

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თ ი ნ ა თ ი ნ რ ი გ ი შ ვ ი ლ ი

წარმოების ნარჩენი აირების გოგირდის დიოქსიდისგან გაწმენდა მანგანუმის
ინფილტრაციული მადნებით

05.17.01_არაორგანულ ნივთიერებათა ტექნოლოგია

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2006

ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: ტ.მ.დ., პროფესორი ლერი გვასალია

ტ.მ.დ., პროფესორი მარლენ მჭედლიშვილი

ოფიციალური ოპონენტები: ქ.მ.დ., პროფესორი შოთა სიდამონიძე

ტ.მ.კ. ვიტალი ბახტაძე

დისერტაციის დაცვა შედგება 2006 წლის _____ საათზე ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ქიმიის დარგის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე

Ch 02.23 №5. მისამართი: 380028, თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზ. №3. ქიმიის ფაკულტეტი, აუდიტორია №

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (მისამართი: 380043, თბილისი, უნივერსიტეტის ქ. №1) ბიბლიოთეკაში.

ავტორეფერატი დაიგზავნა 2006 წლის _____

სადისერტაციო საბჭოს სწავლული მდივანი,
ქიმიის მეცნიერებათა კანდიდატი, დოცენტი

ნ. ლორია

ნ ა შ რ ო მ ი ს ზ ო გ ა დ ი დ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ა

თ ე მ ი ს ა ქ ტ უ ა ლ ო ბ ა : სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო საქმიანობით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემა კაცობრიობისთვის ნომერ პირველ გლობალურ პრობლემად არის მიჩნეული. უახლოეს წარსულში გლობალური დათბობის შესახებ მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების მიერ გაკეთებულ პროგნოზებს აშკარად გაუსწრეს მოვლენებმა და უკვე დღეს, სახეზე გვაქვს გლობალური დათბობის პირველი ნიშნები. სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო საქმიანობით გარემოზე და მათ შორის ატმოსფერულ ჰაერზე მავნე ზემოქმედებამ მნიშვნელოვანი ასახვა პოვა როგორც დედამიწის მცენარეთა საფარის, ისე ადამიანთა ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე. მნიშვნელოვნად შეიცვალა კლიმატი, გახშირდა ახალ-ახალი დაავადებების გამოვლინება, მკურნალობის არსებულ მეთოდებს აღარ ემორჩილება ადრე კონტროლს დაქვემდებარებული ბევრი ცნობილი დაავადება, **სწრაფი ტემპით იზრდება სიმსივნის სხვადასხვა ფორმით დაავადებულ ადამიანთა რიცხვი.**

მომწამვლელი ნივთიერებებით ატმოსფეროს დამაბინძურებლებს შორის, თავისი მოცულობით, პირველი ადგილი უკავია გოგირდის დიოქსიდს. კარგად არის ცნობილი მისი მავნე ზემოქმედება დედამიწის ფლორასა და ფაუნაზე. ატმოსფეროში არნახული მასშტაბებით გატყორცნილი SO₂ მყავე წვიმების ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია, რომლებიც საფრთხეს უქმნიან არა მარტო ცოცხალ გარემოს, არამედ სამრეწველო და სამოქალაქო კონსტრუქციებს – იწვევენ მათ რღვევას და საექსპლოატაციო ვადების მნიშვნელოვნად შემცირებას. რომ არაფერი ვთქვათ გოგირდშემცველი წიაღისეულის არასრული ტექნოლოგიით გადამუშავებისას ატმოსფეროში გამავალი SO₂-ის რაოდენობაზე, მარტო თბოელექტროცენტრალების ნამწვ აირებთან ერთად ატმოსფეროში გატყორცნილი SO₂-ის წლიური რაოდენობა 260 მლნ ტონას აჭარბებს. ეს ციფრი ორჯერ და მეტად აღემატება მსოფლიო მასშტაბით წარმოებულ გოგირდმჟავაზე დახარჯული SO₂-ის მოცულობას. იმის გამო, რომ დღემდე ვერ მოიძებნა ისეთი ალტერნატიული ნედლეული, რომელიც არსებითად შეამცირებდა მყარი, თხევადი თუ აირადი ნახშირბადოვანი სათბობის ენერჯის წყაროდ გამოყენებას და რომელიც ყოველთვის შეიცავს გოგირდნაერთებს, დღის წესრიგიდან არ მოხსნილა SO₂-ით ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების პრობლემა.

წარმოების ნარჩენი და ნამწვი აირების SO₂-გან გაწმენდის მეთოდების უმრავლესობა ვერ უზრუნველყოფს აირის SO₂-გან ფაქიზ გაწმენდას; რიგ შემთხვევებში გამოიყენება გამწმენდი რეაგენტები, რომლებიც თვითონ არიან გარემოს მიმართ საფრთხის მატარებლები. ბევრი მათგანის სრული რეგენერაცია ან, გაწმენდის შედეგად მასში აკუმულირებული გოგირდის უტილიზაცია შეუძლებელია, რაც დამატებით საფრთხეს უქმნის დედამიწაზე სასიცოცხლო გარემოს შენარჩუნებას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე მიზანშეწონილია შეირჩეს აირების SO₂-გან გაწმენდის ისეთი მეთოდები და გამწმენდი მასები, რომლებიც უზრუნველყოფენ აირების ფაქიზ გაწმენდას ერთის მხრივ და უნარჩენო ტექნოლოგიით აირში არსებული გოგირდის დიოქსიდის სასარგებლო კომპონენტად გარდაქმნას მეორე მხრივ. ამასთან მიზანშეწონილია გამწმენდ მასად ადვილად ხელმისაწვდომი და იაფი რეაგენტების გამოყენება.

ს ა მ უ შ ა ო ს მ ი ზ ა ნ ი : ამ პრობლემის გადასაჭრელად მიზნად დავისახეთ შეგვესწავლა ჭიათურის საბადოს მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების SO₂-გან ფაქიზი გაწმენდის პროცესი, დაგვედგინა გაწმენდისას, მანგანუმის სულფატის მონოჰიდრატის ფორმით, წყალში ხსნად ფორმაში გადასული მანგანუმის ამოწვლილვის შესაძლებლობა. დასახული მიზნის მისაღწევად საჭირო გახდა რიგი კომპლექსური საკითხების გადაწყვეტა: ჭიათურის საბადოს მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის ქიმიური და ნაწილობრივ ფაზური შედგენილობის გამოკვლევა, მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გაწმენდის ხარისხზე მოქმედი ფაქტორების გამოვლენა, გაწმენდის მაღალ ხარისხთან ერთად მანგანუმის მაღალი ხარისხით ამოღების პროცესზე მოქმედი ფაქტორების დადგენა.

კ ვ ლ ე ვ ი ს მ ე თ ო დ ე ბ ი : სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შესრულებისას გამოყენებულია კვლევის შემდეგი მეთოდები და აპარატურა:

- დერივატოგრაფია უნგრული წარმოების Q – 1500 Q დერივატოგრაფზე;
- ფოტოკოლორიმეტრია KΦK – 2 ტიპის კოლორიმეტრზე;
- ქიმიური ანალიზის მოცულობითი და წონითი მეთოდები;
- მზა პროდუქტის შედგენილობის სახელმწიფო სტანდარტით გათვალისწინებული განსაზღვრის მეთოდები;
- ატომ-აბსორბციული განსაზღვრა (AS-3Karl Zeiss Jena).

მეცნიერული სიახლე:

– პირველად შესწავლილია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების SO₂-გან ფაქიზი გაწმენდის პროცესი;

– დადგენილია აირების SO₂-გან გაწმენდის ხარისხზე მოქმედი ფაქტორები;

– შესწავლილია აირებიდან ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით გოგირდის დიოქსიდის აბსორბციის პროცესის კინეტიკა;

– დადგენილია, რომ მანგანუმის მადნებით აირების SO₂-გან გაწმენდის დროს შესაძლებელია ერთდროულად მანგანუმის სულფატის მონოჰიდრატის მიღება.

ნ ა შ რ ო მ ი ს პ რ ა ქ ტ ი კ უ ლ ი ღ ი რ ე ბ უ ლ ე ბ ა : მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის გამოყენებით შესაძლებელი გახდება წარმოების ნარჩენი და ნამწვი აირების ფაქიზი გაწმენდა გოგირდის დიოქსიდისგან. გაწმენდასთან ერთად შესაძლებელი გახდება აირებში არსებული გოგირდის დიოქსიდის უტილიზაცია და მისგან, მსოფლიო ბაზარზე მნიშვნელოვანი მოთხოვნილების მქონე პროდუქტის – მანგანუმის სულფატის მონოჰიდრატის მიღება. აირების გაწმენდის შემოთავაზებული ტექნოლოგია საინტერესოა იმიტაც, რომ გამწმენდი მასა არ მოითხოვს წინასწარ, მექანიკურ თუ ქიმიურ გამდიდრებას.

ნ ა შ რ ო მ ი ს ა პ რ ო ბ ა ც ი ა : დისერტაციაში მოტანილი ძირითადი შედეგები მოხსენებული და განხილულია:

– მეხუთე რესპუბლიკურ კონფერენციაზე ქიმიაში (ქ. თბილისი, 2004).

– თეორიულად ორიენტირებულ ქიმიკოსთა II რესპუბლიკურ სამეცნიერო სემინარზე (ქ. თბილისი, 2005).

პ უ ბ ლ ი კ ა ც ი ე ბ ი : დისერტაციის ძირითადი მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 3 სამეცნიერო შრომა და 2 სამეცნიერო კონფერენციის თეზისი.

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ი ს ს ტ რ უ ქ ტ უ რ ა და მ ო ც უ ლ ო ბ ა : სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნებისა და ციტირებული ლიტერატურის სიისგან, რომელიც შეიცავს 122 დასახელებას. სამუშაო წარმოდგენილია 118 ნაბეჭდ გვერდზე; მოიცავს 9 ნახაზს, 14 ცხრილს.

სამუშაოს შინაარსი

შესავალი

შესავალში ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო თემის აქტუალობა, კვლევის ობიექტების შერჩევის პრინციპი. ფორმულირებულია სამუშაოს მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული მიზანშეწონილობა. მოკლედ დახასიათებულია სამუშაოს მიზანი და მისი რეალიზაციით მოსალოდნელი შედეგები.

თავი I.

ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურული მასალის საფუძველზე აღწერილია სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო საქმიანობის შედეგად ატმოსფერული ჰაერის გაჭუჭყიანებით გამოწვეული გლობალური ზემოქმედება გარემოზე, გოგირდის დიოქსიდის როლი გლობალურ ეკოლოგიურ პროცესებში. მოტანილია გოგირდის დიოქსიდით ატმოსფეროს დაბინძურების წყაროების ამსახველი მასალები, განხილულია წარმოების ნარჩენი და ნამწვი აირების სანიტარული გაწმენდის არსებული – სველი და მშრალი მეთოდები. ლიტერატურული მასალის კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია წარმოების ნარჩენი და ნამწვი აირების გოგირდის დიოქსიდისგან ფაქიზი და ეფექტური გამწმენდი მასების ძიების აუცილებლობა. ასევე ნაჩვენებია, რომ გაწმენდის სველი მეთოდის შერჩევისას მიზანშეწონილია გამწმენდ მასად ისეთი რეაგენტის გამოყენება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გამწმენდი მასით აკუმულირებული გოგირდის დიოქსიდის სასარგებლო პროდუქტის სახით უტილიზაციას.

თავი II.

კვლევის მეთოდიკა და ობიექტები

წარმოდგენილია თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისას გამოყენებული მეთოდები და კვლევის ობიექტების დახასიათება. კვლევის ობიექტებად ჩვენს მიერ აღებულია ხელოვნურად მომზადებული გოგირდის დიოქსიდის შემცველი აირი. ცნობილია, რომ ატმოსფეროში გამავალ ნამწვ აირებში გოგირდის დიოქსიდის შემცველობა მეტწილად 0.5%-ს არ აჭარბებს. წარმოების ნარჩენ აირებში, განსაკუთრებით მცირე სიმძლავრის საწარმოებში ეს სიდიდე ხშირად 0.7-0.8%-ს აღემატება. აღნიშნულის გათვალისწინებით ექსპერიმენტული კვლევების ძირითადი ნაწილი შესრულდა აირზე, რომელშიც გოგირდის დიოქსიდის შემცველობა 0.3-0.5%-ის ფარგლებში იცვლებოდა. მოკლედ არის დახასიათებული ჭიათურის საბადოს მანგანუმის ინფილტრაციული მადანი. მოცემულია მისი ქიმიური შედგენილობა. გაშუქებულია კვლევის მეთოდები. საწყის და ნამუშევარ აირში გოგირდის დიოქსიდის შემცველობის განსაზღვრისთვის შერჩეულია კლასიკური – იოდომეტრული მეთოდი, ხოლო გაწმენდის პროცესში ხსნად ფორმაში გადასული მანგანუმის განსაზღვრისთვის ფოტოკოლორიმეტრული მეთოდი. მანგანუმის ინფილტრაციულ მადანში და ნამუშევარ სუსპენზიაში შემავალი

კომპონენტების განსაზღვრისთვის – კარგად აპრობირებული კლასიკური მეთოდები. მიღებული მანგანუმის სულფატის ხარისხის დადგენისთვის გამოვიყენეთ სახელმწიფო სტანდარტით გათვალისწინებული მეთოდები.

თავი 3. ექსპერიმენტული ნაწილი

მოყვანილია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გოგირდის დიოქსიდისგან ფაქიზი გაწმენდის პროცესის კვლევის ამსახველი მასალები, ნამუშევარი სუსპენზიიდან მიღებული სულფატური ხსნარების შედგენილობის და ხსნარის აორთქლება-კრისტალიზაციით მიღებული მანგანუმის სულფატის სტანდარტთან შესაბამისობის გამოკვლევის შედეგები.

ჩვენს მიერ საკვლევ ნიმუშად აღებული მანგანუმის ინფილტრაციული მადანი რთული შედგენილობისაა (ცხრ.1). ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მანგანუმი ოქსიდურ ფორმაშია და წარმოდგენილია მისთვის დამახასიათებელი ცვლადი ვალენტობით. ორზე უფრო მაღალი დაჟანგულობის ხარისხის მქონე მანგანუმის ყველა ფორმა განსაზღვრულია როგორც მანგანუმის აქტიური ფორმა და მიკუთვნებულია MnO_2 -ს.

გაწმენდის პროცესი ძირითადად ხორციელდება შემდეგი ჯამური რეაქციით:



პროცესის მექანიზმი გაცილებით რთულია და ხასიათდება რიგი ფიზიკური და ქიმიური გარდაქმნებით.

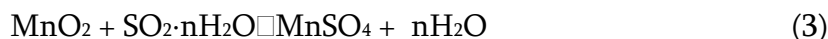
(1) რეაქცია ფორმალურად შეიძლება მივაკუთვნოთ სისტემას: მყარი-აირი, მაგრამ რეალურად პროცესი გაცილებით რთულად მიმდინარეობს. მანგანუმის ინფილტრაციული მადანი ჰიდროფილური მინერალია და აირების გოგირდის დიოქსიდისგან გაწმენდის პროცესში მორეაგირე ნივთიერებების ფაზათა გამყოფ ზედაპირად გვევლინება არა სისტემა მყარი-აირი, არამედ მყარი-თხევადი. იმის გათვალისწინებით, რომ გოგირდის დიოქსიდი წყალში კარგი ხსნადობით ხასიათდება, მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით SO_2 -ის აბსორბციის პროცესი შეიძლება დავყოთ შემდეგ სტადიებად:

1. SO_2 -ის აბსორბცია წყლით;
2. წყალში გახსნილი SO_2 -ის დიფუზია ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე;
3. SO_2 -ის და MnO_2 -ის ქიმიური ურთიერთქმედების პროცესი $MnSO_4$ -ის წარმოქმნით.
4. რეაქციის პროდუქტის ($MnSO_4$) მოწყვეტა მყარი ფაზის ზედაპირიდან და მისი გადასვლა ხსნარის მოცულობაში.

SO_2 -ის აბსორბციის პროცესის ჯამური სიჩქარის მალიმიტირებელ სტადიად ითვლება ყველაზე დაბალი სიჩქარით მიმდინარე პროცესი.

პროცესის პირველ სტადიას ვერ მივაკუთვნებთ წმინდა ფიზიკურ პროცესს. ცნობილია, რომ წყალში გახსნილი SO_2 ერთდროულად არსებობს როგორც გოგირდოვანწყავის H_2SO_3 -ის, ისე $SO_2 \cdot nH_2O$ -ს ფორმაში; ამ უკანასკნელში n იცვლება 2-დან 4-მდე. როგორც ერთ, ისე მეორე ფორმაში არსებული ნაერთები თხევად ფაზაში იმყოფება. მეორე და მეოთხე სტადიები დიფუზური პროცესებია და ემორჩილება დიფუზიის კანონებს. მესამე სტადია ქიმიური პროცესია.

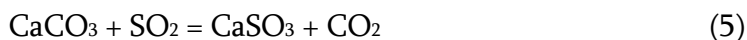
ამრიგად SO_2 -ის და MnO_2 -ის ქიმიური ურთიერთქმედების პროცესი უფრო მიზანშეწონილია გამოისახოს რეაქციებით:



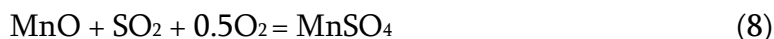
აწ



მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის ქიმიური შედგენილობის გათვალისწინებით არ გამოვრიცხავთ რეაქციებს:



სავარაუდოა აგრეთვე, რომ გოგირდის დიოქსიდის კატალიზური დაჟანგვის შედეგად ადგილი აქვს რეაქციას



შევისწავლეთ მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით SO_2 -ის აბსორბციის პროცესი $25-45^\circ\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში აირის სხვადასხვა მოცულობითი სიჩქარეებისას. შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე.

შედეგები უჩვენებენ, რომ აბსორბციის ხარისხი უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია აირის მოცულობით სიჩქარესთან. პირველი ნახაზიდან ირკვევა აგრეთვე, რომ პროცესის ტემპერატურის ცვლილებით აბსორბციის ხარისხის ცვლილების ხასიათი, აირის სხვადასხვა მოცულობით სიჩქარეზე, ერთმანეთისგან მკვეთრად განსხვავდება. ასე მაგალითად, $80 \cdot 10^3$ და $90 \cdot 10^3$ სთ⁻¹ მოცულობით სიჩქარეებზე SO_2 -ის აბსორბციის ხარისხი წრფივ დამოკიდებულებაშია ტემპერატურასთან. შედარებით დაბალ სიჩქარეებზე ტემპერატურის გაზრდით აბსორბციის ხარისხი სწრაფად მცირდება, შემდეგ კი უმნიშვნელოდ იცვლება. ვვარაუდობთ, რომ აბსორბციის ხარისხის ცვლილების ასეთი ხასიათი განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით:

შედარებით დაბალ მოცულობით სიჩქარეებზე და დაბალ ტემპერატურაზე გოგირდის დიოქსიდის აბსორბციის ხარისხი მაღალია. აბსორბციის ხარისხის მაღალი მნიშვნელობა მიიღწევა ერთი მხრივ სითხეში აირის დაბალი ფიქტიური სიჩქარით, რითაც გაზრდილია აირის სითხესთან შეხების ფიქტიური დრო და დაბალი ტემპერატურით მეორე მხრივ. ტემპერატურის გაზრდა ორ ურთიერთსაწინააღმდეგო გავლენას ახდენს SO_2 -ის აბსორბციის ხარისხზე. კერძოდ, ტემპერატურის გაზრდით სწრაფად მცირდება SO_2 -ის წონასწორული კონცენტრაცია სითხეში, რაც უარყოფითად აისახება აბსორბციის ხარისხზე, მეორე მხრივ იზრდება MnO_2 -ის SO_2 -თან ქიმიური ურთიერთქმედების სიჩქარე, რაც დადებითად მოქმედებს აბსორბციის ხარისხის მნიშვნელობაზე. ვფიქრობთ, რომ დაბალ ტემპერატურებზე SO_2 -ის დიფუზიის სიჩქარე მნიშვნელოვნად ჭარბობს ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს, რის გამოც მცირდება SO_2 -ის კონცენტრაციის გრადიენტი ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე: სითხე-

მყარი. უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ($35-45^\circ\text{C}$) SO_2 -ის გახსნის სიჩქარე უტოლდება ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს, რის გამოც SO_2 -ის აბსორბციის სიჩქარე პრაქტიკულად უცვლელი რჩება. მაღალ მოცულობით სიჩქარეებზე აირის სუსპენზიასთან კონტაქტის

დრო შემცირებულია. ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე აირი-სითხე შენარჩუნებულია კონცენტრაციის გრადიენტის მაღალი მნიშვნელობა, რაც ასახვას ჰპოვებს აბსორბციის ხარისხის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდზე.

გამოთვლილია აბსორბციის ფარდობითი სიჩქარის მნიშვნელობები პროცესის დაწყებიდან 3 წთ-ის შემდეგ სხვადასხვა ტემპერატურაზე აირის სხვადასხვა მოცულობითი სიჩქარეებისას. სიჩქარის გამოთვლა წარმოებდა ფორმულით:

$$V = \frac{V_a \cdot \eta \cdot 1000 \cdot 64 \cdot C_{SO_2}}{100 \cdot V_s \cdot 22.4 \cdot 100} \text{ გ/ლწთ}$$

სადაც, V_a - აირის აირის სიჩქარე, ლ/სთ (ნ.პ.);

η -აბსორბციის ხარისხი, %;

V_s -სუსპენზიის მოცულობა, ლ;

C_{SO_2} -გოგირდის დიოქსიდის კონცენტრაცია საწყის ნარევაში (% , მოც.).

შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 2-ზე.

მრუდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის გაზრდით აბსორბციის ფარდობითი სიჩქარე მნიშვნელოვნად მცირდება. შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ მანგანუმის ინფილტრაციული მადნით აირებიდან აბსორბციის პროცესის დაწყებიდან პირველ წუთებზე მალიმიტირებელ ფაქტორად გვევლინება არა MnO_2 -ის და SO_2 -ის ურთიერთქმედების სიჩქარე, არამედ სითხით SO_2 -ის ფიზიკური აბსორბციის სიჩქარე.

აირის SO_2 -გან გაწმენდის პროცესის ლაბორატორიულ პირობებში შესწავლა წარმოებდა ნახევრად გამჭოლ ლაბორატორიულ დანადგარზე _ სისტემაში მიწოდებული აირის შედგენილობა იყო უცვლელი, ხოლო სუსპენზიის შედგენილობა იცვლებოდა პროცესის განხორციელების მთელი დროის მანძილზე. ამან საშუალება მოგვცა ერთდროულად შეგვესწავლა აბსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე ერთი მხრივ და სუსპენზიის შედგენილობაზე მეორე მხრივ.

შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში და ნახ. 3-ზე.

კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ტემპერატურის და პროცესის ხანგრძლივობის გაზრდით SO_2 -ის აბსორბციის ხარისხი მცირდება.

ჩავთვალეთ, რომ აბსორბციის ხარისხის შემცირება და შესაბამისად, რეაქტორიდან გამავალ აირში ნარჩენი გოგირდის დიოქსიდის კონცენტრაციის პროგრესული ზრდა განპირობებული უნდა ყოფილიყო სუსპენზიაში არსებული აქტიური მანგანუმის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი შემცირებით. მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, რომ გაწმენდის მაღალი ხარისხის შენარჩუნებასთან ერთად მანგანუმის მაქსიმალურად ხსნად ფორმაში გადასვლის უზრუნველსაყოფად გაწმენდის პროცესი უნდა განხორციელდეს ორ სტადიად.

აირის გოგირდის დიოქსიდისგან მანგანუმის ინფილტრაციული მადნით გაწმენდის პროცესის ოპტიმალური პირობების დადგენისთვის გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის დაგეგმვის მათემატიკური მეთოდი. კომპლექსურად შევისწავლეთ გაწმენდის პროცესზე მოქმედი ფაქტორები: SO_2 -ის კონცენტრაცია, პროცესის ტემპერატურა და მოცულობითი სიჩქარე. ძირითად დონედ აღებული იქნა პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები: აირნარევაში SO_2 -ის კონცენტრაცია – 0.5%; ტემპერატურა – 30°C; აირნარევის მოცულობითი სიჩქარე – 14000სთ⁻¹.

გაწმენდის პროცესის აღწერისთვის ვისარგებლეთ 2^ა ტიპის სრული ფაქტორული ექსპერიმენტით, რომლის დაგეგმვის პირობები და მატრიცა მოცემულია მე-3 და მე-4 ცხრილებში.

ნატურალური ცვლადებიდან კოდირებულ ცვლადებზე გადასვლა ხორციელდებოდა შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$X' = \frac{Z_{\max} - Z}{\Delta Z}; \quad X'' = \frac{Z_{\min} - Z}{\Delta Z};$$

სადაც, Z_{\max} – არის ფაქტორის მაქსიმალური მნიშვნელობა;

Z_{\min} – ფაქტორის მინიმალური მნიშვნელობა;

Z – ძირითადი დონე;

ΔZ – ვარირების ინტერვალი.

ცდის შედეგები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

სადაც, Y, Y_1, Y_2 – არის პარალელურ ცდებში აირნარევის გაწმენდის ხარისხის მნიშვნელობები.

\bar{Y} - აირნარევის გაწმენდის ხარისხის საშუალო მნიშვნელობა.

2^ა ტიპის სრული ფაქტორული ექსპერიმენტის მონაცემთა ბაზაზე განისაზღვრა წრფივი რეგრესიული განტოლების კოეფიციენტები კოდირებულ ცვლადებში; მიღებულ იქნა განტოლება:

$$Y = 83.81781 - 1.12969X_1 - 2.29156X_2 - 9.38944X_3 + 0.19843X_1X_2 - 0.16944X_1X_3 - 0.3643X_2X_3 - 0.18181 X_1X_2X_3 \quad (9)$$

რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტების შეფასება მოხდა სტიუენდის კრიტერიუმის მიხედვით, რის შემდეგაც განტოლებამ მიიღო ასეთი სახე:

$$Y = 83.81781 - 1.12969X_1 - 2.29156X_2 - 9.38944X_3 \quad (10)$$

მიღებული განტოლების ადეკვატურობა შემოწმდა ფიშერის ($F_8=0.32$) და კოხრენის ($G_8=0.216577$) კრიტერიუმებით. მათი გამოთვლილი მნიშვნელობები ნაკლები აღმოჩნდა 95%-იანი რწმუნების ალბათობის ცხრილურ მნიშვნელობებზე ($G_{0.05}=0.6798$, $F_{0.05}=11.3$), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მიღებული განტოლება ადეკვატურად აღწერს პროცესს.

სტიუენდის კრიტერიუმით რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტთა შეფასებამ ცხადყო, რომ სამივე ფაქტორის შემცირება დადებით ზემოქმედებას ახდენს აირნარევის SO_2 -გან მანგანუმის ინფილტრაციული მადნით გაწმენდის ხარისხზე.

აირნარევის SO_2 -გან გაწმენდის ხარისხის ამაღლების მიზნით გამოყენებულ იქნა სწრაფი დაღმასვლის მეთოდი SO_2 -ის კონცენტრაციის, ტემპერატურის და მოცულობითი სიჩქარის შემცირებით. შედეგები წარმოდგენილია მე-5 ცხრილში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს აირნარევის SO_2 -გან გაწმენდის მაქსიმალური ხარისხი – 99,7% მიღწეულია მე-12 ცდაზე, რომლის პარამეტრებია: SO_2 -ის კონცენტრაცია - 0,2%; ტემპერატურა - 15°C; აირნარევის მოცულობითი სიჩქარე - 11000სთ⁻¹, რის შემდეგაც ცდების ჩატარება შევწყვიტეთ.

ჩვენს მიერ შესწავლილია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით გოგირდის დიოქსიდის აბსორბციის პროცესის კინეტიკა. ექსპერიმენტის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე.

მიღებული კინეტიკური მრუდების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პროცესის მიმდინარეობის პირველ წუთებში მანგანუმის ამოღების ხარისხის ცვლილება წრფივ დამოკიდებულებაში იმყოფება დროსთან და შეიძლება გამოისახოს განტოლებით

$$\alpha = \kappa \cdot \tau$$

სადაც, α -არის მანგანუმის ამოწვლილვის ხარისხი, %;

τ -პროცესის ხანგრძლივობა, წთ;

κ - პროცესის პირობითი სიჩქარის მუდმივა, რომელიც წარმოადგენს მრუდების წრფივი ნაწილის დახრის კუთხის ტანგენს აბცისათა ღერძთან.

აბსორბციის პროცესის მალიმიტირებელი სტადიის დასაადგენად, ჩავატარეთ როგორც მათემატიკური, ისე ექსპერიმენტული კვლევები.

პროცესის კინეტიკის შესწავლისას დავუშვით, რომ მოცემულ პირობებში ხსნარი გაჯერებულია SO_2 -ით და ამდენად პირველი სტადია (SO_2 -ის აბსორბცია წყლით) გავლენას ვერ მოახდენს პროცესზე.

მათემატიკური გათვლებისთვის გამოვიყენეთ ურთიერთკონკურენტული მათემატიკური მოდელები. მალიმიტირებელი საფეხურის დადგენის მიზნით, H_2SO_3 -სა (თხევადი) და MnO_2 -ის (მყარი) ურთიერთქმედების ჰეტეროგენული პროცესის მათემატიკურ მოდელებად გამოვიყენეთ არაკატალიზური ჰეტეროგენული რეაქციების კინეტიკური განტოლებები:

$$\tau_i = \frac{X_B^0 R}{6M \cdot D \cdot X_A^0} \cdot \left\{ (M-1) \cdot [1 - 3(1-X_{Bi})^{3/2} + 2(1-X_{Bi})] + 6 \cdot \left[\frac{1-(1-X_{Bi})^{1/3}}{(1-X_{Bi})^{1/3}} + \ln(1-X_{Bi})^{1/3} \right] \right\} \quad (11)$$

$$\tau_i = \frac{X_B^0 R}{M \cdot K \cdot X_A^0} \cdot \left\{ (M-1) \cdot [1 - (1-X_{Bi})^{1/3}] + 0.5 \cdot \left[\frac{1}{(1-X_{Bi})^{2/3}} - 1 \right] \right\} \quad (12)$$

სადაც, X_A^0 და X_B^0 - SO_2 -ის და MnO_2 -ის საწყისი კონცენტრაციებია ხსნარში (მოლი/ლ) და მყარ მასაში (მოლი/დმ³);

K - პროცესის პირობითი სიჩქარის მუდმივა;

D - დიფუზიის კოეფიციენტი;

M - SO_2 -ის და MnO_2 -ის საწყისი მოლური ფარდობა;

X_{Bi} - MnO_2 -ის კონცენტრაცია τ_i დროში;

R - მარცვლის საშუალო რადიუსი, მ.

დიფუზიის კოეფიციენტის მნიშვნელობა გამოვითვალეთ უილკის და ჩენგის ცნობილი ფორმულით:

$$D_{AB} = 7.4 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(\Phi \cdot M_B)^{1/2} \cdot T}{\eta_B \cdot V_A^{0.6}}$$

სადაც, Φ - გამხსნელის ასოციაციის კოეფიციენტი; წყლისთვის ტოლია 2.6;

M_B - გამხსნელის (წყლის) მოლური მასა;

η_B - გამხსნელის სიბლანტე, სნპ;

V_A -გახსნილი ნივთიერების მოლური მოცულობა, ნორმალურ ტემპერატურაზე, დუდილის პირობებში;

T - პროცესის ტემპერატურა, K.

„ $X_B - \tau$ “ დამოკიდებულების ყოველ მრუდს ვამუშავებდით კონკურენტული მოდელებით (11) და (12), რომლებიც აღწერენ ჰეტეროგენული პროცესის სხვადასხვა მალიმიტირებელ საფეხურებს - (11) დიფუზიის პროცესს, (12) ქიმიურ რეაქციას მარცვლის ზედაპირზე. ამა თუ იმ მალიმიტირებელი საფეხურის არჩევის კრიტერიუმად

ვიღებდით სტანდარტულ გადახრებს ექსპერიმენტულ და მოდელებით გამოთვლილ მნიშვნელობებს შორის. (11) და (12) არაწრფივი განტოლებები ამოხსნილი იქნა იტერაციული მეთოდით კომპიუტერის საშუალებით, ამისთვის დამოკიდებულებები (11) და (12) წარმოვადგინეთ $X_B=F(\tau)$ სახით:

$$X_{Bi} = -\frac{X_B^0}{2} + \frac{3}{2} \cdot X_{Bi}^{2/3} \cdot X_B^{01/3} - 3 \frac{X_B^0}{M-1} \cdot \left[\left(\frac{X_B^0}{X_{Bi}} \right)^{1/3} - 1 + \ln \left(\frac{X_{Bi}}{X_B^0} \right)^{1/3} \right] + \frac{3M \cdot D \cdot X_A^0}{(M-1) \cdot R^2} \cdot \tau_i \quad (13)$$

$$X_{Bi} = \left[X_B^{01/3} + \frac{X_B^0 \cdot X_{Bi}^{-2/3} - X_B^{01/3}}{2(M-1)} - \frac{M \cdot K \cdot X_A^0 \cdot X_B^{01/3}}{(M-1) \cdot R} \cdot \tau_i \right] \quad (14)$$

ანგარიშის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 5-ზე.

(14) განტოლებით გამოთვლილი შედეგები საკმაოდ კარგად ემთხვევა ექსპერიმენტულ შედეგებს (განსაკუთრებით პირველი 40 წუთის განმავლობაში), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ პროცესი მიმდინარეობს კინეტიკურ უბანში და მალიმიტერებელ ფაქტორად გვევლინება ქიმიური რეაქცია. იგივეზე მიუთითებს პირობითი სიჩქარის მუდმივას ექსპერიმენტული გზით ნაპოვნი მნიშვნელობების დახმარებით გამოთვლილი აქტივაციის ენერჯის მნიშვნელობა, რომელიც ტოლი აღმოჩნდა 181.615 კჯოული/მოლის (იხ. ცხრ.6).

მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გოგირდის დიოქსიდისგან გაწმენდისას ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ეტაპია ნამუშევარი ხსნარის გადამუშავება სულფატის სახით მანგანუმის ამოწვლილვის მიზნით. ნამუშევარი სუსპენზიის გაფილტვრით მიღებული ხსნარების ქიმიური ანალიზის შედეგები და ხსნარის აორთქლება კრისტალიზაციით მიღებული პროდუქტის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილებში 17 და 18.

მიღებული შედეგები გვიჩვენებენ, რომ მანგანუმის სულფატთან ერთად ხსნარში მინარევების სახით გვაქვს მაგნიუმის და კალციუმის სულფატები. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ხსნარის მაღალი ხარისხით გაწმენდა კალციუმის და მაგნიუმის ნაერთებისგან არ არის საჭირო; ცნობილია, რომ ავტოკლავური მეთოდით კრისტალიზაციისას კალციუმის და მაგნიუმის სულფატების თანაარსებობა დადებით გავლენას ახდენს ხსნარიდან მანგანუმის სულფატის გამოკრისტალებაზე.

ნახ. 6-ზე წარმოდგენილია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გოგირდის დიოქსიდისგან გაწმენდის პროცესის პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა.

ს ა ე რ თ ო დ ა ს კ ვ ნ ე ბ ი

1. შესწავლილია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გოგირდის დიოქსიდისგან ფაქიზი გაწმენდის პროცესი.
2. დადგენილია, რომ პროცესის ტემპერატურის გაზრდით, ყველა დანარჩენ თანაბარ პირობებში, მნიშვნელოვნად მცირდება აბსორბციის ხარისხი.
3. ექსპერიმენტის მათემატიკური დაგეგმვის მეთოდით დადგენილია პროცესზე მოქმედი პარამეტრების – ტემპერატურის, აირში SO₂-ის კონცენტრაციის და მოცულობითი სიჩქარის ოპტიმალური მნიშვნელობები. დადგენილია, რომ აბსორბციის

მაქსიმალური ხარისხის მისაღწევად საჭიროა დაცული იყოს პირობები: SO₂ –ის კონცენტრაცია - 0,2%; ტემპერატურა - 15°C°; აირნარევის მოცულობითი სიჩქარე - 11000სთ⁻¹.

4. დადგენილია, რომ სუსპენზიაში აქტიური მანგანუმის მნიშვნელოვანი შემცირება უარყოფითად მოქმედებს პროცესის სიჩქარეზე. გაწმენდის ხარისხის მაღალი ხარისხის შენარჩუნების მიზნით საჭიროა პერიოდულად სუსპენზიის განახლება მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის ახალი ულუფით ან ორი და მეტსაფეხურიანი გამწმენდი სისტემის მოწყობა.

5. ექსპერიმენტული მონაცემების ბაზაზე მიღებული კინეტიკური მრუდების კონკურენტული მოდელებით დამუშავების შედეგად დადგენილია, რომ აბსორბციის პროცესი წმინდა კინეტიკურ უბანში მიმდინარეობს და პროცესის მალიმიტირებელ ფაქტორად გვევლინება არა SO₂-ის დიფუზია ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე: მყარი-თხევადი, არამედ ქიმიური რეაქცია.

6. დადგენილია, რომ გაწმენდის პროცესში მიღებული ხსნარის აორთქლება-კრისტალიზაციით პროდუქტის სახით მიიღება მანგანუმის სულფატი.

7. ნამუშევარი სუსპენზიის გაფილტვრისას დარჩენილი შლამები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მინის წარმოებაში.

8. შემოთავაზებულია მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების გოგირდის დიოქსიდისგან ფაქიზი გაწმენდის პროცესის პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შრომებში:

1. თ. რიგიშვილი; მ. მჭედლიშვილი; ლ. გვასალია. „გამავალი აირების SO₂-გან მანგანუმის ინფილტრაციული მადნით გაწმენდის პროცესის ოპტიმიზაცია“, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 4(4), 2005, 620-623. (7)

2. თ. რიგიშვილი; მ. მჭედლიშვილი; ლ. გვასალია. „ზოგიერთი ფაქტორის გავლენა მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირიდან SO₂-ის აბსორბციის პროცესზე“, ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომები, „ქიმია“, 1361, 2006, 95-98. (4)

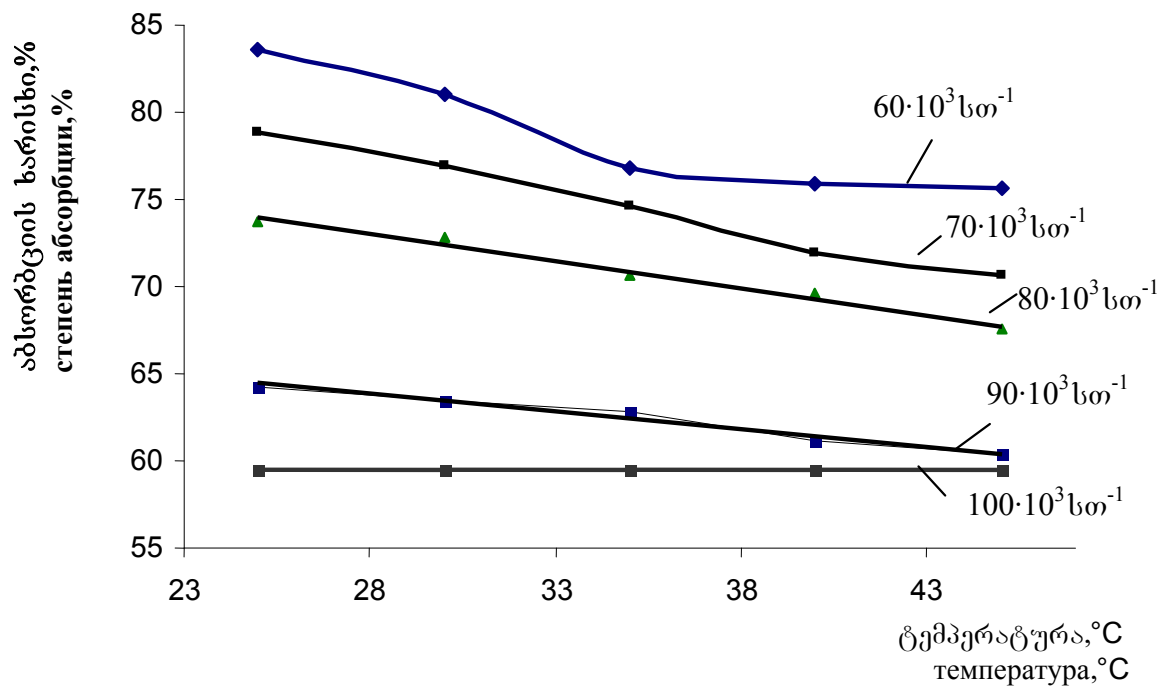
3. თ. რიგიშვილი; მ. მჭედლიშვილი; ლ. გვასალია; ნ. დუჩიძე.
„მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის სუსპენზიით აირების SO₂-გან გაწმენდის პროცესის კინეტიკის საკითხისათვის“, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 6(3) 2006, 294-297. (7)

ცხრილი №1
таблица №1

მანგანუმის ინფილტრაციული მადნის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტები (%)

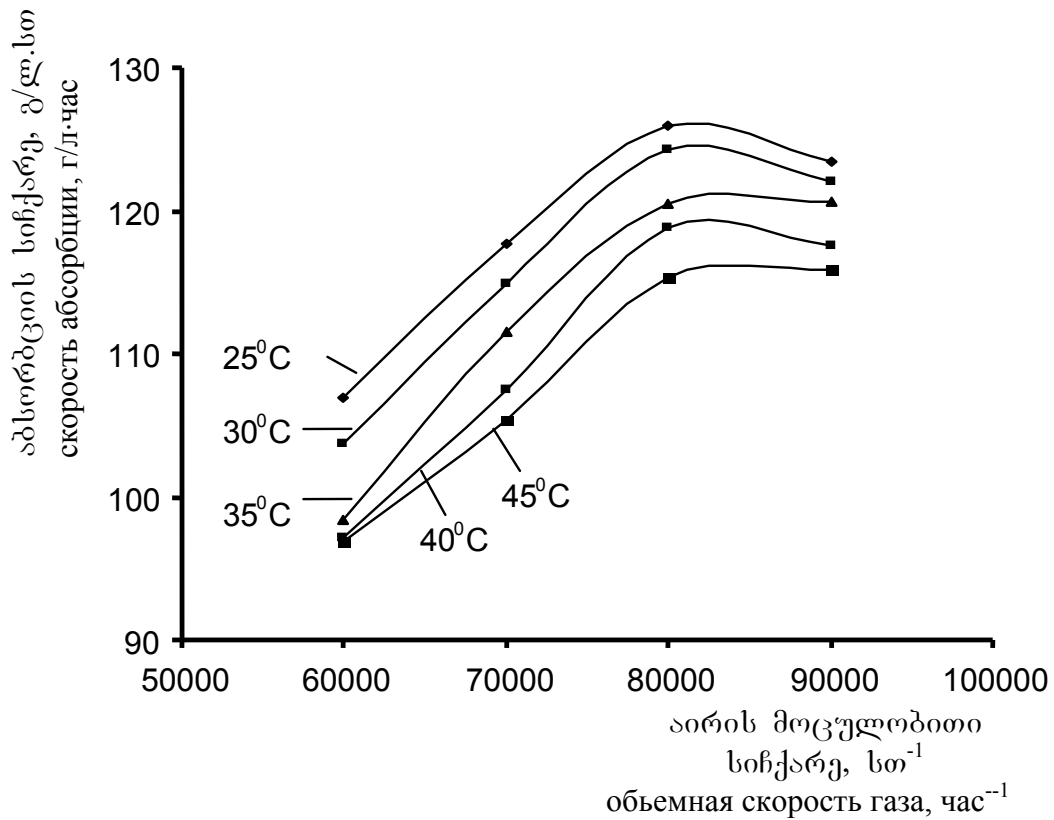
Основные составляющие компоненты инфильтрационной руды марганца (%)

Σ Mn	MnO ₂	SiO ₂	CaO	MgO	BaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
20	10.31	47.23	4.2	1.00	2.31	5.07	5.73



ნახ. 1. აბსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე აირის სხვადასხვა მოცულობითი სიჩქარეებისას

рис.1. Зависимость степени абсорбции от температуры при различных объемных скоростях газа

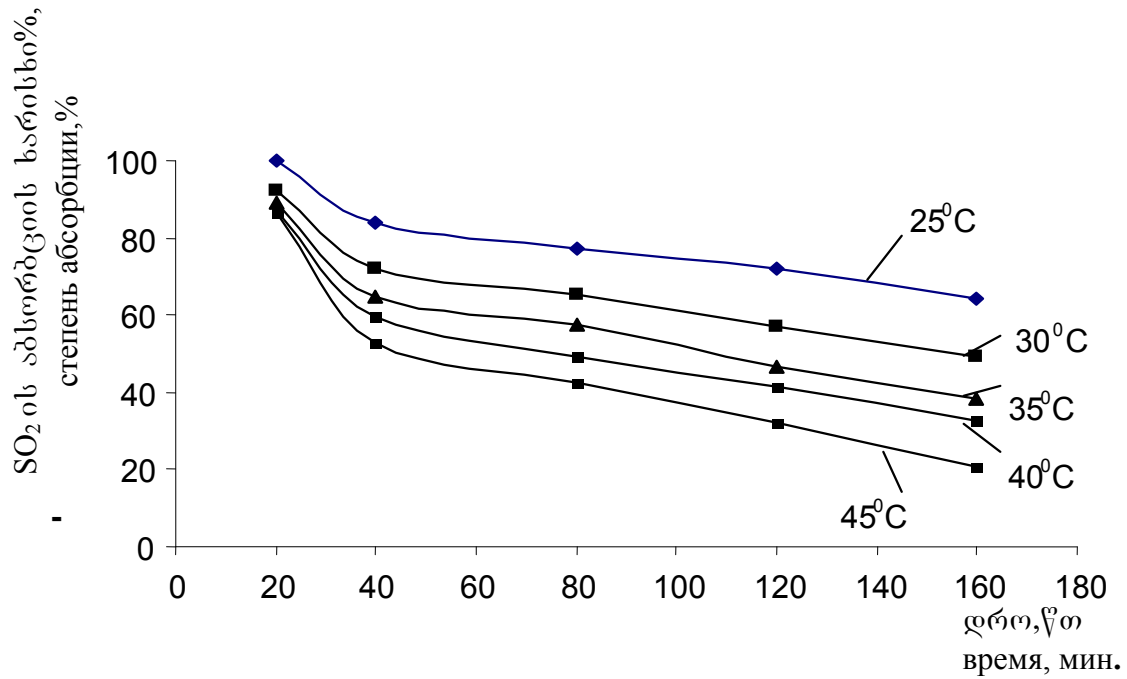


ნახ.2. SO₂-ის აბსორბციის მოჩვენებითი სიჩქარის აირის სიჩქარეზე დამოკიდებულების მრუდები პროცესის სხვადასხვა ტემპერატურაზე
 рис.2. Кривые зависимости кажущейся скорости абсорбции SO₂ от скорости газа при разных температурах процесса

ცხრილი №2
 таблица №2

გამავალ აირში SO₂-ის შემცველობის (%მოც.) პროცესის ტემპერატურაზე და ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების ცხრილი
 Зависимость содержания (%объем.) SO₂ в газе от температуры и длительности процесса

ტემპერატურა температура. °C	25	30	35	40	45
დრო,წთ время,мин.					
0	0	0.02	0.0323	0.0398	0.0411
40	0.01	0.084	0.104	0.121	0.142
80	0.049	0.104	0.126	0.158	0.168
120	0.084	0.128	0.143	0.176	0.206
160	0.098	0.152	0.176	0.204	0.237



ნახ.3. SO₂-ის აბსორბციის ხარისხის(%) ტემპერატურაზე და პროცესის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების მრუდები

рис. 3. Кривые зависимости степень абсорбции SO₂(%) от температуры и длительности процесса

ცხრილი №3
Таблица №3

ექსპერიმენტის დაგეგმვის პირობები
Условия планирования эксперимента

ფაქტორები Факторы	+1	0	-1	ვარიანობის ინტერვალის Интервал варьирования
ტემპერატურა, °C Температура	40	30	20	10
აირნარევის მოცულობითი სიჩქარე, სთ ⁻¹ Объемная скорость газовой смеси, час ⁻¹	16000	14000	12000	2000
KSO ₂ -ის კონცენტრაცია, % Концентрация	0.7	0.5	0.3	0.2

ცხრილი №4
таблица №4

დაგეგმვის მატრიცა კოდირებულ ცვლადებში
Матрица планирования в кодированных переменных

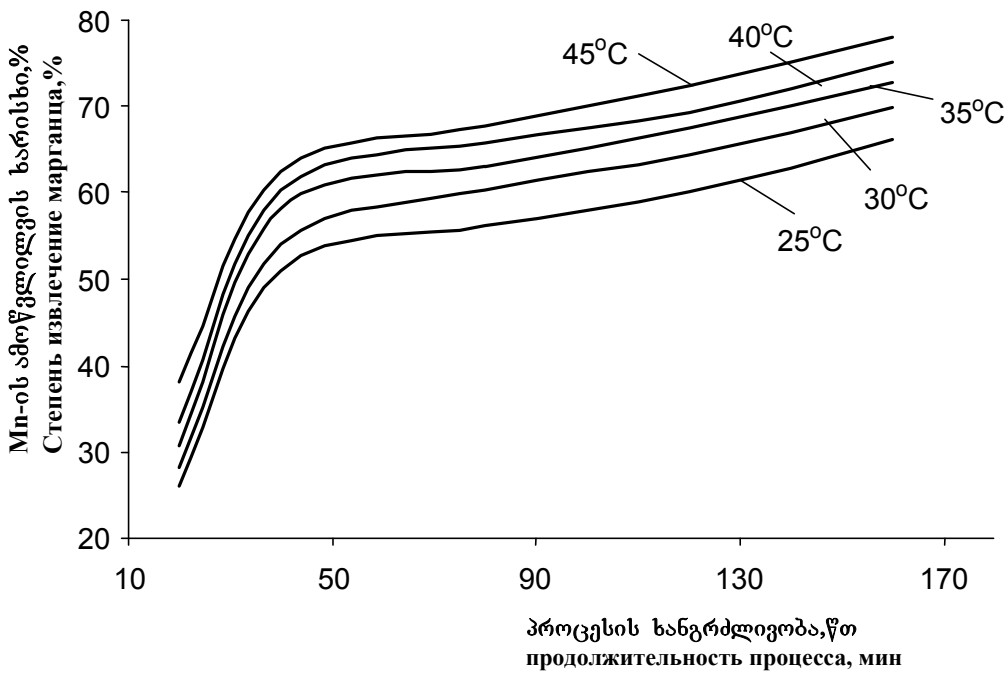
Nº	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	\bar{Y}	S ²
1	+	-	-	-	+	+	+	-	97.4	95.55	96.475	1.7112
2	+	+	-	-	-	-	+	+	93.028	94.56	93.794	1.1735
3	+	-	+	-	-	+	-	+	92.6	91.12	91.86	1.095
4	+	+	+	-	+	-	-	-	91.8	89.6	90.7	2.42
5	+	-	-	+	+	-	-	+	77.36	79.44	78.4	2.163
6	+	+	-	+	-	+	-	-	76.33	75.207	75.76	0.6305
7	+	-	+	+	-	-	+	-	73.53	72.58	73.055	0.4512
8	+	+	+	+	+	+	+	+	69.38	71.6	70.49	2.464

ცხრილი №5
Таблица №5

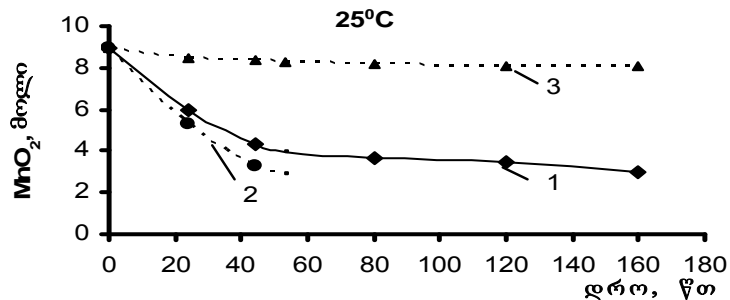
ცდის პირობები და ექსპერიმენტის შედეგები
Условия опыта и результаты эксперимента

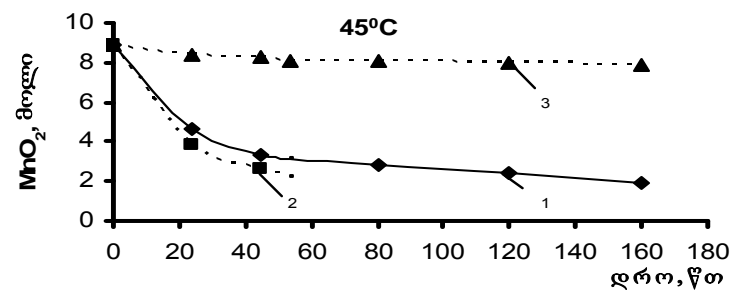
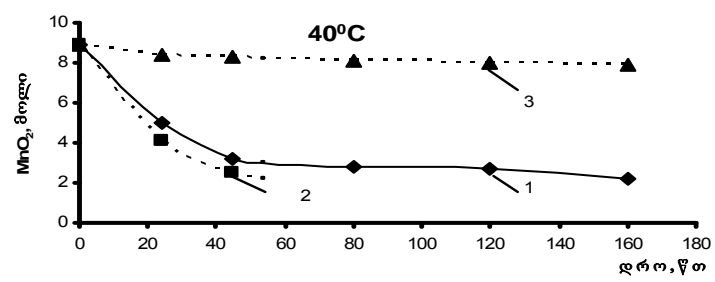
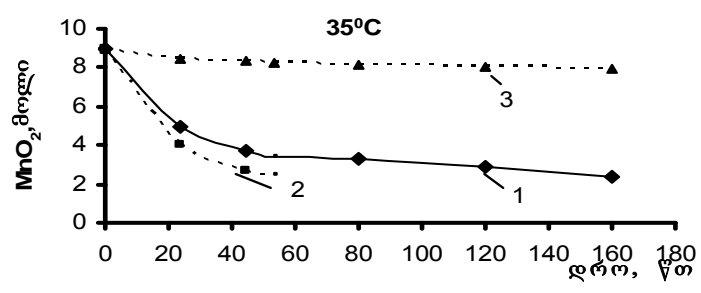
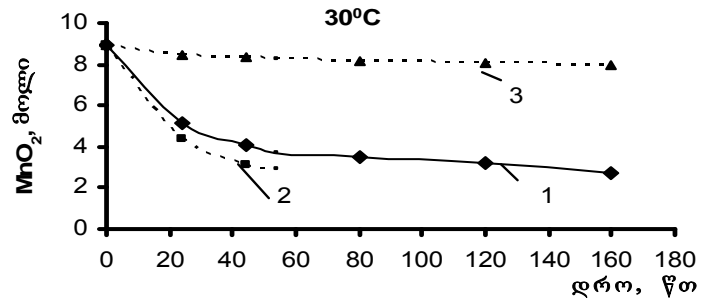
ვარიების ინტერვალი და ფაქტორთა დონეები Интервал варьирования и факторные уровни	X ₁ (t)	X ₂ (v)	X ₃ (c)	YY,%
ძირითადი დონე Основной уровень	30	14000	0.5	
ვარიების ინტერვალი Интервал варьирования	10	2000	0.2	
რეგრესიის კოეფიციენტები b _i Коэффициенты регрессии	-1.12969	-2.2915	-9.3892	
ნამრაველი b _i ∇ x _i Произведение	11.2	5000	2	
Вზიჯი Шаг	5	1000	0.1	

ცდა 9 Опыт 9	30	14000	0.5	92.224
10	25	13000	0.4	94.35
11	20	12000	0.3	97.476
12	15	11000	0.2	99.7



ნახ.4. მანგანუმის ამოწვლილვის ხარისხის პროცესის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები ფარდობა მყარი : თხევადი = 1 : 5; აირის სიჩქარე – 160ლ/სთ.
 რის.4. Кинетические кривые зависимости степени извлечения марганца от продолжительности процесса: соотношение твердый:жидкий = 1:5; скорость газа – 160 л/час





ნახ.5 1 - ექსპერიმენტით გამოთვლილი მრუდი, 2 - (14) მოდელით გამოთვლილი მრუდი, 3 - (13) მოდელით გამოთვლილი მრუდი
 რის.5. 1- кривая, вычисленная экспериментально; 2 – кривая, вычисленная по модели (14);
 3 – кривая, вычисленная по модели (13)

ცხრილი №6
 таблица №6

N = 5						
T °,K	Кექსპ. Кэксп.	1/T,K	(1/T,K)^2	LOG(K)	LOG(K)*1/T	გამოთ. КВыч.
298	1.294	0,003356	1,13E-05	0,263901544	0,000886	1.2509

303	1.412	0,0033	1,09E-05	0,340748793	0,001125	1.44
308	1.541	0,003247	1,05E-05	0,429181635	0,001393	1.605
313	1.694	0,003195	1,02E-05	0,510425544	0,001631	1.735
318	1.951	0,003145	9,89E-06	0,642380064	0,00202	1.844
		0,016242	5,28E-05	2,186637579	0,007054	0,007054
		D	F	E1	H	
M=6,130956712 P=1752,713161 E=181.615 კვლული/მოლი - აქტივაციის ენერგია КДжоуль/моль – Энергия активация						

ცხრილი №7
Таблица №7

მიღებული ფილტრატის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტები
Основные компоненты полученного фильтрата

MMn SO ₄ , გრ/ლ r/л	CaO, გრ/ლ r/л	MMgO, გრ/ლ r/ლ	FFe ₂ O ₃ , გრ/ლ r/л
30	0.54	0.139	<0.05

ცხრილი №8
Таблица №8

ხსნარის აორთქლება-კრისტალიზაციით მიღებული პროდუქტის ქიმიური
შედგენილობა
Химический состав продукта полученного испарением и кристаллизации раствора

MMn SO ₄ , %	CaO, %	MMgO, %	FFe ₂ O ₃ , %
97,4	1,51	—	0,09

ნახ.6 აირების გოგირდის დიოქსიდისგან ფაქიზი გაწმენდის პრინციპული ტექნოლოგიური
სქემა

Принципиальная технологическая схема тонкой очистки газов от диоксида серы

