

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირინე გელეიშვილი

**ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი
ლითონების შემცველი მადნეულის პირიტის კონცენტრატის
ერთობლივი გადამუშავება ავტოკლავური მეთოდით**

სადოქტორო პროგრამა – ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია,
შიფრი – 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი
დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია სააქციო საზოგადოება „კომპოზიციური
სისტემები“-ს ბაზაზე და სამეცნიერო-კვლევით ფირმაში „გამა“

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: იზოლდა ბაზღაძე

რეცენზენტები:

1. _____ თემურ ჩახუნაშვილი

2. _____ ჯემალ შენგელია

დაცვა შედგება 2016 წლის __ _____ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი II,
აუდიტორია _____

მისამართი: 0175, თბილისი, მ. კოსტავას ქ. №77,

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო

ავტორეფერატის – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ზურაბ გელიაშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. მინერალური ნედლეულის მოპოვებისა და გამოყენების გეგმების ზრდა, მდიდარი შემცველობის მადნების მარაგების თანდათანობითი შემცირება, დაბალი შემცველობის მქონე წიაღისეული რესურსების ათვისების აუცილებლობა და მრეწველობის განვითარების შედეგად გამოწვეული გაზრდილი რაოდენობის ნარჩენების უარყოფითი ზემოქმედება ბიოსფეროზე, ჰიდროსფეროზე და ატმოსფეროზე, განაპირობებს სასარგებლო წიაღისეულის რაციონალურ გამოყენებასა და გარემოს დაცვის აუცილებლობას.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჭიათურის და მადნეულის საბადოებში მაღალი ხარისხის მანგანუმის ($Mn > 35\%$) და სპილენძის ($1,0-1,3\%$) მადნების მარაგების მკვეთრი შემცირების ფონზე აქტუალურია ჭიათურისა და მადნეულის ტექნოგენურ საბადოებში განთავსებული მანგანუმისა და სპილენძის მადნების გამდიდრების ნარჩენებისა და აგრეთვე ჭიათურის საბადოს ღარიბი და რთულად გამდიდრებადი მანგანუმშემცველი ნედლეულის გადამუშავების ახალი, კონკურენტუნარიანი ტექნოლოგიური სქემების შექმნა და დამუშავება.

აღსანიშნავია, რომ ჭიათურის ტექნოლოგიურ საბადოში აკუმულირებულია 9–14 მლნ.ტ მანგანუმშემცველი ნარჩენები, ხოლო მადნეულის ტექნოგენურ საბადოში 10–12 ტ ოქროს, 32–36 ტ ვერცხლის, 70–80 ათასი ტონა სპილენძის და ~2 მლნ.ტ პირიტის მინერალების შემცველი ნარჩენები: ხოლო, რაც შეეხება ჭიათურის საბადოში არსებულ ღარიბ, რთულადგამდიდრებად მანგანუმის მადნებს ($Mn \sim 20-25\%$), მათი მინერალების საერთო რაოდენობა შეადგენს ~250 მლნ.ტ.

ცნობილია, რომ მანგანუმშემცველი ნედლეულის გადამუშავების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით მიღებული მაღალი ტექნოლოგიური მაჩვენებლები, მიიღწევა პროცესში ძვირადღირებული, ქიმიურად აგრესიული რეაგენტების გამოყენებით, რაც იწვევს აპარატურის აქტიურ

კოროზიას, ხოლო აირადი რეაგენტების (SO₂, Cl₂, NO) მოხმარების შემთხვევაში ქმნის გარემოს ეკოლოგიური დაბინძურების საშიშროებას.

აღნიშნული ფაქტორები მნიშვნელოვნად ამცირებენ ჰიდრომეტალურგიული მეთოდის ტექნიკურ–ეკონომიკურ ეფექტურობას და მის სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაციის შესაძლებლობას.

ლიტერატურულ წყაროებში წარმოდგენილი შედეგებიდან გამომდინარე, კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისგან ოქროსა და ვერცხლის გამოთავისუფლებისა და მათი შემდგომი ამოღების თვალსაზრისით, ყველაზე ოპტიმალურ ტექნოლოგიად მიჩნეულია ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესი. აღნიშნულ პროცესში ადგილი აქვს ელემენტარული გოგირდისა და რკინის ფუძე სულფატების მყარი ფაზების სახით წარმოქმნას, რაც გამოწვეულია სარეაქციო არეში გენერირებული გოგირდმჟავას მაღალი კონცენტრაციით. აღნიშნული ნაერთების კეთილშობილ ლითონებთან ერთად ავტოკლავურ შლამში თანაარსებობა არ იძლევა მათი ციანირების პროცესით გადამუშავების საშუალებას, რითაც განპირობებულია ტექნოლოგიურ სქემაში ავტოკლავური შლამის მავნე მინარევებისგან გაწმენდის დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციების განხორციელების აუცილებლობა. ძლიერ აგრესიული გარემო და რთულად განხორციელებადი დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციები მკვეთრად ამცირებს განხილული ტექნოლოგიის ეკონომიკურ ეფექტურობას.

კვლევის მიზანს წარმოადგენს ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულისა და მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის გადამუშავების არსებული ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია და მათი ეკონომიკური ეფექტურობის ამაღლება.

კვლევის ამოცანებია:

1. მანგანუმის ნედლეულისა და პირიტის კონცენტრატის ერთდროული ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში მიმდინარე ქიმიური გარდაქმნების თერმოდინამიკური ანალიზი;

2. პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკური კანონზომიერებისა და მექანიზმის შესწავლა;

3. მანგანუმშემცველი ნედლეულიდან პირიტის მინერალების ავტოკლავური ჟანგვის პროდუქტების მოდელური ხსნარით მანგანუმის ოქსიდების აღდგენისა და გამოტუტვის პროცესის კინეტიკური კანონზომიერების დადგენა;

4. მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკისა და მექანიზმის შესწავლა.

5. მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიურ-აპარატურული სქემის შექმნა.

კვლევის ობიექტებს წარმოადგენენ მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატი, ჭიათურის მანგანუმის მადნების გამდიდრების ნარჩენები, ჭიათურის საბადოს პიროლუზიტური, მანგანუმის მჩატეფოროვანი ოქსიდური და მანგანუმის კარბონატული მადნების ნიმუშები.

კვლევის მეთოდები. ნაშრომში წარმოდგენილი ექსპერიმენტული კვლევები განხორციელდა ს.ს „კომპოზიციური სისტემები“-ს (დ. კაზრეთი) სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიებში, გ. წულუკიძის სახ. სამთო ინსტიტუტის გამამდიდრებელ ლაბორატორიაში, ხოლო ანალიტიკური სამუშაოები შესრულებულ იქნა სამეცნიერო-კვლევით ფირმა „გამა“-ს ლაბორატორიაში.

საკვლევი ნიმუშების მოსამზადებელი ტექნოლოგიური ოპერაციები – დამსხვრევა და დაფქვა განხორციელდა ყბებიან მსხვრევანას და ცენტრიდანულ წისქვილში (MLIK-0,5), ნიმუშების მინერალოგიური და გრანულომეტრული შემადგენლობის დასადგენად გამოყენებულ იქნა ელექტრონული მიკროსკოპი Camebax 5k-50 და ლაზერული ანალიზატორი (ფირმა „Kultronix“), ხოლო დაფქული ნიმუშების ხვედრითი ზედაპირი

განისაზღვრა სორბტომეტრის (Corbe-M) მეშვეობით. ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესის ექსპერიმენტული კვლევები შესრულებულ იქნა „გიპრონიკელის“ კონსტრუქციის ავტოკლავში. საკვლევი ნიმუშების, ისევე როგორც მათი გადამუშავების პროდუქტების შემადგენლობის დასადგენად გამოყენებულ იქნა ქიმიური, გრავიმეტრული, ტიტრიმეტრული, ატომობსორბციული, რენტგენო-სტრუქტურული მეთოდები.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:

კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკისა და მექანიზმის კანონზომიერებების ექსპერიმენტული შესწავლის საფუძველზე:

1. დადგენილია, რომ მანგანუმის ნედლეულის მეორე კომპონენტად გამოყენება იწვევს პირიტის სულფიდური გოგირდის ჟანგვის პროცესის ინტენსიფიკაციას და მის სულფატურ ფორმამდე პრაქტიკულად სრულ ჟანგვას, რაც უზრუნველყოფს სარეაქციო არეში ორვალენტიანი $FeSO_4$ -ისა და H_2SO_4 წარმოქმნას, შესაბამისად, პირიტის კრისტალური მესერის დაშლას და მასში ასოცირებული კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლებას.

2. დადგენილია, რომ პირიტის მინერალების ჟანგვის პროდუქტების სარეაქციო არეში არსებობა უზრუნველყოფს მანგანუმის ნედლეულში არსებული მანგანუმის ოქსიდური ნაერთების აღდგენისა და გამოტუტვის ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობას და, შესაბამისად, მანგანუმის სულფატური ფორმით ხსნარში გადაყვანას.

3. დამუშავებულია მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების ახალი ტექნოლოგიური ხერხი, რომელიც უზრუნველყოფს მორეაგირე კომპონენტებიდან სასარგებლო წიაღისეულის – მანგანუმის, სპილენძის, ოქროსა და ვერცხლის მაღალი ხარისხობრივი მაჩვენებლებით ამოღებას (საქართველოს პატენტი №P6355).

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება გამოისახება იმაში, რომ:

1. დამუშავებულია ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულისა და მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პრინციპულად ახალი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლის სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაცია (ნახევრადსაქარხნო პირობებში გამოცდების ჩატარების შემდეგ), უზრუნველყოფს ჭიათურისა და მადნეულის ტექნოგენურ საბადოებში არსებული სასარგებლო წიაღისეულის და აგრეთვე, ჭიათურის საბადოს ღარიბი და რთულადგამდიდრებადი მადნების კომპლექსურ გადამუშავებას.

2. მანგანუმის ნედლეულიდან მანგანუმის პროდუქციის წარმოება ქიმიურად აგრესიული და ძვირადღირებული რეაგენტების მოხმარების გარეშე, პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგვის პროდუქტების გამოყენებით, პირიტის მინერალების თანაური სპილენძის, ოქროსა და ვერცხლის, მაღალი ღირებულების მქონე სასაქონლო პროდუქციის სახით მიღება ის ძირითადი ფაქტორებია, რომლებიც განაპირობებენ ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულისა და მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის მაღალ ტექნოლოგიურ და ეკონომიკურ ეფექტურობას.

3. მადნეულის ტექნოგენური საბადოს დეპირიტიზაცია შექმნის კვარცის (90-92%) მაღალი შემცველობის მქონე ახალი სანედლეულო ბაზის სამრეწველო მასშტაბში გამოყენების შესაძლებლობას.

ამ მიმართებით გასათვალისწინებელია ქართველი მეცნიერების მიერ შესრულებული კვლევების შედეგები, რომელთა თანახმად დადგენილია მადნეულის სპილენძის მადნების გამდიდრების ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობა, სამშენებლო მასალების, მინის ტარის, ცემენტის და ასფალტბეტონის წარმოებაში.

ავტორის პირადი წვლილი. კვლევის მიზნისა და ამოცანების ჩამოყალიბება, კვლევის ობიექტების შერჩევა და მათი გარდაქმნის

ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმალური პარამეტრების ექსპერიმენტულად დადგენა მთლიანად შესრულებული იქნა ავტორის მიერ, ტექნიკური პერსონალის დახმარებით. ხელმძღვანელის როლი, ძირითადად, გამოიხატა საკვალიფიკაციო თემის დისერტაბელურობის განსაზღვრასა და რეკომენდაციებში.

საკვლევ ნივთიერებათა და მათი გარდაქმნის პროდუქტების ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით გამოკვლევა განხორციელდა სამეცნიერო-კვლევითი ფირმა „გამა“-ს ლაბორატორიაში, ავტორის თანამონაწილეობით.

პუბლიკაციები. ჩატარებული კვლევის შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატიისა და 1 თეზისის სახით. ერთ გამოგონებაზე მიღებულია საქართველოს პატენტი №P6355.

ნაშრომის აპრობაცია. მასალა აპრობირებულია საერთაშორისო კონფერენციებზე: 13th International Conference on Clean Energy.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. საკვალიფიკაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ექვსი თავისა (I - ლიტერატურის მიმოხილვა, II - პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის თერმოდინამიკური ანალიზი, III, IV, V - ექსპერიმენტული ნაწილი, VI - ტექნოლოგიური პროცესის პრინციპული სქემა და მისი აპარატურული გაფორმება) და დასკვნებისაგან. ნაშრომს ერთვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა (134 დასახელება) და შეადგენს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 143 გვერდს.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალი

შესავალი წარმოადგენს საკვალიფიკაციო თემის აქტუალობას, სამუშაოს მიზნის, ჩატარებული კვლევებისა და ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგების მეცნიერულ-პრაქტიკული ღირებულების მოკლე ანოტაციას.

თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვა მოიცავს სამ ქვეთავს: 1.1. მანგანუმშემცველი ნედლეულის გადამუშავების მეთოდების ანალიზი; 1.2. კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის გადამუშავების მეთოდების ანალიზი; 1.3. ჭიათურისა და მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელ კომბინატებთან არსებული ტექნოგენური საბადოების მოკლე დახასიათება და ჭიათურის მანგანუმის მადნების საბადოს მანგანუმის ღარიბი, რთულადგამდიდრებადი მადნების სამრეწველო მარაგების დახასიათება.

პირველ ქვეთავში განხილულია ლიტერატურულ წყაროებში და საპატენტო მასალებში წარმოდგენილი მანგანუმშემცველი ნედლეულის გამდიდრების ორი ძირითადი – ფიზიკურ-მექანიკური და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდი. ნაჩვენებია, რომ ფიზიკურ-მექანიკური მეთოდი ხასიათდება მანგანუმის მნიშვნელოვანი დანაკარგებით და ვერ უზრუნველყოფს მანგანუმის მინერალებში ასოცირებული წვრილდისპერსული ფოსფორის ნაერთებისაგან ეფექტურ გაწმენდას. მანგანუმის ამოღების ტექნოლოგიური მაჩვენებელი შეადგენს 70-80%. მანგანუმშემცველი ნედლეულის გადამუშავების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით მიღებული მანგანუმის ამოღების მაღალი ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (95,0-99,0%) და ღრმა დეფოსფორაციის მახასიათებლები ($P - 0,005-0,01\%$) მიიღწევა, პროცესში ძვირადღირებული აღმდგენელი

(მარილები) და ქიმიურად აგრესიული (გოგირდმჟავა, აზოტმჟავა, მარილმჟავა, SO₂, Cl₂, NO) გამომტუტავი რეაგენტების გამოყენებით, რაც იწვევს აპარატურის აქტიურ კოროზიას, ქმნის გარემოს ეკოლოგიური დაზინძურების საშიშროებას და შესაბამისად, მნიშვნელოვნად ამცირებს მეთოდის ეკონომიკურ ეფექტურობას.

მეორე ქვეთავში განხილულია ლიტერატურულ წყაროებში და საპატენტო მასალებში წარმოდგენილი კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატების გადამუშავების სამი ძირითადი მეთოდი: მაღალტემპერატურული გამოწვა, ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვა და ბიოლოგიური გამოტუტვა. წარმოდგენილი ტექნოლოგიური და ეკოლოგიური მახასიათებლებიდან გამომდინარე უპირატესობა ენიჭება ავტოკლავურ მეთოდს, თუმცა ტექნოლოგიური სქემა ითვალისწინებს ოქროსა და ვერცხლის შემცველი ავტოკლავური შლამების ციანირების პროცესით გადამუშავებამდე, აღნიშნული შლამების ელემენტარული გოგირდისა და რკინის ფუძესულფატების მავნე მინარევებისაგან გაწმენდის დამატებითი რთული ტექნოლოგიური ოპერაციების განხორციელების აუცილებლობას, რაც ნეგატიურად აისახება მეთოდის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებზე.

მესამე ქვეთავში წარმოდგენილია ჭიათურისა და მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატების და მათთან არსებული ტექნოლოგიური საბადოების მოკლე დახასიათება და ჭიათურის საბადოს მანგანუმის ღარიბი, რთულადგამამდიდრებადი მადნეულის სამრეწველო მარაგები.

კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის გადამუშავების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების ანალიზის შედეგად დადგენილია განხილული ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციის აუცილებლობა, რაც საფუძვლად დაედო ექსპერიმენტული კვლევის მიზნის და ამოცანების ჩამოყალიბებას.

**თავი 2. პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის
ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის თერმოდინამიკური
ანალიზი და ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდიკა**

თავი 2 მოიცავს ოთხ ქვეთავს: 2.1. კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის მინერალების ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის თერმოდინამიკური დახასიათება; 2.2. მანგანუმის ნედლეულისა და პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური ურთიერთქმედების თერმოდინამიკური შეფასება; 2.3. ექსპერიმენტული კვლევების მეთოდიკა; 2.4. ექსპერიმენტებში გამოყენებული წიაღისეულის ნიმუშების დახასიათება.

პირველ ქვეთავში წარმოდგენილია $FeS_2-O_2-H_2O$ სისტემის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის თერმოდინამიკური ანალიზის შედეგები. ნაჩვენებია, რომ პირიტის სულფიდური მინერალების ჟანგვის პროცესი მიმდინარეობს თავისუფალი გოგირდმჟავას გენერაციის ფონზე, მაღალ მჟავა (pH 1,0) გარემოში. შესაბამისად, სარეაქციო არეში შექმნილია სულფიდური გოგირდის არა მარტო სულფატურ, არამედ ელემენტარულ ფორმამდე ჟანგვისთვის ხელსაყრელი თერმოდინამიკური პირობები.

მაღალი მჟავიანობის ნეგატიური გავლენა აგრეთვე აისახება სამვალენტიანი რკინის სულფატის ჰიდროლიზის პროცესზეც, რომლის შედეგადაც ადგილი აქვს რკინის ფუძე სულფატის წარმოქმნას.

როგორც ელემენტარული გოგირდი, ასევე რკინის სულფატი წარმოდგენილნი არიან წონასწორული მყარი ფაზების სახით და პირიტის მინერალების დაშლის შედეგად გამოთავისუფლებულ, კეთილშობილ ლითონებთან ერთად აკუმულირებულნი არიან ავტოკლავურ შლამში.

ოქროსა და ვერცხლის შემცველ ავტოკლავურ შლამებში ელემენტარული გოგირდისა და რკინის ფუძე სულფატების არსებობა პრაქტიკულად შეუძლებელს ხდის შემდგომ ტექნოლოგიურ სტადიაზე კეთილშობილი ლითონების ციანირების პროცესის განხორციელებას. ცნობილია, რომ აღნიშნული მინარევები ციანირების პროცესში აქტიურად

ურთიერთქმედებენ ციანმარილებთან და არ იძლევიან პროცესის სტაბილურ პირობებში განხორციელების საშუალებას. შესაბამისად, აუცილებელი ხდება, ავტოკლავური შლამის მავნე მინარევებისგან გაწმენდის მიზნით, დამატებითი რთული ტექნოლოგიური ოპერაციების გამოყენება.

ზემოთ ჩამოთვლილი პრობლემების თავიდან აცილება შესაძლებელია პირიტის მინერალების ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის შედარებით სუსტ მჟავა (pH 1,7–2,2) გარემოში განხორციელების გზით, რაც შეიძლება მიღწეულ იქნას პირიტის კონცენტრატისა და ოპტიმალური რაოდენობის მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესით.

აღნიშნული მოსაზრების მართებულობა დაექვემდებარა თერმოდინამიკურ შეფასებას, რომლის შედეგებიც წარმოდგენილია შემდეგ ქვეთავში.

მეორე ქვეთავში წარმოდგენილია $FeS_2-MnO_2-O_2-H_2O$ სისტემის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში მიმდინარე ურთიერთქმედების თერმოდინამიკური შეფასება. პროცესში მიმდინარე ქიმიური ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციები ეფუძნება პირიტის მინერალების ავტოკლავური ჟანგვის პროცესის პროდუქტების – ორვალენტიანი რკინის სულფატისა და გოგირდმჟავას და მანგანუმის ნედლეულის შემადგენლობაში არსებული მანგანუმის ოქსიდებისა და კარბონატების ურთიერთქმედებას. პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ოპტიმალური თანაფარდობის მეშვეობით ავტოკლავურ პროცესში სუსტი მჟავა (pH 1,7–2,2) გარემოს ფორმირება გამორიცხავს სულფიდური გოგირდის ელემენტარული ფორმით ჟანგვის პროცესს და უზრუნველყოფს მის სრულ ჟანგვას სულფატურ ფორმამდე და სამვალენტიანი რკინის სულფატის ჰიდროლიზის შედეგად, ციანმარილების მიმართ ნეიტრალური რკინის ჟანგეულის წონასწორული მყარი ფაზის სახით მიღებას.

წარმოდგენილი თერმოდინამიკური ანალიზის შედეგების მიხედვით პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში მიმდინარე ქიმიური რეაქციების ჯიბის ენერჯის მაჩვენებლები და წონასწორობის კონსტანტების მაღალი მახასიათებლები როგორც სტანდარტულ (293,15K), ასევე მაღალი ტემპერატურებისა (413,15-433,15K) და ჟანგადის მაღალი წნევის ($P_{O_2} - 0,8$ მპა) პირობებში ნათლად ადასტურებენ ყველა განხილული ჟანგვა-აღდგენითი ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის შესაძლებლობას.

მესამე ქვეთავში წარმოდგენილია ექსპერიმენტული კვლევების მეთოდика, ლაბორატორიული ავტოკლავის კონსტრუქცია, მისი ჰიდროდინამიკური და აერაციული მახასიათებლები და სხვადასხვა ტიპის ლაბორატორიული დანადგარები. მოყვანილია ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად მიღებული როგორც ხსნადი, ასევე მყარი პროდუქტების შემადგენლობის განსაზღვრის ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები.

მეოთხე ქვეთავში წარმოდგენილია ექსპერიმენტულ კვლევებში გამოყენებული წიაღისეულის მინერალოგიური, ქიმიური და გრანულომეტრული ანალიზების შედეგები.

ექსპერიმენტული ნაწილი

თავი 3. პირიტის კონცენტრატში ასოცირებული კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლება ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის მეთოდით

თავი 3 მოიცავს: ორ ქვეთავს: 3.1. პირიტის კონცენტრატის ციანიდური მეთოდით გამოტუტვის შედეგები; 3.2. ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის ძირითადი პარამეტრების გავლენა პირიტისა და ქალკოპირიტის ჟანგვის კინეტიკურ მახასიათებლებზე.

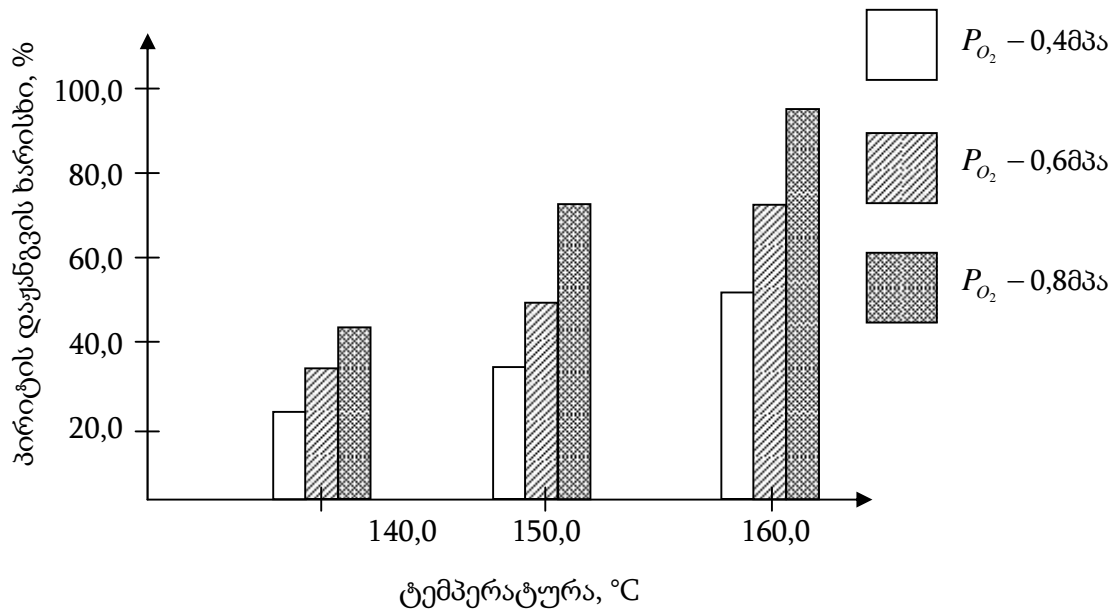
პირველ ქვეთავში წარმოდგენილია პირიტის ფლოტოკონცენტრატის ქიმიური, მინერალოგიური და გრანულომეტრული შემადგენლობები. ქიმიური შემადგენლობა მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. პირიტის ფლოტოკონცენტრატის ძირითადი კომპონენტები

ქიმიური შემადგენლობა									
%								გ/ტ	
S	Fe	Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	As	Au	Ag
42,8	37,9	3,5	12,8	1,5	0,9	0,6	0	5,4	14,5

ელექტრონულ-მიკროსკოპული ანალიზით და ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ კეთილშობილი ლითონები ასოცირებულნი არიან რკინისა და სპილენძის სულფიდურ მინერალებში წვრილდისპერსული სახით და მათი მნიშვნელოვანი ნაწილი ეკრანირებულია სულფიდური მინერალებით, რაც ქმნის ციანიდისა და ჟანგბადის დიფუზიური პროცესებისათვის გადაულახავ ბარიერებს. აღნიშნული გარემოება დადასტურებულია პირიტის კონცენტრატის პირდაპირი ციანირების პროცესის დაბალი ტექნოლოგიური მაჩვენებლებით, კერძოდ, ოქროსა და ვერცხლის ხსნარში ამოღების ხარისხობრივი მაჩვენებლები არ აღემატება 45,1% და 43,2%. შესაბამისად, კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლება, მათი შემდგომი ამოღების მიზნით შესაძლებელია მხოლოდ სულფიდური მინერალების კრისტალური მესერის დაშლის შედეგად.

მეორე ქვეთავში აღნიშნული მიზნის მისაღწევად შესწავლილი იქნა პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკაზე ისეთი ტექნოლოგიური პარამეტრების გავლენა, როგორცაა ტემპერატურა (140°C, 150°C, 160°C), ჟანგბადის პარციალური წნევა (0,4; 0,6; 0,8 მპა), პირიტის კონცენტრატის ხვედრითი ზედაპირი (0,125 მ²/გ; 0,36 მ²/გ), პირიტის კონცენტრატისა და წყლის სუსპენზიის სიმკვრივე (6,25; 9,1; 16,6%) და პროცესის ხანგრძლივობა (30 წთ; 60 წთ; 90 წთ; 120 წთ).



ნახ. 1. ტემპერატურისა და ჟანგბადის პარციალური წნევის გავლენა პირიტის ჟანგვის კინეტიკაზე (პირიტის ხვედრითი ზედაპირი – 0,125 მ²/გ, სუსპენზიის სიმკვრივე – 6,25%, ხანგრძლივობა – 2 სთ)

პირიტისა და ქალკოპირიტის სულფიდური მინერალების ჟანგვის კინეტიკური მახასიათებლების საფუძველზე (ნახ. 1) დადგენილია, რომ 160°C ტემპერატურისა და 0,8 მპა ჟანგბადის პარციალური წნევის პირობებში სულფიდური მინერალების ავტოკლავური ჟანგვის პროცესის სიჩქარე 4-ჯერ აღემატება იგივე რეაქციების სიჩქარეს 140°C ტემპერატურისა და 0,4 მპა ჟანგბადის პარციალური წნევის პირობებში.

მნიშვნელოვანია სულფიდური მინერალების ჟანგვის პროცესის სიჩქარეზე ისეთი პარამეტრის გავლენა, როგორც არის პირიტის კონცენტრატის ხვედრითი ზედაპირი. პირიტის კონცენტრატის დამატებითი დაფქვის შედეგად მიღებული ფრაქციის ხვედრითი ზედაპირი 3-ჯერ აღემატება დაუფქველი პირიტის კონცენტრატის ხვედრითი ზედაპირის მაჩვენებელს და შესაბამისად მისი ავტოკლავური ჟანგვის პროცესი 2-ჯერ უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე დაუფქველი პირიტის კონცენტრატის ჟანგვის პროცესი.

მიღებული შედეგების თანახმად პროცესის ისეთი პარამეტრი, როგორცაა სუსპენზიის სიმკვრივე, შესწავლილ დიაპაზონში გავლენას ვერ ახდენს სულფიდური მინერალების ჟანგვის ხარისხზე.

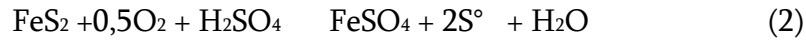
ჩატარებული კვლევის საფუძველზე შეირჩა ოპტიმალური პარამეტრები (ტემპერატურა 160°C, ჟანგბადის პარციალური წნევა 0,8 მპა, კონცენტრატის ხვედრითი ზედაპირი 0,125 მ²/გ, სუსპენზიის სიმკვრივე 6,25-16,6%, ხანგრძლივობა 2სთ), რომელიც საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას პირიტის (99,5%) და ქალკოპირიტის (100%) მინერალების ჟანგვის ხარისხის მაქსიმალური მაჩვენებლები, რაც უზრუნველყოფს სულფიდურ მინერალებში ასოცირებული კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლებას და მათი თავისუფალი სახით ავტოკლავურ შლამში გადაყვანას.

დადგენილია, რომ პირიტის მინერალების ავტოკლავური ჟანგვის რეაქციის აქტივაციის ენერჯის მაჩვენებელი შესწავლილ ტემპერატურულ ინტერვალში შეადგენს 56,0 კჯოული/მოლი, რაც უდავოდ მეტყველებს სულფიდური მინერალების ჟანგვის კინეტიკურ მექანიზმზე. ამრიგად, სულფიდური მინერალების მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის სიჩქარის მაღალიმიტირებელ სტადიას წარმოადგენს თვით პირიტისა და ქალკოპირიტის ჟანგვის რეაქციების სიჩქარე და არა დიფუზიური პროცესები (ჟანგბადის წყალში ხსნადობა, მისი დისოციაცია და ხემოსორბცია, ჟანგვის პროდუქტების თხევად და მყარ ფაზებში გადასვლა), რომელთა მაღალი სიჩქარეები უზრუნველყოფილია ავტოკლავური დანადგარის ინტენსიური მორევისა და აერაციის მაღალი მაჩვენებლებით.

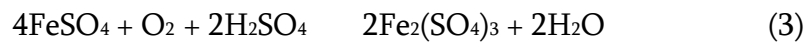
ავტოკლავური გამოტუტვის პროდუქტების შემადგენლობების ანალიზის საფუძველზე (ცხრილები 2, 3) პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის მიმდინარეობა შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგი ქიმიური რეაქციების სახით:



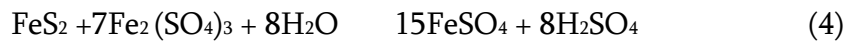
თანახმად აღნიშნული რეაქციისა, ადგილი აქვს პროცესში გოგირდმჟავის გენერაციას და, შესაბამისად, მისი კონცენტრაციის ზრდას. მაღალი მჟავიანობის (pH < 1) პირობებში იქმნება სულფიდური გოგირდის ნაწილობრივ, ელემენტარულ ფორმამდე ჟანგვის ხელსაყრელი პირობები, თანახმად შემდეგი რეაქციისა



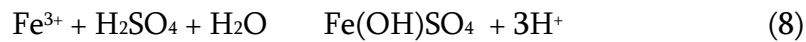
ავტოკლავურ ხსნარში წარმოქმნილი ორვალენტური რკინის სულფატი ჟანგბადთან ურთიერთქმედების შედეგად იჟანგება და გადადის სამვალენტურ ფორმაში.



რკინის სულფატი სულფიდური მინერალების მიმართ ავლენს მჟანგავი რეაგენტის თვისებებს:



მაღალი ტემპერატურის (T – 160°C) მაღალი მჟავიანობის (pH < 1,0) პირობებში რკინის სულფატი განიცდის ჰიდროლიზს,



რომლის შედეგადაც ავტოკლავურ შლამებში წონასწორული მყარი ფაზის სახით გამოილექება რკინის ფუძე სულფატი.

ცხრილი 2. პირიტის სუსპენზიის სიმკვრივის გავლენა ავტოკლავური ხსნარის ქიმიურ შემადგენლობაზე

№	სუსპენზიის სიმკვრივე, %	ავტოკლავური ხსნარის ქიმიური შემადგენლობა, გ/ლ					
		Cu ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ₂ SO ₄
1	6,25	2,33	0,66	3,5	0,24	0,53	44,9
2	9,10	3,5	2,13	5,8	0,38	0,78	47,8
3	16,60	7,0	3,54	10,7	0,68	1,57	86,5

ცხრილი 3. პირიტის სუსპენზიის სიმკვრივის გავლენა ავტოკლავური შლამის ქიმიურ შემადგენლობაზე

№	სუსპენზიის სიმკვრივე, %	ავტოკლავური შლამის ქიმიური შემადგენლობა, გ/ლ									შლამის გამო-სავალი, %	პირიტის ჟანგის ხარისხი, %
		%							გ/ლ			
		SiO ₂	CaSO ₄	Cu	Fe ₂ O ₃	S _{საერთო}	S ^o _{ელემ}	S _{SO₄²⁻}	Au	Ag		
1	6,25	14,57	2,57	კვ.	52,73	12,84	4,2	8,64	6,3	17,0	85,6	99,6
2	9,10	13,60	2,40	კვ.	45,50	18,1	7,1	11,0	5,7	15,4	94,1	99,5
3	16,60	13,10	2,25	კვ.	45,12	19,8	8,8	11,0	5,5	14,8	97,8	99,4

ამრიგად, ავტოკლავური შლამების შემადგენლობაში ელემენტარული გოგირდისა და რკინის ფუძე სულფატის არსებობა, რომელიც განპირობებულია ავტოკლავურ პროცესში არსებული მაღალი მჟავიანობით, არ იძლევა შლამში თავისუფალი სახით მყოფი კეთილშობილი ლითონების ციანირების პროცესის განხორციელების საშუალებას.

მიღებული ექსპერიმენტული შედეგებიდან გამომდინარე, სარეაქციო არეში გოგირდმჟავას გენერაციით გამოწვეული პრობლემების თავიდან აცილების მიზნით მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ, ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში, მეორე კომპონენტის სახით მანგანუმშემცველი ნედლეულის შეყვანა და პირიტის მინერალების ჟანგვის პროდუქტებით (ორვალენტიანი რკინის სულფატი და გოგირდმჟავა) მისი გამოტუტვის შესაძლებლობის დადგენა.

თავი 4. კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმშემცველი ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი

თავი 4 მოიცავს სამ ქვეთავს: 4.1. ორვალენტიანი რკინის სულფატისა და გოგირდმჟავას მოდელური წყალხსნარებით მანგანუმის ჟანგეული მადნის გამოტუტვის პროცესის კინეტიკურ კანონზომიერების შესწავლა; 4.2. მანგანუმის ოქსიდური ნედლეულისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და

მექანიზმი; 4.3. მანგანუმშემცველი კარბონატული მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი.

პირველ ქვეთავში წარმოდგენილია პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგვის პროცესში მეორე კომპონენტად მანგანუმის ნედლეულის გამოყენების შესაძლებლობა, რომელიც შესწავლილია პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგვის პროდუქტების - FeSO_4 და H_2SO_4 მოდელური წყალხსნარებისა და მანგანუმის მანგანუმი მადნის ავტოკლავური ურთიერთქმედების მაგალითზე.

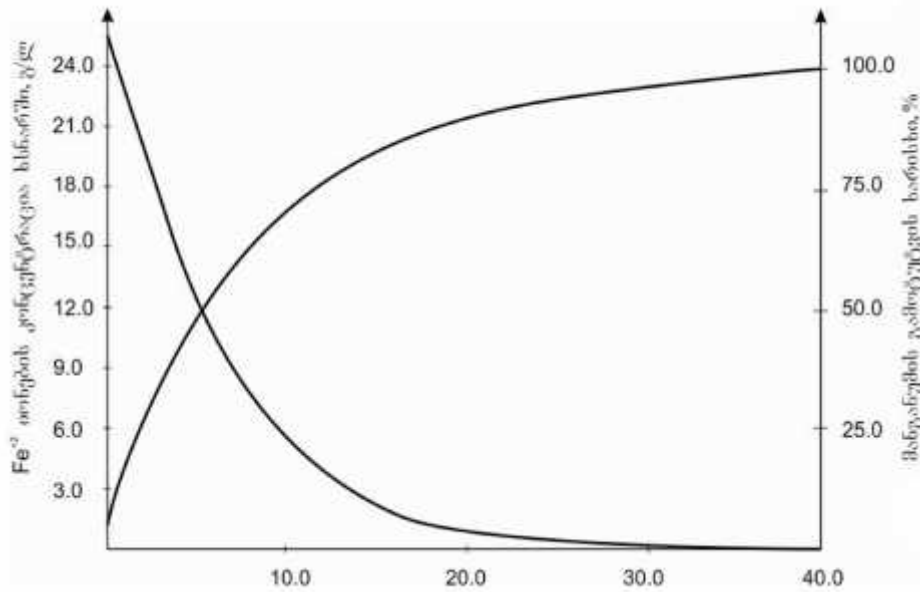
მოდელური წყალხსნარის შემადგენლობა შერჩეულ იქნა სტექიომეტრული გათვლების საფუძველზე და შეესაბამებოდა 50 გ პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესში წარმოქმნილი აღნიშნული პროდუქტების ჯამურ კონცენტრაციებს და შეადგენდა: FeSO_4 – 67,3 გ/ლ; H_2SO_4 – 43,2 გ/ლ.

მანგანუმის მადნისა (67გ) და მოდელური ხსნარის (750 მლ) ურთიერთშერევის შედეგად მომზადებული სუსპენზია ექვემდებარებოდა ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესს, 160°C ტემპერატურისა და აზოტის 0,1 მპა წნევის პირობებში.

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 4 და ნახ. 2.

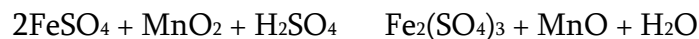
ცხრილი 4. მანგანუმის მოდელური ხსნარით ავტოკლავური გამოტუტვის კინეტიკა

	მოდელური ხსნარის შემადგენლობა, გ/ლ		მანგანუმის მადნის რაოდენობა, გ	მოდელური ხსნარის რაოდენობა, მლ	ავტოკლავური პროცესის პარამეტრები		მანგანუმის ხსნარში გამოტუტვის ხარისხი, %			
							პროცესის ხანგრძლივობა, წთ			
	FeSO_4	H_2SO_4			T, $^\circ\text{C}$	P_{N_2} , მპა	30,0	60,0	90,0	120,0
1	67,3	43,2	67,0	750,0	160,0	0,1	71,7	89,6	95,3	99,8



ნახ. 2. Fe²⁺ იონების ჟანგვისა და მანგანუმის გამოტუტვის კინეტიკური მაჩვენებლების ურთიერთდამოკიდებულება

შესაბამისად, მანგანუმის ჟანგეული მადნის, პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური ჟანგვის პროცესის პროდუქტების მოდელური ხსნარებით ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგი ქიმიური რეაქციების სახით:



ამრიგად, მიღებული ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების საფუძველზე დადასტურებულია პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმშემცველი ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის შემდგომი ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარების მიზანშეწონილობა.

მეორე ქვეთავში წარმოდგენილია მანგანუმშემცველი ოქსიდური ნედლეულისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი. ექსპერიმენტულ კვლევებს დაექვემდებარა ჭიათურის საბადოს მანგანუმის მადნების გამდიდრების ნარჩენების – შლამების (Mn_{საერთო} - 13,2%; MnO – 8,11%; MnO₂

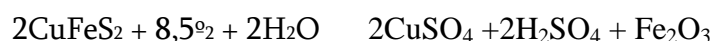
– 11,21%; SiO₂ – 53,74%; Al₂O₃ – 6,83%; TiO₂ – 0,31%; Fe₂O₃ – 4,15%; CaO – 3,9%; MgO – 2,01%; R₂O – 3,45%; SO₃ – 0,85%; CO₂ – 5,13%; P₂O₅ – 0,31%) და რთულადგამდიდრებადი მჰატეფოროვანი მანგანუმის მადნის (Mn_{საერთო} – 21,3%; MnO – 5,82%; MnO₂ – 26,66%; SiO₂ – 47,47%; Al₂O₃ – 5,28%; Fe₂O₃ – 4,5%; CaO – 4,32%; MgO – 1,83%; R₂O – 1,9%; SO₃ – 0,61%; CO₂ – 1,2%; P₂O₅ – 0,41%) ნიმუშები.

პირიტის კონცენტრატის, მანგანუმის ნედლეულისა და წყლის ურთიერთშერევით მიღებულ სუსპენზიებს ჩაუტარდა ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესი. პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესისათვის შერჩეული, ოპტიმალური პარამეტრების პირობებში.

ცხრილი 5. მანგანუმის გამოტუტვის კინეტიკა

№	სუსპენზიის შემადგენლობა				ავტოკლავური პროცესის პარამეტრები			მანგანუმის გამოტუტვის ხარისხი, %			
	პირიტის კონცენტრატი, გრ	მანგანუმის შლამი, გრ	მანგანუმის მადანი, გრ	წყალი, მლ	T, °C	P _{O₂} , მპა	პირიტის დაფქვის ხარისხი, მკმ	პროცესის ხანგრძლივობა, წთ			
								30,0	60,0	90,0	120,0
1	60,0	190,0	-	750	160,0	0,8	<74,0	75,4	87,6	94,3	99,6
2	80,0	-	190,0	750	160,0	0,8	<74,0	77,7	89,2	95,6	99,8

სუსპენზიებში პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის თანაფარდობა უზრუნველყოფდა ავტოკლავურ პროცესში შედარებით სუსტ მჟავა (pH – 1,7-2,2) გარემოს ფორმირებას. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 5, 6, 7, 8, 9, რომელთა ანალიზის საფუძველზე პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგი ქიმიური რეაქციების სახით:



ცხრილი 6. მანგანუმშემცველი შლამისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის შედეგად მიღებული პროდუქტების ქიმიური შემადგენლობა

ავტოკლავური შლამის ქიმიური შემადგენლობა, %											შემცველობა, გრ/ტ		შლამის გამოსავალი	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaSO ₄	MgO	R ₂ O	Fe ₂ O ₃	Mn	Cu	S (სულფ)	P ₂ O ₅	Au	Ag	გრ	%
59,66	7,1	0,36	10,40	1,52	2,59	17,82	0,05	კვალი	0,04	0,12	1,73	4,7	185,5	74,2

ცხრილი 7

ავტოკლავური ხსნარის ქიმიური შემადგენლობა, გრ/ლ								
Mn ²⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	P ⁺⁵	H ₂ SO ₄
33,3	0,5	1,0	1,9	0,01	3,30	2,80	0,208	2,44

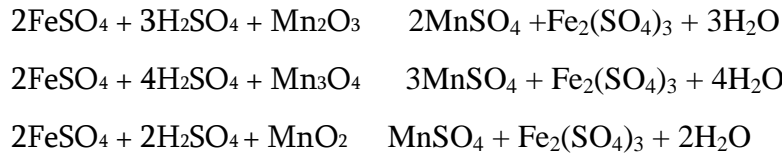
ცხრილი 8. მანგანუმის ოქსიდური მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის შედეგად მიღებული პროდუქტების ქიმიური შემადგენლობა

ავტოკლავური შლამის ქიმიური შემადგენლობა, %											შემცველობა, გრ/ტ		შლამის გამოსავალი	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaSO ₄	MgO	R ₂ O	Fe ₂ O ₃	Mn	Cu	S (სულფ.)	P ₂ O ₅	Au	Ag	გრ	%
53,42	5,12	0,07	11,54	1,22	2,00	26,0	0,04	კვალი	0,04	0,20	2,3	6,2	187,6	70,0

ცხრილი 9

ავტოკლავური ხსნარის ქიმიური შემადგენლობა, გრ/ლ								
Mn ²⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	P ⁺⁵	H ₂ SO ₄
53,73	0,44	1,33	0,42	0,01	2,85	3,7	0,233	2,0

სულფიდური მინერალების ჟანგვის პროდუქტებისა და მანგანუმის (III, IV) ოქსიდურ ნაერთებს შორის მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენის რეაქციების შედეგად მიღებული მანგანუმის ქვეჟანგი რეაგირებს გოგირდმჟავასთან მანგანუმის სულფატის წარმოქმნით, ხოლო Fe^{2+} იონების შედეგად მიიღება სამვალენტო რკინის სულფატი.



სამვალენტო რკინის სულფატი მაღალი ($160^{\circ}C$) ტემპურატურისა და სუსტი მჟავიანობის პირობებში განიცდის ჰიდროლიზს,



რომლის შედეგადაც წონასწორული მყარი ფაზის სახით, ავტოკლავურ შლამებში გამოილექება რკინის ჟანგეული (Fe_2O_3).

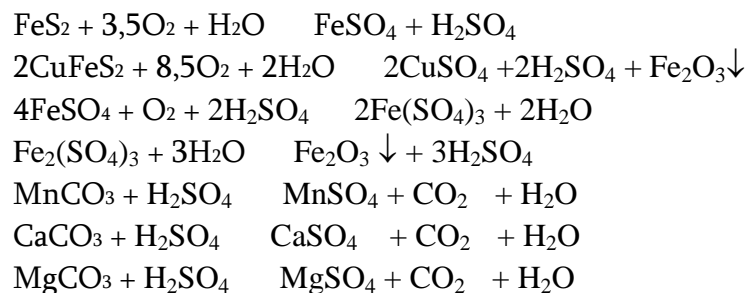
ამრიგად, პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში მანგანუმის ნედლეულის ოპტიმალური რაოდენობით 1:3 არსებობა, იძლევა ავტოკლავური პროცესის სუსტ მჟავა გარემოში ($H_2SO_4 - 2,0-2,5$ გ/ლ) წარმართვის საშუალებას, რაც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს სულფიდურ მინერალებში არსებული სულფიდური გოგირდის სრულად სულფატურ ფორმამდე ჟანგვას და, შესაბამისად, მათში ასოცირებული კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლებას.

გარდა აღნიშნულისა, დაბალი მჟავიანობა იძლევა საშუალებას, რომ პროცესში წარმოქმნილი სამვალენტო რკინის სულფატის ჰიდროლიზის შედეგად წონასწორული მყარი ფაზის სახით მიღებულ იქნას არა რკინის ფუძე სულფატი ($FeOH_2SO_4$), არამედ ციანირების მიმართ ინერტული ნაერთი – რკინის ჟანგი (Fe_2O_3).

მანგანუმისა (99,6-99,8%) და სპილენძის (100%) სულფატების სახით ხსნარში გამოტუტვის მაღალი ტექნოლოგიური მაჩვენებლები და გამოთავისუფლებული კეთილშობილი ლითონების, ციანირების პროცესით მისაღებად აუცილებელი ავტოკლავური შლამის კონდიციური შემადგენლობა ნათლად მეტყველებს პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის ეფექტურობაზე.

მესამე ქვეთავში წარმოდგენილია მანგანუმის კარბონატული მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი. ექსპერიმენტულ კვლევებს დაექვემდებარა მანგანუმის კარბონატული მადნის (Mn – 20,50%; SiO₂ – 43,66%; CaO – 10,20%; MgO – 1,54%; Fe₂O₃ – 3,0%; Al₂O₃ – 2,75%; P₂O₅ – 0,15%; CO₂ – 18,2%) ნიმუში. ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 10, 11, 12.

ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის პროდუქტების შემადგენლობის საფუძველზე, მანგანუმის კარბონატული მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესი შეიძლება წარმოდგენილ იქნას შემდეგი ქიმიური რეაქციების სახით:



მანგანუმის კარბონატული მადნის გამოყენების შემთხვევაში, 1 გ პირიტის კონცენტრატის ჟანგვის პროცესში მოხმარებული ჟანგბადის რაოდენობა ~50%-ით არის გაზრდილი და შეადგენს 1,05ლ. ჟანგბადის მომატებული ხარჯი განპირობებულია მისი დანაკარგით, რომელიც გამოწვეულია პროცესის მიმდინარეობისას ავტოკლავის აირადი ფაზიდან ნახშირორჟანგისა და ჟანგბადის აირნაზავის ატმოსფეროში მუდმივი განდევნით. სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ნახშირორჟანგის უტილიზაციის შესაძლებლობა.

ამრიგად, პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის კარბონატული მადნის ოპტიმალური თანაფარდობა ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესში იძლევა გოგირდმჟავას კონცენტრაციის პროგნოზირებადი რეგულირების საშუალებას, უზრუნველყოფს სუსტ მჟავა გარემოში (H₂SO₄ – 3,6 გ/ლ) პროცესის განხორციელების შესაძლებლობას და იმ დადებითი შედეგების მიღებას, რომლებიც აღწერილია მეორე ქვეთავში.

ცხრილი 10. მანგანუმის კარბონატული მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა

№	სუსპენზიის შემადგენლობა			ავტოკლავური პროცესის პარამეტრები				მანგანუმის გამოტუტვის ხარისხი, %			
	პირიტის კონცენტრაცია, გ	მანგანუმის კარბონატული მადანი, გ	წყალი, გ	T, °C	P _{O₂} , მპა	P _{CO₂} , მპა	პირიტის დაფქვის ხარისხი, მკმ	პროცესის ხანგრძლივობა, წთ			
								30,0	60,0	90,0	120,0
1	85,0	190	750	160	0,8	0,8	0-74	75,6	89,2	96,4	99,8

ცხრილი 11. მანგანუმის კარბონატული მადნისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის პროდუქტების ქიმიური შემადგენლობა

ავტოკლავური ხსნარის ქიმიური შემადგენლობა, გრ/ლ							
Mn ²⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	P ⁺⁵	H ₂ SO ₄
46,3	1,0	2,0	0,11	1,13	3,97	0,26	3,6

ცხრილი 12

ავტოკლავური შლამის ქიმიური შემადგენლობა, %											შლამის გამოსავალი		შემცველობა, გ/ტ	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaSO ₄	MgO	R ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cu	Mn	S (სულფ.)	P ₂ O ₅	გრ	%	Au	Ag
45,1	3,0	21,77	0,57	0,23	0,02	29,02	კვალი	0,04	0,04	0,21	174,0	63,27	2,7	7,3

თავი 5. კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროდუქტების გადამუშავების ტექნოლოგიური მეთოდები

თავი 5 მოიცავს ორ ქვეთავს: 5.1. მანგანუმის სულფატის ტექნიკური ხსნარების გაწმენდა მინარევებისაგან; 5.2. ავტოკლავური შლამებიდან კეთილშობილი ლითონების ამოღება ციანირების მეთოდით.

პირველ ქვეთავში მოყვანილია კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის ერთ-ერთი პროდუქტის – მანგანუმის სულფატის ტექნიკური ხსნარების გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა. აღნიშნული პროცესი ითვალისწინებს ოთხ ტექნოლოგიურ ოპერაციას: **პირველი** – სპილენძის იონების აღდგენას ლითონური მანგანუმის ფხვნილით და სპილენძის ფხვნილოვანი კონცენტრატის (Cu – 80,0-82,0%) მიღებას; **მეორე** – მანგანუმის სულფატის ხსნარების გაწმენდას Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , P^{5+} მავნე მინარევებისაგან, კირის რძისა და ჰაერის გამოყენებით, რომლის შედეგადაც მიღებულია შემდეგი ქიმიური შემადგენლობის მანგანუმის სულფატის ხსნარები (გ/ლ): Mn^{2+} - 33-58 გ/ლ; Cu^{2+} - 0,0014-0,0015; Fe^{2+} - 0,001-0,0011; Fe^{3+} - 0,002-0,003; Al^{3+} - 0,001-0,002; P^{5+} - კვალი. **მესამე** – მანგანუმის სულფატური ხსნარების, ამონიუმის სულფატისა და ამიაკის წყალხსნარების ურთიერთშერევით და ჰაერის გამოყენებით, განხორციელებული ტექნოლოგიური ოპერაცია ითვალისწინებს წარმოქმნილი ამიაკატების ჟანგვას და მიღებული მანგანუმის ჰიდროჟანგეულის მყარი ფაზის სახით გამოლექვასა და შრობას (150°C) და მაღალხარისხიანი (MnO – 95%; Ca – 0,1%; K – 0,1%, Mg – 0,1% და ჰიდრატული წყალი) მანგანუმის კონცენტრატის მიღებას; **მეოთხე** – ფილტრაციის შედეგად მიღებული ამონიუმის სულფატის ხსნარის აორთქლებითა და კრისტალიზაციით ამონიუმის სულფატის მიღებას, რომლის ნაწილი გამოიყენება ტექნოლოგიური ოპერაციის საწყის სტადიაზე.

მეორე ქვეთავში მოყვანილია პირიტის კონცენტრატისა და მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური გამოტუტვის პროცესის მეორე პროდუქტის – კეთილშობილი ლითონების შემცველი ავტოკლავური შლამების გადამუშავების ციანიდური ტექნოლოგიური პროცესის ექსპერიმენტული შედეგები.

ავტოკლავური შლამების სუსპენზიებში ნატრიუმის ციანიდის კონცენტრაცია შეადგენდა 0,1%, კირის რძის კონცენტრაცია, Ca(OH)_2 -ზე გადაანგარიშებით, 0,5% (pH – 10-11,5), მყარისა და თხევადი ფაზების თანაფარდობა 1 : 3, პროცესის ხანგრძლივობა – 24 სთ.

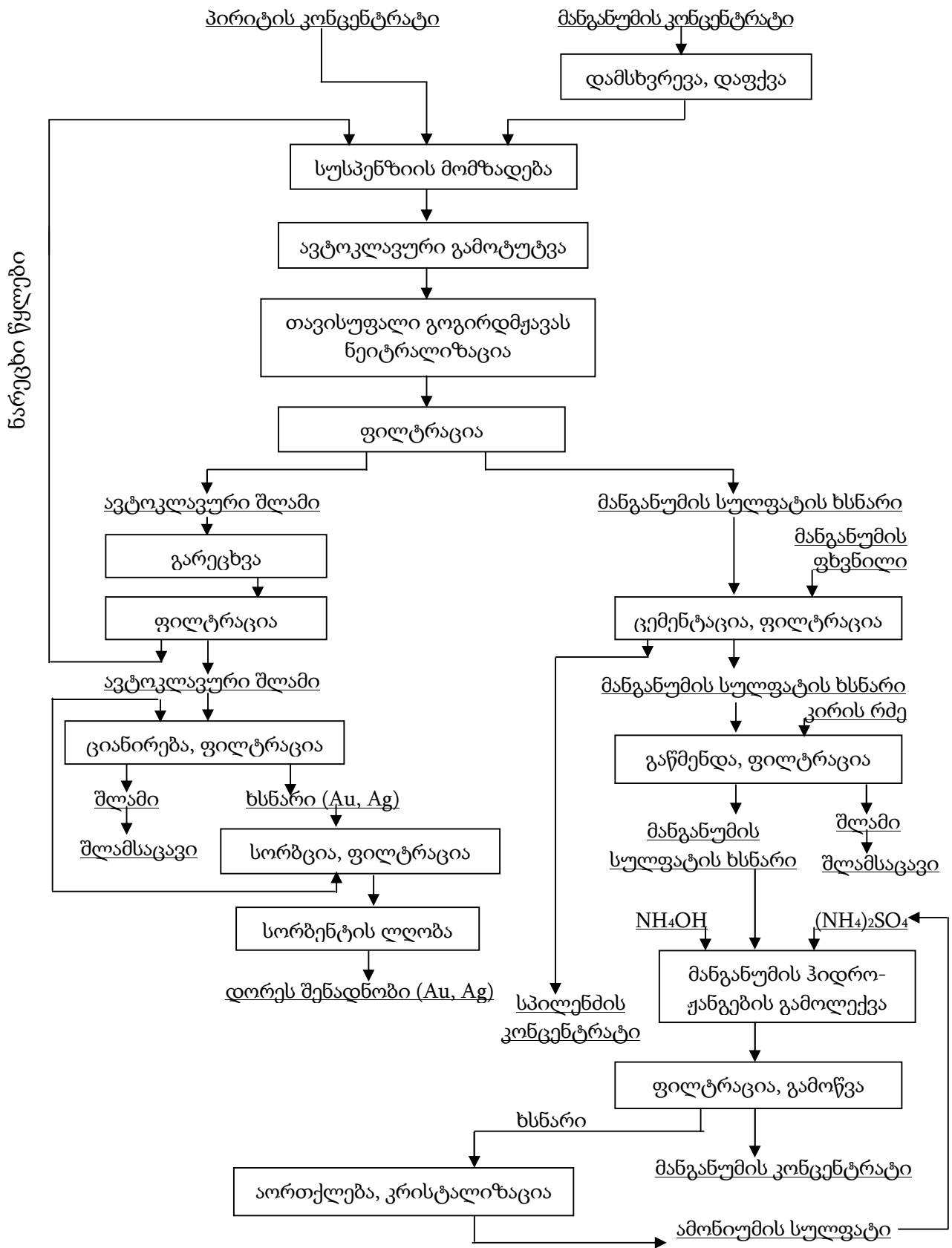
მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები ნათლად მეტყველებს, რომ ავტოკლავური შლამები ადვილად ექვემდებარება ციანირების პროცესს, რაც დადასტურებულია ოქროს – 98,0-98,5% და ვერცხლის – 94,5-95,7% ხსნარში ამოღების ხარისხების მაღალი მაჩვენებლებით.

თავი 6. მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატისა და ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიური და აპარატურული სქემები

თავი 6 მოიცავს ორ ქვეთავს: 6.1. ტექნოლოგიური პროცესების აღწერა; 6.2. ტექნოლოგიური პროცესის ცალკეული სტადიების აპარატურული სქემები.

პირველ ქვეთავში წარმოდგენილია ნედლეულის მოსამზადებელი სტადიის, სუსპენზიის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის, მანგანუმის სულფატის ტექნიკური ხსნარის გადამუშავების და კეთილშობილი ლითონების შემცველი ავტოკლავური შლამების ციანირების ტექნოლოგიური ოპერაციების აღწერილობა.

მეორე ქვეთავში წარმოდგენილია ტექნოლოგიური სქემის ცალკეული ტექნოლოგიური ოპერაციების აპარატურული გაფორმება.



ნახ. 3. მადნეულის პირიტის კონცენტრატისა და ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა

საერთო დასკვნები

1. ლიტერატურის მიმოხილვის საფუძველზე გამოვლენილია როგორც მანგანუმის ნედლეულის, ასევე კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებით გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესების ნაკლოვანი მხარეები. კერძოდ, მანგანუმის ნედლეულის გადამუშავების პროცესში გამოყენებულია ქიმიურად აგრესიული და ძვირადღირებული რეაგენტები, ხოლო პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მეთოდით გადამუშავების პროცესში ადგილი აქვს კეთილშობილი ლითონების ციანირების პროცესისათვის დაუშვებელი მინარევების (ელემენტარული გოგირდი და რკინის ფუძე სულფატი) წარმოქმნას, რაც მოითხოვს ავტოკლავური შლამის გაწმენდის დამატებითი ენერგოტევადი ტექნოლოგიური ოპერაციების განხორციელებას. შესაბამისად, ტექნოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობის ამალღების მიზნით, მიზანშეწონილია აღნიშნული ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაცია;

2. კვლევის ობიექტებად შერჩეულია ჭიათურის მანგანუმის მადნების გამდიდრების ნარჩენებისაგან და მადნეულის საბადოს სპილენძის მადნების გამდიდრების პირიტშემცველი ნარჩენებისაგან წარმოქმნილი ტექნოგენური საბადოები და აგრეთვე ჭიათურის საბადოს მანგანუმის ღარიბი და რთულადგამდიდრებადი მადნები;

3. თერმოდინამიკური გათვლების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია მანგანუმის ნედლეულის და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესში ურთიერთქმედების შედეგად შესაბამისი ჟანგვა-აღდგენითი ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის შესაძლებლობა, რამაც მიზანშეწონილი გახადა აღნიშნული მიმართულებით ექსპერიმენტული კვლევების განხორციელება;

4. კინეტიკური კანონზომიერების შესწავლის შედეგად დადასტურებულია, რომ პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის პირველადი პროდუქტები – ორვალენტიანი რკინის

სულფატი და გოგირდმჟავა, წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას მანგანუმის ნედლეულში არსებული მანგანუმის ნაერთების როგორც აღმდგენელ, ასევე გამომტუტავ რეაგენტებად. შესაბამისად, დადგენილ იქნა პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური ჟანგვის პროცესში მეორე კომპონენტად მანგანუმის ნედლეულის გამოყენების შესაძლებლობა;

5. ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების საფუძველზე დადგენილია მანგანუმის (ოქსიდური და კარბონატული) ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები: ტემპერატურა – 160°C, ჟანგბადის პარციალური წნევა – 0,8 მპა, პირიტის კონცენტრატის ფრაქციული შემადგენლობა – 0–74 მიკრონი, მანგანუმის ნედლეულის ფრაქციული შემადგენლობა – 0–1,0 მმ, პროცესის pH = 1,7–2,2 და ხანგრძლივობა 2 სთ.

შესწავლილია ერთობლივი ავტოკლავური პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი;

6. დადგენილია, რომ მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების პირობებში განხორციელება:

– უზრუნველყოფს პირიტისა და ქალკოპირიტის სულფიდური გოგირდის პრაქტიკულად სრულ ჟანგვას (99,5%) სულფატურ ფორმაში, რაც იწვევს საწყის ეტაპზე ორვალენტიანი რკინის სულფატის და გოგირდმჟავას წარმოქმნას და, შესაბამისად, სულფიდურ მინერალებში ასოცირებული კეთილშობილი ლითონების გამოთავისუფლებას;

– გამორიცხავს შემდგომ ტექნოლოგიურ ოპერაციაში – ოქროსა და ვერცხლის ციანირების პროცესისათვის ისეთი არასასურველი ნაერთების წარმოქმნას, როგორცაა ელემენტარული გოგირდი და რკინის ფუძე სულფატი;

– უზრუნველყოფს დამატებითი რეაგენტების გარეშე მანგანუმისა (99,8%) და სპილენძის (100%) ხსნარში ამოღების მაღალი ხარისხობრივი მაჩვენებლების მიღებას;

– უზრუნველყოფს ავტოკლავური პროცესის წარმართვას სუსტ მჟავა გარემოში, რაც, თავის მხრივ, მნიშვნელოვნად ამცირებს ტექნოლოგიურ აპარატურაზე კოროზიულ დატვირთვებს.

7. მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის შედეგად მიღებული პროდუქტების – მანგანუმისა და სპილენძის სულფატების ტექნიკური ხსნარებისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი ავტოკლავური შლამების გადამუშავების ტრადიციული მეთოდების გამოყენებით:

– დამუშავებულია მანგანუმის სულფატის ტექნიკური ხსნარების მინარევებისგან (სპილენძი, რკინა, ალუმინი, ფოსფორი, სილიციუმი) გაწმენდის ტექნოლოგიური ოპერაციები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ლითონური სპილენძის კონცენტრატისა და მაღალი კონდიციების მქონე მანგანუმის სულფატის ხსნარების მიღებას, რომელიც წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ელექტროლიზური ლითონური მანგანუმის ან ელექტროლიზური მანგანუმის ორჟანგის ან მაღალხარისხიანი მანგანუმის კონცენტრატის მისაღებად;

– გამოყენებულია ავტოკლავური შლამებიდან კეთილშობილი ლითონების ამოღების ციანიდური პროცესის პარამეტრები, რომლის განხორციელებით მიღებულია ოქროსა და ვერცხლის ხსნარში ამოღების მაღალი ხარისხობრივი მაჩვენებლები (Au – 98,0-98,5%; Ag – 94,5-94,7%).

8. ამრიგად, დამუშავებულია მანგანუმის ნედლეულისა და კეთილშობილი ლითონების შემცველი პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების პრინციპულად ახალი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლის სამრეწველო მასშტაბში რეალიზაცია (ნახევრად საქარხნო პირობებში გამოცდების ჩატარების შემდეგ)

უზრუნველყოფს ჭიათურისა და მადნეულის ტექნოგენური საბადოებისა და ჭიათურის მანგანუმის ღარიბი და რთულადგამდიდრებადი მადნების კომპლექსურ გადამუშავებას.

9. მანგანუმის ნედლეულიდან, მანგანუმის პროდუქციის წარმოება ქიმიურად აგრესიული და ძვირადღირებული ტრადიციული რეაგენტების მოხმარების გარეშე, პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური ჟანგვის პროდუქტების გამოყენებით, პირიტის მინერალების თანაური სპილენძის, ოქროსა და ვერცხლის, მაღალი ღირებულების სასაქონლო პროდუქციის სახით მიღება ის ძირითადი ფაქტორებია, რომლებიც განაპირობებენ ჭიათურის მანგანუმის ნედლეულისა და მადნეულის კეთილშობილი ლითონების შემცველი კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის მაღალ ტექნოლოგიურ და ეკონომიკურ ეფექტურობას;

10. მადნეულის ტექნოგენური საბადოს დეპირიტიზაცია შექმნის კვარცის მაღალი (90,0–92,0%) შემცველობის მქონე სანედლეულო ბაზის სამრეწველო მასშტაბში გამოყენების შესაძლებლობას, რაც დადასტურებულია ქართველი მეცნიერების მიერ ჩატარებული როგორც ლაბორატორიული, ასევე ნახევრად საქარბნო კვლევებით.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია

შემდეგ შრომებში:

1. თ.პ. გელეიშვილი, ი.თ. გელეიშვილი. „მადნეულის გამამდიდრებელი ფაბრიკის ნარჩენები და მათი კომპლექსური გადამუშავება“. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №1 (vol. 69), 2014, გვ. 77-81.
2. I. Geleishvili. “Complex processing of manganese bearing waste and low-grade ores by autoclaving method”. 13th International Conference on Clean Energy (ICCE – 2014), June 8-12, 2014, Istanbul, Turkey, pp. 2453-2456.
3. I. Geleishvili. “Combined processing of waste organic polymers and manganese bearing waste / low grade ores into fuels and low-carbon manganese alloys”. 13th

International Conference on Clean Energy (ICCE – 2014), June 8-12, 2014, Istanbul, Turkey, pp. 1425-1435.

4. ი. გელეიშვილი, ი. ბაზღაძე. „მადნეულის პირიტის კონცენტრატისა და ჭიათურის მანგანუმშემცველი ნედლეულის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის კინეტიკა და მექანიზმი“. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“, №29, 2015, გვ. 111-120.
5. ი. გელეიშვილი. „მანგანუმშემცველი ნედლეულისა და პირიტის კონცენტრატის ერთობლივი ავტოკლავური მჟანგავი გამოტუტვის პროცესის თერმოდინამიკური შეფასება“. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტომი 15, №1, 2015, გვ. 54-56.
6. ი. გელეიშვილი, ი. ბაზღაძე. „მანგანუმის ოქსიდური მადნის გამოტუტვა პირიტის კონცენტრატის ავტოკლავური ჟანგვის პროდუქტის გამოყენებით“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე. ქიმიის სერია, ტომი 41, №4, 2015, გვ. 413-416.
7. მანგანუმის დაჟანგული და კარბონატული მადნების გადამუშავების ხერხი. საქართველოს პატენტი №P6355, 2015წ.

Abstract

Creation and elaboration of new, competitive technological schemes of poor, rebellious manganese containing raw materials becomes increasingly important against the background of sharp fall of high quality manganese ore stocks (Mn > 35%) of Chiatura deposit. High technological parameters received as a result of mentioned raw material processing by hydrometallurgical method are reached via application of expensive reducing and leaching, chemically aggressive reagents that causes active corrosion of devices and create danger of environmental pollution. As a consequence, the abovementioned factors significantly reduce technical-economical efficiency of this method.

On the other hand, with the consideration of economic conjuncture, in the enrichment process of Madneuli deposit copper-sulphide ores is extracted only copper concentrate, while pyrite minerals along with associated noble metals are accumulated in ore dressing residues (refuse ores), which are placed at special sludge dumps. Autoclaving method of processing of noble metals containing pyrite concentrates foresees oxidation leaching of pyrite minerals with the presence of oxygen, release of gold and silver in solid phase and their recovery from sludge by cyanide method.

Implementation of the mentioned method is problematic, since oxidation process of pyrite minerals proceeds in high acid medium ($\text{pH} < 1$), that is accompanied with formation of elemental sulphur and iron base sulphates as a solid phase in reaction zone. Their presence in the composition of autoclave sludge makes virtually impossible implementation of the process of cyaniding. Respectively, the technological scheme foresees complex technological operations of sludge cleaning from mentioned admixtures that, in its turn, significantly reduces economic efficiency of this method.

Research goal is an optimization of existing engineering processes of processing of Chiatura manganese raw materials and noble metals containing Madneuli pyrite concentrate and improvement of technical-economic efficiency.

Manganese ore-dressing residues, manganese poor oxide and carbonate ores located at Chiatura technogenic deposit and noble metals containing pyrite concentrate obtained by flotation method from Madneuli technogenic deposit were exposed to experimental studies.

Kinetics and mechanism of combined autoclave oxidation leaching process of manganese raw materials and noble metals containing pyrite concentrate have been studied and on this basis have been established optimal parameters of the process, which provide:

a) conduct of the process in slightly acidic ($\text{pH} = 1,7-2,2$) medium and proceeding from this fact, almost complete (99.5%) oxidation of pyrite sulphide sulphur to sulphate form, as a consequence, demolition of crystal grid of pyrite minerals, release of noble metals associated in them and their transition to autoclave sludge in the form of solid phase;

b) reduction of manganese oxides existing in manganese raw materials by pyrite minerals oxidation products – bivalent iron sulphate and sulphuric acid and leaching of formed manganese protoxide in the solution with high qualitative index (99,8%);

c) oxidation of accompanied copper minerals existing in pyrite concentrate and copper leaching in the solution with high qualitative index (100%);

d) iron sulphate hydrolysis process in slightly acidic medium and at high temperature, as a result of which takes place precipitation of Fe_2O_3 (hematite) in the form of equilibrium solid phase, which is inert to cyanide solutions and, as a consequence, receipt of conditioned autoclave sludge without harmful admixtures for implementation of process of gold and silver cyaniding.

High conditions of autoclave sludge secure high efficiency of process of cyaniding that is verified by high technological indices (98,2 and 95,7%) of gold and silver recovery from the solution.

As a result of reprocessing of manganese sulphate technical solution and noble metals containing autoclave sludge (products obtained by means of the process of autoclave leaching) by traditional methods is received high quality, low phosphorus-containing manganese concentrate in the form of end product, as well as metal copper concentrate, ammonium sulphate and so-called Dore bead (gold and silver alloy).

Thus, the brand new engineering process is elaborated, implementation of which on industrial scale (after carrying out the pilot-plant tests) will secure integrated processing of poor and rebellious ores of Chiatura and Madneuli technogenic deposits and Chiatura deposit.

Production of high quality manganese concentrate using the products of pyrite concentrate autoclave oxidation instead of expensive and aggressive reagents and receipt of copper, gold and silver as co-products accompanying pyrite minerals in the form of additional production of high cost in the process of manganese raw materials processing by hydrometallurgical methods are the factors, which stipulate optimization of engineering processes of independent processing of manganese raw materials and noble metals containing pyrite concentrate, while relatively small capital and operational expenses provide high economic efficiency of cooperative processing of manganese raw material and pyrite concentrate.

Especially noteworthy is the circumstance that on the basis of experimental studies carried out by Georgian scientists on laboratory-scale and pilot-scale is established the opportunity of use of manganese copper-sulphide ore-dressing residues in the production of construction materials, glassware, cement and asphalt concrete. Thus, depyritisation of Madneuli technogenic deposit will create feasibility of using of raw material base with high content of quartz (90-92%) on industrial scale.