვს ისეთი ამოცანის გადაწყვეტას როგორცაა მალეგირებელი დანამატის მოცულობაში სითბო განაწილების სიჩქარის პროგნოზირება და მართვა ნადნობში მისაწოდებელი ბრიკეტების საწყისი ტემპერატურის რეგულირებით.

ანალოგიური მათემატიკური მოდელის გამოყენებით აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა ასევე შესაძლებელია.

#### 4.5. დასკვნები

1. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ეფექტურობის, კონტროლისა და რეგულირებისათვის შემუშავებულია მეთოდები არაკონდიციური ფრაქციის გრანულომეტრიული და ქიმიური შედგენილობის ანალიზის შესახებ, რომელიც უზრუნველყოფს, არაკონდინციური მისართის რაციონალური რაოდენობის (წუთური ხარჯის) დაზუსტებულ ანგარიშს. ერთის მხრივ განაპირობებს სხმულის სასურველი მიკროაგებულების (ხარისხის) მიღებას, ხოლო მეორეს მხრივ ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმების რაციონალური დაბალანსება განაპირობებს სუსპენზიურო ჩამოსხმის პროცესის მაქსიმალურ შესაძლო ეფექტურობით წარმართვას.
2. პროდუქციის ხარისხის მართვის ალტერნატიული მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს სასურველი ქიმიური შედგენილობის უზრუნველყოფას რომელიც შესაძლებელია სილიკომანგანუმთან ერთად გამოყენებული იქნას სხვა სამრეწველო მსხვილტონაჟიან ფეროშენადნობების წარმოებაშიც.

## თავი 5. ფეროსილიკომანგუნუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის დანერგვით მოსალოდნელი ეკონომიკური ეფექტი

როგორც ცნობილია, ტრადიციული მეთოდით ფეროსილიკომანგუნუმის ჩამოსხმისას მიიღება არაკონდიციური ფრაქციები, რომელიც შეადგენს გამოშვებული პროდუქციის 18-19%-ს, აქედან 3-4% -თხევადი ლითონის ჩამოსხმის პროცესში გაშხეფვის შედეგია, ხოლო 14-15% სხმულის დაქუცმაცებისას მიღებული ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ვარიანტი გულისხმობს არსებული ნარჩენების უკუ ჩართვას ტექნოლოგიურ პროცესში, ზედმეტი დანახარჯების გარეშე ანუ თითქმის პრაქტიკულად მიიღწევა უნარჩენო ტექნოლოგია.

წლიური ეკონომიკური ეფექტი გამოითვლება ფორმულით:

$$\Xi = [(C_1 + E_H \cdot K_1) - (C_2 + E_H \cdot K_2)] \cdot A$$

სადაც  $C_1$  და  $C_2$  მიმდინარე კაპიტალდანახარჯებია საბაზო და შემოთავაზებული ტექნოლოგიების მიხედვით.

$K_1$  და  $K_2$  - შესაბამისი კაპიტალდაბანდებები,

$E_H=0,15$  - ეფექტიანობის ნორმატიული კოეფიციენტი

$A$  - პროდუქციის გამოშვების წლიური პროგრამა

ეკონომიკური ეფექტის საანაგრიშო ფორმულა შეიძლება ასეც გადავაკეთოთ:

$$\Xi = (C_1 + E_H \cdot K_1 - C_2 + E_H \cdot K_2) \cdot A = [(C_1 - C_2) - E_H \cdot (K_2 - K_1)] \cdot A = [\Delta C - E_H \cdot \Delta K] \cdot A$$

სადაც  $\Delta K$  - დამატებითი კაპიტალდაბანდება

$\Delta C$  - მიმდინარე დანახარჯების ეკონომია

ჩვენს შემთხვევაში:

$$\Delta K = 1973 \text{ ლარი (იხ. ცხრილი 5.3).}$$

$$C_1 = 1648 + 6900 = 8548 \text{ ლარი (ცხრილი 5.2, 5.1)}$$

$$C_2 = 1648 + 1200 = 2848 \text{ ლარი (ცხრილი 5.2)}$$

$$\Delta C = 5700 \text{ ლარი}$$

$A = 66,5$  ტონა (ერთი ლუმელის სადღეღამისო წარმოება) რადგან ქარხანაში ყოველდღიურად მუშაობს 6 ლუმელი, მაშინ  $A = 66,5 \cdot 6 \cdot 365 = 145\,635$  ტონა.

საბოლოოდ წლიური ეკონომიკური ეფექტი ტოლია

$$\Xi = [5700 - 0,15 \cdot 1973] \cdot 145\,635 = 787020,3 \text{ ლარი}$$

ფეროსილიკომანგანუმის უსპენზიური ჩამოსხმის ტექნოლოგიის დანერგვის შემთხვევაში  
საჭირო მოწყობილობის დასამზადებელი მასალები

№	გაფასების საფუძველი	სამუშაოს დასახელება	ზომის ერთ.	რაოდენობა	ერთფასი (ლარი)	ჯამი საერთო ღირებულება (ლარი)	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6	7	8
1	9-132 ნაწ.2. პ. 2101 პ.2116	დოზატორის ხვიმირის გამზადება და მონტაჟი საყრდენის მოწყობით	ცალი	1,0	207-21	207,0	
2	საბაზრო	მასალის ღირებულება ფურცლოვანი ფოლადი δ=6 მმ- 370 კგ ორტესეჟბრი კოჭი 20 -420 კგ	ტ	0,790	1500-00	1185,0	
3	4-187-1 ნაწ.2 პ.2114	ფრთებიანი როტორის გამზადება და მონტაჟი 400 მმ	ცალი	1,0	55-44	55,0	
4	საბაზრო	მასალის ღირებულება	ტ	0,045	1500-00	68,0	
5	8-483-1	მუდმივი დენის ამპრავი დენის ქსელში მიერთებით	ცალი	2,0	54-36	109-00	
6	საბაზრო	მუდმივი დენის ამპრავის ღირებულება	ცალი	2,0	50,0	100,00	
7	6-571	პირველადი ლენტური დოზატორი L=1,5 მ ტენზოგადამწოდი და მარეგულირებელი მოწყობილობით	ცალი	1,0	81-59	82,0	

1	2	3	4	5	6	7	8
8		მოწყობილობის ღირებულება	ცალი	10	30,0	30,00	
9	6-571	მეორადი ლენტური პრეცეზიული დოზატორი მარეგისტრირებ ლი სისტემით	ცალი	1,0	81-59	82,0	
10		მოწყობილობის ღირებულება	ცალი	1,0	30,00	30,0	
11	9-208 ნაზწ.2 პ. 2114	წვრილფრაქციულ ი მასის მიმწოდებელი არხი ჩამკეტი შიბერთ. გამზადება და მონტაჟი	ც	1,0	10-00	10,00	
12	საბაზრო	იგივეს მასალის ღირებულება	ტ	0,010	1500-00	15,00	
		სულ დამატებითი კაპიტალდაბან- დება				1973,0	



ფეროშენადნობების კონვეიერულ ჩამოსხმით მიღებული სხმულების დაქუცმაცებისა და ფრაქციონირების ხარჯები

დანახარჯების სახეები	განხზომილება, ერთეული	წლიური დანახარჯი	ერთეულის ფასი (ლარი)	დანახარჯების საერთო რაოდენობა წლიური წარმადობა მოცულობაზე (ლარი)
ელექტროენერგია	კვტ.სთ	2500000	0,03	75 000
შრომის ანაზღაურება	ლარი			2 744
დანარიცხი შრომის ანაზღაურებაზე				548,8
სარემონტო ფონდი				97 500
სხვადასხვა ხარჯები (შრომის დაცვა)				1 300
სულ				109 592,8
დანახარჯები 1 ტ-ზე				1648,0

შენიშვნა: ფეროსილიკომაგანუმის დამსხვრევისათვის გამოიყენება თურქული წარმოების მსხვრევანა K-03 წარმადობით 35-40 ტ/სთ.

## ცხრილი 5.3

სხმულების მსხვერველში გადამუშავებისას გამოხული არაკონდიციური ფრაქციების (0-12 მმ) და საჩამომსხმელი მანქანაზე ჩამოსხმის პროცესში წარმოქმნილი მხეფების გამყარების შედეგად მიღებული ლითონური ნარჩენების ხელახალი გადამდნობის ხარჯები

№	დანახარჯთა სახეები	გაზომვის ერთეული	წლიური დანახარჯი რაოდენობა	ფასი (ლარი)	დანახარჯები წლიური თანხა (ლარი)	შენიშვნა
1	გადასადნობი რაოდენობა	ტ	6936			დამსხვერველის მიღება არაკონდიციური ფრაქციები, რომელიც გადაამუშავების მასის 15%-ს შეადგენს
2	გადადნობაზე დახარჯული ელექტროენერგია (ტექნოლოგიური კვტ/სთ) 700	ათასი კვტ/სთ	4855,2	30,0	145656	
3	შრომის ანაზღაურება	ლარი			24276	
4	დანარიცხები შრომის ანაზღაურებაზე	ლარი			4855,2	შრომის ანაზღაურება 20%
5	ძრავი ელექტროენერგია	ათასი კვტ/სთ	3898,0	30,0	116940	
6	წყალი	1083	740	3,70	2771	
7	სარემონტო ფონდი	ლარი			104040	
8	შიდა საქონლი სატრანსპორტო ხარჯები	ლარი			38148	
9	სხვადასხვა ხარჯები	ლარი			22195	
10	სულ დანახარჯები	ლარი			458881,2	
11	დანახარჯი 1ტ დამსხვერველზე და ფრაქციონირებაზე	ლარი			6900	

## საერთო დასკვნები და რეკომენდაციები

1. ფეროსილიკომანგანუმის კონვეიერული ჩამოსხმის არსებული და სუსპენსიური მეთოდების შედარებით ანალიზით დადგინდა, რომ სუსპენსიური ჩამოსხმა, ჩამოსხმის თანამედროვე მეთოდებს შორის, ერთ-ერთი ყველაზე პროგრესული მეთოდია, რომელიც განაპირობებს წარმოების უნარჩენო ტექნოლოგიაზე გადასვლის შესაძლებლობას პროდუქციის ხარისხის შენარჩუნების და გაუმჯობესების პირობების უზრუნველყოფით.
2. ფხვიერი მასალის დოზირების თანამედროვე მეთოდებისა და მოწყობილობების სისტემური ანალიზით შედეგად დადგინდა, რომ ფეროსილიკომანგანუმის წარმოების შემთხვევაში წვრილფრაქციული ლითონური ნარჩენების (არაკონდიციური მარკოგრანულების) შენადნობის ჩამოსხმისას თხევად ნაკადში დოზირებული და უწყვეტი მიწოდებისათვის ლენტური და ფრთებიანი დოზატორების ბაზაზე შექმნილია ახალი კომბინირებული მოწყობილობა, რომელშიც ამავე დროს აღმოფხვრილია თითოეული მოწყობილობისათვის მუშაობის რეჟიმების სტაბილურობასთან და ფუნქციონირების საიმედოობასთან დაკავშირებული ნაკლოვანებები.
3. შემუშავებულია სუსპენზიური წამოსხმის პროცესში სხმულის გამყარების პროცესში მათემატიკური მოდელი, რომელიც უზრუნველყოფს თხევად ლითონში შეყვანილი არაკონდიციური მისართის მიერ მოხდენილი თბური ეფექტის განსაზღვრას. აღნიშნული მოდელის პროგრამული დამუშავებით მიღებულია სამგანზომილებიანი სივრცითი დიაგრამები დამოკიდებული მაკრონაწილაკების საშუალო რადიუსსა ჩამოსხმის ტემპერატურისა და ჩამოსხმიდან გასულ დროს შორის.
4. ექსპერიმენტულმა კვლევებმა გვაჩვენა, რომ ჩამოსხმის პროცესის ეფექტურობის ამაღლება შესაძლებელია ტექნოლოგიური რეჟიმების რეგულირებით, კერძოდ მაქსიმალური მწარმოებლობა მიიღწევა  $0,5 \text{ მ}^3/\text{წთ}$  ჩამოსხმის სიჩქარისას რომლის დროსაც (17%-იან Si). გრანულების მიწოდების ინტენსივობა  $92,2 \text{ კგ}/\text{წთ}$ . კონვეიერული საჩამოსხმო მანქანების ტექნიკური მახასიათებლებიდან გამომდინარე ამ შემთხვევაში სუსპენზიური ჩამოსხმის რაციონალური რეჟიმებია  $T=1320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{როგ}}=200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $v_{\text{გრან}}=45 \text{ კგ}/\text{წთ}$ ,  $v_{\text{ჩამ}}=0,25 \text{ მ}^3/\text{წთ}$ ,  $\delta_{\text{კირის შრე}}=1,5 \text{ მმ}$ .
5. ხარისხობრივი მაჩვენებლების შედარებით ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რაციონალური

ტექნოლოგიური რეჟიმებით ჩამოსხმული ფეროსილიკომანგანუმი ხასიათდება 10% - ით ნაკლები მსხვრევადობით, 9,5 % ნაკლები ფქვადობით.

6. გამოვლენილია არაკონდიციური მისართის (მაკროგრანულების) თხევად ლითონში დოზირებული მიწოდების პროცესის სრულყოფის კრიტერიუმები, რომელთა კონცეფციალური თავისებურებებიდან გამომდინარე გადაწყვეტილია საკითხები:
  - თხევად ფეროსილიკომანგანუმში მყარი მისართის „ჩანერგვის“ რაციონალური ინტენსივობის განსაზღვრა.
  - მყარი მისართის საიმედო და უწყვეტი მიწოდების უზრუნველყოფის შესახებ, რადგანაც შემუშავებული ახალი კონსტრუქციის მკვებავ დოზატორის და შესაბამისი ალგორითმი (სისტემა ბლოკ სქემების სახით) პროცესის მიმდინარეობის კონტროლისათვის და აღმოჩენილი ხარვეზების ოპერატიული ავტომატიზირებული აღმოფხვრა.
7. სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში არაკონდიციური მისართის თხევად ლითონში მიწოდების ოპერაციის ეფექტიანობის მაქსიმიზაციისათვის შექმნილ მართვის სისტემის სტრუქტურულ მოდელში შემავალ პარამეტრებად გათვალისწინებულია ის ტექნოლოგიური რეჟიმები რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობასა და საბოლოო პროდუქტის ხარისხზე. ეს პარამეტრებია თხევადი შენადვნის საწყისი ტემპერატურა, ქიმიური შედგენილობა, მისართის რაოდენობა და ჩამოსხმის ფაქტიური ინტენსივობა.
8. ტექნოლოგიური პროცესის ავტომატიზირებული მართვის სისტემის გამართული ფუნქციონირებისათვის მოდერნიზებულია როგორც ქიმიური და გრანულომეტრული შედგენილობების მაკონტროლირებელი, ასევე ტემპერატურის დისტანციური კონტროლის მოწყობილობები.
9. ფეროსილიკომანგანუმის სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესის ეფექტურობის კონტროლისა და რეგულირებისათვის შემუშავებულია მეთოდები არაკონდიციური მისართის გრანულომეტრიული და ქიმიური შედგენილობის ანალიზის მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს, რა არაკონდიციური მისართის რაციონალური რაოდენობის (წუთური ხარჯის) დაზუსტებულ ანგარიშს. ერთის მხრივ განაპირობებს სხმულის სასურველი მიკროაგებულების (ხარისხის) მიღებას, ხოლო მეორეს მხრივ ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმების რაციონალური დაბალანსება განაპირობებს სუსპენზიურო ჩამოსხმის პროცესის მაქსიმალურ შესაძლო ეფექტურობით

წარმართვას.

10. პროდუქციის ხარისხის მართვის ალტერნატიული მიდგომა, რომელიც ითვალისწინებს სასურველ ქიმიურ შედგენილობის პროდუქციის მიღებას. რომელიც შესაძლებელია სილიკომანგანუმთან ერთად გამოყენებული იქნას სხვა სამრეწველო მსხვილტონაჟიან ფეროშენადნობების ჩარმოებაშიც.
11. სუსპენზიური ჩამოსხმის პროცესში შემუშავებული ნაღობის გამყარების მოდელის მეთოდოლოგია უნივერსალურია ჩამოსხმის ტექნოლოგიური პარამეტრების გამოთვლის, ტექნოლოგიური პროცესის ოპერატიული მართვის, ოპტიმალური დაგეგმარების და პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, როგორც ფოლადის თუჯის და ფეროშენადნობთა ნგახევდარუწყვეტი, უწყვეტი და კონცეიერული ჩამოსხმა.

## ლიტერატურა

1. გოგლიძე ვ; გოგლიძე ბ; ბურდული დ; და სხვა. -ქვიშის გამანაწილებელი აგრეგატი. -სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი N11(135).- თბილისი: 2003.
2. კოსტავა ა., ჯანდიერი გ. ახალი კონსტრუქციის სამსხმელო მოწყობილობა. ფეროშენადნობებისათვის. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული. №9. – ქუთაისი: საქართველო, 2001. – გვ. 88-93.
3. კოსტავა ა., ჯანდიერი გ. ხარისხის მართვა და კონტროლი ფეროსილიკომანგანუმის წარმოებისას. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული. №8. – ქუთაისი: საქართველო, 2000. – გვ. 164-170.
4. კოსტავა ა., ჯანდიერი გ., ცქიტიშვილი ი. ფეროშენადნობის მახარისხებელი მოწყობილობა. საქართველოს პატენტი №834 B07B1/06,1/40. 12.21.1999 სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი №15. – თბილისი: 2001. – გვ. 27.
5. რუხაძე ნ., ვარიანი ე., სიგუა რ., გუგუშვილი გ. წონის საზომი მოწყობილობა. გამოგონება, პატენტის აღწერილობა. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი” №3 (135), 1999 გვ.4.
6. ჯანდიერი გ. ფეროშენადნობების დახარისხებისა და გრანულიმეტრიული შედგენილობის კონტროლის შესახებ. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული, №9. – ქუთაისი: საქართველო, 2001. – გვ. 84-88.
7. ჯანდიერი გ. ფეროშენადნობების ჩამოსხმის პროცესის მართვის ალგორითმი. მეცნიერება და ტექნოლოგიები. №1. – თბილისი: 2002. – გვ. 74-78.
8. ჯანდიერი გ., რობაქიძე დ., პატარაია ნ., ცქიტიშვილი ი., გიგატაძე ნ., წითაძე ვ. საჩამომსხმელო მანქანის როფების მიწვის საწინააღმდეგო შრის გავლენა ფეროშენადნობის შოთების ხარისხზე. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები, №2 (15), – ქუთაისი: საქართველო, 2004. – გვ. 217-220.
9. ჯანდიერი გ. ფეროშენადნობთა ხარისხის მართვის თავისებურებანი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №2, – თბილისი: 2002. – გვ. 40-45

- 9.1. ჯანდიერი გ. ნადნობთა დასამუშავებელი მოწყობილობები. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი” №3230 A C21B07/14, სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი №19.- თბილისი: 2003.- გვ.16
10. ჯანდიერი გ.ვ. სამსხმელო მანქანების ეფექტურობის დიაგნოსტიკა და ფსმ-ს ხარისხის მართვა ტექნოლოგიური რეჟიმების კონტროლითა და რეგულირებით. დისერტაცია ტმკ. სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. – ქუთაისი: 2002.
11. Азаров Б.М., Лисовенко А.Т., Мачихин С.А., Чернов М.Е., Хрошеенков В.М. Технологическое оборудование хлебопекарных и макаронных предприятий. -Москва: Огропромиздат. 1986. - с.41-43.
12. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. -Москва: Машиностроение 1977. - с. 247-311.
13. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. -Москва: Высшая школа. 1972. – с. 378-446.
14. Араманович И.Г.. Левич В.И. Уравнения металлической физики. –Москва: «Наука». 1969.
15. Баландин Г.Ф., Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. – Москва: Машиностроение. 1971. - с. 218.
16. Банных О.А., Дрица М.Е. Справочник диаграммы состояние двойных и многокомпоиентных систем на основе железа. -Москва: Металлургия. 1986. – 436 с.
17. Батунер Л.Н., Позик М.Е. Математические методы в химической технике. – Москва: 1953. – 61 с.
18. Бетин Ю.П., Клотик У.Н., Позина М.И. Контроль уровня сипучых материалов с высокой точностью. Журнал «Заводская лаборатория». №2, - Москва: 1976. – с. 190-192.
19. Блохин М.А. Методы рентгено-спектральных исследований. – Москва: Машгиз. 1959. – 126 с.
20. Блохин М.А. Рентгено-спектральная аппаратура. Журнал «Приборы и техника эксперимента». №2, - Москва: 1970. – с. 26-28.
- 20.1. Бокова О.С., Нахабин В.Н., Королев А.А. Разливка и кристаллизация безуглеродистого феррохрома. Журнал «Сталь», №6, -Москва, 1972. –с. 519-521.
21. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И., Гриценко С.Г., Коваль А.В. Овчарук А.Н.

- Металлургия марганца Украины. Київ: Техніка. 1996, - 469 с.
22. Веселев С.А. Исследование и совершенствование технологии разлива и повышение качества ферросилиция. Автореферат канд. дисс. Днепропетровск, Институт металлургии, 1972. – 20 с.
  23. Веселев С.А., Лихачев А.Г. Определение потерь ферросилиция на разливочных машинах конвейерного типа и пути утилизации образующегося скрапа. Журнал «Сталь» №7. – Москва: 1971. – с. 616 -617.
  24. Владислав В.С. Справочник металлста. –Москва: Метгшиз. 1959. - 560 с.
  25. Володкин А., Орловская Л.В. Теплопроводность через сферическую оболочку. Пояснительная записка к курсовому проекту по дисциплине «Физика». -Томск. 1997. – 20 с.
  26. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. -Москва: Металлургия. 1979. – 479 с.
  27. Гальперин Ф.С.; Ситниченко В.М; Повышение точности и надежности дозаторов непрерывного действия. -Москва: Измерительная техника №2, 1976. - с. 75-76.
  28. Ганина Н.И., Захаров А.М., Огеничева В.Г., Петрова Л.А. Диаграммы состояния металлических систем. - Москва: ВИНТИ. 1989. (часть I и II). – 616 с.
  29. Гарелькин О.С., Чуватин В.Н. Дробимость и истираемость ферросплавов. -Москва: Сталь. 1980. - 210 с.
  30. Гасик Л.Н., Игнатъев В.С., Гасик М.И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. – Техніка, 1975. - 152 с.
  31. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. - Москва: Металлургия, 1988. – 778 с.
  32. Гасик М.Н., Игнатъев В.С., Каблуковский А.Ф., Хитрик С.И. Газы и примеси в ферросплавов. -Москва: Металлургия, 1970. - 152 с.
  33. Голофаев А.Н., Немировский Р.Г., Лотц Ю.Ф., Солоошенко В.П. Термоуравновешенная конструкция изложницы для конвейерной разлива ферросилиция/ «Сталь», 1981. №3. – с. 30-31.
  34. Государственный стандарт СССР «Ферросиликомарганец». ГОСТ 4755-91 (ИСО 5446-80) Технические требования и условия поставки. - Москва: 1997.
  35. Государственный стандарт СССР «Ферросиликомарганец». ГОСТ 4756-91 (ИСО 5447-80) Технические требования и условия поставки. - Москва: 1997.
  36. Данильченко В.П., Егорин Р.А. Метрологическое обеспечение промышленного производства. –Київ: «Техніка», 1980. – 51 с.
  37. Веселов С.А., Балакшин И.И., Хитрик С.И., Кравченко В.А. Выбор оптимальных



- параметров разливки ферросилиция. Журнал «Сталь», №9. –Москва: 1971. – с. 811-813.
38. Деркачев Е.Н., Анастасиев М.Б., Бранд Е.А., Сургучев Г.Д. Моделирование температурного режима работы промежуточных ковшей МНЛЗ. ИВУЗ Черная металлургия. - Москва: «Металлургия». №5. 1989. – с. 45-47.
39. Долженков Б.С. Объемный дозатор сыпучих материалов. Описание изобретения к авторскому свидетельству.359523-Москва: ЦНИИПИ Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР, 1973. – с. 1.
40. Джандиери Г.В., Робакидзе Д.В. Контроль и управления процессом гравитационного запуска металлических частиц в жидкий поток сплава при экзогенно–суспензионной разливке ферросикомаганца, Проблемы прикладной механики, №1(10).-Тбилиси 2003. 104-107
41. Робакидзе Д.В., Джандиери Г.В. Современное состояние и перспективы развития суспензионной разливки ферросплавов. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები. №7, – თბილისი: 2003. - გვ. 105-111
42. Робакидзе Д.В., Джандиери Г.В., Хвадагиани А.И., Патараиа Н.Т. Разработка системы контроля полунепрерывного суспензионного литье составных заготовок тяжелого машиностроения. Металлургия машиностроения №1.-Москва 2004. 51-53.
43. Джандиери Г.В., Сургуладзе.Т.А, Робакидзе Д.В. Математическое моделирование затвердивания сплавов в процессе суспензионного литья. «Металловедение и термическая обработка» №2. Москва, Машиностроения. 2007
44. Джандиери Г.В., Патараია Н.Т., Робакидзе Д.В., Цитадзе В.Н. Атомно-эмиссионный спектральный анализ кремниевого и марганцевого ферросплава. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრის შრომები. – თბილისი: 2003. – გვ. 105-111.
- 44.1. Джандиери Г.В., Костава А.А. Управление технологическим процессом разливки ферросплавов. Проблемы прикладной механики. №1(6), -Тбилиси. 2002. – с. 61-62.
45. Жуковский Ю.М., Заваплько А.К., Кутиркин В.Н. и др. Автоматизированная обработка результатов атомного эмиссионного спектрального анализа. Журнал «Заводская лаборатория». №9, -Москва: 1988. – с. 47-48.
46. Жучков В.И; Носков А.С; Завьялов А.Л. Растворение ферросплавов в жидком металле. - Свердловск: УРО АН СССР, 1990-с.122.
47. Заигеров И.Б. Машины и автоматизация литейного производства. -Минск: Вышэйшая школа 1969. – с. 450.

48. Затуловский С.С. Суспензионная разливка. -Киев: Наукова думка, 1981. - с. 247.
49. Затуловский С.С. Суспензионное и композиционное литье: Сборник научных трудов: - Киев: АН УССР, Институт проблем литья, 1988. – с. 115.
50. Захаров Б.П. Термист. – Москва: Машгиза. 1961. – с. 295-301.
51. Игнатъев В.С., Сталяр О.Ю., Тхоревский В.С., Мельченко А.А., Мураховский В.В. Утилизация мелочи марганцевых ферросплавов при разливке. -Тбилиси: Всесоюзная совещание Metallургия марганца, тезис доклада. 1986. – 100 с.
52. Игнатъев В.С., Тхоревский В.С., Столяр О.Ю. и др. Суспензионная разливка марганцевых ферросплавов. -Москва: журнал Сталь, №1 1987. - с. 41-44.
53. Каладзе Д.А. Исследование и освоение процесса непрерывного литья ферросплавов на вынтовой машине. Дисс. на соискание У.С. К.Т.Н. Тбилиси, 1976. 191 с. Имеет АНГСССР.
54. Кармадонов А.Ф., Шевченко В.Ф; Рысс М.А.; Шербаков М.А. Механическое оборудование ферросплавных цехов. -Москва: Metallургия 1968.-с 208.
55. Ладышевский Б.Н.. Башаков А.Д. Обработка низкого металла порошком в струе газа. – Москва: Metallургиздат, 1961. -112 с.
56. Ливщиц Б.Т. Metalлография. -Москва: Metallургия. 1990. - 420 с.
57. Личтан В.С., Кравченко В.А., Серебренников А.А. Улучшение качества 75%-ного ферросилиция машинной разливки. Журнал «Сталь». №4. –Москва: 1970 , - с. 322-324.
58. Мазмишвили С.М., Джандиери Г.В., Робакидзе Д.В. Совершенствование процесса суспензионной разливки ферросиликомарганца. Сборник трудов X международной научно-технической конференции. -Кутаиси: 2005. – с. 154-161.
59. Мазмишвили С.М., Симонгулашвили З.А., Мчедлидзе Т.Я. Разработка и промышленное освоение технологии получения пылерудных брикетови выплавки из них марганцевых ферросплавов. Черная металлургия. Известия высших учебных заведений. 1992. №12. – с. 43-45.
60. Марганец металлический Государственный стандарт СССР. Гост 5639-65. –Москва: 1965. – 3 с.
61. Мазмишвили С.М., Цхелишвили Д.Г. Выплавка силикомарганца и углеродистого ферромарганца из многокомпонентных брикетов. Труды грузинского политехнического института им. В.И. Ленина. Черная металургия, 1979. – с. 16-25.
62. Матвеев И.В; Тарский В.Л. Оборудование литейных цехов. - Москва: Машиностроение 1976. – с. 11-33.
63. Мовчан В.И., Яременко А.Ф., Бабак А.П., Шевчекнко И.А., Топильский П.В. Исследование химико-термического воздействия ферросплава на изложницы

разливочных машин/ «Сталь», 1984. №6, - с. 36-38.

64. Парфенов А.А., Рукавишников Н.В., Гераскин П.И., Семенов В.Е., Хегай А.Б. Влияние химического состава чугуна на термостойкость изложниц разливочных машин. «Сталь», 1973. №11. – с. 1012-1013.
65. Парфенов А.А., Чеклинская Л.Е., Рукавишников Н.В., Семенов В.Е. разрушение изложниц разливочных машин при разливке ферросилиция./сб. науч. тр. «Производство ферросплавов» НИИМ, М., Металлургия, 1974. -№3, - с. 146-149.
66. Патарая Н.Т. Разработка нового способа утилизаций мелькодисперсных фракции ферросиликомарганца. Сборник трудов VII международной научно-технической конференций "Проблемы металлургии металловедения и сварки". – Тбилиси: 2002. - с. 162-165.
67. Полищов С.П., Козлов А.И. Управление качеством продукции. –Киев: «Техника». 1978. – 144 с.
68. Рентгенно-Флюоресцентный спектрометры. Технические характеристики. –Москва: MELYTEC.www. MELYTEC.ru - 7 с.
69. Робакидзе Д.В., Джандиери Г.В., Хвадагиани А.И., Патарая Н.Т. Разработка системы контроля полунепрерывного суспензионного литья составных заготовок тяжелого машиностроения. –Металлургия машиностроения. №1. – Москва: 2004. – с. 51-53.
70. Рогачев И.П., Лазнев В.К. Теплопроводность сплавов систем Mn-Fe-Si-C и Mn-Fe-Si-Al-C ИВУЗ Черная металлургия. - Москва: «Металлургия». №3. 1980. – с. 67-69.
71. Рысс М.А. Производство ферроплавов. –Москва: Металлургия. 1985. -344 с.
72. Рышиков А.А., Рошин М.И., Флкин В.И., Паньшин В.И., Марков С.П., Талдыкин В.М., Прусс Л.В. Совершенствование технологии стального литья. –Москва: «Машиностроение». 1977.-143 с.
73. Сакланов В.П., Лукашов А.З. Развитие АСУ металлургическим предприятием. -Москва: металлургия. 1987 с. 190.
74. Святлов Б.А., Головачев Н.П., Привалов О.Е. и др. Система непрерывного дозирования шихты с точностью порционных дозаторов. Журнал «Сталь». №6, 2004. – с. 51-57.
75. Семин В.Е. Сокол Р.Н. Хамов П.А. Корректор массы математической шихты в ваграночном производстве чугуна. -Москва: Измерительная техника №2, 1976. –с. 76-78.
76. Славуцкий В.А., Катиков В.С., Гревнин Д.А. Устройства контроля гранулометрического состава крупнозернистых материалов. Журнал «Приборы и системы управления». №12. – Москва: 1976. – с. 34-37.
77. Славуцкий В.А., Катков В.С., Гревнин Д.А. Устройства контроля гранулометрического состава крупнозернистых материалов. Журнал «Приборы и системы управления». №12,

-Москва: 1976. – с. 34-37.

- 77.1. Солощенко В.П., Ерко В.И. и др. Послойная разливка ферросилиция на крупный блок\ тематический сборник научных трудов «Совершенствования сортамента и технологии производства ферросплавов». – Челябинск, 1990. – с.47-49.
78. Столяр О.Ю. Разработка и исследование рациональной технологии фракционирования и утилизации некондиционной мелочи марганцевых ферросплавов. - Москва: Центральный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт черной металлургии имени И.П. Бардина. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 1989, - с.20.
79. Столяр О.Ю., Мельниченко А.А., Графчиков В.В. Влияние химического состава марганцевых ферросплавов на количество образования мелочи при разливке. –Сборник докладов всесоюзной конференции по ферросплавам: Тбилиси, 1983.- с. 483-486.
80. Столяр О.Ю., Мельниченко А.А., Графчиков В.В. Влияние химического состава марганцевых ферросплавов на количество образования мелочи при разливке. Сборник докладов всесоюзной конференции по производству ферросплавов. –Тбилиси: 1983. – с. 483-486.
81. Стругадский М.К., Наденский Б.Л. Неорганическая химия. –Москва: 1965. – 89 с.
82. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. – Москва: «Наука». 1977.
83. Тихонов Л.В., Кононенко В.А. Механические свойства металлов и сплавов. –Киев: Наукова думка. 1986. - 567 с.
84. Туричин А.М. Электрические изменения неэлектрических величин.- Москва: Госэнергоиздат. 1959, стр-454-462
85. Уманский Я.С. Рентгенография металлов. – Москва: Металлургиздат. 1960. – 444 с.
86. Фиалков Б.С; Плицын В.Т; Максимов Е.В. Управление истечением сыпучих материалов.- Алма-Ата: Наука 1982. –с. 141.
87. Фомин А.Н. Автоматический дозатор. Описание изобретения к авторскому свидетельству.432343.-Москва: ЦНИИПИ Государственно-го комитета Совета Министров СССР по делам изобретения и открытий, 1975-с.1
88. Хвадагани А.И., Джандиери Г.В., Патарая Н.Т., Робакидзе Д.В. Совершенствование системы управления процессом дозирования мелкозернистых металлических материалов. -Грузия: КГТУ №2, (II) 2002. – с. 152-154.
89. Химмельблау Д.И. Прикладное нелинейное программирование. – Москва: Мир. 1975. – 534 с.
90. Чеквакин А.Н. Семин В.Н., Старадуб К.Я.-Основы автоматизации.-Москва: Энергия. 1977.

– 446 с.

91. Чугунный Е.Е., Жуков Л.Ф. Автоматический контроль температуры жидкого чугуна в литейном производстве. –Киев: Наукова думка, 1978. с.176.
92. Эфимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. -Москва: Металлургия. 1976. - 552 с.
93. Шевченко В.Д. Устройство и эксплуатация ферросплавных заводов. – Москва. Металлургия, 1982. – 208 с.
94. Джандиери Г.В., Сургуладзе.Т.А, Робакидзе Д.В. Управление процессом прямого легирования сплавов марганцем «Металловедение и термическая обработка» № . Москва, Машиностроения. 2009

დანართი

QUANTITATIVE ANALYSIS RESULTS

The cosecant of the take off angle is 1.556

Total number of elements : 4

4 Elements are analyzed :

Standard no. 1 is a compound of P W.F. 0.1800 line:KA at 20. kV  
 O W.F. 0.8200  
 Standard no. 2 is pure SI line:KA at 20. kV  
 Standard no. 3 is pure FE line:KA at 20. kV  
 Standard no. 4 is pure MN line:KA at 20. kV

WEIGHT FRACTION CONCENTRATION & SIG/K

	1	2	3	4	5	6	7	8
P	0.00195	0.00138	0.00761	0.00292	0.00071	0.00160	0.00164	0.00119
SI	0.19735	0.06809	0.13754	0.22872	0.26765	0.06653	0.10155	0.09586
FE	0.05450	0.04954	0.06188	0.05466	0.05547	0.10971	0.05711	0.05142
MN	0.71469	0.73155	0.76973	0.68267	0.71832	0.71213	0.68977	0.77200
	0.96849	0.85056	0.97676	0.96897	1.04215	0.88997	0.85007	0.92047
P sig/k	22.5	23.0	11.3	19.4	26.8	21.4	21.9	23.7
SI sig/k	1.7	2.8	2.0	1.6	1.5	2.8	2.3	2.3
FE sig/k	2.7	2.7	2.5	2.7	2.7	2.0	2.6	2.7
MN sig/k	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0

AVERAGE # 1 ON 8 ANALYSIS

ტრადიციული მეთოდით მიღებული სხმულის  
 ქიმიური შემადგენლობა

ELT.	CONCEN.	STD-DEV	ELT.	%ATOM.
P	0.00237	0.00221	P	0.00392
SI	0.14541	0.07674	SI	0.26501
FE	0.06179	0.01971	FE	0.05663
MN	0.72386	0.03293	MN	0.67443
TOTAL :	0.93343			

WEIGHT FRACTION CONCENTRATION & SIG/K

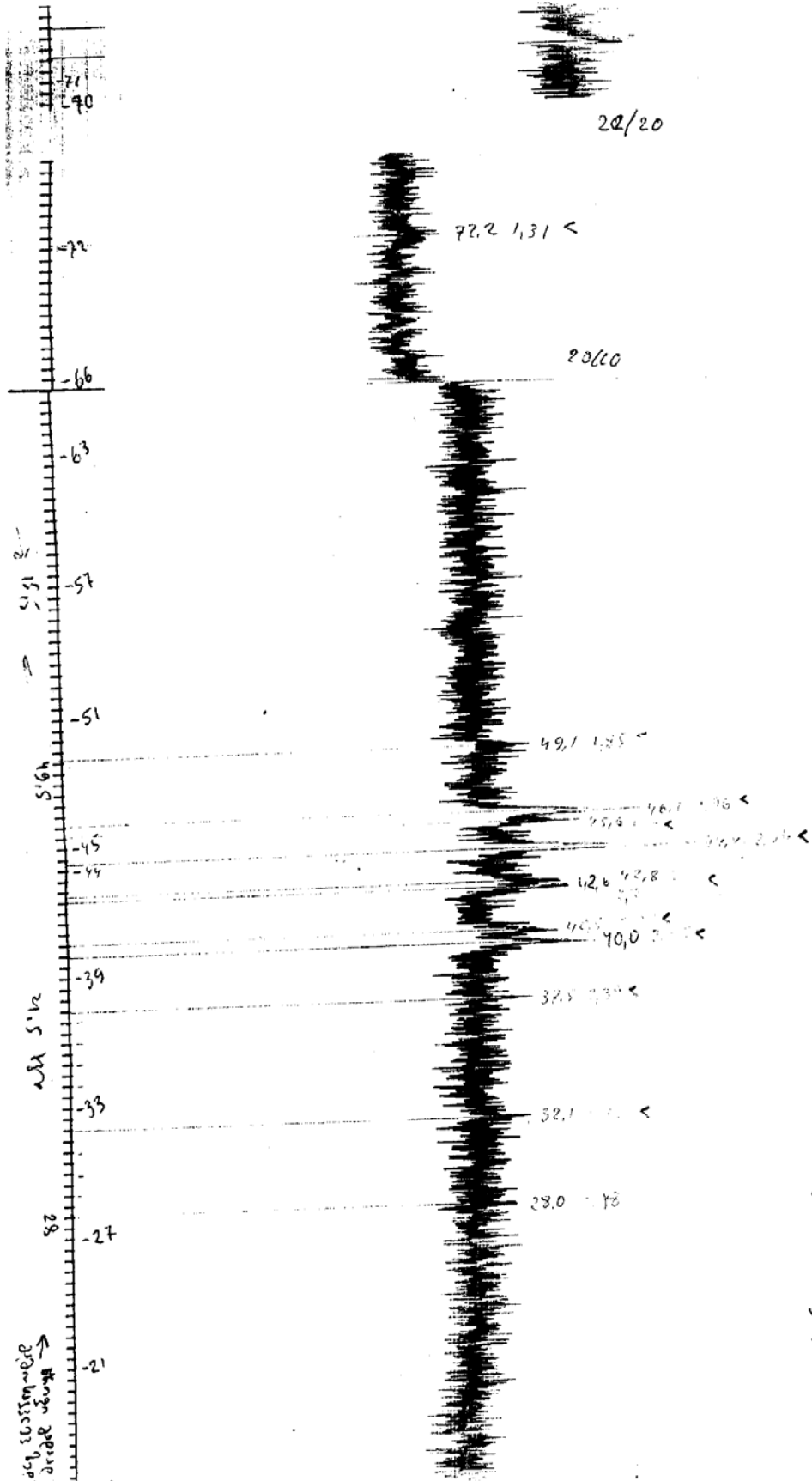
	10	11	12	13	14	15
P	0.00022	0.00160	0.00187	0.00066	0.00323	0.00000
SI	0.09474	0.17021	0.10148	0.11993	0.15549	0.06286
FE	0.12053	0.09601	0.11715	0.12649	0.12100	0.02628
MN	0.74735	0.64081	0.60989	0.69206	0.49649	0.19628
	0.96284	0.90863	0.83039	0.93914	0.77621	0.28542
P sig/k	57.8	21.9	22.5	28.9	17.0	50.0
SI sig/k	2.4	1.8	2.3	2.1	1.9	2.9
FE sig/k	1.9	2.1	2.0	1.9	2.0	3.9
MN sig/k	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.7



AVERAGE # 2 ON 6 ANALYSIS

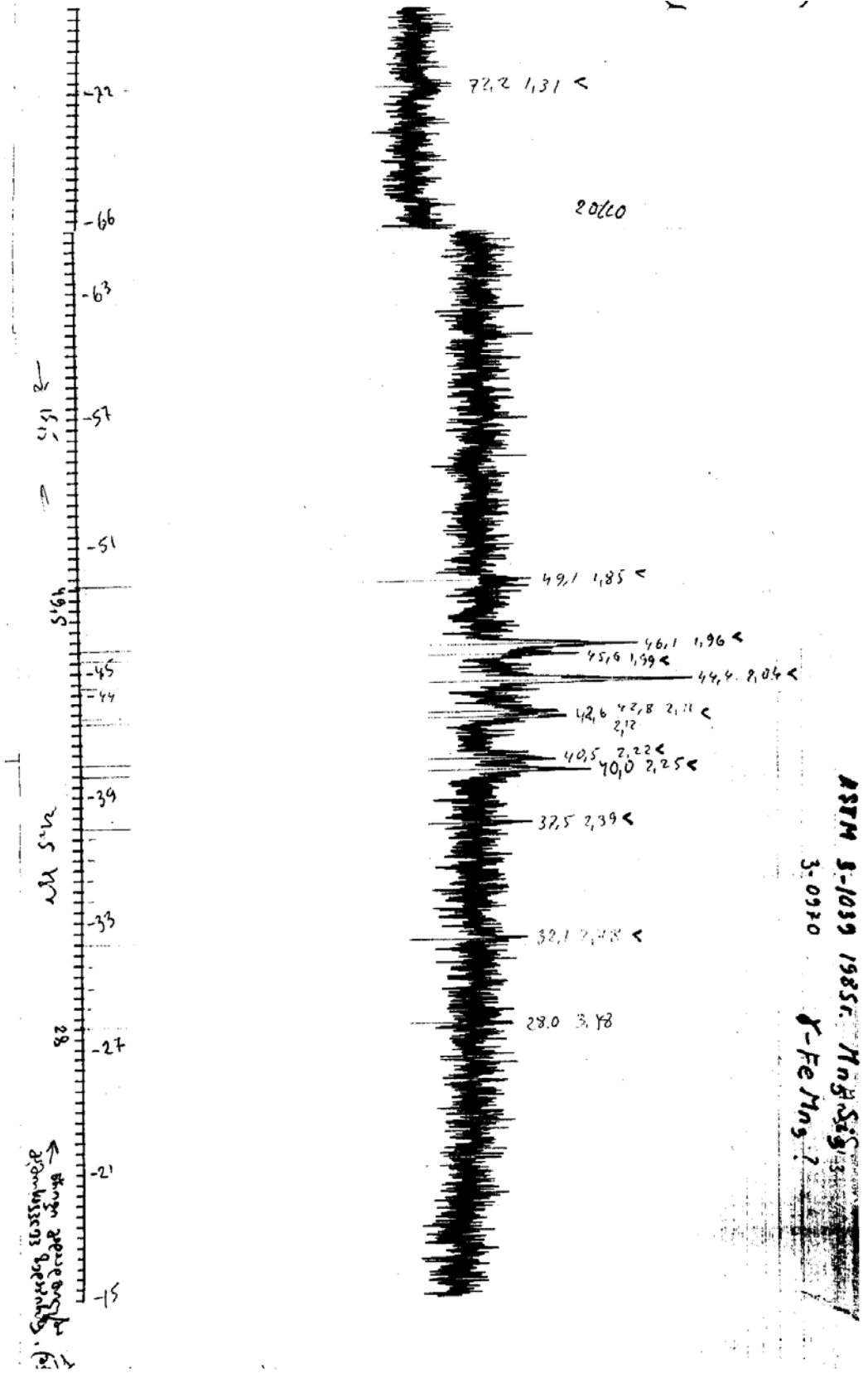
სუსპენზიური მეთოდით მიღებული სხმულის  
 ქიმიური შემადგენლობა

ELT.	CONCEN.	STD-DEV	ELT.	%ATOM.
P	0.00126	0.00122	P	0.00250
SI	0.11745	0.03997	SI	0.25658
FE	0.10124	0.03821	FE	0.11123
MN	0.56381	0.19890	MN	0.62968
TOTAL :	0.78377			



ASTM 3-1039 1985r. მონ. სიგ. 3  
 3-0930 მ-წმ მონ. ?





T	Si	V	L			
1350	16	0,05	482,6	1707953625,0	185310900,9	9,2
1340	16	0,05	482,6	1695299130,0	184631682,1	9,2
1330	16	0,05	482,6	1682644635,0	183952463,4	9,1
1320	16	0,05	482,6	1669990140,0	183273244,6	9,1
1310	16	0,05	482,6	1657335645,0	182594025,9	9,1
1300	16	0,05	482,6	1644681150,0	181914807,1	9,0
1290	16	0,05	482,6	1632026655,0	181235588,4	9,0
1280	16	0,05	482,6	1619372160,0	180556369,6	9,0
1350	17	0,05	477	1707953625,0	198410114,0	8,6
1340	17	0,05	477	1695299130,0	197633864,0	8,6
1330	17	0,05	477	1682644635,0	196857614,0	8,5
1320	17	0,05	477	1669990140,0	196081364,0	8,5
1310	17	0,05	477	1657335645,0	195305114,0	8,5
1300	17	0,05	477	1644681150,0	194528864,0	8,5
1290	17	0,05	477	1632026655,0	193752614,0	8,4
1280	17	0,05	477	1619372160,0	192976364,0	8,4
1350	18	0,05	478	1707953625,0	208598396,3	8,2
1340	18	0,05	478	1695299130,0	207746677,5	8,2
1330	18	0,05	478	1682644635,0	206894958,8	8,1
1320	18	0,05	478	1669990140,0	206043240,0	8,1
1310	18	0,05	478	1657335645,0	205191521,3	8,1
1300	18	0,05	478	1644681150,0	204339802,5	8,0
1290	18	0,05	478	1632026655,0	203288083,8	8,0
1280	18	0,05	478	1619372160,0	202636365,0	8,0
1350	19	0,05	479	1707953625,0	215875741,0	7,9
1340	19	0,05	479	1695299130,0	214970116,0	7,9
1330	19	0,05	479	1682644635,0	214064491,0	7,9
1320	19	0,05	479	1669990140,0	213158866,0	7,8
1310	19	0,05	479	1657335645,0	212253241,0	7,8
1300	19	0,05	479	1644681150,0	211347616,0	7,8
1290	19	0,05	479	1632026655,0	210441991,0	7,8
1280	19	0,05	479	1619372160,0	209536366,0	7,7
1350	20	0,05	480	1707953625,0	220242148,3	7,8
1340	20	0,05	480	1695299130,0	219314179,5	7,7
1330	20	0,05	480	1682644635,0	218366210,8	7,7
1320	20	0,05	480	1669990140,0	217428242,0	7,7
1310	20	0,05	480	1657335645,0	216490273,3	7,7
1300	20	0,05	480	1644681150,0	215552304,5	7,6
1290	20	0,05	480	1632026655,0	214614335,8	7,6
1280	20	0,05	480	1619372160,0	213676367,0	7,6

T	Si	V	L			
1350	16	0,01	482,6	3415907250,0	185310900,9	18,4
1340	16	0,01	482,6	3390598260,0	184631682,1	18,4
1330	16	0,01	482,6	3365289270,0	183952463,4	18,3
1320	16	0,01	482,6	3339980280,0	183273244,6	18,2
1310	16	0,01	482,6	3314671290,0	182594025,9	18,2
1300	16	0,01	482,6	3289362300,0	181914807,1	18,1
1290	16	0,01	482,6	3264053310,0	181235588,4	18,0
1280	16	0,01	482,6	3238744320,0	180556369,6	17,9
1350	17	0,01	477	3415907250,0	198410114,0	17,2
1340	17	0,01	477	3390598260,0	197633864,0	17,2
1330	17	0,01	477	3365289270,0	196857614,0	17,1
1320	17	0,01	477	3339980280,0	196081364,0	17,0
1310	17	0,01	477	3314671290,0	195305114,0	17,0
1300	17	0,01	477	3289362300,0	194528864,0	16,9
1290	17	0,01	477	3264053310,0	193752614,0	16,8
1280	17	0,01	477	3238744320,0	192976364,0	16,8
1350	18	0,01	478	3415907250,0	208598396,3	16,4
1340	18	0,01	478	3390598260,0	207746677,5	16,3
1330	18	0,01	478	3365289270,0	206894958,8	16,3
1320	18	0,01	478	3339980280,0	206043240,0	16,2
1310	18	0,01	478	3314671290,0	205191521,3	16,2
1300	18	0,01	478	3289362300,0	204339802,5	16,1
1290	18	0,01	478	3264053310,0	203288083,8	16,0
1280	18	0,01	478	3238744320,0	202636365,0	16,0
1350	19	0,01	479	3415907250,0	215875741,0	15,8
1340	19	0,01	479	3390598260,0	214970116,0	15,8
1330	19	0,01	479	3365289270,0	214064491,0	15,7
1320	19	0,01	479	3339980280,0	213158866,0	15,7
1310	19	0,01	479	3314671290,0	212253241,0	15,6
1300	19	0,01	479	3289362300,0	211347616,0	15,6
1290	19	0,01	479	3264053310,0	210441991,0	15,5
1280	19	0,01	479	3238744320,0	209536366,0	15,5
1350	20	0,01	480	3415907250,0	220242148,3	15,5
1340	20	0,01	480	3390598260,0	219314179,5	15,5
1330	20	0,01	480	3365289270,0	218366210,8	15,4
1320	20	0,01	480	3339980280,0	217428242,0	15,4
1310	20	0,01	480	3314671290,0	216490273,3	15,3
1300	20	0,01	480	3289362300,0	215552304,5	15,3
1290	20	0,01	480	3264053310,0	214614335,8	15,2
1280	20	0,01	480	3238744320,0	213676367,0	15,2

T	Si	V	L			
1350	16	0,15	482,6	5123860875,0	185310900,9	27,7
1340	16	0,15	482,6	5085897390,0	184631682,1	27,6
1330	16	0,15	482,6	5047933905,0	183952463,4	27,5
1320	16	0,15	482,6	5009970420,0	183273244,6	27,4
1310	16	0,15	482,6	4972006935,0	182594025,9	27,3
1300	16	0,15	482,6	4934043450,0	181914807,1	27,2
1290	16	0,15	482,6	4896079965,0	181235588,4	27,1
1280	16	0,15	482,6	4858116480,0	180556369,6	26,9
1350	17	0,15	477	5123860875,0	198410114,0	25,8
1340	17	0,15	477	5085897390,0	197633864,0	25,7
1330	17	0,15	477	5047933905,0	196857614,0	25,6
1320	17	0,15	477	5009970420,0	196081364,0	25,6
1310	17	0,15	477	4972006935,0	195305114,0	25,5
1300	17	0,15	477	4934043450,0	194528864,0	25,4
1290	17	0,15	477	4896079965,0	193752614,0	25,3
1280	17	0,15	477	4858116480,0	192976364,0	25,2
1350	18	0,15	478	5123860875,0	208598396,3	24,6
1340	18	0,15	478	5085897390,0	207746677,5	24,5
1330	18	0,15	478	5047933905,0	206894958,8	24,4
1320	18	0,15	478	5009970420,0	206043240,0	24,3
1310	18	0,15	478	4972006935,0	205191521,3	24,2
1300	18	0,15	478	4934043450,0	204339802,5	24,1
1290	18	0,15	478	4896079965,0	203288083,8	24,1
1280	18	0,15	478	4858116480,0	202636365,0	24,0
1350	19	0,15	479	5123860875,0	215875741,0	23,7
1340	19	0,15	479	5085897390,0	214970116,0	23,7
1330	19	0,15	479	5047933905,0	214064491,0	23,6
1320	19	0,15	479	5009970420,0	213158866,0	23,5
1310	19	0,15	479	4972006935,0	212253241,0	23,4
1300	19	0,15	479	4934043450,0	211347616,0	23,3
1290	19	0,15	479	4896079965,0	210441991,0	23,3
1280	19	0,15	479	4858116480,0	209536366,0	23,2
1350	20	0,15	480	5123860875,0	220242148,3	23,3
1340	20	0,15	480	5085897390,0	219314179,5	23,2
1330	20	0,15	480	5047933905,0	218366210,8	23,1
1320	20	0,15	480	5009970420,0	217428242,0	23,0
1310	20	0,15	480	4972006935,0	216490273,3	23,0
1300	20	0,15	480	4934043450,0	215552304,5	22,9
1290	20	0,15	480	4896079965,0	214614335,8	22,8
1280	20	0,15	480	4858116480,0	213676367,0	22,7

T	Si	V	L			
1350	16	0,2	482,6	6831814500,0	185310900,9	36,9
1340	16	0,2	482,6	6781196520,0	184631682,1	36,7
1330	16	0,2	482,6	6730578540,0	183952463,4	36,6
1320	16	0,2	482,6	6679960560,0	183273244,6	36,4
1310	16	0,2	482,6	6629342580,0	182594025,9	36,3
1300	16	0,2	482,6	6578724600,0	181914807,1	36,2
1290	16	0,2	482,6	6528106620,0	181235588,4	36,0
1280	16	0,2	482,6	6477488640,0	180556369,6	35,9
1350	17	0,2	477	6831814500,0	198410114,0	34,4
1340	17	0,2	477	6781196520,0	197633864,0	34,3
1330	17	0,2	477	6730578540,0	196857614,0	34,2
1320	17	0,2	477	6679960560,0	196081364,0	34,1
1310	17	0,2	477	6629342580,0	195305114,0	33,9
1300	17	0,2	477	6578724600,0	194528864,0	33,8
1290	17	0,2	477	6528106620,0	193752614,0	33,7
1280	17	0,2	477	6477488640,0	192976364,0	33,6
1350	18	0,2	478	6831814500,0	208598396,3	32,8
1340	18	0,2	478	6781196520,0	207746677,5	32,6
1330	18	0,2	478	6730578540,0	206894958,8	32,5
1320	18	0,2	478	6679960560,0	206043240,0	32,4
1310	18	0,2	478	6629342580,0	205191521,3	32,3
1300	18	0,2	478	6578724600,0	204339802,5	32,2
1290	18	0,2	478	6528106620,0	203288083,8	32,1
1280	18	0,2	478	6477488640,0	202636365,0	32,0
1350	19	0,2	479	6831814500,0	215875741,0	31,6
1340	19	0,2	479	6781196520,0	214970116,0	31,5
1330	19	0,2	479	6730578540,0	214064491,0	31,4
1320	19	0,2	479	6679960560,0	213158866,0	31,3
1310	19	0,2	479	6629342580,0	212253241,0	31,2
1300	19	0,2	479	6578724600,0	211347616,0	31,1
1290	19	0,2	479	6528106620,0	210441991,0	31,0
1280	19	0,2	479	6477488640,0	209536366,0	30,9
1350	20	0,2	480	6831814500,0	220242148,3	31,0
1340	20	0,2	480	6781196520,0	219314179,5	30,9
1330	20	0,2	480	6730578540,0	218366210,8	30,8
1320	20	0,2	480	6679960560,0	217428242,0	30,7
1310	20	0,2	480	6629342580,0	216490273,3	30,6
1300	20	0,2	480	6578724600,0	215552304,5	30,5
1290	20	0,2	480	6528106620,0	214614335,8	30,4
1280	20	0,2	480	6477488640,0	213676367,0	30,3

T	Si	V	L			
1350	16	0,25	482,6	8539768125,0	185310900,9	46,1
1340	16	0,25	482,6	8476495650,0	184631682,1	45,9
1330	16	0,25	482,6	8413223175,0	183952463,4	45,7
1320	16	0,25	482,6	8349950700,0	183273244,6	45,6
1310	16	0,25	482,6	8286678225,0	182594025,9	45,4
1300	16	0,25	482,6	8223405750,0	181914807,1	45,2
1290	16	0,25	482,6	8160133275,0	181235588,4	45,0
1280	16	0,25	482,6	8096860800,0	180556369,6	44,8
1350	17	0,25	477	8539768125,0	198410114,0	43,0
1340	17	0,25	477	8476495650,0	197633864,0	42,9
1330	17	0,25	477	8413223175,0	196857614,0	42,7
1320	17	0,25	477	8349950700,0	196081364,0	42,6
1310	17	0,25	477	8286678225,0	195305114,0	42,4
1300	17	0,25	477	8223405750,0	194528864,0	42,3
1290	17	0,25	477	8160133275,0	193752614,0	42,1
1280	17	0,25	477	8096860800,0	192976364,0	42,0
1350	18	0,25	478	8539768125,0	208598396,3	40,9
1340	18	0,25	478	8476495650,0	207746677,5	40,8
1330	18	0,25	478	8413223175,0	206894958,8	40,7
1320	18	0,25	478	8349950700,0	206043240,0	40,5
1310	18	0,25	478	8286678225,0	205191521,3	40,4
1300	18	0,25	478	8223405750,0	204339802,5	40,2
1290	18	0,25	478	8160133275,0	203288083,8	40,1
1280	18	0,25	478	8096860800,0	202636365,0	40,0
1350	19	0,25	479	8539768125,0	215875741,0	39,6
1340	19	0,25	479	8476495650,0	214970116,0	39,4
1330	19	0,25	479	8413223175,0	214064491,0	39,3
1320	19	0,25	479	8349950700,0	213158866,0	39,2
1310	19	0,25	479	8286678225,0	212253241,0	39,0
1300	19	0,25	479	8223405750,0	211347616,0	38,9
1290	19	0,25	479	8160133275,0	210441991,0	38,8
1280	19	0,25	479	8096860800,0	209536366,0	38,6
1350	20	0,25	480	8539768125,0	220242148,3	38,8
1340	20	0,25	480	8476495650,0	219314179,5	38,7
1330	20	0,25	480	8413223175,0	218366210,8	38,5
1320	20	0,25	480	8349950700,0	217428242,0	38,4
1310	20	0,25	480	8286678225,0	216490273,3	38,3
1300	20	0,25	480	8223405750,0	215552304,5	38,2
1290	20	0,25	480	8160133275,0	214614335,8	38,0
1280	20	0,25	480	8096860800,0	213676367,0	37,9

T	Si	V	L			
1350	16	0,3	482,6	10247721750,0	185310900,9	55,3
1340	16	0,3	482,6	10171794780,0	184631682,1	55,1
1330	16	0,3	482,6	10095867810,0	183952463,4	54,9
1320	16	0,3	482,6	10019940840,0	183273244,6	54,7
1310	16	0,3	482,6	9944013870,0	182594025,9	54,5
1300	16	0,3	482,6	9868086900,0	181914807,1	54,2
1290	16	0,3	482,6	9792159930,0	181235588,4	54,0
1280	16	0,3	482,6	9716232960,0	180556369,6	53,8
1350	17	0,3	477	10247721750,0	198410114,0	51,6
1340	17	0,3	477	10171794780,0	197633864,0	51,5
1330	17	0,3	477	10095867810,0	196857614,0	51,3
1320	17	0,3	477	10019940840,0	196081364,0	51,1
1310	17	0,3	477	9944013870,0	195305114,0	50,9
1300	17	0,3	477	9868086900,0	194528864,0	50,7
1290	17	0,3	477	9792159930,0	193752614,0	50,5
1280	17	0,3	477	9716232960,0	192976364,0	50,3
1350	18	0,3	478	10247721750,0	208598396,3	49,1
1340	18	0,3	478	10171794780,0	207746677,5	49,0
1330	18	0,3	478	10095867810,0	206894958,8	48,8
1320	18	0,3	478	10019940840,0	206043240,0	48,6
1310	18	0,3	478	9944013870,0	205191521,3	48,5
1300	18	0,3	478	9868086900,0	204339802,5	48,3
1290	18	0,3	478	9792159930,0	203288083,8	48,1
1280	18	0,3	478	9716232960,0	202636365,0	47,9
1350	19	0,3	479	10247721750,0	215875741,0	47,5
1340	19	0,3	479	10171794780,0	214970116,0	47,3
1330	19	0,3	479	10095867810,0	214064491,0	47,2
1320	19	0,3	479	10019940840,0	213158866,0	47,0
1310	19	0,3	479	9944013870,0	212253241,0	46,8
1300	19	0,3	479	9868086900,0	211347616,0	46,7
1290	19	0,3	479	9792159930,0	210441991,0	46,5
1280	19	0,3	479	9716232960,0	209536366,0	46,4
1350	20	0,3	480	10247721750,0	220242148,3	46,5
1340	20	0,3	480	10171794780,0	219314179,5	46,4
1330	20	0,3	480	10095867810,0	218366210,8	46,2
1320	20	0,3	480	10019940840,0	217428242,0	46,1
1310	20	0,3	480	9944013870,0	216490273,3	45,9
1300	20	0,3	480	9868086900,0	215552304,5	45,8
1290	20	0,3	480	9792159930,0	214614335,8	45,6
1280	20	0,3	480	9716232960,0	213676367,0	45,5

T	Si	V	L			
1350	16	0,35	482,6	11955675375,0	185310900,9	64,5
1340	16	0,35	482,6	11867093910,0	184631682,1	64,3
1330	16	0,35	482,6	11778512445,0	183952463,4	64,0
1320	16	0,35	482,6	11689930980,0	183273244,6	63,8
1310	16	0,35	482,6	11601349515,0	182594025,9	63,5
1300	16	0,35	482,6	11512768050,0	181914807,1	63,3
1290	16	0,35	482,6	11424186585,0	181235588,4	63,0
1280	16	0,35	482,6	11335605120,0	180556369,6	62,8
1350	17	0,35	477	11955675375,0	198410114,0	60,3
1340	17	0,35	477	11867093910,0	197633864,0	60,0
1330	17	0,35	477	11778512445,0	196857614,0	59,8
1320	17	0,35	477	11689930980,0	196081364,0	59,6
1310	17	0,35	477	11601349515,0	195305114,0	59,4
1300	17	0,35	477	11512768050,0	194528864,0	59,2
1290	17	0,35	477	11424186585,0	193752614,0	59,0
1280	17	0,35	477	11335605120,0	192976364,0	58,7
1350	18	0,35	478	11955675375,0	208598396,3	57,3
1340	18	0,35	478	11867093910,0	207746677,5	57,1
1330	18	0,35	478	11778512445,0	206894958,8	56,9
1320	18	0,35	478	11689930980,0	206043240,0	56,7
1310	18	0,35	478	11601349515,0	205191521,3	56,5
1300	18	0,35	478	11512768050,0	204339802,5	56,3
1290	18	0,35	478	11424186585,0	203288083,8	56,1
1280	18	0,35	478	11335605120,0	202636365,0	55,9
1350	19	0,35	479	11955675375,0	215875741,0	55,4
1340	19	0,35	479	11867093910,0	214970116,0	55,2
1330	19	0,35	479	11778512445,0	214064491,0	55,0
1320	19	0,35	479	11689930980,0	213158866,0	54,8
1310	19	0,35	479	11601349515,0	212253241,0	54,7
1300	19	0,35	479	11512768050,0	211347616,0	54,5
1290	19	0,35	479	11424186585,0	210441991,0	54,3
1280	19	0,35	479	11335605120,0	209536366,0	54,1
1350	20	0,35	480	11955675375,0	220242148,3	54,3
1340	20	0,35	480	11867093910,0	219314179,5	54,1
1330	20	0,35	480	11778512445,0	218366210,8	53,9
1320	20	0,35	480	11689930980,0	217428242,0	53,8
1310	20	0,35	480	11601349515,0	216490273,3	53,6
1300	20	0,35	480	11512768050,0	215552304,5	53,4
1290	20	0,35	480	11424186585,0	214614335,8	53,2
1280	20	0,35	480	11335605120,0	213676367,0	53,1



T	Si	V	L			
1350	16	0,4	482,6	13663629000,0	185310900,9	73,7
1340	16	0,4	482,6	13562393040,0	184631682,1	73,5
1330	16	0,4	482,6	13461157080,0	183952463,4	73,2
1320	16	0,4	482,6	13359921120,0	183273244,6	72,9
1310	16	0,4	482,6	13258685160,0	182594025,9	72,6
1300	16	0,4	482,6	13157449200,0	181914807,1	72,3
1290	16	0,4	482,6	13056213240,0	181235588,4	72,0
1280	16	0,4	482,6	12954977280,0	180556369,6	71,8
1350	17	0,4	477	13663629000,0	198410114,0	68,9
1340	17	0,4	477	13562393040,0	197633864,0	68,6
1330	17	0,4	477	13461157080,0	196857614,0	68,4
1320	17	0,4	477	13359921120,0	196081364,0	68,1
1310	17	0,4	477	13258685160,0	195305114,0	67,9
1300	17	0,4	477	13157449200,0	194528864,0	67,6
1290	17	0,4	477	13056213240,0	193752614,0	67,4
1280	17	0,4	477	12954977280,0	192976364,0	67,1
1350	18	0,4	478	13663629000,0	208598396,3	65,5
1340	18	0,4	478	13562393040,0	207746677,5	65,3
1330	18	0,4	478	13461157080,0	206894958,8	65,1
1320	18	0,4	478	13359921120,0	206043240,0	64,8
1310	18	0,4	478	13258685160,0	205191521,3	64,6
1300	18	0,4	478	13157449200,0	204339802,5	64,4
1290	18	0,4	478	13056213240,0	203288083,8	64,2
1280	18	0,4	478	12954977280,0	202636365,0	63,9
1350	19	0,4	479	13663629000,0	215875741,0	63,3
1340	19	0,4	479	13562393040,0	214970116,0	63,1
1330	19	0,4	479	13461157080,0	214064491,0	62,9
1320	19	0,4	479	13359921120,0	213158866,0	62,7
1310	19	0,4	479	13258685160,0	212253241,0	62,5
1300	19	0,4	479	13157449200,0	211347616,0	62,3
1290	19	0,4	479	13056213240,0	210441991,0	62,0
1280	19	0,4	479	12954977280,0	209536366,0	61,8
1350	20	0,4	480	13663629000,0	220242148,3	62,0
1340	20	0,4	480	13562393040,0	219314179,5	61,8
1330	20	0,4	480	13461157080,0	218366210,8	61,6
1320	20	0,4	480	13359921120,0	217428242,0	61,4
1310	20	0,4	480	13258685160,0	216490273,3	61,2
1300	20	0,4	480	13157449200,0	215552304,5	61,0
1290	20	0,4	480	13056213240,0	214614335,8	60,8
1280	20	0,4	480	12954977280,0	213676367,0	60,6

I	Si	V	L			
1350	16	0,45	482,6	15371582625,0	185310900,9	83,0
1340	16	0,45	482,6	15257692170,0	184631682,1	82,6
1330	16	0,45	482,6	15143801715,0	183952463,4	82,3
1320	16	0,45	482,6	15029911260,0	183273244,6	82,0
1310	16	0,45	482,6	14916020805,0	182594025,9	81,7
1300	16	0,45	482,6	14802130350,0	181914807,1	81,4
1290	16	0,45	482,6	14688239895,0	181235588,4	81,0
1280	16	0,45	482,6	14574349440,0	180556369,6	80,7
1350	17	0,45	477	15371582625,0	198410114,0	77,5
1340	17	0,45	477	15257692170,0	197633864,0	77,2
1330	17	0,45	477	15143801715,0	196857614,0	76,9
1320	17	0,45	477	15029911260,0	196081364,0	76,7
1310	17	0,45	477	14916020805,0	195305114,0	76,4
1300	17	0,45	477	14802130350,0	194528864,0	76,1
1290	17	0,45	477	14688239895,0	193752614,0	75,8
1280	17	0,45	477	14574349440,0	192976364,0	75,5
1350	18	0,45	478	15371582625,0	208598396,3	73,7
1340	18	0,45	478	15257692170,0	207746677,5	73,4
1330	18	0,45	478	15143801715,0	206894958,8	73,2
1320	18	0,45	478	15029911260,0	206043240,0	72,9
1310	18	0,45	478	14916020805,0	205191521,3	72,7
1300	18	0,45	478	14802130350,0	204339802,5	72,4
1290	18	0,45	478	14688239895,0	203288083,8	72,2
1280	18	0,45	478	14574349440,0	202636365,0	71,9
1350	19	0,45	479	15371582625,0	215875741,0	71,2
1340	19	0,45	479	15257692170,0	214970116,0	71,0
1330	19	0,45	479	15143801715,0	214064491,0	70,7
1320	19	0,45	479	15029911260,0	213158866,0	70,5
1310	19	0,45	479	14916020805,0	212253241,0	70,3
1300	19	0,45	479	14802130350,0	211347616,0	70,0
1290	19	0,45	479	14688239895,0	210441991,0	69,8
1280	19	0,45	479	14574349440,0	209536366,0	69,6
1350	20	0,45	480	15371582625,0	220242148,3	69,8
1340	20	0,45	480	15257692170,0	219314179,5	69,6
1330	20	0,45	480	15143801715,0	218366210,8	69,4
1320	20	0,45	480	15029911260,0	217428242,0	69,1
1310	20	0,45	480	14916020805,0	216490273,3	68,9
1300	20	0,45	480	14802130350,0	215552304,5	68,7
1290	20	0,45	480	14688239895,0	214614335,8	68,4
1280	20	0,45	480	14574349440,0	213676367,0	68,2

T	Si	V	L			
1350	16	0,5	482,6	17079536250,0	185310900,9	92,2
1340	16	0,5	482,6	16952991300,0	184631682,1	91,8
1330	16	0,5	482,6	16826446350,0	183952463,4	91,5
1320	16	0,5	482,6	16699901400,0	183273244,6	91,1
1310	16	0,5	482,6	16573356450,0	182594025,9	90,8
1300	16	0,5	482,6	16446811500,0	181914807,1	90,4
1290	16	0,5	482,6	16320266550,0	181235588,4	90,1
1280	16	0,5	482,6	16193721600,0	180556369,6	89,7
1350	17	0,5	477	17079536250,0	198410114,0	86,1
1340	17	0,5	477	16952991300,0	197633864,0	85,8
1330	17	0,5	477	16826446350,0	196857614,0	85,5
1320	17	0,5	477	16699901400,0	196081364,0	85,2
1310	17	0,5	477	16573356450,0	195305114,0	84,9
1300	17	0,5	477	16446811500,0	194528864,0	84,5
1290	17	0,5	477	16320266550,0	193752614,0	84,2
1280	17	0,5	477	16193721600,0	192976364,0	83,9
1350	18	0,5	478	17079536250,0	208598396,3	81,9
1340	18	0,5	478	16952991300,0	207746677,5	81,6
1330	18	0,5	478	16826446350,0	206894958,8	81,3
1320	18	0,5	478	16699901400,0	206043240,0	81,1
1310	18	0,5	478	16573356450,0	205191521,3	80,8
1300	18	0,5	478	16446811500,0	204339802,5	80,5
1290	18	0,5	478	16320266550,0	203288083,8	80,2
1280	18	0,5	478	16193721600,0	202636365,0	79,9
1350	19	0,5	479	17079536250,0	215875741,0	79,1
1340	19	0,5	479	16952991300,0	214970116,0	78,9
1330	19	0,5	479	16826446350,0	214064491,0	78,6
1320	19	0,5	479	16699901400,0	213158866,0	78,3
1310	19	0,5	479	16573356450,0	212253241,0	78,1
1300	19	0,5	479	16446811500,0	211347616,0	77,8
1290	19	0,5	479	16320266550,0	210441991,0	77,6
1280	19	0,5	479	16193721600,0	209536366,0	77,3
1350	20	0,5	480	17079536250,0	220242148,3	77,5
1340	20	0,5	480	16952991300,0	219314179,5	77,3
1330	20	0,5	480	16826446350,0	218366210,8	77,1
1320	20	0,5	480	16699901400,0	217428242,0	76,8
1310	20	0,5	480	16573356450,0	216490273,3	76,6
1300	20	0,5	480	16446811500,0	215552304,5	76,3
1290	20	0,5	480	16320266550,0	214614335,8	76,0
1280	20	0,5	480	16193721600,0	213676367,0	75,8

საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი «საქპატენტი»



ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო  
ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი «საქპატენტი»

# პ ა ტ ე ნ ტ ი

U 1082

სასარგებლო მოდელი:

უნივერსალური ფრთებიანი მკვებავი

პატენტდამფლობელი:

დარუჯან რობაქიძე, გიგო ჯანდიერი,  
ნინო პატარაია

ავტორი:

დარუჯან რობაქიძე, გიგო ჯანდიერი,  
ნინო პატარაია

ქალაქი:

2003 05 21 - დან



*ლ. ჯანდიერი*

ლევით ბაბუნია  
გენერალური დირექტორი

თბილისი

Мы должны решать задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right), \\ u|_{t=0} = u_0, \quad 0 \leq r \leq R, \\ u|_{r=R} = f_i(t) \end{cases} \quad (1)$$

Сделаем подстановку

$$u(t, r) = \frac{r}{R} f_i(t) + v(r, t) \quad (2), \text{ где } v(r, t) - \text{ новая неизвестная функция.}$$

Имеем

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{r}{R} f_i'(t) + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{R} f_i(t) + \frac{\partial v}{\partial r} \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} \quad (5)$$

Подставляя (2), (3), (4) и (5) в (1)-ом уравнение получим

$$\begin{aligned} \frac{r}{R} f_i'(t) + \frac{\partial v}{\partial t} &= a^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{rR} f_i(t) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) \Rightarrow \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= a^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{rR} f_i(t) - \frac{r}{R} f_i'(t) \quad (6) \end{aligned}$$

$$u|_{t=0} = \frac{r}{R} f_i(0) + v|_{t=0} \Rightarrow$$

$$v|_{t=0} = u_0 - \frac{r}{R} f_i(0) \quad (7)$$

При  $r = R$  получим

$$u|_{r=R} = f_i(t) + v|_{r=R}$$

Откуда имеем

$$v|_{r=R} = 0 \quad (8)$$

Наше уравнение после этой подстановки переходит в уравнение

$$\frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) + F_i(t, r) \quad (9)$$

Где

$$F_i(t, r) = \frac{1}{rR} f_i(t) - \frac{r}{R} f_i'(t) \quad (10)$$

$$v|_{r=R} = 0 \quad (11)$$

$$v|_{t=0} = g_i(r) \quad (12)$$

Где

$$g_i(r) = u_0 - \frac{r}{R} f_i(0) \quad (13)$$

Сперва решим задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) \\ v|_{r=R} = 0 \\ v|_{t=0} = \varphi(r) \end{cases} \quad (14)$$

Здесь  $\varphi(r)$  заданная функция.

Решение будем искать в виде

$$v(t, r) = T(t)\phi(r) \quad (15)$$

В этой формуле  $T$  функция только переменной  $t$ , а  $\phi$  функция только переменной  $r$ .

Подставим (15) в (14) и разделим обе части на  $T(t)\phi(r)$

Получим

$$\frac{T'}{a^2 T} = \frac{\phi'' + \frac{1}{r} \phi'}{\phi} = \lambda^2 \quad (15^*) \Rightarrow$$

$$\phi'' + \frac{1}{r} \phi' + \lambda^2 \phi = 0 \quad (16)$$

Уравнение (16) является уравнением Бесселя и как известно его решение имеет форму

$$\phi(r) = J_0(\lambda r) \quad (17)$$

Где  $J_0$  - является функцией Бесселя нулевого порядка.

Вводя (15) в граничное условие (14) получим

$$\phi(0)T(t) = 0$$

И так как мы ищем нетривиальное решение, то для функции  $\phi$  получим следующее условие  $\phi(0) = 0$  т.е.

$$J_0(\lambda r) = 0 \quad (18)$$

Отсюда получим

$$\lambda_k = \frac{\mu_k}{R}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Где  $\mu_k, k = 1, 2, 3, \dots$  являются нулями функции Бесселя нулевого порядка.

Для функции  $T$  получим уравнение

$$T' - a^2 \lambda_k^2 T = 0 \Rightarrow T_k(t) = C_k e^{-a^2 \lambda_k^2 t}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

Окончательно частное решение задачи (14) удовлетворяющее граничному условию является функция

$$v_k(t, r) = C_k e^{-a^2 \lambda_k^2 t} J_0\left(\mu_k \frac{r}{R}\right), \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

В силу линейности задачи (14) решением будет также следующая сумма

$$v(t, r) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k e^{-a^2 \lambda_k^2 t} J_0\left(\mu_k \frac{r}{R}\right) \quad (19)$$

Для удовлетворения начального условия подставим (19) в начальное условие задачи (14), получим

$$v(0, r) = \varphi(r) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k J_0(\mu_k \frac{r}{R}) \quad (20)$$

Обозначим  $\frac{r}{R} = x$ , ясно, что  $0 \leq x \leq 1$ .

Из (20) в силу ортогональных свойств функций Бесселя получим следующие равенства

$$c_k = \frac{1}{[J_0'(\mu_k)]^2} \int_0^1 x J_0(\mu_k x) \varphi(Rx) dx, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (21)$$

Рассмотрим сейчас неоднородную задачу (9)+(11)+(12)

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) + F_i(t, r) \\ v|_{r=R} = 0 \\ v|_{t=0} = g_i(r) \end{cases} \quad (22)$$

Где  $F_i(t, r)$  и  $g_i(r)$  даны формулами (10) и (13)ю

Решение задачи (22) будем искать в виде

$$v(t, r) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) J_0' \left( \mu_n \frac{r}{R} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) J_0'(\mu_n x) \quad (23)$$

Разложим функцию  $F_i(t, r)$  по системе функций Бесселя

$$F_i(t, r) = \sum_{n=1}^{\infty} F_i^{(n)}(t) J_0(\mu_n x) \quad (24)$$

Где

$$F_i^{(n)}(t) = \frac{1}{[J_0'(\mu_n)]^2} \int_0^1 x J_0(\mu_n x) F_i(t, Rx) dx$$

Аналогично пусть

$$g_i(Rx) = \sum_{n=1}^{\infty} g_i^{(n)} J_0(\mu_n x)$$

$$g_i^{(n)} = \frac{1}{[J_0'(\mu_n)]^2} \int_0^1 x J_0(\mu_n x) g_i(Rx) dx \quad (25)$$

Подставляя (24) и (25) в (22) и учитывая тот факт, что функция  $J_0(\mu_n x)$  является решением следующего уравнения Бесселя

$$J_0''(\mu_n \frac{r}{R}) + \frac{1}{r} J_0'(\mu_n \frac{r}{R}) + \frac{\mu_n^2}{R^2} J_0(\mu_n \frac{r}{R}) = 0$$

Получим

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} T_n'(t) J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) &= \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \left(-\frac{\mu_n^2}{R^2}\right) J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} F_i^n(t) J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right) \Rightarrow \\ \sum_{n=1}^{\infty} \left(T_n'(t) + \frac{a^2 \mu_n^2}{R^2} T_n(t) - F_i^n(t)\right) J_0(\mu_n x) &= 0 \Rightarrow \\ T_n'(t) + \frac{a^2 \mu_n^2}{R^2} T_n(t) &= F_i^n(t) \quad (26) \end{aligned}$$

С другой стороны мы хотим удовлетворить начальные условия задачи (22), для этого в (23) допустим  $t = 0$  получим

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} T_n(0) J_0(\mu_n x) &= \sum_{n=1}^{\infty} g_i^n J_0(\mu_n x) \Rightarrow \\ T_n(0) &= g_i^n \quad (27) \end{aligned}$$

Итак мы должны решать задачу (26)+(27) и полученный результат подставить в (23). Из (2) – го получим решение исходной задачи

$$u(t, r) = \frac{r}{R} f_i(t) + v(t, r)$$